

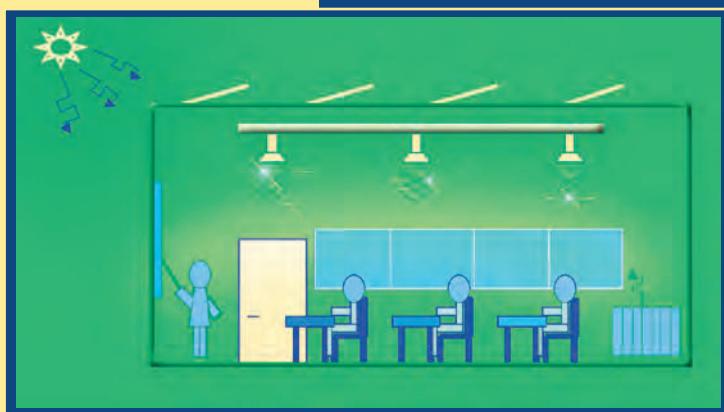
Francesca R. d'Ambrosio Alfano (ed.)
Laura Bellia, Atze Boerstra, Froukje van Dijken,
Manuel Carlos Gameiro da Silva,
Elvira Ianniello, Gino Lopardo,
Francesco Minichiello, Piercarlo Romagnoni

16

AMBIENTE INTERNO ED EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI SCOLASTICI

Parte 1 Fondamenti

Traduzione a cura di
Elvira Ianniello



INDICE

Capitolo 1 - Comfort ambientale e sostenibilità energetica	1
1.1 - Introduzione	1
1.2 - Attenzione dell'UE verso il risparmio energetico negli edifici residenziali.	2
Capitolo 2 - Aspetti del comfort globale	5
2.1 - Qualità dell'ambiente interno.	5
2.1.1 - Comfort termico	6
2.1.2 - Qualità dell'aria interna	6
2.1.3 - Comfort acustico	7
2.1.4 - Comfort visivo	7
2.2 - Importanza di una buona IEQ nelle scuole	7
2.2.1 - Ambiente interno, asma ed allergie.	8
2.2.2 - Apprendimento e produttività	8
2.2.3 - Assenze per malattia	10
2.3 - Comfort termico.	11
2.3.1 - Comfort termico globale.	15
2.3.2 - Discomfort termico locale.	17
2.3.3 - Classificazione degli ambienti.	20
2.3.4 - Valutazione soggettiva del comfort termico	20
2.3.5 - Approccio adattativo al comfort termico	21
2.4 - Qualità dell'aria interna	22
2.4.1 - Inquinanti.	23

2.4.2 - Calcolo dettagliato basato sul metodo analitico per la determinazione della concentrazione di CO ₂	24
2.4.3 - Formulazione matematica per la descrizione dell'evoluzione temporale della concentrazione di un inquinante in un ambiente mono-zona	28
2.4.4 - Valutazione della IAQ	29
2.4.5 - Classificazione degli ambienti	31
2.4.6 - Migliorare la IAQ negli edifici	31
2.4.7 - Uso di uno strumento di calcolo di simulazione	35
2.5 - Comfort acustico	38
2.5.1 - Principali effetti dell'esposizione al rumore	39
2.5.2 - Effetti del rumore sugli studenti	39
2.5.3 - Effetti del rumore sui docenti	40
2.5.4 - Indicatori	40
2.5.5 - Norma UNI EN ISO 9921	43
2.5.6 - Norma IEC 60268-16	43
2.5.7 - Norma ANSI S3.5-1997	44
2.5.8 - Linee guida	44
2.6 - Comfort visivo	45
2.6.1 - Illuminazione, prestazioni e salute	45
2.6.2 - Norma EN 12464-1	52
2.6.3 - Compiti visivi generali e specifici in ambiente scolastico	58
 Capitolo 3 - Risparmio energetico e comfort globale	 61
3.1 - Introduzione	61
3.2 - Impatto delle scelte di risparmio energetico sul comfort globale	61
3.3 - Norma UNI EN 15251	62
3.3.1 - Criteri di progetto per il dimensionamento degli impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione naturale e meccanica degli edifici	64
3.3.2 - Parametri dell'ambiente interno per calcoli energetici	68
3.3.3 - Valutazione dell'ambiente interno ed indicatori di lungo termine	69
3.3.4 - Ispezioni e misure della qualità dell'ambiente interno in edifici esistenti	69
3.3.5 - Classificazione e certificazione dell'ambiente interno	69
 Capitolo 4 - Impianti HVAC	 71
4.1 - Considerazioni generali e ambienti scolastici tipici	71
4.2 - Criteri di progettazione	72
4.2.1 - Controllo dell'umidità	76
4.3 - Carichi termici	77
4.4 - Impianti HVAC e apparecchiature in edifici scolastici: tipologie e criteri di scelta	78
4.4.1 - Classificazione degli impianti HVAC	79
4.5 - Apparecchiature e impianti HVAC in edifici scolastici nuovi	84
4.5.1 - Scelta degli impianti più idonei per edifici scolastici nuovi	85
4.5.2 - Impianti ad aria esterna dedicati (DOAS)	88
4.5.3 - Diffusione dell'aria nelle scuole - Ventilazione a miscelazione, a dislocamento, distribuzione sottopavimento.	89

4.6 - Impianti HVAC in edifici scolastici esistenti: tipologie e criteri di recupero	91
4.7 - Problematiche di deumidificazione in condizioni di carico parziale estivo	92
4.8 - Sistemi di controllo automatico e criteri di risparmio energetico per gli impianti HVAC negli edifici scolastici	92
4.9 - Centrali termo-frigorifere	95
4.10 - Manutenzione	96
 Capitolo 5 - Consumi energetici	99
5.1 - Introduzione	99
5.2 - Metodi di valutazione dei consumi energetici per edifici nuovi	100
5.2.1 - Metodi per la stima del fabbisogno di energia primaria	100
5.2.2 - Procedura di calcolo	100
5.3 - Metodologie di riferimento per la valutazione dei consumi e per la valutazione energetica di edifici esistenti	104
5.4 - Valutazione dell'energia primaria	107
5.5 - Considerazioni energetiche sulle scuole	108
 Capitolo 6 - Casi Studio	113
6.1 - Valutazione della IEQ in un edificio scolastico italiano	113
6.2 - Un edificio scolastico ristrutturato con sistema di ventilazione naturale e impianto di estrazione meccanico	122
6.3 - Aula scolastica rinnovata con un impianto di ventilazione a dislocamento	129
6.4 - Scuola Poikkilaakso, Helsinki, Finlandia	136
 Bibliografia	143
 Indice analitico	149

CAPITOLO 1

COMFORT AMBIENTALE E SOSTENIBILITÀ ENERGETICA

1.1 - Introduzione

In questi ultimi anni la progettazione per la costruzione di nuovi edifici o per il recupero di edifici esistenti si va sempre più orientando verso il conseguimento del benessere delle persone; in quest'ottica, materiali da costruzione, impianti e componenti stanno diventando sempre più avanzati e sofisticati al fine di mantenersi al passo con le richieste della committenza. Tutto ciò sta accadendo perché le persone hanno sempre maggiori esigenze per quanto riguarda le prestazioni dell'ambiente interno, nel quale esse trascorrono la maggior parte della giornata, e che pertanto dovrebbe essere quanto più confortevole possibile in termini di qualità ambientale interna. La IEQ (Indoor Environmental Quality) misura l'insieme delle condizioni di comfort termoisometrico, visivo, acustico e di qualità dell'aria interna.

È chiaro che la sicurezza rappresenta l'aspetto più importante nel progetto di costruzione e/o recupero di un edificio, ma bisognerebbe sempre ricordare che lo scopo finale è quello di far stare bene le persone all'interno dell'edificio. A questo proposito, va sottolineato che è ormai universalmente riconosciuto che una scarsa qualità ambientale influisce sulla salute delle persone, ma procura anche danni non fisici: si pensi alla perdita di concentrazione in ambienti rumorosi o agli effetti sulla produttività e sulla prestazione dovuti a una qualità dell'aria scarsa.

La progettazione, le tecniche, i materiali e la normativa si stanno sviluppando in questa direzione: quando si progetta un nuovo edificio o quando viene recuperato un edificio esistente, va considerato un numero di aspetti maggiore rispetto a quanto si faceva in passato, al fine di soddisfare i requisiti di sicurezza, di risparmio energetico, di manutenibilità, di sostenibilità e di comfort degli occupanti. Comunque, la progettazione non è il solo aspetto da considerare, in quanto la conduzione degli impianti e la loro manutenzione sono altrettanto importanti; infatti, efficienza energetica e comfort sono strettamente legati all'utilizzazione dell'edificio e dei suoi impianti. Per esempio, un impianto ben progettato e potenzialmente molto efficiente, se gestito male o non correttamente mantenuto, può causare sprechi di energia non previsti.

Per soddisfare tutti i requisiti di cui sopra, è necessario un approccio integrato al progetto degli edifici scolastici e dei relativi impianti, che tenga in considerazione tutte le variabili in gioco, spesso in relazione tra loro (d'Ambrosio Alfano *et al.*, 2006).

1.2 - Attenzione dell'UE verso il risparmio energetico negli edifici residenziali

La Direttiva del Parlamento Europeo 2002/91/CE e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sulle prestazioni energetiche degli edifici, anche nota come EPBD (Energy Performance Building Directive), nasce dalla sempre maggiore richiesta di energia e dalle conseguenze delle crisi energetiche che si sono susseguite negli anni.

Uno degli aspetti più rilevanti sottolineati nell'introduzione della Direttiva è il fatto che *l'energia impiegata nel settore residenziale e terziario, composto per la maggior parte di edifici, rappresenta oltre il 40 % del consumo finale di energia della Comunità. Essendo questo un settore in espansione, i suoi consumi di energia e quindi le sue emissioni di biossido di carbonio sono destinati ad aumentare* (Unione Europea, 2002). Per questo motivo la Comunità Europea ha considerato necessario richiamare l'attenzione degli Stati Membri sul fatto che la gestione del fabbisogno energetico è un importante strumento che consente alla Comunità di influenzare il mercato mondiale dell'energia e quindi la sicurezza degli approvvigionamenti nel medio e lungo termine (Unione Europea, 2002). L'obiettivo della Direttiva 2002/91/CE è la promozione del miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici all'interno della Comunità, tenendo conto del clima esterno e delle condizioni locali, oltre che dei requisiti dell'ambiente interno e dei costi.

La Direttiva sancisce requisiti riguardo a:

- un quadro generale per una metodologia di calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici;
- l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione;
- l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di edifici esistenti di elevata superficie, soggetti a importanti ristrutturazioni;
- la certificazione energetica degli edifici;
- l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia del complesso degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni.

A seguito dell'emanazione della Direttiva, gli Stati Membri hanno dovuto dotarsi di metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici per il progetto e la verifica dei requisiti minimi. In particolare, i nuovi edifici devono soddisfare i livelli minimi di prestazione, mentre gli edifici esistenti che rispondono a certi criteri devono essere ristrutturati in modo da soddisfare i requisiti minimi. Un aspetto importante, spesso sottolineato nel testo della Direttiva, riguarda l'in-

fluenza che certe scelte riguardanti il risparmio energetico possono avere sulla qualità ambientale interna degli edifici. Ad esempio, al punto 8 delle considerazioni introduttive, si legge che gli impianti devono essere progettati e realizzati *in modo da richiedere, in esercizio, un basso consumo di energia, tenuto conto delle condizioni climatiche del luogo e nel rispetto del benessere degli occupanti*. Al punto 16 si trova un esplicito riferimento al comfort termico: gli edifici occupati dalle pubbliche autorità o aperti al pubblico dovrebbero essere un esempio di comportamenti virtuosi rispetto alle problematiche ambientali ed energetiche assoggettandosi alla certificazione energetica a intervalli regolari; i dati sulle prestazioni energetiche vanno resi pubblici affiggendo gli attestati in luogo visibile. *Devono inoltre essere affisse le temperature ufficialmente raccomandate per gli ambienti interni, raffrontate alle temperature effettivamente riscontrate, onde scoraggiare l'uso scorretto degli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione. Ciò dovrebbe contribuire a evitare gli sprechi di energia e a mantenere condizioni climatiche interne confortevoli (comfort termico) in funzione della temperatura esterna.* (Unione Europea, 2002).

Un elemento importante introdotto dalla Direttiva, anche se già previsto dalla L. 10/91, ma mai reso attuale, è il certificato di prestazione energetica di un edificio: gli Stati membri provvedono a che, in fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio, l'attestato di certificazione energetica sia messo a disposizione del proprietario o che questi lo metta a disposizione del futuro acquirente o locatario, a seconda dei casi. La validità dell'attestato è di dieci anni al massimo (Unione Europea, 2002). Gli scopi della certificazione energetica sono il calcolo del consumo energetico o del fabbisogno di energia di un edificio, ai fini della classificazione di quest'ultimo, e la determinazione di misure per il miglioramento delle prestazioni energetiche. Il quadro generale e la metodologia di calcolo sono riportate nell'appendice della Direttiva. In particolare, la metodologia di calcolo deve tener conto almeno dei seguenti aspetti: caratteristiche termiche dell'edificio, impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, impianti di condizionamento, di ventilazione e di illuminazione, posizione dell'edificio e suo orientamento, sistemi solari passivi e schermi solari, ventilazione naturale, condizioni climatiche interne ed esterne. Inoltre, il calcolo deve prendere in considerazione i vantaggi legati all'uso di fonti rinnovabili e di luce naturale. Infine, gli edifici devono essere adeguatamente classificati in categorie. Il certificato di prestazione energetica di un edificio deve includere i valori di riferimento stabiliti dalla legge, per permettere il confronto e la valutazione della prestazione energetica dell'edificio.

Infine, la Direttiva richiede agli Stati Membri di istituire misure atte ad assicurare l'ispezione regolare di caldaie ed impianti di condizionamento.

CAPITOLO 2

ASPETTI DEL COMFORT GLOBALE

2.1 - Qualità dell'ambiente interno

La qualità dell'ambiente interno, anche detta IEQ (acronimo di Indoor Environmental Quality), è legata al comfort globale, definito come insieme di comfort termico, acustico e visivo e di qualità dell'aria interna e dipende da molti fattori, che possono essere suddivisi nelle seguenti categorie:

- condizioni esterne;
- edificio;
- impianti dell'edificio;
- attività umane,

come mostrato in Figura 2.1, dalla quale risulta evidente che l'ottenimento della qualità dell'ambiente interno si realizza non solo attraverso una buona progettazione dell'involucro e degli impianti, ma anche con una gestione e una manutenzione adeguate, oltre che con l'uso responsabile degli impianti da parte degli utenti.

In questi ultimi anni l'interesse per la qualità dell'ambiente interno è andato via via crescendo, anche per le sue ricadute: molti studi hanno dimostrato che vivere in un ambiente confortevole migliora le prestazioni e la produttività degli occupanti (Andersson *et al.*, 2006) ed è universalmente noto che i fattori ambientali interni influenzano i consumi energetici. Va poi ricordato che una scarsa IEQ può comportare problemi di salute, con effetti a breve o a lungo termine, oltre che creare deficit di prestazione; per questi motivi, il problema è molto sentito negli edifici per l'istruzione. In particolare, gli effetti a breve termine insorgono dopo un'esposizione singola o dopo esposizioni ripetute, in genere nell'arco delle 24 ore successive all'esposizione (o al più nel giro di pochi giorni), e sono prevalentemente di breve durata e reversibili; il disturbo può essere spesso eliminato immediatamente rimuovendo la causa.

La mancanza di comfort e/o i problemi legati alla salute causano un incremento delle assenze per malattia e una riduzione di produttività e prestazione, che nel caso delle scuole si può tradurre in difficoltà di apprendimento, con conseguente incremento di costi.

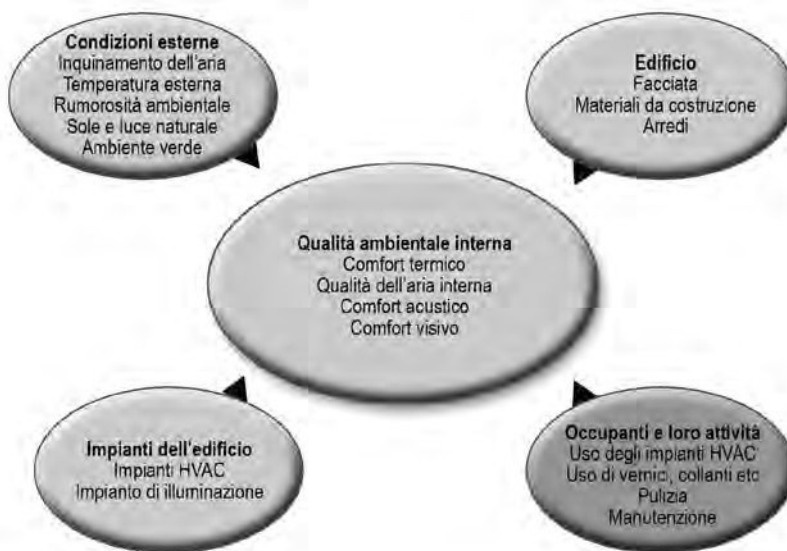


Fig. 2.1 - Fattori che influenzano la qualità ambientale interna.

Nel seguito sono brevemente descritti gli effetti che una scarsa IEQ può determinare sulle persone.

2.1.1 - Comfort termico

Le cause di discomfort termico possono essere:

- alta temperatura;
- bassa temperatura;
- variazioni della temperatura;
- correnti d'aria;
- asimmetrie radianti;
- pavimenti caldi o freddi.

Nel breve periodo, l'esposizione a un ambiente termico non confortevole può portare conseguenze sulla salute. Alcuni esempi sono:

- mal di testa, per esempio associato a temperature basse ed elevate umidità (Bianchi *et al.*, 2003);
- fatica;
- vertigini;
- danni al sistema motorio, per temperature basse.

2.1.2 - Qualità dell'aria interna

L'esposizione a una scarsa qualità dell'aria può comportare discomfort olfattivo, dovuto a odori sgradevoli, e disagio, dovuto ad aria viziata o stagnante.

A breve termine, una scarsa qualità dell'aria può anche influenzare la salute; ad esempio, si può avere irritazione delle mucose (associata a bassi valori dell'umidi-

tà relativa), irritazione degli occhi e della gola, naso chiuso o che cola, mal di testa, vertigini, stanchezza inusuale (particolarmente alla fine della giornata). Nel breve e medio periodo si possono avere anche problemi di salute più seri quali infezioni, per esempio influenza e raffreddori, attacchi di asma, legionellosi (a seguito dell'esposizione ad aerosol infetti con il batterio della Legionella, ad esempio nelle docce delle piscine), avvelenamento da monossido di carbonio (i cui sintomi sono, tra gli altri, mal di testa persistente e sonnolenza); inoltre, si può verificare una sensibilizzazione di coloro che presentano una tendenza genetica all'asma ed alle allergie. Tutto ciò non capita frequentemente negli edifici per l'istruzione.

2.1.3 - Comfort acustico

Il disturbo da rumore può essere causato sia da una cattiva acustica degli ambienti, sia dal rumore proveniente da altre aule, dagli impianti a servizio dell'edificio e dall'esterno (traffico, aree di gioco).

Il disturbo da rumore può provocare:

- riduzione della concentrazione;
- riduzione dell'intelligibilità del parlato;
- problemi vocali.

2.1.4 - Comfort visivo

Il discomfort visivo si può manifestare nelle seguenti condizioni:

- luce naturale o artificiale scarsa;
- luce naturale o artificiale abbagliante;
- visibilità inadeguata.

La luce ha un'influenza anche sulla salute. L'orologio biologico, che regola i processi fisiologici quali il ritmo sonno-veglia, la temperatura corporea e lo stato di allerta, è influenzato dalla luce.

Un'illuminazione scarsa può anche contribuire, ad esempio, a:

- irritazioni oculari;
- problemi al collo e alle spalle;
- affaticamento e mal di testa.

Negli edifici per l'istruzione, una buona illuminazione (dovuta sia a luce naturale che artificiale) assicura che sia la lavagna, sia il compito visivo siano visibili in maniera agevole e confortevole.

2.2 - Importanza di una buona IEQ nelle scuole

La IEQ è molto importante negli ambienti scolastici. I bambini in particolare sono estremamente sensibili a un ambiente interno di scarsa qualità: sono ancora in fase di sviluppo fisico (i loro polmoni, per esempio non sono ancora completamente sviluppati) e, rispetto ai soggetti adulti in salute, soffrono più facilmente delle conseguenze di un ambiente interno inadeguato.

Vari studi hanno dimostrato che la qualità dell'aria interna è scarsa in molti edifici per l'istruzione in tutto il mondo (Daisey *et al.*, 2003; van Dijken *et al.*, 2006). Le scuole sono occupate da un elevato numero di studenti, che produco-

no inquinanti quali la CO₂, il vapor d'acqua, i bioeffluenti e le polveri; inoltre, i componenti degli edifici, gli arredi e le attrezzature contribuiscono al rilascio di inquinanti quali i contaminanti microbici, i composti organici volatili (VOCs), la formaldeide ed i plasticizzanti. Per rimuovere questi contaminanti dall'ambiente interno è necessaria un'adeguata ventilazione. Oltre agli inquinanti, poi, gli studenti cedono all'ambiente energia termica che, in mancanza di un'adeguata ventilazione, provoca l'innalzamento della temperatura dell'aria all'interno dell'aula. È stato dimostrato che l'ambiente termico può influenzare gli studenti non solo in termini di comfort ma anche di salute (Bianchi *et al.*, 2003) e di prestazione scolastica (Mendell e Heath, 2005); per questi motivi è fondamentale la progettazione dell'involucro edilizio e degli impianti, in modo da evitare un ambiente termico non adeguato e sgradevole.

Un buon ambiente acustico negli edifici scolastici è importante, poiché è legato ai compiti principali degli studenti: ascoltare, comprendere ed imparare. Intelligibilità del parlato inadeguata e rumore di fondo troppo elevato possono essere causa di problemi di salute e diminuzione delle prestazioni.

Anche l'ambiente visivo può influenzare molti compiti dello studente e, quindi, le prestazioni. È molto importante prestare la dovuta attenzione al progetto dell'impianto di illuminazione artificiale e alla scelta della posizione e delle dimensioni delle superfici trasparenti, allo scopo di ottenere un adeguato comfort visivo e buone prestazioni rispetto al compito visivo.

2.2.1 - Ambiente interno, asma ed allergie

Spesso si sottostima il numero di bambini con problemi di salute legati all'asma che, a livello mondiale, è la malattia cronica a maggiore incidenza. Uno studio dell'ISAAC ha dimostrato che circa il 25% dei bambini ha disturbi asmatici (dispnea), e circa il 12% disturbi seri (asma); sono state evidenziate anche differenze rilevanti tra nazione e nazione. L'asma è molto frequente anche tra gli adulti.

Una parte significativa di persone che soffrono di asma è anche allergica. Le persone asmatiche e allergiche stanno meglio se si trovano in ambienti salubri, privi di sostanze irritanti nell'aria. Infatti, in un ambiente salubre e pulito, in cui sono assenti allergeni (muffe, allergeni provenienti da gatti, pollini etc.) ed altre sostanze irritanti (si considerino ad esempio i vapori chimici o la polvere nell'aria) l'incidenza di attacchi di asma si riduce notevolmente. Esporre quanto meno possibile i bambini affetti da asma e da altri disturbi delle vie respiratorie ad agenti irritanti riduce lo sviluppo del disturbo, con benefici immediati ed a lungo termine.

Proprio a causa dell'elevata percentuale di bambini in età scolare con problemi asmatici e del numero di insegnanti sensibili, le aule scolastiche ed in generale gli ambienti scolastici dovrebbero essere "a bassa presenza di allergeni".

2.2.2 - Apprendimento e produttività

Molti studi hanno dimostrato che gli studenti imparano e rendono peggio in aule scolastiche con una qualità ambientale scarsa. Nel seguito sono sintetizzati alcuni studi sull'argomento.

Ventilazione

Negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi sulla relazione tra portata di ventilazione e apprendimento (Bakó-Biró *et al.*, 2008; De Gids *et al.*, 2006; Shaughnessy *et al.*, 2006; Wargocki *et al.*, 2005); i risultati di quelli più recenti sono riportati in Figura 2.2, dalla quale si ricava che l'apprendimento decresce rapidamente per portate di ventilazione inferiori a 4 l/s per persona, mentre si mantiene praticamente costante per portate superiori a 10 l/s a persona; va sottolineato tuttavia che i dati sperimentali relativi ad alti valori delle portate sono pochi. Allo stesso risultato sono giunti anche Mendell e Heath (2005), che hanno condotto una ricerca sulla letteratura del settore degli ultimi anni, giungendo alla conclusione che portate di ventilazione ridotte comportano una diminuzione dell'apprendimento.

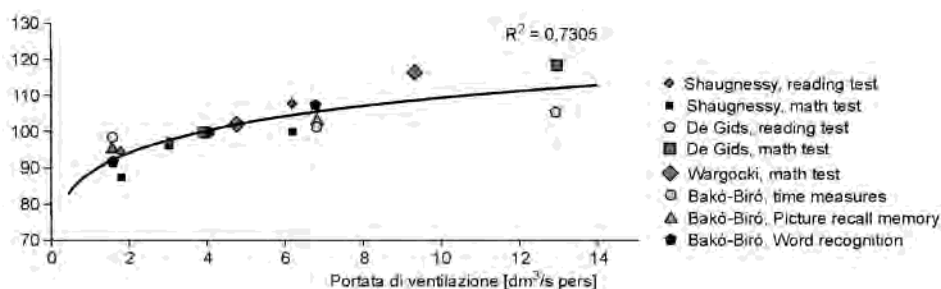


Fig. 2.2 - Relazione tra portata di ventilazione e apprendimento, RP. Da (Franchimon *et al.*, 2009; Jacobs *et al.*, 2007).

Luce naturale

La luce naturale sembra giocare un ruolo importante nelle prestazioni scolastiche, anche se non è ancora stata individuata una precisa relazione. Questo problema è stato studiato da Heschong, che, nel 2002, analizzò le prestazioni scolastiche di un gruppo di studenti degli Stati Uniti occidentali, arrivando alla conclusione che c'è una relazione tra la presenza di luce naturale e la prestazione degli studenti ma senza spiegare come questa si concretizza. Successivamente, nel 2003, Heschong studiò l'influenza della luce naturale sulla prestazione scolastica di studenti in 480 scuole in California, evidenziando, tra l'altro, il ruolo negativo del fenomeno dell'abbagliamento sull'apprendimento; neanche in questo studio è stata evidenziata la relazione tra la luce naturale e le prestazioni scolastiche.

Rumore

In letteratura sono presenti vari studi che evidenziano gli effetti negativi che una cattiva acustica delle aule scolastiche ha sui bambini (Shield e Dockrell, 2003). Tra questi, molti si occupano del rapporto tra rumore all'esterno della scuola e prestazione scolastica, ma in molti casi è stato evidenziato un legame anche tra ambiente acustico interno e punteggio di test standardizzati.

Per quanto riguarda la relazione tra prestazione scolastica e livelli di rumore esterno, quanto più quest'ultimo è elevato, tanto più diminuiscono la capacità di memorizzazione a lungo termine, l'abilità di lettura, la concentrazione in generale e i punteggi sui test di valutazione standardizzati (SAT).

Studi basati su test di abilità di lettura, intelligibilità, identificazione di numeri, lettere e parole e su SAT hanno evidenziato prestazioni superiori da parte di studenti che occupavano ambienti trattati acusticamente rispetto a quelli che occupavano ambienti non trattati.

Comfort termico

Il legame tra temperatura e produttività è stato evidenziato da molti studi, condotti prevalentemente in uffici; si può comunque ipotizzare che negli ambienti scolastici esista una relazione tra temperatura e produttività del personale. Uno studio interessante è costituito dalla meta-analisi condotta da Seppänen *et al* (2005), i cui risultati, riportati in Figura 2.3, hanno dimostrato che la produttività media si riduce di circa il 2% per ogni incremento di temperatura di un grado Celsius al di sopra dei 25 °C.

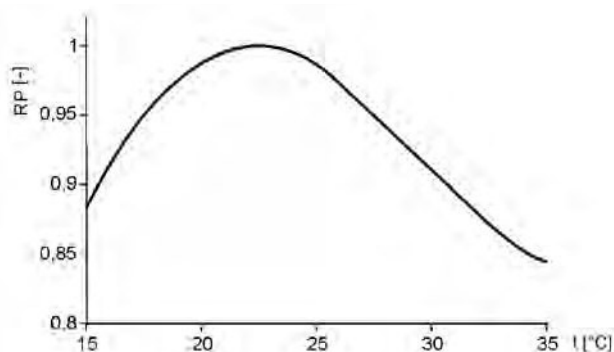


Fig. 2.3 - Influenza della temperatura sulla produttività relativa (RP) condizioni nel caso di lavoro di ufficio. Da (Seppänen *et al.*, 2005).

2.2.3 - Assenze per malattia

Negli ambienti in cui le persone si trovano una accanto all'altra, il rischio di diffusione di infezioni è più elevato che in altri: un esempio classico è dato dalle aule scolastiche, che sono ad alto rischio. Il trasferimento per via aerea di bio-aerosols, che si diffondono nell'aria ad esempio con la tosse e con gli starnuti, è una diffusa causa di contagio delle malattie infettive negli edifici scolastici.

Il ruolo della ventilazione sulla trasmissione degli agenti infettivi è stato studiato da diversi gruppi di ricerca. Li *et al.* (2007), sulla base di una revisione sistematica della letteratura, sono giunti alla conclusione che la trasmissione di infezioni per via aerea può essere prevenuta garantendo un'adeguata ventilazione degli ambienti; questo studio, però, non quantifica le portate di ventilazione necessarie per diminuire il rischio di contagio nelle scuole.

Il gruppo di ricerca di Shendell *et al.* (2004) ha registrato le concentrazioni di anidride carbonica e la presenza degli studenti in oltre 400 scuole americane, rilevan-

GENERIAMO IDEE PER UN'ENERGIA SOSTENIBILE

AiCARR, Associazione italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, contribuendo al progresso delle tecnologie impiantistiche e alla definizione delle normative relative alla produzione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia termica. Nata nel 1960 come costola italiana della prestigiosa associazione statunitense ASHRAE, AiCARR riunisce oggi circa 2000 associati di varia estrazione: progettisti, docenti, installatori e manutentori, aziende produttrici, funzionari di Enti e Agenzie governative, istituzioni territoriali, nazionali e internazionali, studenti e ricercatori. La presenza nelle sedi accademiche e istituzionali dove si progetta il futuro energetico del nostro Paese fa di AiCARR un punto di riferimento essenziale per la definizione delle strategie e delle politiche energetiche e un interlocutore insostituibile per chiunque si occupi di efficienza energetica, qualità ambientale, fonti rinnovabili e uso consapevole dell'energia.

LE COMPETENZE CONDIVISE SONO ALLA BASE DI OGNI PROGRESSO

Accrescere la cultura tecnica del settore e la professionalità dei Soci, condividere know-how, redigere e diffondere linee guida di supporto nella pratica professionale, dare un appoggio concreto al mondo imprenditoriale che si occupa di temi energetici, fornire il proprio contributo in ambito normativo sono i principali impegni che AiCARR svolge attraverso:

- Convegni nazionali e internazionali, webinar, seminari, workshop, tavole rotonde
- Incontri tecnici e visite a impianti e realizzazioni d'avanguardia
- Commissioni di studio e coordinamento di attività tecniche, culturali e normative
- Comitati Tecnici attivi su tematiche specifiche
- Attività congiunte con Associazioni, Università ed Enti italiani ed europei, pubblici e privati

- Gruppi di lavoro creati per dare un supporto operativo alle Istituzioni
- Partecipazione alla definizione di regolamenti, leggi, linee guida e collaborazione alla redazione di normativa tecnica con UNI, CEN e CTI, grazie alla Commissione Tecnica e Normativa.

AGGIORNAMENTO E FORMAZIONE: UN MUST

L'aggiornamento tecnologico e normativo è oggi imprescindibile per professionisti e aziende: in quest'ottica AiCARR offre formazione di alto standard teorico e applicativo attraverso AiCARR Formazione, business unit di AiCARR Educational srl, società certificata ISO 9001:2015.

AiCARR Formazione è provider di CNI e CNPI per i crediti formativi professionali e i suoi corsi, condotti da accademici e professionisti selezionati fra i migliori esperti del settore HVAC&R, sono rivolti a progettisti, tecnici, manutentori, personale tecnico e commerciale di Enti e industrie, studenti e ricercatori.

SE LE IDEE CIRCOLANO, ACQUISTANO PIÙ FORZA

AiCARR pubblica gli atti dei convegni, cura l'edizione delle collane dei volumi tecnici, delle guide e dei vademecum, invia la newsletter quindicinale con le notizie sulle novità associative, editoriali, normative, legislative e di formazione; è distributore esclusivo per l'Italia delle pubblicazioni e norme ASHRAE e applica ai Soci condizioni favorevoli per l'acquisto delle norme CEI e sconti sulle pubblicazioni di importanti editori tecnici.

La biblioteca propone un'ampia selezione di titoli tecnico-scientifici in libera consultazione.

Sul sito www.aicarr.org e attraverso la App, scaricabile da Google Play, è anche possibile consultare articoli tecnici e la rassegna news. Inoltre, i Soci ricevono gratuitamente il periodico AiCARR Journal, organo ufficiale dell'Associazione.

Nata dalla collaborazione con diversi esperti provenienti da varie parti d'Europa (Finlandia, Italia, Olanda e Portogallo), la guida fornisce una panoramica sui principali temi della qualità ambientale interna e dell'efficienza energetica nelle scuole, proponendosi come supporto per i progettisti che vogliono avvicinarsi alla progettazione sostenibile dell'edilizia scolastica.

Nel primo capitolo si affronta la problematica dell'approccio integrato alla progettazione di edifici scolastici, punto di partenza necessario per soddisfare le esigenze di sicurezza, risparmio energetico e comfort.

Nel secondo capitolo sono analizzati i fattori che influenzano la qualità dell'ambiente interno e sono descritti gli effetti negativi che un ambiente scolastico non sano può provocare sugli alunni e sui docenti.

Nel terzo capitolo vengono esaminati i possibili problemi che possono sorgere dopo determinate scelte energetiche e viene analizzato il contenuto del recente standard UNI EN 15251.

Il quarto capitolo è dedicato all'analisi delle tipologie tipiche di ambienti presenti nelle scuole e ai criteri di progettazione dei sistemi HVAC per ciascuna di esse, con un particolare focus sul calcolo dei carichi termici.

Nell'ultimo capitolo è contenuta una panoramica sulle metodologie di valutazione del consumo energetico per le nuove e vecchie costruzioni.

La sezione "Casi studio" propone la valutazione della qualità ambientale interna di quattro edifici scolastici, uno italiano, due olandesi ed uno finlandese.

Elvira Ianniello, che è tra gli autori della linea guida REHVA oltre che il traduttore in lingua italiana, si è laureata con lode in Ingegneria Meccanica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli Federico II, con una tesi sulla progettazione e la verifica sperimentale di silenziatori dissipativi negli impianti HVAC. Ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria delle strutture e del recupero edilizio ed urbano presso l'Università di Salerno con una tesi sul comfort globale ed il risparmio energetico nel recupero degli edifici. Dal 2007 è Tecnico Competente in Acustica Ambientale.

Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIIN) dell'Università degli Studi di Salerno si occupa, dal 2008, di risparmio energetico in edilizia nel rispetto della qualità globale indoor, di prove sperimentali sul campo nel settore del microclima e dell'umidità nelle murature. Come libero professionista si occupa di progettazione termo-acustica e di certificazione energetica degli edifici.

È socio AICARR. Nel 2010 è stata segnalata al premio biennale AICARR Roberto Sanguineti.

AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, è un'associazione culturale no profit. Dal 1960 crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, occupandosi di uso consapevole dell'energia e delle risorse naturali e di innovazione delle infrastrutture energetiche, sia nel settore impiantistico che in quello edilizio. AiCARR conta oltre 2.600 Soci fra progettisti, costruttori di macchine, installatori, manutentori, accademici, ricercatori, studenti, funzionari di Enti e

Agenzie governative e di istituzioni nazionali e internazionali.

La Collana AiCARR propone testi tecnici elaborati da Soci e selezionati dalla Commissione Editoria AiCARR, traduzioni di Linee Guida pubblicate da associazioni internazionali quali REHVA e ASHRAE e le Guide AiCARR realizzate dai Comitati Tecnici dell'Associazione.

AiCARR - Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione - www.aicarr.org

CODICE AES

www.editorialedelfino.it

ISBN 978-88-97323-05-1



Euro 25,00

Questo volume, approvato dal bilancio
e da considerare come ADAPTO - CAMPIONE GRATUITO - fuori commercio
(vendita e altri atti di disposizione vietati art. 17, c. 2, L. 633/1941).
Esente da IVA (D.P.R. 26/10/1972, n. 633, art. 2, lett. g).
Esente da bolli di accompagnamento (D.P.R. 6/10/1978, n. 627, art. 4, n. 9).

ELVIRA IANNIELLO
AMBIENTE INTERNO ED EFFICIENZA
ENERGETICA NEGLI AMBIENTI SCOLASTICI
ISBN 978-88-97323-05-1