



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

IAQ e aspetti fisico-tecnici nelle residenze universitarie: criticità e soluzioni progettuali efficienti e sostenibili

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

IAQ e aspetti fisico-tecnici nelle residenze universitarie: criticità e soluzioni progettuali efficienti e sostenibili / Cellai, Gianfranco; Carletti, Cristina; Pierangioli, Leone; Scurpi, Fabio; Secchi, Simone. - CD-ROM. - (2016), pp. 105-116. (Giornata Internazionale Residenze e Servizi per Studenti Universitari Firenze 21 ottobre 2016).

Availability:

The webpage <https://hdl.handle.net/2158/1056185> of the repository was last updated on 2016-10-24T17:21:46Z

Publisher:

Tesis

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)

IAQ E ASPETTI FISICO-TECNICI NELLE RESIDENZE UNIVERSITARIE: CRITICITA' E SOLUZIONI PROGETTUALI EFFICIENTI E SOSTENIBILI

Gianfranco Cellai (Referent), Cristina Carletti, Leone Pierangioli, Fabio Scurpi, Simone Secchi

*University of Florence, Department of Industrial Engineering, Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia gianfranco.cellai@unifi.it
Via San Niccolò 93 – 50125 Firenze,*

Key words

Nearly Zero Energy Building, management cost reduction, noise and lighting control, building physics requirements for university residences, Indoor air quality.

Abstract

The latest standards for energy efficiency of buildings, in force from October 2015, together with the provisions concerning noise and lighting requirements (DM 24.12.2015), lead the designer of residential building in general and of university residence buildings in particular, to address a number of closely interrelated issues, that, if not properly resolved, can create serious problems in terms of building management which are unacceptable from a regulatory point of view even before than from a technical point of view.

In this context, the priority is to take on a correct approach aimed, primarily, at identifying solutions which are consistent; on the one hand, with the reductions of winter and summer thermal loads and, on the other, with the predetermined conditions of thermal comfort and air quality in general.

The reduction of thermal loads concerns the choice of design solutions for opaque and transparent building envelope that both comply with the nZEB (nearly Zero Energy Building) standard and adapt to the expected climate change.

The reduction of thermal loads leads to the possibility of designing HVAC systems which make use low enthalpy renewable energy sources. This approach can reduce management costs to a negligible value if compared to other costs.

Other important critical aspects which are typical of university residences are the control of airborne and structure borne noise transmission, with regard to the present sources and the particular type of users.

In summary, the performance requirement regulations regarding university residences are compared with the building physics regulations applicable to both new buildings construction and existing buildings renovation, in order to produce an inventory of sample compliant technical solutions which have planning and management implications.

1. Introduzione alla problematica e quadro normativo

La progettazione e la riqualificazione di edifici in generale, compreso quelli destinati a residenze universitarie, devono confrontarsi con importanti e stringenti disposizioni legislative emanate a partire dal 2011 e conclusesi alla fine del 2015.

Tali disposizioni [DM n°27/2011; D.lgs n°28/2011; DD.MM 26.06.2015; DM 24 .12.2015] sono sostanzialmente indirizzate al contenimento dei consumi energetici mediante il controllo dei carichi termici, l'efficienza degli impianti, l'obbligo nell'uso di fonti rinnovabili ed infine, nell'ambito di appalti pubblici, nell'adozione di criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici.

Il quadro normativo e legislativo disegnato, unitamente alle disposizioni in materia di requisiti acustici [DPCM 5.12.97; UNI 11367/2010] ed illuminotecnici [DM 05.07.1975; DM 24.12.2015], portano il progettista ad affrontare una serie di problematiche strettamente interconnesse che, se non debitamente risolte, creano criticità insormontabili sul piano progettuale e della gestione dell'edificio e quindi inaccettabili anche sul piano normativo prima ancora che tecnico.

La rilevanza di tali norme è tale da condizionare sensibilmente molti aspetti del tema progettuale in esame e pertanto meritano di essere esaminate evidenziando, per quanto possibile nella sintesi della memoria, le buone pratiche progettuali.

Sintetizzando, sotto il profilo energetico si è consolidata un'azione a tridente:

- 1- prioritariamente si assume un corretto approccio finalizzato ad individuare soluzioni progettuali coerenti con la riduzione dei carichi termici invernali e soprattutto estivi;
- 2- con carichi ridotti si hanno impianti piccoli a bassa entalpia, efficienti e a basso consumo energetico;
- 3- tali impianti sono alimentati per valori superiori al 50% del fabbisogno energetico complessivo (compreso l'acqua calda sanitaria) con fonti energetiche rinnovabili (essenzialmente pompe di calore, solare termico e fotovoltaico),

il tutto improntato a criteri di sostenibilità e attenzione alla conservazione delle risorse ambientali senza trascurare condizioni di benessere e di qualità dell'aria (IAQ) in senso lato.

La riduzione dei carichi termici attiene alla scelta di soluzioni progettuali d'involucro (opaco e trasparente) conformi allo standard nZEB (near Zero Energy Building) ma adatte ai cambiamenti climatici attesi, a partire dal 01.01.2019 per gli edifici pubblici.

Per avere un'idea di cosa rappresenti l'adozione di tali criteri, possiamo considerare che in regime invernale i consumi energetici sono ridotti di oltre 10 volte (da oltre 160 a 16 kWh/m²anno) e si possono considerare trascurabili a fronte dei consumi estivi in assenza di un controllo dell'irraggiamento solare, mentre le fonti rinnovabili dovranno coprire non meno del 50% della somma complessiva dei fabbisogni energetici per la climatizzazione invernale, estiva e acqua calda sanitaria, con tendenza all'autosufficienza energetica ormai a portata di mano.

E' inoltre fatto obbligo dell'uso del solare fotovoltaico a partire da una potenza minima di picco P (kWp) determinata dividendo la proiezione in pianta al suolo del fabbricato per un fattore K=50 (ad es. 1000 m²/50 = 20 kWp corrispondenti all'incirca a 120 m² di pannelli). Nel caso d'installazione di pannelli (termici o fotovoltaici) sulla copertura del fabbricato questi dovranno avere stesso orientamento e pendenza della falda.

Le soluzioni progettuali dovranno inoltre *adattarsi* ai cambiamenti climatici attesi il che richiede ancora maggiore attenzione al regime estivo.

Gli aspetti energetici sono tuttavia subordinati a quelli inerenti al benessere termico, acustico, illuminotecnico e di qualità dell'aria, richiesti espressamente sia dal Decreto n°27/2011 specifico per le residenze universitarie e ancor più recentemente dal Decreto 24.12.2015.

In particolare, e per quanto d'interesse nell'argomento trattato, il DM 27/2011, nell'allegato A al punto 6. *Criteri generali relativi ai requisiti degli interventi di edilizia residenziale per studenti*, indica genericamente le linee guida da seguire nella progettazione e riqualificazione degli edifici, che deve essere improntata a "...una esauriente caratterizzazione del sito (in funzione del clima, disponibilità di fonti energetiche rinnovabili, disponibilità di luce naturale, ecc.) e dei fattori ambientali che possono essere influenzati dall'intervento, in modo da orientare l'intervento stesso al loro rispetto (aria, bilancio idrico e ciclo dell'acqua, suolo e sottosuolo, ecosistemi e paesaggio, aspetti storico tipologici)."

Tali generiche indicazioni trovano oggi esplicita ed analitica conferma nelle norme energetiche richiamate, tra le quali emerge quanto riportato nel DM 24.12.2015 nell'Allegato 1 e che riportiamo per sommi capi nella Tabella 1:

TABELLA 1 – Sintesi delle disposizioni contenute nell'Allegato 1 al DM 24.12.2015 “Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione ristrutturazione e manutenzione di edifici della pubblica amministrazione”	
Esigenza	Prescrizione
2.2.2 Approvvigionamento energetico	Si deve prevedere un sistema (termico ed elettrico) in grado di coprire almeno 50% del fabbisogno mediante uno o più dei seguenti interventi:

	<ul style="list-style-type: none"> - realizzazione di centrali di cogenerazione; - installazione di parchi fotovoltaici o eolici; - collettori solari termici per ACS; - impianti geotermici a bassa entalpia.
2.2.3 Riduzione dell'impatto sul microclima	<ul style="list-style-type: none"> - Superfici permeabili: uso di materiali filtranti (p. es. tetti verdi, superfici verdi, ecc.). - Superfici impermeabili: uso di materiali ad alto indice di riflessione SRI (Solar Reflectance Index): - per i tetti con pendenza > 15% : SRI ≥ 29 - per tetti con pendenza < 15% : SRI ≥ 75 - per altre superfici (p. es. marciapiedi, parcheggi, piazze ecc.) SRI ≥ 29.
2.3.2 Prestazione energetica	<ul style="list-style-type: none"> - L'indice di prestazione energetica globale EPgl deve corrispondere almeno alla classe A2 (consumi compresi tra il 60% e l'80% dell'edificio di riferimento avente valori prestazionali in vigore dal 1.1.2019). - La capacità termica areica interna periodica, calcolata secondo la UNI EN ISO 13786:2008 deve avere un valore di almeno 40 kJ/m²K. - Nelle ristrutturazioni importanti (≥ 2° Livello DM 26.06.15-1) con classe energetica tra E e G: conseguire miglioramento di almeno due classi; - Con classe tra B e D: conseguire miglioramento di almeno una classe.
2.3.4 Risparmio idrico	<ul style="list-style-type: none"> - Recupero acque piovane in base alla UNI/TS 11445 per innaffiamento aree verdi e scarichi sanitari (impianti duali); - Apparecchi sanitari con cassette a doppio scarico (3 e 6 litri).
2.3.5. Illuminazione naturale	<ul style="list-style-type: none"> - fattore medio di luce diurna FLDm > 2%. - superfici illuminanti della zona giorno (soggiorni, sale da pranzo, cucine abitabili e simili) orientate a Sud-Est, Sud e Sud-Ovest. - Le vetrate con esposizione Sud, Sud-Est e Sud-Ovest devono disporre di protezioni esterne progettate in modo da non bloccare l'accesso della radiazione solare diretta in inverno.
2.3.5.2 Aerazione naturale e ventilazione meccanica controllata (VMC)	<ul style="list-style-type: none"> - superfici apribili in relazione alla superficie calpestabile del locale (almeno 1/8 della superficie del pavimento), con numero di ricambi previsto dalle norme UNI10339 e UNI13779. - con impianto VMC questo deve essere di Classe II facendo riferimento alla norma UNI 15251:2008.
2.3.5.3 Dispositivi di protezione solare	<ul style="list-style-type: none"> - sistemi di schermatura e/o ombreggiamento fissi o mobili verso l'esterno e con esposizione da Sud-Sud-Est. (SSE) a Sud-Sud-Ovest (SSO). - i dispositivi di protezione solare devono avere prestazione di schermatura (g_{tot}) di classe 2 o superiore come definito dalla norma UNI EN14501:2006: $0,15 \leq g_{tot} < 0,35^1$ Il requisito si verifica dalle ore 10 alle 16 del 21 dicembre e del 21 giugno.
2.3.5.6. Comfort acustico	<ul style="list-style-type: none"> Requisiti acustici passivi ≥ di classe II norme UNI 11367 e UNI 11444. Tempi di riverbero a norma UNI 11532:2014 ($T \leq 0,7$ s per aule scolastiche, ambienti espositivi, sale da conferenza, mense, $T \leq 1,5$ s per piscine e palestre).
2.3.5.7 Comfort termoigrometrico	<ul style="list-style-type: none"> PMV e PPD – Classe B Norma UNI EN ISO 7730:2006
2.3.6 Piano di manutenzione / gestione dell'opera e delle sue parti	<ul style="list-style-type: none"> Deve prevedere la verifica dei livelli prestazionali qualitativi e quantitativi, comprensivo di monitoraggio e controllo della qualità dell'aria interna degli edifici.
2.4.2.11 Impianti di illuminazione	<ul style="list-style-type: none"> Lampade con efficienza luminosa $\eta \geq 80$ (lm/W) ovvero a LED. Indice di resa cromatica $Ra \geq 90$ ridotto a 80 per ambienti esterni pertinenziali. Livello di dotazione 3 – Domotica con rilevazione di presenza.
2.4.2.12 Impianti di climatizzazione	<ul style="list-style-type: none"> Prestazioni energetiche a norma di legge. Prevedere spazi per impianti tecnologici in locali adeguati per consentire la corretta manutenzione e per le condotte aerauliche prevedere ispezioni per manutenzione igienica.
<p>¹ Il DM 26/06/15-1 Definisce un valore massimo ammissibile del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile $Asol,est/Asup$ utile (-) nel quale gioca un peso importante il fattore di schermatura solare.</p>	



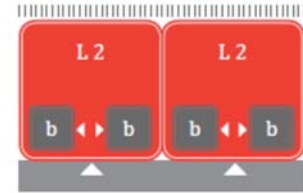
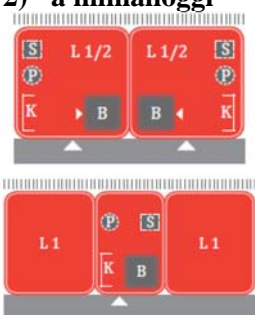
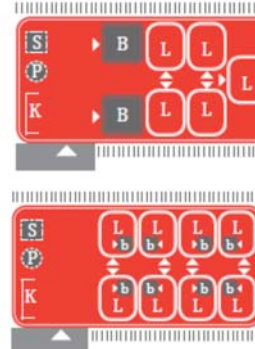
Dall'esame della Tabella 1, unitamente alle norme richiamate, si evince la complessità degli aspetti fisico-tecnici da affrontare da parte del progettista, ed in particolare quelli relativi al controllo dei consumi energetici e del benessere termoigrometrico, acustico ed illuminotecnico

le cui implicazioni pratiche trovano tuttavia conferma e coerenza nella progettazione specifica delle residenze universitarie.

2. La progettazione di alloggi e residenze universitarie: le principali criticità

La progettazione di tali edifici deve tener conto di alcune particolarità che, se dal punto di vista sociale e culturale costituiscono un indubbio vantaggio, dall'altro presentano specifiche criticità che giustificano il quadro prestazionale di Tabella 1 e meritano un approfondimento, anche perché tra loro interconnesse.

Partiamo dall'esaminare le tipologie di alloggi [Del Nord, 2014], richiamate nel DM n. 27/2011 e le relative problematiche evidenziate in Tabella 2 [Bologna,2014].

TABELLA 2 Tipologie di alloggi e residenze DM n. 27/2011 e relative criticità		
Tipologia	Descrizione	Criticità maggiori
<p>1) ad albergo</p>  <p>  </p>	<p>l'organizzazione spaziale e' impostata su corridoi sui quali si affacciano le camere singole (preferenziale) o doppie. Questo tipo e' realizzabile preferibilmente con bagno di pertinenza.</p> <p>Negli schemi le soluzioni prefigurano una o due distinte unità immobiliari a seconda delle modalità di accesso.</p> 	<p>Molto critico il contenimento della rumorosità verso il corridoio, con prestazioni assai elevate d'isolamento delle partizioni verticali e orizzontali e delle porte interne, nonché dei servizi nel caso di bagno a comune.</p> <p>L'accesso a comune ai servizi dovrebbe comunque essere evitato anche nel caso di servizi separati.</p> <p>Impianti con costi di gestione e manutenzione potenzialmente elevati che richiedono necessariamente livelli di dotazione domotica.</p>
<p>2) a minialloggi</p> 	<p>appartamenti di piccole dimensioni raggruppati intorno a zone di distribuzione. Ogni appartamento, con uno o due utenti, è autonomo in quanto dotato di zona cottura, servizio igienico ed eventuale zona giorno. Gli spazi comuni dell'intero complesso sono molto ridotti e riferiti a servizi essenziali. Negli schemi le soluzioni prefigurano una o due distinte unità immobiliari a seconda delle modalità di accesso.</p>	<p>Minore criticità rispetto al Tipo 1.</p> <p>L'attenzione maggiore deve essere posta ai problemi di rumorosità provenienti dalle zone comuni.</p> <p>E' consigliata una zona cottura separata dall'alloggio e l'installazione di una ventilazione meccanica.</p> <p>L'aggregazione con servizi a comune presenta maggiori criticità dal punto di vista acustico e della ventilazione.</p>
<p>3) a nuclei integrati</p> 	<p>e' costituita da un numero variabile di camere, preferibilmente singole, in grado di ospitare da tre a otto studenti, che fanno riferimento per alcune funzioni (preparazione pasti, pranzo e soggiorno, ecc.) ad ambiti spaziali riservati, dando luogo a nuclei separati d'utenza. Nello schema la soluzione prefigura una unità immobiliare.</p>	<p>Situazione molto problematica da gestire sul fronte della rumorosità e della qualità dell'aria interna per l'elevato affollamento. Impianti di ventilazione e o condizionamento che richiedono una elevata prestazione per una IAQ accettabile. Particolare attenzione è richiesta per la progettazione degli spazi comuni.</p>
<p>4) misti</p>	<p>soluzione con compresenza di diversi tipi distributivi.</p>	<p>Situazioni che possono sinergicamente aggravare le criticità dei singoli tipi esaminati.</p>

Le strutture, inoltre, devono assicurare agli studenti aree funzionali AF dedicate a servizi culturali, didattici e ricreativi che a loro volta richiedono una qualità particolarmente elevata ben oltre quella richiesta dalla residenza (v. Tabella 3).

In sintesi la soluzione tipologica a nuclei aggregati, seguita da quella ad albergo, presentano le maggiori criticità.

Tipologia	Descrizione	Criticità maggiori
AF2, servizi culturali e didattici	funzioni di studio, ricerca, documentazione, lettura, riunione, ecc., che lo studente compie in forma individuale o di gruppo anche al di fuori del proprio ambito residenziale privato o semiprivato;	Prestazioni acustiche, illuminotecniche e IAQ elevate riconducibili a quelle delle biblioteche e delle aule scolastiche.
AF3, servizi ricreativi	comprende funzioni di tempo libero finalizzate allo svago, alla formazione culturale non istituzionale, alla cultura fisica, alla conoscenza interpersonale e socializzazione, ecc., che lo studente compie in forma individuale o di gruppo.	L'attenzione maggiore deve essere posta ai problemi di rumorosità provenienti da tali zone caratterizzate da affollamento e attività tipicamente rumorose.
AF4, servizi di supporto, gestionali e amministrativi	comprende le funzioni di accesso e distribuzione, di accoglienza, di incontro e di scambio tra gli studenti e le funzioni di collegamento spaziale tra aree funzionali e all'interno di queste; parcheggio auto/moto vani tecnici e servizi tecnologici in genere.	Adeguate previsione della collocazione dei locali tecnici e dei parcheggi sia per le condizioni di rumorosità ma anche di pericolosità.

3. I requisiti prestazionali

Di seguito si esaminano alcuni dei principali requisiti prestazionali elencati in Tabella 1 che possono essere assunti a riferimento nella progettazione delle strutture in esame al fine di soddisfare le esigenze richieste.

3.1.1 Prestazioni termiche d'involucro

Le norme vigenti per le nuove costruzioni ed interventi assimilati, hanno eliminato indicazioni prescrittive per le trasmittanze dei componenti opachi e trasparenti sostituite dal coefficiente globale di scambio termico H'_T (W/m^2K) di Tabella 4 tratta dall'Appendice A del DM 26/06/2015-1 sui requisiti minimi. Il valore è funzione del rapporto di forma S/V (m^{-1}) tra superficie disperdente S (m^2) che delimita il volume riscaldato V (m^3) e della zona climatica. I componenti finestrati, subiscono una limitazione dimensionale imposta dal rapporto tra superficie solare equivalente estiva su unità di superficie utile $A_{sol,est}/A_{supUtile} \leq 0,03$.

In pratica se si vuole ottemperare al rapporto aerante di almeno 1/8 di superficie apribile della superficie del locale occorre installare serramenti dotati di ottime prestazioni termiche con vetri schermati o dotati di un fattore solare g contenuto nel campo di valori di classe II della Tabella 1.

A titolo esemplificativo, per una stanza di $16 m^2$, la superficie finestrata minima è pari a $2 m^2$ ed il telaio della finestra è all'incirca un 30% di tale apertura ($0,6 m^2$); in assenza di schermature esterne si ha $A_{sol} = 0,35 \cdot 1,4 = 0,49$, corrispondente ad un rapporto di 0,031 al limite del valore ammesso.

RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
	A e B	C	D	E	F
$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70

$$* H'_{T} = H_{tr} / \sum_k A_k \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Dove: H_{tr} (W/K) è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro (UNI/TS 11300-1)

A_k (m²) è la superficie del k-esimo componente (opaco o trasparente) costituente l'involucro.

Per la trasmittanza U (W/m²K) dei componenti opachi e trasparenti si può fare riferimento ai valori target dell'edificio nZEB della Tabella 5.

TABELLA 5 (Appendice A) DM 26/06/2015-1		
Trasmittanza termica U di riferimento delle strutture opache verticali , verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra		
Zona climatica	U_{rif} (W/m ² K)	
	Strutture opache Dal 1° gennaio 2019	Chiusure trasparenti Dal 1° gennaio 2019
A-B	0,43	3,00
C	0,34	2,20
D	0,29	1,80
E	0,26	1,40
F	0,24	1,10

Infine, per soddisfare l'esigenza di avere una capacità termica areica interna periodica ≥ 40 kJ/m²K occorre fare uso di strutture dotate di buona inerzia termica.

In sintesi, la simulazione dinamica su base oraria del progetto architettonico appare ineludibile al fine di affrontare in modo adeguato la complessità normativa ed esigenziale.

3.1.2 Le protezioni solari

Gli elementi frangisole sono definiti dalla norma UNI 8369 come elementi aventi la funzione del controllo dell'energia radiante del sole, l'illuminazione e la visibilità tra interno ed esterno, sono applicabili al singolo serramento oppure all'intero edificio o porzione di esso.

L'efficacia della protezione dal sole dipende dalla giacitura (perpendicolare o parallelo alla facciata) e dalla posizione (esterna, interna, integrata) dello schermo rispetto al serramento, dall'orientamento, dalle caratteristiche dei materiali utilizzati (conducibilità termica, riflettanza), nonché dalla finitura (tipologia di prodotto e colore) [Cellai et al, 2013].

Le schermature esterne presentano la maggiore efficacia sotto il profilo termico, intercettando la radiazione solare prima dell'attraversamento del vetro, ed acustico, riducendo per effetto della riflessione/assorbimento la pressione sonora incidente sulla facciata (tipicamente dovuta al traffico) [Baldini et al, 2011].

I vetri a controllo solare possono essere utilizzati quando l'edificio presenta vincoli che non consentano la modifica dei serramenti o del prospetto di facciata; presentando le stesse riduzioni dei guadagni solari sia in estate che in inverno il loro utilizzo deve essere attentamente valutato in funzione della esposizione e destinazione d'uso dell'immobile.

Un altro elemento importante è la scelta tra schermature fisse e mobili, sulle quali insiste l'azione da parte dell'utente.

Le prime non permettono di variare il tipo di risposta alle sollecitazioni energetiche e luminose e pertanto i loro effetti devono essere attentamente valutate nel progetto; peraltro queste schermature possono accogliere anche sistemi fotovoltaici per la produzione attiva di energia rinnovabile.

Al contrario, le schermature mobili consentono, in modo manuale o automatizzato, di adeguarsi al percorso del sole durante il giorno e nel corso dell'anno, con un controllo puntuale degli elementi di ombreggiamento garantendo al contempo il massimo rendimento dell'illuminazione naturale; in particolare, le schermature automatizzate possono essere controllate da algoritmi legati sia ai valori rilevati di temperatura che d'illuminamento esterno.

I principali benefici funzionali e prestazionali di un sistema di schermatura correlati alla posizione della stessa rispetto al serramento, sono i seguenti [Cellai et al, 2011, Carletti et al, 2012, Carletti et al, 2014]:

- ridurre gli apporti solari termici estivi non penalizzando gli apporti invernali;
- miglior comfort termico estivo mediante il controllo dello scambio termico radiativo;
- miglior comfort visivo mediante il controllo dell'abbagliamento;
- miglior comfort acustico agendo sulle prestazioni acustiche dell'involucro;
- miglior resistenza termica della combinazione serramento + schermo.

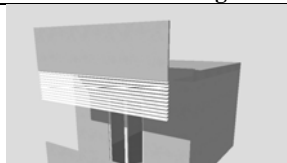
Al fine di sintetizzare le prestazioni dei più comuni sistemi di schermatura nella Tabella 6 sono riportate in forma sintetica alcune valutazioni prestazionali [REHVA, 2010].







Considerata la grande variabilità delle casistiche, si possono evidenziare alcuni aspetti generali al fine di consentire la scelta di soluzioni schermanti sulla base dei requisiti prestazionali di ciascun sistema e della fattibilità tecnica come riportato nella Tabella 7 [Magrini, 2014].

I simboli riportati nell'esempio di valutazione sintetica della schermatura esprimono giudizi qualitativi in termini di buono (☺) o non soddisfacente (☹) relativamente ai seguenti requisiti ed indicatori prestazionali:

- fattibilità tecnica (FT): facilità di posa in opera del sistema, necessità di ponteggi e manodopera specializzata, necessità di ulteriori adempimenti da parte del progettista/proprietario in merito alle autorizzazioni richieste dagli enti preposti;
- gestione (M): possibilità dell'utente di agire sull'effetto schermante del sistema, per esempio variando l'inclinazione delle lamelle, facilità di manutenzione;
- F_{inv} , F_{est} : rappresentano i fattori di riduzione, rispettivamente invernale ed estivo, degli apporti termici solari espressi in percentuale.
- comfort visivo (VC): tiene conto della uniformità e quantità di illuminamento;
- $D_{2m,nT,w}$: isolamento acustico di facciata; in particolare si considera "buono" l'effetto quando il contributo del sistema è almeno superiore ad 1dB.

TABELLA 6 Valutazione di differenti tipologie di schermatura in base a parametri ambientali e di comfort										
Tipologia di schermatura		Parametri di controllo								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Posizione esterna rispetto al serramento										
Sistemi frangisole fissi	Frangisole orizzontale	++	++	-	+	+	++	-	++	S
	Aggetto orizzontale	++	++	-	+	+	++	-	++	S
	Brise-soleil a carabottino	++	+	-	+	+	+	-	++	S-E-O
	Frangisole a pala orizzontale	++	o	-	++	o	o	-	++	S
	Frangisole a pala verticale	+	o	-	+	o	o	o	++	E-O
Sistemi frangisole orientabili	Veneziana	++	++	o	++	+	o	o	+	S-E-O
	Persiana a battente	++	++	+	++	+	o	+	++	S-E-O
	Persiana avvolgibile	++	++	++	+	+	-	+	++	S-E-O
Sistemi a rullo	Tenda a rullo	+	++	-	+	o	-	-	o	S-E-O
	Tenda a rullo con aggetto	+	++	-	+	o	o	-	o	S-E-O
	Tenda a cappottina	+	++	-	o	o	++	-	o	S-E-O
	Tenda con bracci a spinta	+	++	-	+	o	+	-	o	S
Posizione nell'intercapedine del vetrocamera e vetri a controllo solare										
Tenda alla veneziana		o	++	-	o	+	o	-	-	S-E-O
Tenda a rullo in tessuto		o	++	-	o	o	-	-	-	S-E-O
Vetri a controllo solare		++	-	-	++	o	++	-	-	S-E-O
Posizione interna rispetto al serramento										
Tenda a pannelli		-	++	-	-	o	-	-	-	-
Tenda alla veneziana		-	++	-	-	+	o	-	-	-
Legenda: ++ eccellente ; + buono; o moderato; - non rilevante E est; O ovest; S sud 1: apporti termici estivi; 2: apporti termici invernali; 3: riduzione delle dispersioni invernali; 4: comfort termico estivo; 5: comfort visivo; 6: percezione ambiente esterno; 7: comfort acustico; 8: resistenza al vento; 9: orientamento ottimale										

TABELLA 7 Esempio di valutazione comparativa di un sistema di schermatura integrato con balcone e frangisole verticale parziale (inclinazione lamelle: 0°, 30°, 60°) [Magrini, 2014]	
	La <u>prestazione energetica</u> migliore si ha per l'orientamento sud con inclinazione delle lamelle di 0°. La schermatura consente adeguati valori di <u>illuminamento</u> in tutti i periodi dell'anno e secondo i vari orientamenti, garantendo una buona uniformità. La schermatura, nella configurazione con le lamelle inclinate a 0° integrate con materiale fonoassorbente, migliora sensibilmente l' <u>isolamento acustico di facciata</u> , che aumenta ai piani più alti dell'edificio.

Valutazione sintetica della schermatura					
FT	M	Finv	Fest	VC	D _{2m,nT,w}
					

3.1.3 Illuminazione e ventilazione naturale

Si è accennato al dimensionamento delle aperture trasparenti mediante il fattore aerante di 1/8 della pavimentazione del locale, tuttavia le relazioni intercorrenti tra il dimensionamento delle finestre e l'illuminazione naturale possono essere maggiormente critiche al momento di soddisfare il fattore di luce diurna medio FLD_m definito dal DM 05/07/1975:

$$FLD_m = \frac{A_g \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \psi}{A_{tot} (1 - r_m)} > 2 (\%)$$

dove:

A_g è l'area della superficie vetrata della finestra (m²)

t è il fattore di trasmissione luminosa del vetro (-);

ε è il fattore finestra, porzione di volta celeste vista dal baricentro della finestra;

A_{tot} è l'area totale delle superfici che delimitano l'ambiente compreso la finestra;

$r_m = \sum_i r_i \cdot A_i / A_{tot}$ è il fattore medio ponderato di riflessione luminosa delle superfici interne.

ψ è il fattore di riduzione funzione della posizione della finestra rispetto a filo muro esterno.

Si dimostra che in assenza di ostruzioni esterne ($\varepsilon = 0,5$), con un valore FLD_m = 2%, con doppio vetro chiaro $t = 0,81$, per un comune ambiente di superficie 16 m² e volume di circa 48 m³, con $r_m \cong 0,6 \div 0,7$, si soddisfa alla suddetta relazione con una finestra di superficie di circa 2 m² dimensionata col rapporto aerante (1/8).

Viceversa, qualora dovessimo adottare vetri a controllo solare per avere un valore $g < 0,35$, il valore di t si dimezzerebbe e quindi occorre mettere una finestra all'incirca di 4 m², doppia rispetto a quella determinata con il rapporto aerante. Il valore suddetto potrebbe poi incrementarsi notevolmente in presenza di ostruzioni ovvero al diminuire di ε .

Diventa quindi molto importante, considerato il peso dei serramenti in termini energetici, acustici ed illuminotecnici, la scelta del tipo di vetri (compreso il loro indice di resa cromatica $R_a \geq 90$), l'esposizione in relazione ad ombreggiamenti portati da edifici confinanti, la forma delle facciate dotate o meno di schermature ed oggetti fissi.

Per la ventilazione al punto 2.3.5.2 (v. Tabella 1) si richiama anche la norma UNI EN 15251[2008], come indicazione progettuale; dovendo assicurare una ventilazione meccanica di categoria II, si raccomanda un minimo di 7 l/s/persona ($\cong 25$ m³/h/persona), a cui si dovrebbe aggiungere mediamente una quota di ventilazione di circa 2,5 m³/h/m² di superficie calpestabile per la rimozione degli inquinanti dell'appartamento (emissioni da mobili, detersivi per pulizia, ecc.).

In particolare la ventilazione riguarda le seguenti esigenze:

- Rimozione dell'aria viziata dai bagni cucine, mediante ventilatori di estrazione localizzati;
- Ventilazione generale dell'ambiente, richiamando aria fresca dall'esterno attraverso i locali di vita (soggiorno e camere) e asportando l'aria dagli ambienti umidi suddetti posti in depressione.

3.1.4 Comfort acustico

Le soluzioni tipologiche prospettate dal DM 27/2011 presentano molte criticità sotto questo punto di vista. Il primo aspetto da considerare è la delimitazione (confine) reale o ideale delle unità residenziali e l'individuazione delle funzioni di studio e soprattutto di riposo al loro interno: ciò consente di individuare il confine tra le attività meritevoli di protezione (compreso le AF2) rispetto ad attività confinanti classificate in base alla loro rumorosità (compreso le aree AF2 e AF3 in genere).

In linea di massima, indipendentemente dalla tipologia, il confine di ciascuna unità è riferibile all'insieme di locali abitativi aventi medesimo accesso, ovvero porzione di unità immobiliare completamente delimitata destinata al soggiorno e alla permanenza di persone per lo svolgimento di attività e funzioni caratterizzanti la destinazione d'uso.

In Tabella 8 è proposta una modalità di valutazione della criticità del progetto dal punto di vista acustico, mentre in Tabella 9 è proposta l'assegnazione di un punteggio di criticità in base alla classificazione di contatto: più alto è il punteggio e maggiore è la criticità (A migliore e D peggiore).

Tabella 8 Analisi qualitativa delle sorgenti di rumore interne e relativa criticità di posizione dei locali appartenenti a unità funzionali distinte			
Sensibilità dei locali	Tipologia di locali	Rumore prodotto	Criticità di collocazione del locale
A assente	Vani scala, ascensore, locali tecnici condominiali, centrali tecnologiche, autorimessa, locali AF3 e AF4 in genere	molto elevato	consentita vicino ai locali B e protetta rispetto ai locali C, non ammessa rispetto ai locali D
B bassa	cucina, bagno, disimpegno, locali AF3 e AF4 in genere	elevato	ammessa con cautela vicino ai locali C, non ammessa vicino ai locali D
C alta	Soggiorno, studio, aree AF2 in generale	basso	protetta rispetto ai locali A, ammessa con cautela vicino ai locali B
D molto alta	camera da letto, biblioteca	trascurabile	consentita con cautela vicino ai locali C

Per quanto attiene alle soluzioni costruttivo-tecnologiche occorre fare riferimento a requisiti acustici passivi che consentano di ottenere almeno la classe II come definita dalla norma UNI 11367 (v. Tabella 10), ovvero prestazioni attese *Buone* da parte degli occupanti.

Qualora si utilizzasse la soluzione tipologica ad albergo, ed in una certa misura anche quella a nuclei integrati, più correttamente si deve fare riferimento alla classe II prevista per strutture ricettive.

In tal caso la valutazione dei requisiti d) ed e) del rumore di impianti si estende anche agli impianti della stessa unità immobiliare (per esempio impianti sanitari di camere contigue), ma non ad impianti a servizio della stessa camera o dello stesso appartamento.

Inoltre, per tali unità, la classificazione è estesa ai seguenti requisiti:

f) indice di isolamento acustico normalizzato di partizioni verticali e orizzontali fra ambienti della stessa unità immobiliare $D_{nT,w} \geq 53$ dB per la classe II;

g) indice del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti o affiancati della stessa unità immobiliare $L'_{nw} \leq 58$ dB per la classe II.

I requisiti di cui ai punti f) e g) non si applicano per i bagni o ambienti accessori a servizio della stessa camera e per le partizioni interne di appartamenti composti da più camere.

Tabella 9 Punteggio della criticità acustica in base ai contatti tra i locali e relativa classe di criticità				
Classe di contatto	D	C	B	A
Natura del contatto	D con A o B	C con A	C con B	D con C
Punteggio P di contatto	4	3	2	1
Punteggio complessivo	$P \leq 3$	$4 < P \leq 7$	$8 < P \leq 11$	$P > 11$
Classe di criticità	A	B	C	D

Tabella 10 Valori dei parametri descrittivi delle caratteristiche prestazionali degli elementi edilizi da utilizzare ai fini della classificazione acustica di unità immobiliari					
Classe	Indici di valutazione				
	a) isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT,w}$ dB	b) potere fonoisolante apparente di partizioni fra unità immobiliari R'_{w} dB	c) livello di rumore da calpestio fra unità immobiliari L'_{nw} dB	d) Livello sonoro da impianti a funz. continuo L_{ic} dB(A)	e) Livello sonoro da impianti a funz. discontinuo L_{id} dB(A)

I	≥ 43	≥ 56	≤ 53	≤ 25	≤ 30
II	≥ 40	≥ 53	≤ 58	≤ 28	≤ 33
III	≥ 37	≥ 50	≤ 63	≤ 32	≤ 37
IV	≥ 32	≥ 45	≤ 68	≤ 37	≤ 42

b) il requisito si applica inoltre:

- alle partizioni verso ambienti, individuali o collettivi, destinati ad autorimessa, box, garage;
- alle partizioni cieche che separano ambienti abitativi di una unità immobiliare da parti comuni;

d) impianti per la climatizzazione, ventilazione meccanica, aspirazione centralizzata, ecc.

e) impianti idrico- sanitari, di scarico, gli ascensori, i montacarichi, le chiusure automatiche.

In merito ai livelli sonori raccomandati all'interno degli ambienti, la UNI EN 15251 indica per la zona giorno un range da 25 a 40 dBA (con un valore di progetto di 32 dBA), e per la zona notte un range da 20 a 35 dBA (con un valore di progetto di 26 dBA), molto impegnativi.

Come si evince dai valori di Tabella 10, o dai valori dei livelli sonori interni, le prestazioni acustiche possono risultare molto gravose da rispettare, specie in presenza di vani di comunicazione interna, e pertanto la scelta tipologica può gravare notevolmente sui risultati attesi sia in termini economici sia manutentivo gestionali.

Ad esempio, al fine di ottenere un isolamento accettabile verso un corridoio in presenza di porta, richiede che questa abbia un potere fonoisolante confrontabile con quello della muratura che la contiene.

3.1.5 Comfort termoigrometrico

Altrettanto impegnativo è il requisito termoigrometrico riferito alla categoria B della norma UNI EN ISO 7730[2006] (v. Tabella 10). Per tale categoria il voto medio previsto PMV nella scala di sensazione termica è compreso tra moderatamente caldo e fresco ed ammette fino al 10% di persone insoddisfatte.

I parametri sui quali intervenire per soddisfare le esigenze di comfort (con abbigliamento standard estivo di 0,5 clo ed invernale di 1 clo e attività moderata), sono la temperatura operativa e la velocità relativa dell'aria compresa 0,19 e 0,16 m/s rispettivamente in estate ed in inverno, aventi entrambe limitazioni nel rischio di correnti d'aria (Draf Risk DR), nella asimmetria della temperatura piana radiante, connessa anche con la temperatura superficiale della pavimentazione in caso di pannelli radianti.

Categoria	Stato termico del corpo nel suo complesso		Disagio locale			
	PPD %	PMV	DR %	PD % causato da		
				differenza verticale di temperatura dell'aria	pavimento caldo o freddo	asimmetria radiante
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	<10	<3	<10	<5
B	<10	-0,5 < PMV < +0,5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0,7 < PMV < +0,7	<30	<10	<15	<10

Non è facile stabilire una relazione diretta tra progettazione architettonica e sensazione termica attesa, tuttavia, per quanto attiene alla temperatura operativa, nel caso di ambienti comuni questa può essere assunta pari alla media tra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante ottenuta come media pesata delle temperature superficiale dell'ambiente: è facile immaginare che in condizioni estive o invernali, le suddette temperature devono trovarsi quanto più prossime alla temperatura operativa desiderata ovvero circa 23°-26° in estate e 20°-22°C in inverno, con una umidità relativa tra il 40 e 60%. Il progetto, pertanto, deve prevedere per le pareti esterne un isolamento termico adeguato (v. Tabelle 4 e 5) ed una capacità termica espressa da valori di sfasamento dell'onda termica dell'ordine di 9÷10 ore, con un'attenuazione dell'ampiezza di oscillazione di circa 10 volte. A questo si aggiunga l'uso raccomandato di tetti e pareti verdi, oppure di superfici dotate di elevata riflessione solare (v. Tabella 1 riduzione dell'impatto sul microclima).

Per le pareti finestrate irraggiate dal sole diventa invece ineludibile una efficace schermatura.

Con queste condizioni si assicura che le temperature superficiali si mantengano nei limiti desiderati.

3.1.6 Impianti di climatizzazione a fonti rinnovabili

Per il controllo del microclima oggi, di fatto, è obbligatorio utilizzare sistemi di climatizzazione a pompa di calore in grado di assicurare una ventilazione meccanica adeguata e condizioni termoigrometriche accettabili con consumi energetici molto contenuti.

Tali impianti (idronici o ad espansione diretta o ibridi) sono destinati a diventare lo standard poiché consentono di usare energia rinnovabile (prelevata principalmente dall'entalpia dell'aria o del terreno), per il riscaldamento ma anche per il raffrescamento estivo.

Consentono peraltro di assicurare la ventilazione meccanica nelle quantità desiderate, fondamentale per ottenere una IAQ accettabile negli edifici.

4. Conclusioni

L'esame delle esigenze richieste per assicurare condizioni di comfort ed IAQ accettabili, ed il conseguente soddisfacimento dei requisiti prestazionali mettono in evidenza la necessità di adottare pratiche progettuali corrette sotto i profili energetici, acustici, illuminotecnici ed impiantistici.

Le stesse scelte tipologiche delle residenze possono essere più o meno critiche se esaminate alla luce di questi aspetti. Diventa pertanto essenziale che il progettista assuma fin dalla fase iniziale consapevolezza delle norme presentate, peraltro cogenti per le gare della pubblica amministrazione, onde evitare soluzioni che possono rivelarsi inaccettabili in termini di costi realizzativi e soprattutto gestionali e manutentivi.

Riferimenti bibliografici

Del Nord, R. (a cura di) [2014] Il processo attuativo del piano nazionale di interventi per la realizzazione di residenze universitarie, Edifir, Firenze.

Bologna, R. [2014] Il progetto della residenza per studenti universitari. Capitolo 6. In Il processo attuativo del piano nazionale di interventi per la realizzazione di residenze universitarie, Edifir, Firenze. Pagg 109-159.

DM 05/07/1975 "Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali d'abitazione".

DPCM 5/12/97 "Requisiti acustici passivi degli edifici".

DM 07/02/2011 n. 27 "Standard minimi dimensionali e qualitativi e linee guida relative ai parametri tecnici ed economici concernenti la realizzazione di alloggi e residenze per studenti universitari, di cui alla legge 14 novembre 2000, n. 338"

DM 26/6/15-1 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".

DM 26/6/15-2 "Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto".

DM 26/6/15-3 "Adeguamento del decreto 26 giugno 2009 – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".

DM 24 /12/15 "Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici".

UNI 8369 parte 1[1988] Edilizia- Chiusure Verticali - Classificazione e Terminologia.

UNI 11367 [2010] "Classificazione acustica delle unità immobiliari".

UNI EN ISO 7730[2006] Ergonomia degli ambienti termici-Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.

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"

Baldini S., Carletti C., Cellai G., Nannipieri E., Scurpi F., Secchi S. [2011] Il controllo dell'irraggiamento solare: effetti dei sistemi schermanti sotto il profilo acustico e illuminotecnico, in atti del 48° Convegno Internazionale AICARR, Baveno, 22-23 Settembre.

- Carletti C., Cellai G., Nannipieri E., Pierangioli L., Sciarpi F., Secchi S. [2012] La riqualificazione energetica di edifici esistenti mediante interventi su serramenti e schermature, in atti del 67° Congresso Nazionale ATI, Trieste, 11-14 settembre 2012.
- Cellai G., Secchi S., Nannipieri E., Baldini S. [2011] Ottimizzazione di schermature solari sotto i profili acustico e illuminotecnico. In Atti del 38° Convegno Nazionale AIA, Rimini, 08-10 giugno.
- REHVA Guidebook n°12, Solar Shading [2010] How to integrate solar shading in sustainable buildings, Wouter Beck Ed.
- Carletti C., Sciarpi F., Pierangioli L. [2014] The energy upgrading of existing buildings: window and shading device typologies for energy efficiency refurbishment, *Sustainability* 6, 5354–5377, <http://dx.doi.org/10.3390/su6085354>.
- Cellai G., Carletti C., Sciarpi F., Secchi S., Nannipieri E., Pierangioli L. [2013] Serramenti e schermature per la riqualificazione energetica ed ambientale - criteri per la valutazione e la scelta. EPC editore, Roma.
- Cellai G., Carletti C., Sciarpi F., Secchi S. [2014] Transparent building envelope: windows and shading devices typologies for energy efficiency refurbishments, in: A. Magrini (Ed.), *Building Refurbishment for Energy Performance*, Springer International Publishing, Berlin, , pp. 61–118.