

## EDIFICI PASSIVI

### Edifici scolastici passivi: progettazione\*

Di Oliver Kah, Passivhaus Institut, traduzione Uwe Wienke

(08-11-2007) Da circa 15 anni, nel settore dell'edilizia residenziale, si costruiscono anche edifici passivi. L'applicazione del concetto "edificio passivo" è però vantaggioso anche nel settore dell'edilizia scolastica, se si considera la densità di occupazione delle aule e l'elevato ricambio d'aria che ne risulta. Una buona qualità dell'aria nelle aule, durante le lezioni, può essere mantenuta, con maggiore garanzia, solo con la ventilazione meccanica controllata che, negli edifici passivi, è un elemento indispensabile. Nel corso del Convegno internazionale sugli edifici passivi sono stati trattati alcuni aspetti fondamentali che riguardano la realizzazione dello standard "Passivhaus" in edifici scolastici.

#### 1. Lo standard "Passivhaus" vale anche per le scuole?

Diverse ricerche dimostrano che, durante le lezioni, una buona qualità dell'aria nelle aule scolastiche densamente occupate può essere ottenuta solo mediante la ventilazione meccanica controllata. ([Pfluger 2006], [Weinländer 2000], [OÖ 2003]). In Danimarca ed in Finlandia, ormai già da diverso tempo, gli impianti di ventilazione nelle scuole sono resi obbligatori dai regolamenti edilizi [BR 1995]. In considerazione di questo fatto, l'impianto di ventilazione, come componente principale dell'impiantistica degli edifici passivi, assume nelle scuole una particolare rilevanza. Dotandola di un isolamento termico molto efficiente e di una ventilazione meccanica controllata con recupero di calore, una scuola diventa edificio passivo. Con questi provvedimenti si può ottenere un risparmio energetico del 75% rispetto al consumo consentito dalla legge tedesca sul risparmio energetico negli edifici [EnEV]. Generalmente si ritiene che gli edifici scolastici debbano essere dei modelli da seguire e a cui fare riferimento. Una scuola, costruita secondo i criteri dell'edilizia ecologica, è un esempio di tutela ambientale pratica, un tema didattico ed, inoltre, un fabbricato che offre ottime condizioni climatiche.

#### 2. Particolarità dell'uso scolastico

La tabella 1 mostra alcuni parametri di edifici di uso differente. La caratteristica particolare di una scuola è l'elevata occupazione durante un limitato numero di ore del giorno.

	Residenziale	Amministrativo	Scuola (lezioni solo alla mattina)	Scuola (lezioni alla mattina e al pomeriggio)
		Ufficio	Aula	Aula
Occupazione m <sup>2</sup> /persona	35	10	2	2
Ore di occupazione h/a	8760	2600	1100	1900
Ricambio d'aria max. h <sup>-1</sup>	0,5	1,3	2,3	2,3
Apporti interni di calore (W/m <sup>2</sup> )	2,1	3,1	2,6	3,2

**Tabella 1 - Usi a confronto**

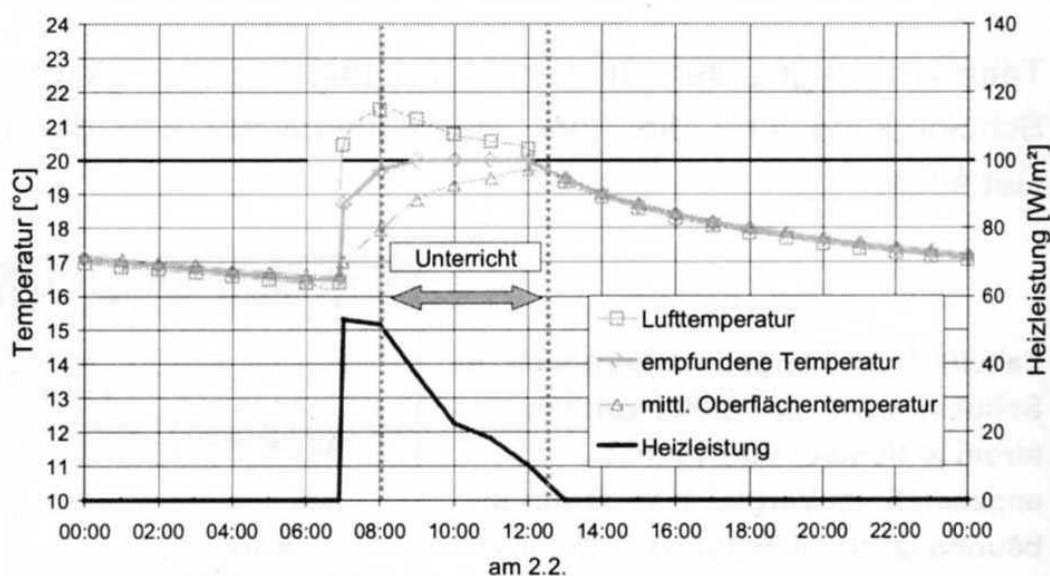
### 3. Lo standard "edificio passivo" applicato ad una scuola

In una scuola in cui le lezioni si tengono solo di mattina, le ore di lezione occupano solo il 17% del periodo di riscaldamento. Il funzionamento dell'impianto di ventilazione deve essere pertanto regolato in riguardo a questo orario. Nel caso di un esercizio continuo - così come avviene di solito in ambienti abitativi - il consumo d'energia primaria, dovuto al consumo di elettricità del sistema di ventilazione e alle perdite di calore per ventilazione, sarebbe del doppio delle perdite che nel caso di ventilazione convenzionale tramite le finestre. In edifici scolastici, la ventilazione deve funzionare a regime intermittente. Ciò significa che il regime di riscaldamento deve essere regolato secondo l'orario scolastico. Il denaro così risparmiato può essere investito in un migliore isolamento termico che contribuisce ad un ulteriore risparmio energetico.

L'isolamento termico dell'edificio scolastico passivo dovrebbe ridurre le perdite di calore in maniera tale che l'edificio possa essere riscaldato con l'aria post-riscaldata in entrata. Questo riscaldamento è facile da ottenere durante le lezioni. Nel caso di un ricambio d'aria di circa  $2 \text{ h}^{-1}$  e un possibile post-riscaldamento dell'aria fino a  $50^\circ\text{C}$ , alle aule può essere fornita una potenza di  $60 \text{ W/m}^2$ .

Più difficile è invece il riscaldamento dopo un abbassamento notturno della temperatura. Per portare la temperatura al livello desiderato durante le lezioni, prima si dovrebbe ricambiare il volume d'aria due volte [prEN 15251]. Questo pre-riscaldamento è necessario per motivi di igiene, ma dovrebbe essere sufficiente per portare la temperatura dell'aria al livello desiderato. Si può quindi dire che:

l'isolamento termico di un edificio scolastico dovrebbe essere tale che il riscaldamento e il raggiungimento della normale temperatura dopo l'abbassamento notturno siano possibili tramite il volume d'aria riscaldata in entrata, necessario dal punto di vista di igiene.



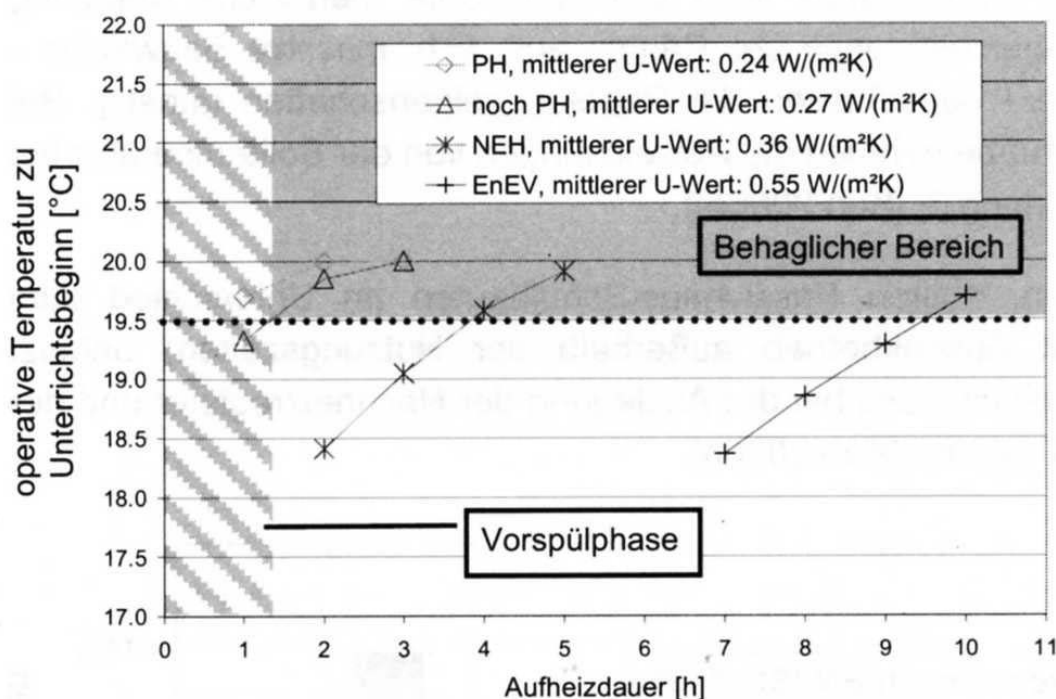
**Figura 1 - Andamento della temperatura in un'aula scolastica durante la fase di riscaldamento. Standard energetico: edificio passivo.**

Unterricht = lezioni; Lufttemperatur = Temperatura dell'aria; empfundene Temperatur = temperatura percepita; mittl. Oberflächentemperatur = Temperatura media di superficie; Heizleistung = potenza termica

Dopo l'abbassamento notturno della temperatura, all'inizio delle lezioni, la temperatura dovrebbe essere nuovamente quella desiderata per il comfort termico. In un edificio scolastico passivo, questo deve essere realizzabile con l'aria calda nel corso della fase di pre-ricambio (figura 1). Nel caso di insufficiente isolamento termico, l'abbassamento notturno della temperatura interna sarebbe troppo grande e il periodo di pre-ricambio risulterebbe insufficiente per ristabilire la temperatura desiderata prima delle lezioni.

In studi parametrici sullo standard di isolamento termico [Kah 2006a], da questo criterio è stato dedotto lo standard energetico di un edificio scolastico passivo:

Anche per un edificio scolastico passivo vale il criterio dei 15 kWh/(m<sup>2</sup>a), stabilito per edifici passivi residenziali.



**Figura 2 - Durata del riscaldamento in edifici di differente standard energetico**

Operative Temperatur zu Unterrichtsbeginn = temperatura operativa all'inizio delle lezioni; Aufheizdauer = periodo necessario per raggiungere la temperatura desiderata; Behaglicher Bereich = Campo di benessere termico; Vorspülphase = prefase del riscaldamento; PH, mittlerer U-Wert = valore U medio di edifici passivi; noch PH, mittlerer U-Wert = valore U medio di edifici passivi; NEH, mittlerer U-Wert = valore U medio di edifici a basso consumo energetico; EnEV, mittlerer U-Wert = valore U medio di edifici che corrispondono alla norma tedesca EnEV.

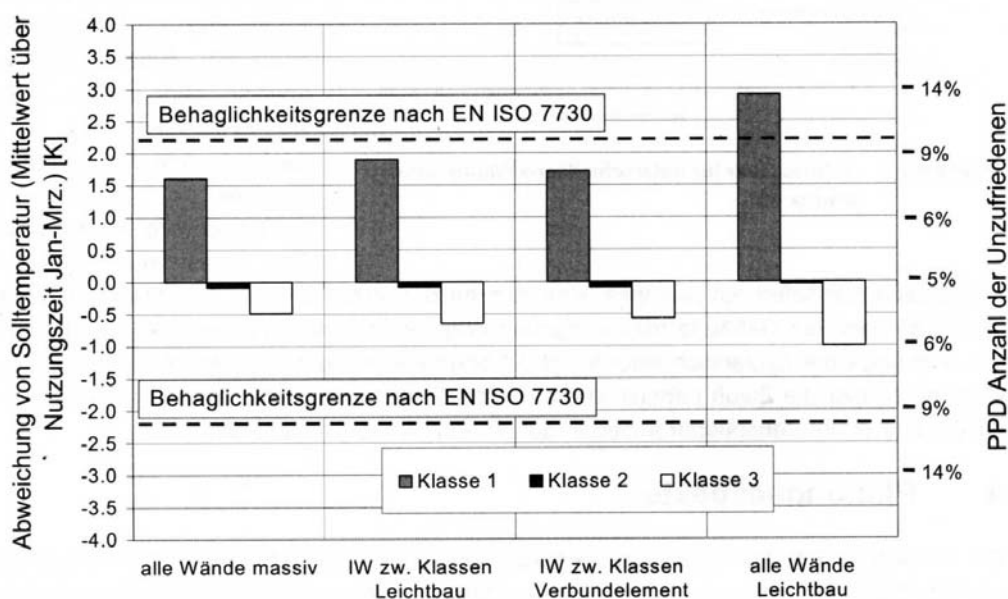
A differenza all'edilizia residenziale, un edificio scolastico con un isolamento termico meno pesante può essere riscaldato mediante l'aria in entrata, ma occorre un periodo di pre-ricambio notevolmente più lungo per raggiungere la temperatura desiderata. Un difetto di questo regime è il maggior consumo energetico dei ventilatori che si rispecchia poi nel bilancio d'energia primaria.

## 2. Aspetti progettuali

La ventilazione nelle scuole dovrebbe avvenire in rapporto alle persone presenti e i reali bisogni. L'analisi di diversi studi [Pfluger 2006] conduce ad un ricambio d'aria consigliato tra 15 e 20 m<sup>3</sup>/(h e studente). Tassi di ricambio d'aria come indicato dalla DIN EN 13779 per ottenere una qualità d'aria media-alta (30-45 m<sup>3</sup>/(h, persona)), in certe giornate invernali, possono causare, nelle scuole, valori di

umidità relativa troppo bassi. Per una ventilazione naturale in estate bisogna disporre di un sufficiente numero di finestre apribili (le ore di funzionamento dell'impianto di ventilazione dovrebbero essere limitate al minimo indispensabile). In estate, l'impianto di ventilazione dovrebbe funzionare a regime ridotto o essere disattivato. (N.d.T.: questa affermazione non ha valore in paesi mediterranei dove, in estate, occorre un raffreddamento attivo nelle scuole), In aule sovraffollate (oltre il normale) e in caso di lavori durante i quali sono emessi cattivi odori, si dovrebbe avere l'opportunità di procedere ad una ventilazione supplementare tramite apertura delle finestre.

Con il post-riscaldamento dell'aria in entrata e della distribuzione dell'aria calda mediante il sistema di canali dell'impianto di ventilazione, si può rinunciare a corpi riscaldanti e ad un secondo sistema distributivo. Secondo le esperienze, se ne può trarre un vantaggio economico se con un calorifero centrale possono essere riscaldati contemporaneamente una serie di locali risparmiando così un certo numero di corpi riscaldanti. Fattori favorevoli per il riscaldamento sono il raggruppamento compatto delle aule ed un'elevata massa inerte che possa accumulare calore; in altre parole: una tipologia edilizia pesante, e, di particolare vantaggio, pareti divisorie massicce. In caso di tipologie più leggere e di un'occupazione solo parziale di un gruppo di aule, aumentano le deviazioni dalla temperatura di progetto (Figura 3, [Kah 2006a]).



**Figura 3 – I risultati della simulazione di un gruppo di tre aule. Solo l'aula 1 è occupata. Il calorifero è regolato in riguardo al fabbisogno dell'aula 2**

Abweichung von Solltemperatur = differenza dalla temperatura di progetto; Nutzungszeit (Jan-Mrz) = Periodo d'esercizio (gen-mar); Behaglichkeitsgrenze nach EN ISO 7730 = Limite del campo di benessere termico secondo EN ISO 7730; Anzahl der Unzufriedenen = numero delle persone insoddisfatte; Klasse = aula; alle Wände massiv = tutte le pareti pesanti; IW zw. Klassen Leichtbau = pareti divisorie leggere tra le aule; IW zw. Klassen Verbundelement = pareti divisorie tra le aule in elementi composti; alle Wände Leichtbau = tutte le pareti in costruzione leggera

A differenza di edifici passivi residenziali, quelli scolastici dovrebbero essere riscaldati a regime intermittente (riduzione del riscaldamento nelle ore senza lezioni). Bisogna tener conto della necessaria potenza supplementare di riscaldamento nel dimensionamento del calorifero [Kah 2006b].

Il regime intermittente porta ad una temperatura interna media inferiore a quella di progetto e, con l'abbassamento della temperatura, si riducono anche le perdite di

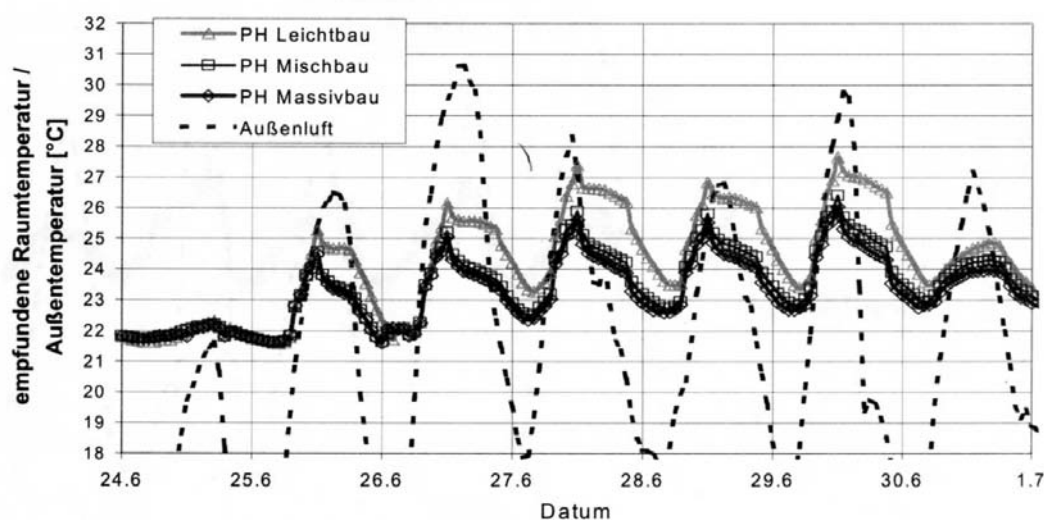
calore. Progettando con il software [PHPP 2004], che usa un metodo di bilancio energetico in condizioni stazionarie, si può scegliere una temperatura interna media ridotta. Questa possibilità è stata accertata mediante simulazioni dinamiche [Kah 2006a].

Orario scolastico		Tipologia edilizia pesante	Tipologia edilizia leggera
Ore 7.00 - 14.00	$\Delta\theta$	-1,0 K	-1,0 K
Ore 7.00 - 18.00	$\Delta\theta$	- 0,6 K	- 0,6 K

**Tabella 2: Determinazione della temperatura media interna nel caso di una progettazione con un metodo di calcolo termico in condizioni stazionarie [PHPP 2004]  $T_{\text{progetto}} + \Delta\theta = T_{\text{media}}$**

#### 4.1 Estate

Nelle aule scolastiche totalmente occupate, risultano carichi termici fino a 50 W/m<sup>2</sup>. La massa inerte dell'edificio, che costituisce un accumulatore intermedio, contribuisce a ridurre il surriscaldamento. La massa inerte, come accumulatore di calore, ha pertanto un'importanza maggiore rispetto a quello che essa ha in edifici residenziali. La figura 4 mostra l'andamento della temperatura durante una settimana particolarmente calda in un edificio passivo con, rispettivamente, struttura pesante, struttura mista e struttura leggera. Tramite una schermatura parasole esterna ed una ventilazione notturna, anche in estate si possono mantenere piacevoli temperature interne (N.d.T.: questa affermazione potrebbe valere solo per l'Europa centrale, ma non necessariamente per i paesi mediterranei). In caso di tipologie edilizie leggere, il picco delle temperature giornaliere interne è di 1 o 2 gradi al di sopra di quello che si registra in tipologie edilizie pesanti. In edifici scolastici passivi, il riscaldamento notturno può avvenire tramite l'impianto di ventilazione (possibilmente con l'ausilio di una ventilazione notturna naturale).



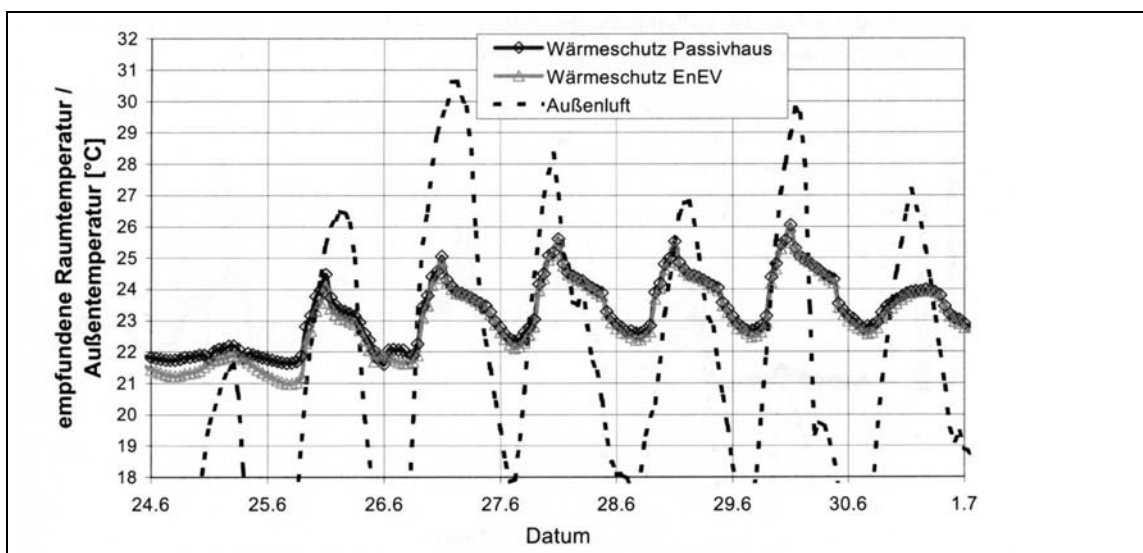
**Figura 4 – Varianti costruttive dell'edificio scolastico passivo. Nel corso della settimana di misurazioni, nella costruzione leggera le oscillazioni giornaliere di temperatura erano più marcate ed i picchi giornalieri della temperatura maggiori di 1-2 gradi.**

Empfundene Raumtemperatur/temperatura esterna = temperatura interna percepita/temperatura esterna; Datum = data; PH = Edificio passivo; Leichtbau = costruzione leggera; Mischbau = costruzione mista; Massivbau = costruzione pesante

Disposizione/orientamento	Aula scolastica nell'attico esposto a Sud
Orario di utilizzo	Dalle ore 8.00 alle ore 13.00, occupazione: sempre presenti 30 studenti
Ventilazione diurna	Dalle ore 7.00 alle ore 14.00
Ventilazione notturna	Dalle ore 22.00, quando la temperatura interna è sopra i 22°C. Ricambio d'aria nelle aule: 2 h <sup>-1</sup>
Schermatura parasole	All'esterno; riduzione del valore g del vetro al 17%
Tipologia edilizia	Pesante: pareti e solai in c.a.. Tetto: costruzione lignea leggera Medio: Parete esterna a telaio di legno Leggera: Parete esterna e pareti interni a telaio in legno. Solai in c.a.
Dati climatici	TRY 12 (corridoio renano superiore)

**Tabella 3: Parametri della simulazione**

Vi sono alcuni che sospettano che il forte isolamento termico degli edifici passivi, in estate, sia uno svantaggio in quanto porta ad un surriscaldamento dei locali. La figura 5 mostra l'andamento delle temperature in due edifici scolastici – uno è dello standard "edificio passivo", l'altro corrisponde alla norma tedesca sul risparmio energetico (EnEV) – in eguali condizioni termiche all'esterno. In ambedue i casi è stata praticata la ventilazione notturna, nell'edificio passivo tramite l'impianto di ventilazione per raffreddare l'edificio, nell'edificio convenzionale tramite apertura delle finestre. L'andamento delle temperature è quasi identico in tutti e due i casi.



**Figura 5 - Andamento della temperatura nel corso di una settimana estremamente calda. La temperatura non supera mai i 26°C nei due casi rappresentati.**

Empfundene Raumtemperatur/temperatura esterna = temperatura interna percepita/temperatura esterna; Datum = data; Wärmeschutz Passivhaus = standard energetico: edificio passivo; Wärmeschutz EnEV = standard energetico: corrispondente alla norma EnEV; Außenluft = Aria esterna

## 5. Riassunto

Una scuola è caratterizzata da una densa, ma relativamente breve occupazione giornaliera. Per la progettazione di una scuola che dovrà avere lo standard energetico di un edificio passivo, valgono alcuni particolari criteri. L'elemento più importante di un edificio passivo, l'impianto di ventilazione, è anche l'unico in grado di garantire, in una scuola, un'ottima qualità dell'aria. Anche la massa inerte che può accumulare calore per un periodo intermedio, ha una funzione significamente più importante di quella che assume in un edificio residenziale. In estate e nella mezza stagione, il benessere termico avvertito è maggiore negli edifici con una grande massa accumulatrice (costruzione pesante), piuttosto che in edifici di tipologia costruttiva più leggera.

I periodi relativamente brevi in cui si tengono le lezioni, e quindi il tempo effettivo di occupazione delle aule, rendono necessario un esercizio intermittente dell'impianto di ventilazione e di riscaldamento. L'edificio scolastico deve essere riscaldabile tramite il post-riscaldamento dell'aria esterna in entrata. Nel caso di regime intermittente, all'inizio delle lezioni, la temperatura e la qualità dell'aria devono essere quelle richieste dal punto di vista dell'igiene e del benessere termico.

Nel dimensionamento del calorifero e del post-riscaldamento bisogna sempre tener conto della potenza necessaria nella fase dopo l'abbassamento notturno. In questo studio si presuppone il riscaldamento dell'edificio tramite il post-riscaldamento dell'aria fresca in entrata. In base alle esperienze, è economicamente vantaggioso che i locali con lo stesso comportamento termico siano serviti dallo stesso calorifero. Tipologie edilizie pesanti rendono più facile la regolazione, perché attenuano le differenze di temperatura tra le aule occupate e quelle vuote.

Negli edifici scolastici passivi, anche in estate permangono piacevoli temperature. Bisogna però predisporre efficienti schermature parasole e provvedere ad una sufficiente ventilazione. Negli edifici con strutture leggere, queste misure devono essere ancora più efficienti.

Anche nella progettazione di edifici scolastici passivi si possono utilizzare software che elaborano bilanci energetici per condizioni stazionarie, per esempio, la PHPP 2004. Gli apporti energetici da fonti interne possono essere determinati forfaitariamente o in maniera specifica per l'edificio in questione. Il funzionamento intermittente dell'impianto di ventilazione comporta temperature medie interne più basse e quindi meno perdite di calore. Vedi fattori di correzione (tabella 2).

Gli studi presentati in merito al tema "Edifici scolastici passivi" sono stati eseguiti nell'ambito del gruppo di lavoro "Edifici passivi economici", co-finanziato con un contributo del Ministero Economia, Mobilità e Sviluppo della Regione Assia.

## 6. Bibliografia

[BR 1995] = Bygningsreglement 1995, [www.retsinfo.dk](http://www.retsinfo.dk), Regolamento edilizio danese

[En 13779] = *Ventilazione in edifici non residenziali – Generalità e requisiti di impianti di ventilazione e di climatizzazione.*

[EnEV] = *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden* = Energiesparverordnung (Legge tedesca sul risparmio energetico in edifici)

[Kah 2006a] = Protokollband Passivhaus-Schulen, Arbeitskreis kostengünstige Passivhauser Phase III, Darmstadt 2006, Beitrag von O. Kah: *Schulen im Passivhaus-Standard: Randbedingungen und Anforderungen*

[Kah 2006b] = Protokollband Passivhaus-Schulen, Arbeitskreis kostengünstige Passivhauser Phase III, Darmstadt 2006, Beitrag von O. Kah: *Schulen im Passivhaus-Standard: Planungsaspekte*

[OÖ] = *Innenraumsituation in OÖ, Pflichtschulen, Berufsschulen und landwirtschaftliche Fachschulen, Erhebungs- und Messprogramm, Endbericht, April 2003*

[Pfluger 2006] = Protokollband Passivhaus-Schulen, Arbeitskreis kostengünstige Passivhauser Phase III, Darmstadt 2006, Beitrag von R. Pfluger: *Messungen zur Luftqualität in Schulen*

[PHPP 2004] = Feist, W., Pfluger, R., Kaufmann, B., Schnieders, J., Kah, O.: *Passivhaus Projektierungs Paket 2004*, Passivhaus Institut Darmstadt, 2004

[prEN 15251] = DIN EN 15251 (bozza di norma) *Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumluftqualität, Licht und Lärm*

[Weinländer 2000] = Weinländer, H., Beck, A., Fricke, J.: Demand Controlled Ventilation in Schools – Energetic and Hygienic Aspects, Proceedings 21st AIVC Annual Conference, „Innovations in Ventilation Technology“, 26-29 September 2000, paper 6 / [www.isoteg.de](http://www.isoteg.de)

\*Oliver Kah, *Passivhaus-Standard bei Schulbauten; Randbedingungen und Planungsaspekte*, in: 10. Internationale Passivhaustagung 2006, Tagungsband, S. 207-213