

# LA PROGETTAZIONE DEGLI EDIFICI SCOLASTICI ALLA LUCE DEI REQUISITI PRESTAZIONALI PER IL BENESSERE EDIL CONTENIMENTO DEI CONSUMI ENERGETICI

Raffellini G., Carletti C., Cellai GF., Scirpi F., Secchi S.

Università di Firenze, Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini",  
via San Niccolò 89/a, 50125 Firenze  
e-mail: lab.ambientale@dpmpe.unifi.it

## ABSTRACT

L'edificio scolastico deve assicurare la salubrità degli spazi ed il benessere ambientale delle persone, ottemperando al contenimento dei consumi energetici necessari per il suo utilizzo, sia in regime invernale che estivo. I requisiti suddetti fanno riferimento alle seguenti classi esigenziali: benessere termoisolometrico, benessere acustico, benessere visivo, benessere respiratorio olfattivo e qualità dell'aria.

La memoria riporta una analisi dei requisiti fisico - ambientali espressi da valori limite cogenti raccomandati, suddivisi, ove possibile, per il recupero o la nuova costruzione.

In particolare viene analizzata la possibilità di applicare in concreto i suddetti requisiti, considerato che talora appaiono in contrasto tra loro (ad esempio la ventilazione e l'illuminazione naturale attraverso aperture esterne con il controllo del rumore, ecc.).

## INTRODUZIONE

Il Decreto Ministeriale del 1975 inerente le norme tecniche per l'edilizia scolastica tratta gli aspetti relativi alle condizioni di benessere ambientale al punto 5; all'interno di tale paragrafo trovano spazio diversi requisiti di benessere ambientale che rappresentano un riferimento molto importante in considerazione del periodo in cui il Decreto è stato emanato sia per quanto attiene la loro struttura che per i valori di specifica in esso definiti. Ancora oggi, infatti, molti dei requisiti tecnici allora definiti, non trovano piena applicazione anche nell'edilizia scolastica di recente costruzione: nel complesso si può sostenere che la normativa appariva per l'epoca sicuramente innovativa ed introduceva concetti avanzati in materia di qualità ambientale che a distanza di oltre ventennio appaiono sicuramente attuali.

Tuttavia occorre considerare che nel frattempo sono state emanate nuove disposizioni legislative (si pensi alle norme in materia di controllo del rumore), che richiamano aspetti tecnici e normativi in tutti i settori che riguardano la qualità ambientale e che possono essere applicati anche all'edilizia scolastica; soprattutto occorre considerare anche la nuova articolazione dei cicli scolastici (scuola materna, elementare, etc.), e la corrispondente attività didattica che di fatto possono influenzare anche le esigenze precedentemente espresse, creando una differenziazione in funzione degli spazi didattici presenti nei cicli stessi.

Anche il panorama legislativo nazionale è ormai articolato secondo questo criterio, esistendo documenti specifici riguardo ad alcuni aspetti del benessere ambientale e del risparmio energetico.

In particolare, rispetto al contesto presente al momento dell'emanazione del decreto sulle norme tecniche per l'edilizia scolastica del '75, il panorama risulta modificato per la presenza di nuovi documenti legislativi nei quali si fa riferimenti alle principali classi di benessere.

La proposta di revisione della normativa tecnica per le scuole aggiorna i contenuti del decreto vigente sulla base dei nuovi documenti legislativi, con richiami ai valori di specifica in questi definiti. In alcuni casi specifici si è ritenuto invece di definire nuovi parametri e valori limite per la necessità di coprire ambiti non ancora normati a livello centrale oppure per la necessità di meglio riferire i valori limite ai vari ambienti dell'edificio scolastico.

## DEFINIZIONE DEI REQUISITI PRESTAZIONALI

In generale quando si parla di qualità ambientale in una struttura scolastica si deve fare riferimento a differenti requisiti relativi a:

- benessere termoisolometrico;
- benessere acustico;
- benessere visivo;
- benessere respiratorio olfattivo.

Al fine di definire i principali parametri ambientali di progetto e, ove possibile, i loro range di accettabilità occorre riferirsi alle Leggi e/o Normative tecniche vigenti, classificabili in due grandi famiglie: alla prima appartengono quelle caratterizzate da un campo di applicazione generale che può anche essere esteso all'edilizia scolastica (ad esempio: Legge 10/91 ed i relativi Decreti attuativi, il DPCM 05.12.97 riguardante i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti), oppure normative tecniche di riferimento quali: norma UNI 10380 in materia di illuminazione di interni con luce artificiale, norma UNI 10339 in materia di benessere respiratorio olfattivo e sistemi di ventilazione.

Alla seconda appartengono invece quelli esplicitamente definiti per l'edilizia scolastica (ad esempio il Decreto Ministeriale del 18.12.75).

Nella definizione dei vari requisiti proposti, alcune questioni hanno richiesto particolare attenzione. In particolare, è stata adottata una metodologia per la definizione dei requisiti

e dei relativi livelli prestazionali con riferimento alle seguenti problematiche:

- articolazione delle specifiche in cogenti e raccomandate;
- differenziazione delle specifiche prestazionali per edilizia nuova ed esistente;
- risoluzione dei conflitti tra requisiti diversi.

La definizione del parametro di verifica del requisito viene tenuta distinta dalla specifica tecnica a questo relativa.

Il parametro di verifica rappresenta la proprietà da verificare mediante metodi di analisi del progetto o mediante strumentazione da impiegare ad opera compiuta.

Nella definizione del parametro di verifica quasi sempre viene fatto riferimento alla normativa tecnica (nazionale o internazionale) e vengono specificate le relative unità di misura.

Il parametro di verifica è quindi una grandezza definita in modo univoco che non necessita, salvo particolari casi di cambiamento della normativa tecnica di riferimento, di essere aggiornata con il tempo. La specifica prestazionale rappresenta invece il valore limite da soddisfare mediante la verifica tecnica. Tale valore limite può corrispondere a quanto già definito in documenti legislativi nazionali o in raccomandazioni o norme nazionali o internazionali.

Sono possibili aggiornamenti nel tempo del valore di specifica in seguito al variare del livello esigenziale nel quadro di riferimento nazionale ed internazionale.

#### **Articolazione delle specifiche in cogenti e raccomandate**

Le specifiche prestazionali sono state articolate secondo due categorie:

- specifiche cogenti;
- specifiche raccomandate.

Le prime sono da intendersi come valori minimi inderogabili definiti a livello centrale che devono essere recepiti dalle Regioni. Le seconde sono invece da intendersi come valori raccomandati, definiti a livello centrale, che possono essere recepiti ed eventualmente modificati dalle Regioni.

L'articolazione in specifiche cogenti e raccomandate è stata effettuata sulla base delle seguenti considerazioni.

I requisiti aventi valori di specifica cogente sono in primo luogo quelli contenuti in documenti legislativi vigenti a carattere nazionale. È stato attribuito carattere cogente anche a buona parte di quei requisiti già normati dal DM del '75 e che non trovano altro riscontro nella legislazione nazionale.

È stato attribuito carattere di raccomandazione alle specifiche tecniche definite dalla normativa tecnica nazionale ed internazionale, da documenti legislativi di altri paesi o da raccomandazioni e direttive nazionali ed internazionali.

#### **Differenziazione delle specifiche prestazionali per interventi sul patrimonio edilizio esistente**

Particolare attenzione è stata riservata alla differenziazione dei valori limite per gli interventi sul patrimonio edilizio esistente. Infatti i valori limite, definiti dalla legislazione vigente e dalla normativa tecnica, spesso rendono particolarmente difficoltoso, e spesso impossibile, il recupero di edifici esistenti per l'uso come spazi scolastici.

Data la particolare rilevanza del problema del recupero, si è pertanto ritenuto di normare in maniera differenziata gli interventi di recupero di edifici esistenti, consentendo tali interventi nel rispetto delle condizioni minime di benessere e di salubrità degli ambienti.

In tal senso sono stati definiti per i vari requisiti dei valori minimi di accettabilità, al di sotto dei quali scatta la necessità dell'intervento di recupero. Per meglio chiarire il problema si fa riferimento a due casi tipici di differenziazione del requisito prestazionale per edilizia nuova ed esistente.

Il primo esempio è relativo al requisito di illuminazione naturale degli ambienti che, nel decreto del '75, è espresso attraverso la specifica tecnica del fattore medio di luce diurna degli ambienti destinati alla didattica pari al 3%.

Tale requisito crea notevoli problemi nei casi in cui si intenda recuperare edifici esistenti, in particolare nei casi di interventi su edifici storici nei quali, per vincoli di tutela o per esigenze architettoniche, non si può modificare dimensioni e forma delle finestrate. Volendo mantenere ed incentivare il recupero di edifici esistenti, compreso il recupero ad usi nuovi del patrimonio storico vincolato, è necessario pertanto consentire livelli prestazionali inferiori che tuttavia consentano condizioni di benessere e di salubrità negli ambienti interni dell'edificio ritenute comunque soddisfacenti, anche se non ottimali.

Nel caso del requisito relativo al livello di illuminamento naturale tale approccio ha consentito di definire un valore limite del fattore di luce diurna medio pari al 2%. Tale nuova specifica tecnica si applica pertanto a tutti gli interventi sul patrimonio edilizio esistente in cui per ragioni diverse non possono essere modificate le facciate.

Il secondo esempio è relativo invece al requisito relativo all'isolamento acustico delle facciate. Il DPCM 5/12/97 richiede che l'isolamento acustico di facciata nelle scuole sia pari ad almeno 48 dBA, indipendentemente dall'uso degli spazi interni e dal clima acustico esterno.

Anche tale requisito, se applicato a molti edifici esistenti, rischia di rendere impraticabile l'intervento a meno di attuare sostanziali modifiche alle caratteristiche dei componenti finestrati.

In questo caso il livello prestazionale limite accettabile è stato fissato in 40 dB.

Non tutti i requisiti ambientali prevedono livelli prestazionali differenziati per edilizia nuova ed esistente.

Non prevedono tale differenziazione i requisiti già normati da altri documenti legislativi a carattere nazionale, per i quali si fa un semplice richiamo, né quelli che riguardano condizioni limite per la salute delle persone e per cui non può essere concessa alcuna deroga (ad esempio il requisito relativo ai ricambi d'aria).

#### **Conflitti tra i requisiti**

Alcuni requisiti relativi alle condizioni di benessere ambientale possono risultare in contraddizione tra di loro.

Si tratta, ad esempio, dei seguenti requisiti:

- ventilazione dei locali e isolamento acustico della facciata;
- illuminazione naturale ed isolamento acustico della facciata.
- illuminazione naturale e contenimento delle dispersioni termiche;
- illuminazione naturale e contenimento della asimmetria radiante.

La ventilazione dei locali è uno dei requisiti cogenti che trova ampi riscontri sia in documenti legislativi nazionali che nella normativa tecnica nazionale ed internazionale.

La ventilazione può essere di tipo naturale, se avviene in conseguenza della differenza di pressione tra l'aria dell'ambiente interno e quella dell'ambiente esterno, di tipo

meccanico (ad esempio con sola estrazione meccanica) oppure totalmente controllata tipo VMC (immissione ed estrazione meccanica). Nel primo caso non si hanno consumi energetici per la movimentazione dell'aria, ma non è possibile garantire in tutte le condizioni climatiche il necessario numero di ricambi d'aria a finestre chiuse.

Nel secondo e nel terzo caso si hanno molte alternative impiantistiche, più o meno complesse, che possono soddisfare molteplici esigenze, ad esempio la filtrazione dell'aria esterna, la ventilazione nell'ambito della climatizzazione dei locali, il recupero energetico sull'aria espulsa, ecc.

Al fine di garantire il necessario numero di ricambi d'aria per via esclusivamente naturale nei locali interni dell'edificio, questo deve risultare sufficientemente permeabile all'aria proveniente dall'esterno. Ciò può essere ottenuto impiegando infissi a limitata tenuta all'aria oppure predisponendo prese d'aria sulla facciata dell'edificio.

Il requisito relativo all'isolamento acustico di facciata richiede invece, per soddisfare i livelli prestazionali del DPCM 5/12/97, che le facciate siano praticamente impermeabili all'aria. Infatti la permeabilità all'aria comporta il decadimento netto delle proprietà fonoisolanti della facciata medesima.

Di fronte a tale conflittualità si prospettano due possibili soluzioni:

- il ricorso generalizzato alla ventilazione meccanica controllata dei locali;
- l'impiego di prese d'aria insonorizzate applicate alla muratura e/o al componente finestrato.

La conflittualità tra illuminazione naturale e isolamento termico ed acustico di facciata è probabilmente meno critica della precedente, ma riguarda ugualmente aspetti essenziali.

Ad esempio, per garantire il rispetto del requisito sull'illuminazione naturale (fattore di luce diurna pari ad almeno il 3%), vengono richieste dimensioni dell'infisso considerevoli che, in presenza di ostruzioni esterne, possono anche arrivare a coprire l'intera superficie della facciata.

Questo può dar luogo a problemi per il rispetto del coefficiente volumico di dispersione termica limite ( $C_{dlim}$ ), definito nella normativa sul contenimento dei consumi energetici, ma anche introdurre problemi di malessere termico a causa della presenza di estese superfici fredde (elevata asimmetria piana radiante).

E' poi evidente il conflitto con l'esigenza di isolare acusticamente i locali interni.

Di fronte a ciò la soluzione possibile è quella di impiegare infissi ad alte prestazioni acustiche e termiche con alta tenuta alle infiltrazioni d'aria (classe A3).

## ANALISI DEI REQUISITI FISICO TECNICI

### Benessere termoigrometrico

La norma UNI EN ISO 7730 definisce i principali parametri che concorrono al soddisfacimento del benessere termoigrometrico, quali: la temperatura operativa  $\theta_o$ , la temperatura superficiale del pavimento  $\theta_p$ , il gradiente verticale di temperatura  $\Delta\theta_{0,1-1,1}$ , l'asimmetria di temperatura piana radiante  $\Delta\theta_{pr}$ , il rischio da correnti d'aria DR (Draft Risk).

Il soddisfacimento dei livelli di specifica porta a contenere la percentuale di individui insoddisfatti ad un valore del 5% ( $\Delta\theta_{0,1-1,1}$  e  $\theta_{pr}$ ), del 10% ( $\theta_o$  e  $\theta_p$ ) e del 15% (DR).

Questi parametri si applicano agli ambienti scolastici in cui è prevista la permanenza prolungata (almeno 1 ora) degli alunni e del personale (aule, spazi vari per attività didattiche e ludiche, uffici, ecc) e devono essere controllati sia in regime invernale che estivo: scostamenti dai valori ottimali possono infatti essere causa di malessere per le persone che svolgono attività moderata o sedentaria.

Tabella 1 – Valori limite di accettabilità relativi al benessere termoigrometrico validi per l'edilizia nuova ed esistente (UNI EN ISO 7730) secondo la proposta di normativa.

Parametro	Valore limite	Verifica su progetto	Verifica in opera
Temperatura operativa $\theta_o$ (°C)	Inverno: 20÷24 Estate: 23÷26	EN 832	UNI EN 27726
Temperatura superficiale del pavimento $\theta_p$ (°C)	Estate ed Inverno: 19÷29	EN 1264	UNI EN 27726
Gradiente verticale di temperatura $\Delta\theta_{0,1-1,1}$ (°C)	Estate ed Inverno: $\leq 3$	UNI EN ISO 7730	UNI EN 27726
Asimmetria temperatura piana radiante $\Delta\theta_{pr}$ (°C)	Finestre e sup. fredde verticali: $\leq 10$ Soffitto caldo (riscaldato): $\leq 5$	UNI EN ISO 7730	UNI EN 27726
Rischio da correnti d'aria (DR): PPD (%)	Estate ed Inverno: $\leq 15$ %	UNI EN ISO 7730	UNI EN 27726

### Requisiti relativi al benessere acustico

Le specifiche tecniche relative alle condizioni di benessere acustico sono quelle definite dal DM 18/12/75 e dal DPCM 5/12/97, con alcune maggiori specificazioni sugli ambiti di applicazione. Secondo la proposta di normativa, per l'isolamento acustico di facciata, i valori di specifica per l'edilizia nuova dovrebbero essere richiesti anche in quegli interventi di recupero in cui si modifichi la struttura della facciata e/o in cui si sostituiscano gli infissi delle facciate.

Relativamente all'isolamento acustico verso i rumori tra ambienti interni si considerano solo gli ambienti in cui si produce rumore quali i laboratori, gli spazi di ingresso, di distribuzione e relazione, le ludoteche, i servizi igienici, le lavanderie, gli spazi per la musica, i teatri, le cucine, le palestre, gli spogliatoi, le mense e gli spazi di ristoro.

Sono da considerarsi spazi in cui si richiede quiete le aule, le biblioteche – mediateche, gli auditorium, i teatri, le stanze per il riposo. Si dovrebbero inoltre considerare i valori di specifica per l'edilizia nuova anche in quegli interventi di recupero in cui si attui la sostituzione o la ristrutturazione del componente oggetto della valutazione. Nel caso di frontiere di separazione da unità immobiliari a diversa destinazione si adotta il più rigoroso dei valori limite relativi alle due unità immobiliari confinanti.

La verifica relativa al livello di rumore impattivo si applica a tutti i solai interni e di copertura dell'edificio scolastico. Nel caso di solai di separazione da ambienti non scolastici si adotta il limite relativo all'ambiente disturbante tra quelli definiti dal DPCM 5/12/97.

La verifica del livello di pressione sonora per rumori di impianti si applica al rumore prodotto da impianti dell'edificio a funzionamento continuo (impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento) e discontinuo (ascensori, scarichi idraulici, bagni, servizi igienici e rubinetteria), misurato in ambienti differenti da quello in cui il rumore stesso ha origine. Per gli impianti a funzionamento continuo si misura il livello equivalente di pressione sonora ponderato A, mentre per gli impianti a funzionamento discontinuo si misura il livello massimo di pressione sonora ponderato A, con costante temporale slow.

Tabella 2 – Valori limite di accettabilità relativi al benessere acustico secondo la proposta di normativa

Parametro	Valore limite	Verifica su progetto	Verifica in opera
Indice val. isolam. acustico di facciata $D_{2m,nT,w}$ (dB)	48*- 40**	EN 12354-3	UNI EN ISO 140-5
Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente $R'_w$ (dB)			
Pareti e solai tra unità immobiliari distinte	50***	EN 12354-1	UNI EN ISO 140-4
Solai interni	50***		
Pareti interne tra aule (senza porta di comunicazione)	45*-40**		
Pareti interne tra aule e corridoi, atri o altri vani di collegamento (con porta di comunicazione)	40*-37**		
Pareti interne tra ambienti in cui è richiesta quiete ed ambienti in cui si produce rumore (senza porta di comunicazione)	50***		
Pareti mobili	30***		
Indice val. livello di rumore impattivo normalizzato $L_{n,w}$ (dB)	58***	EN 12354-2	UNI EN ISO 140-6
Livello equiv. pressione sonora $L_{eq(A)}$ (dBA)	25***	non normato	DM 16/03/98
Livello max. slow press. sonora $L_{s,max(A)}$ (dBA)	35***	non normato	DM 16/03/98
Tempo di riverberazione	DM 18/12/75	Pr EN 12354-6	ISO 3382
Note : * Valore riferito ad edilizia nuova; ** Valore riferito ad edilizia esistente; *** Valore riferito sia ad edilizia nuova che esistente			

### Requisiti relativi al benessere visivo

Le specifiche tecniche relative alle condizioni di benessere visivo sono le stesse descritte dal DM 18/12/75, con alcune integrazioni che fanno riferimento ai valori definiti dalla UNI 10380. La distanza libera tra le pareti contenenti le finestre degli spazi ad uso didattico e le pareti opposte degli altri edifici, o di altre parti di edificio, deve essere almeno pari ai 4/3 dell'altezza del corpo di fabbrica prospiciente e tale distanza non deve, comunque, essere inferiore ai 12 metri.

Relativamente alla verifica dell'illuminazione naturale, si considerano i valori di specifica per l'edilizia nuova anche in quegli interventi di recupero in cui venga modificata l'estensione, la forma o la posizione delle finestre esterne.

I valori specificati per l'illuminazione artificiale sono da intendersi come livelli minimi prestazionali. Si raccomanda di fare riferimento alla norma UNI 10380 per valori più appropriati in relazione alle diverse attività svolte nell'edificio scolastico. È necessario inoltre garantire la oscurabilità degli ambienti destinati al riposo, nei quali deve essere possibile il completo oscuramento, e di quelli in cui si svolgono attività che richiedono forti attenuazioni dei livelli di illuminamento naturale, quali: proiezione di dispositive, video, lucidi ecc.

Il requisito si ritiene soddisfatto qualora siano previsti dispositivi per l'attenuazione della luce diurna negli spazi per attività principale, mentre nei locali destinati al riposo dei bambini, il livello di illuminazione naturale e artificiale deve essere regolabile fino ad ottenere un livello non superiore a 0,2 lux.

Tabella 3 - Valori limite di accettabilità relativi al benessere visivo secondo la proposta di normativa

Parametro	Valore limite	Verifica su progetto	Verifica in opera
Fattore di luce diurna FLD (%)			
Ambienti ad uso didattico e di svago	3*- 2**	circ. Min. LL.PP. 25/05/67 n° 3151	
Palestre, laboratori, uffici, mense, auditorium	2***		
Spazi per la distribuzione, atri di ingresso, scale, servizi igienici	1***		
Illuminamento E (lux)			
Spazi per attività su compiti visivi fini (sul piano di lavoro)	300***		UNI 10380
Ambienti uso didattico e svago, uffici (sul piano di lavoro)	200***		
Spazi riunioni, ginnastica ecc. (su piano h=0,60 m dal pavimento); corridoi, scale, servizi igienici, atri, spogliatoi ecc. (su piano h=1,00 m dal pavimento).	100***		
Note : * Valore riferito ad edilizia nuova; ** Valore riferito ad edilizia esistente; *** Valore riferito sia ad edilizia nuova che esistente			

I requisiti raccomandati relativi al benessere visivo sono desunti dalla norma UNI 10380, dal DM 18/12/75, dal DM 2 ottobre 2000 e da altre norme tecniche di paesi europei.

Nello specifico si tratta dei seguenti requisiti:

- Tonalità della luce ed indice di resa dei colori;
- Uniformità di illuminamento;
- Assenza di fenomeni di abbagliamento e contrasto di luminanza;
- Specifici requisiti per gli ambienti in cui si usano videotermini.

### Requisiti relativi al benessere respiratorio olfattivo e Qualità dell'Aria Indoor

Il controllo della ventilazione degli spazi chiusi è uno dei requisiti fondamentali ai fini del soddisfacimento dell'esigenza di benessere, ed in particolare di quello respiratorio-olfattivo, nonché di qualità dell'aria interna intesa come livello di concentrazione accettabile di singole e/o classi di sostanze inquinanti. In ambiente scolastico il requisito si intende soddisfatto se è assicurata una adeguata qualità, filtrazione e movimentazione dell'aria. Questi requisiti sono riportati

assieme alle portate d'aria esterna sono nella UNI 10339/95.

Tabella 4 - Valori limite di accettabilità relativi al benessere respiratorio olfattivo e la qualità dell'aria interna secondo la proposta di normativa

Parametro	Valore limite
Limiti cogenti	
Portate d'aria esterna	
Scuola materna	$4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s pers.}^{(1)}$
Scuola elementare	$5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s pers.}^{(1)}$
Scuola media inf.	$6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s pers.}^{(1)}$
Formaldeide	0,1 ppm <sup>(2)</sup>
Inquinamento elettromagnetico <sup>(3)(4)</sup>	Induzione e.m.: 0,1- 1 mT
	Campo elettrico: 5-10 kV/m
	distanze minime
	Val. eff. di campo elettrico: 20-60 (V/m)
	Val. eff. di campo magnetico: 0,05-0,2 (V/m)
Limiti raccomandati	
CO <sub>2</sub>	1800 mg/m <sup>3(5)</sup>
CO	13 mg/m <sup>3(6)</sup>
Radon	200-400 Bq/m <sup>3(7)</sup>
NO <sub>2</sub>	$150 \mu\text{g}/\text{m}^3 \div 400 \mu\text{g}/\text{m}^3^{(8)}$
SO <sub>2</sub>	$500 \mu\text{g}/\text{m}^3 \div 350 \mu\text{g}/\text{m}^3^{(8)}$
O <sub>3</sub>	$150-200 \mu\text{g}/\text{m}^3 \div 100-120 \mu\text{g}/\text{m}^3^{(8)}$
particolato	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TSP <sup>(6)</sup>
Fibre minerali ed art. (MMMF)	Linee Guida per l'uso <sup>(9)</sup>
Composti Org. Volatili (VOC <sub>totali</sub> )	$300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\Sigma \text{Ci}/\text{Ci} < 1^{(6)}$

(1) UNI 10339; (2) Circ. Min. San. 57/83; (3) D.P.C.M. 23/04/92; (4) DM n° 381/98; (5) ASHRAE STANDARD 62/1999; (6) Residential Air Quality Guidelines of Canada, H&W Canada, 1987; (7) Raccomandazione EURATOM n. 143 del 21.01.90; (8) World Health Organization (WHO), "Air Quality Guidelines for Europe", 1987; (9) Circ. Min. San. n. 23/91.

Ai fini della qualità dell'aria indoor l'edificio scolastico deve essere concepito e costruito in modo da non costituire una minaccia per l'igiene o la salute degli occupanti, causata, ad esempio, dalla emanazione di gas nocivi, dalla presenza nell'aria di particelle o di gas pericolosi, dall'emissione di radiazioni pericolose, dall'inquinamento o dalla contaminazione dell'acqua o del suolo, da difetti nell'evacuazione delle acque, dai fumi e dai residui solidi o liquidi e dalla formazione di umidità in parti o sulle superfici interne dell'opera. Tale requisito si applica a tutti i prodotti da costruzione fabbricati al fine di essere incorporati o assemblati in modo permanente nell'edificio. Nello specifico deve essere verificato che:

- siano rispettate le norme vigenti in materia di utilizzo di specifici materiali da costruzione, finitura, arredo, ecc, utilizzati all'interno del sistema edificio-impianti a destinazione scolastica;
- i livelli di inquinamento dovuti a sostanze presenti o l'esposizione a specifiche classi di inquinanti risultino al di sotto dei limiti massimi accettabili e comunque siano inferiori ai limiti stabiliti dalle normative vigenti.

A tale scopo, risulta fondamentale rispettare sia gli standard minimi di ventilazione, sia i limiti di concentrazione per le principali sostanze inquinanti dell'aria indoor; questi ultimi suddivisi in requisiti cogenti e raccomandati.

## ANALISI DELLA CONFLITTUALITÀ FRA I REQUISITI

Al fine di valutare gli effetti pratici e l'eventuale compatibilità tra le diverse esigenze esaminate, sono stati ipotizzati tre casi studio corrispondenti ai tre cicli didattici (materna, elementare e media inferiore) per i quali sono stati calcolati i requisiti di natura spaziale sulla base delle indicazioni fornite dal DM 18/12/75. Tali valori hanno dato origine alle specifiche prestazionali da verificare ai fini del soddisfacimento del comfort ambientale, in particolare:

- per il benessere visivo il fattore medio di luce diurna (FLD);
- per il benessere respiratorio olfattivo le portate d'aria esterna;
- per il benessere termoisometrico la velocità massima di immissione dell'aria esterna in ambiente ( $v_{aria}$ );
- per il benessere acustico l'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata ( $D_{2m,nT,w}$ ).

Lo studio è stato condotto ipotizzando un sistema di ventilazione costituito da immissione naturale di aria esterna per mezzo di bocchette posizionate in alto nelle aule (a muro, sopra la finestra o a cassonetto) ed estrazione meccanica dai locali di servizio (corridoio, servizi igienici, ripostigli, etc.).

E' stata quindi verificata la conformità del sistema edificio - impianto con i requisiti relativi al benessere ambientale.

Tabella 5 – Parametri di riferimento adottati

Parametri di riferimento adottati scuola materna		
Caratteristiche degli spazi relativi ad attività didattiche normali (D.M. 18/12/1975):		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• indice standard di superficie: 1,8 m<sup>2</sup>/alunno</li> <li>• numero max alunni per sezione: 30 alunni</li> <li>• altezza di piano: 3m</li> <li>• FLD : 3%</li> </ul>		
Superficie (per 30 alunni)	54 m <sup>2</sup>	
Volume	162 m <sup>3</sup>	
Velocità aria immissione	2-6 m/s	
Superficie finestrata lorda	6,7 m <sup>2</sup>	
<b>Requisiti di ventilazione</b>	<b>UNI 10339/95</b>	<b>D.M. '75</b>
Portata d'aria esterna	$\text{m}^3/\text{s pers}$	vol/h
	$4 \cdot 10^{-3}$	2,5
Portata d'aria di calcolo	0.120 m <sup>3</sup> /s	0.111 m <sup>3</sup> /s
Parametri di riferimento adottati scuola elementare e media inferiore		
Caratteristiche degli spazi relativi ad attività didattiche normali (D.M. 18/12/1975):		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• indice standard di superficie: 1,8 m<sup>2</sup>/alunno</li> <li>• numero max alunni per classe: 25 alunni</li> <li>• altezza di piano: 3m</li> <li>• FLD : 3%</li> </ul>		
Superficie (per 25 alunni)	45 m <sup>2</sup>	
Volume	135 m <sup>3</sup>	
Velocità aria immissione	2 – 6 m/s	
Superficie finestrata lorda	5,6 m <sup>2</sup>	
<b>Requisiti di ventilazione</b>	<b>UNI 10339/95</b>	<b>D.M. '75</b>
Portata d'aria esterna:	$\text{m}^3/\text{s pers}$	vol/h
Scuola elementare	$5 \cdot 10^{-3}$	2,5
Scuola media inferiore	$6 \cdot 10^{-3}$	3,5
Portata d'aria di calcolo:	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$
Scuola elementare	0,125	0,094
Scuola media inferiore	0,150	0,131

Al fine di operare la verifica dei requisiti acustici passivi e

del benessere termoigrometrico (velocità di immissione aria esterna) sono stati assegnati precisi valori di prestazione acustica ai tre principali componenti della facciata esterna dell'aula, mantenendo costanti le prestazioni della muratura e facendo variare quelle della finestra e delle bocchette di immissione dell'aria. Tali prestazioni sono state poi tradotte in forma di soluzioni tecnologiche riportate sinteticamente nella tabella 6.

Tabella 6 – Descrizione sintetica delle soluzioni tecnologiche ipotizzate.

Componente	Cod.	Descrizione	Prestazioni acustiche
muratura	(M)	Blocchi in laterizio allegg. ad "H" con fori riempiti di malta. s = 0,33 m; massa sup: 440 kg/m <sup>2</sup>	R <sub>w</sub> = 56 dB
finestra (classe A1)	(F1) (F2) (F3)	Vetrocamera 4-12-4 Vetrocam.stratificato 4/4-12-6/6 Doppio infisso	R <sub>w</sub> = 32 dB R <sub>w</sub> = 48 dB R <sub>w</sub> = 50 dB
Bocchetta di immissione*	(B1) (B2) (B3)	Su infisso Su cassonetto A muro	D <sub>ne</sub> = 42 dB D <sub>ne</sub> = 41 dB D <sub>ne</sub> = 48 dB

Note: \*Dati desunti da cataloghi di componenti aeraulici

Sulla base di tali ipotesi, è stato calcolato l'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata (D<sub>2m,nT,w</sub>) sia per nuova edilizia che per l'esistente, per la quale la proposta di normativa propone un valore inferiore (tabella 2).

La verifica è stata condotta sulla base dei requisiti minimi di ventilazione riportati sia nella UNI 10339 sia nel D.M. del 1975.

I valori dell'isolamento acustico di facciata richiesti, il numero massimo di bocchette necessarie ad assicurare la portata d'aria richiesta e la corrispondente velocità dell'aria sono riportati nella tabella 7, per i tre cicli scolastici analizzati.

## CONCLUSIONI

Dall'analisi dei risultati di tabella 7 appare estremamente difficile verificare i valori di isolamento acustico di facciata per la nuova edilizia seppure con componenti ad alte prestazioni fonoisolanti. Per gli interventi di recupero di edifici esistenti, il valore di 40 dB sembra invece possa essere raggiunto anche alternando componenti ad elevate prestazioni, quali la muratura esterna che presenta un potere fonoisolante pari a 56 dB, con altri a prestazioni più modeste, quali finestre con vetrocamera e bocchette ad inferiore protezione acustica.

In ogni caso il valore della velocità di immissione dell'aria in ambiente deve essere mantenuto al di sotto dei 6 m/s per evitare eccessivo rumore aerodinamico provocato dalle bocchette stesse, correnti d'aria fastidiose e conseguente discomfort agli occupanti. Per gli edifici nuovi, aventi altezze non superiori a 3 metri, la velocità di immissione non deve superare i 4 m/s.

Tabella 7 – Verifica della conformità del sistema edificio impianto alle prestazioni ambientali richieste

Materna	Elementare	Media inferiore	
Nuova edilizia			
M+F2+B3 48 dB 5 6 m/s 5,4 m/s	M+F2+B3 48 dB 4 <b>8 m/s</b> 5,7 m/s	M+F2+B3 48 dB 4 <b>9 m/s</b> <b>7,9 m/s</b>	Elementi facciata D <sub>2m,nT,w</sub> n° bocchette V <sub>aria</sub> – UNI 10339 V <sub>aria</sub> – DM/75
Edilizia esistente			
M+F1+B3 40 dB 8 3,6 m/s 3,4 m/s	M+F1+B3 40 dB 8 3,8 m/s 2,8 m/s	M+F1+B3 40 dB 8 4,5 m/s 4 m/s	Elementi facciata D <sub>2m,nT,w</sub> n° bocchette V <sub>aria</sub> – UNI 10339 V <sub>aria</sub> – DM/75
M+F3+B2 40 dB 7 4,2 m/s 3,8 m/s	M+F3+B1 40 dB 8 3,6 m/s 3,4 m/s	M+F3+B1 40 dB 7 5,2 m/s 4,5 m/s	Elementi facciata D <sub>2m,nT,w</sub> n° bocchette V <sub>aria</sub> – UNI 10339 V <sub>aria</sub> – DM/75

Il problema in questione potrebbe comunque essere controllato mediante l'uso di opportuni sistemi di regolazione della gettata della bocchetta (getti orientabili).

Da tali risultati si evince come la gestione ed il raggiungimento contemporaneo dei requisiti ambientali richiesti sia di difficile risoluzione dove si vogliono sfruttare al massimo le potenzialità della ventilazione naturale.

In osservanza ai valori limite stabiliti, pare difficile soddisfare con la sola ventilazione naturale i ricambi d'aria richiesti (tabella 5) e pertanto sembra quasi obbligatoria l'adozione di impianti per la ventilazione meccanica forzata.

Si rileva infine come le problematiche aumentino nel passaggio da cicli didattici inferiori a cicli superiori, dove non si può più rinunciare a sistemi abbastanza complessi di controllo del microclima e del benessere respiratorio olfattivo a fronte degli elevati ricambi d'aria orari richiesti dalle normative.

## BIBLIOGRAFIA

1. D.M. 18/12/1975 "Norme tecniche aggiornate relative alla Edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica"
2. DPCM 5/12/97 "Requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti"
3. UNI 10380, "Illuminotecnica, illuminazione di interni con luce artificiale", 1999
4. UNI 10339, "Impianti aeraulici a fini di benessere", 1995
5. EN 1264 Floor heating – Systems and components – 1994.
6. UNI EN ISO 7730 Ambienti termici moderati-determinazione degli indici PMV e PPD e condizioni di comfort termico – 1997.