

LO STANDARD *PASSIVHAUS* NEI CLIMI CALDI EUROPEI

LINEE GUIDA PROGETTUALI PER CASE CONFORTEVOLI A BASSO CONSUMO ENERGETICO

Parte 1. Principi e concetti



LO STANDARD *PASSIVHAUS* NEI CLIMI CALDI EUROPEI

LINEE GUIDA PROGETTUALI PER CASE CONFORTEVOLI A BASSO CONSUMO ENERGETICO

Parte 1. Principi e concetti



Edito e compilato da: Brian Ford, Rosa Schiano-Phan a Duan Zhongcheng, School of the Built Environment, Università di Nottingham

Il lavoro descritto in questo rapporto è stato eseguito a seguito di contratto su fondi del progetto EC Passive-on ('Marketable Passive Homes for Winter and Summer Comfort' EIE/04/091/S07.38644, 2004-'07). I punti di vista espressi in questo lavoro sono quelli dei contraenti e non necessariamente riflettono quelli della Commissione Europea.

PARTNERS

Politecnico di Milano, Italy
Dipartimento di Energetica (eERG)
Piazza Leonardo da Vinci 32
20133 Milano
Andrew Pindar (Co-ordinator)
Lorenzo Pagliano

University of Nottingham, UK
School of the Built Environment
University Park
Nottingham NG7 2RD
Brian Ford
Rosa Schiano-Phan

AICIA, Spain
Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía
Escuela Superior de Ingenieros. Camino de los Descubrimientos s/n
E-41092, Sevilla
Servando Alvarez
Jose' Manuel Salmeron Lissen

ICE, France
International Conseil Energie
6 rue de Verdun
93450 Ile-Saint-Denis
Sophie Attali & Dominique Maigrot

Natural Works, Portugal
Projectos de Engenharia
Calcada Marques de Abrantes N48 2D
1200-719 Lisboa
Maria Malato Lerer
Guilherme Carrilho da Graca

INETI, Portugal
National Institute of Engineering Technology and Innovation I.P.
Estrada do Paço do Lumiar
1648-038 Lisboa
Helder Gonçalves
Luisa Brotas

MAIN SUBCONTRACTOR

Passivhaus Institut
Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt
Juergen Schnieders

RICONOSCIMENTI

Questo documento è il risultato del lavoro di tutti i partner e del principale subcontractor del progetto Passive-on. Inoltre, si desidera ringraziare i partner industriali per il loro inestimabile contributo al progetto: Mauro Tricotti, Rockwool Italia; Daniela Origgi, BASF; Massimo Gattolin, Provincia di Venezia.

Speciali ringraziamenti vanno ai *peer reviewers* che hanno gentilmente offerto loro commenti alle prime bozze di questo rapporto: Simos Yannas, Associazione di Architetti; Mark Brinkley, Giornalista; Gavin Hodgson, BRE; Julian Marsh, Architetto; Derek Trowell, Architetto.

LO STANDARD PASSIVHAUS NEI CLIMI CALDI EUROPEI:

1. Principi e concetti

luglio 2007

INDICE

INTRODUZIONE	1
1 PASSIVHAUS PER CLIMI CALDI	2
1.1 COS'È UN PROGETTO PASSIVO?	2
1.2 LO STANDARD PASSIVHAUS	4
2 COMFORT INTERNO	6
2.1 MODELLI DI COMFORT ESTIVO	6
2.2 COMFORT INTERNO E STANDARD PASSIVHAUS	8
3 PROPOSTE DI PASSIVHAUS	9
3.1 INTRODUZIONE.....	9
3.2 LA PASSIVHAUS NEL REGNO UNITO.....	10
3.2.1 La casa.....	10
3.2.2 La strategia.....	12
3.2.3 Prestazioni: energia e comfort	13
3.3 LA PASSIVHAUS IN SPAGNA	15
3.3.1 La casa.....	15
3.3.2 La strategia.....	16
3.3.3 Prestazioni: energia e comfort	17
3.4 LA PASSIVHAUS IN PORTOGALLO	19
3.4.1 La casa.....	19
3.4.2 La strategia.....	21
3.4.3 Prestazioni: energia e comfort	22
3.5 LA PASSIVHAUS IN ITALIA.....	24
3.5.1 La casa.....	24
3.5.2 La strategia.....	26
3.5.3 Prestazioni: energia e comfort	27
3.6 LA PASSIVHAUS IN FRANCIA	28
3.6.1 La casa.....	28
3.6.2 La strategia.....	30
3.6.3 Prestazioni: energia e comfort	32
4 APPLICABILITÀ CLIMATICA	33
4.1 INTRODUZIONE.....	33
4.2 APPLICABILITÀ CLIMATICA.....	33
4.3 INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA	35
4.4 MAPPE DI RISPARMIO ENERGETICO.....	37
5 COSTI DELLA PASSIVHAUS	40
5.1 INTRODUZIONE.....	40
5.2 COSTI CAPITALE & EXTRA COSTI	40
5.3 ANALISI DI COSTO DEL CICLO DI VITA	41
6 BIBLIOGRAFIA.....	43

INTRODUZIONE

Il successo dell'Istituto Passivhaus nello sviluppare e implementare un approccio alla progettazione edilizia, nei paesi dell'Europa centrale, che non sia solo molto efficiente energeticamente, ma che rispetti anche i criteri di comfort universalmente riconosciuti, ha portato ad affrontare la questione se tale approccio sia applicabile anche in altri paesi ed altri climi.

Questa questione è centrale nei due recenti progetti di ricerca mirati alla disseminazione, su fondi del programma IEE della Commissione Europea (progetti 'Passive-On' e 'PEP'). Il progetto 'Passive-On' (vedi <http://www.passive-on.org/en/>) indirizza in primo luogo la questione dell'applicabilità in Sud Europa (Portogallo, Spagna e Italia), ma considera anche Regno Unito e Francia quando si riferisce a climi "caldi".

Nei climi caldi del Sud Europa il fabbisogno energetico per riscaldamento è generalmente più basso che in Europa del Nord, ma ciò non è dovuto solo ai "Gradi giorno" per una particolare località, ma anche alla quantità di radiazione solare. Questo è stato il presupposto per la definizione di un "Indice di Severità Climatica" (descritto nel Cap. 4) che può essere usato come base per la mappatura ed il confronto tra i benefici ottenibili incrementando i livelli di isolamento o modificando le specifiche dei vetri, in diverse parti d'Europa.

I termini 'Passive' e '*Passivhaus*' possono generare confusione, e così i partner del progetto (Italia, Francia, Germania, Spagna, Portogallo e Regno Unito) hanno fatto distinzione tra gli approcci 'Passivi' alla progettazione, e lo standard *Passivhaus* (Cap. 1). Inoltre, poiché il comfort termico è altrettanto centrale nel concetto di *Passivhaus* quanto l'efficienza energetica, nel Cap. 2 viene fornito un riassunto succinto sul comfort interno nell'ambito dello standard *Passivhaus*.

Ogni partner del progetto ha presentato una proposta di casa 'economica' (descritta nel Cap. 3) progettata per rispettare lo standard *Passivhaus* in termini sia di consumo energetico previsto che di comfort termico. Anche se le proposte sono relative al paese di origine dei diversi partner, non è detto che tali proposte non siano valide anche per altre località di altri paesi. Le variazioni climatiche all'interno dei paesi possono essere significative, pertanto il valore del Climate Severity Index (CSI) permette di effettuare confronti sensati.

Naturalmente non è solo il clima che cambia tra i paesi europei, ma la natura del mercato immobiliare, i costi e le pratiche di costruzione sono diversi sostanzialmente. Tuttavia, può essere utile fare dei confronti tra i costi dei diversi approcci progettuali nei vari paesi (Cap. 5). In generale, si può concludere che, laddove si valuta il costo del ciclo di vita di un progetto, si possano costruire case conformi agli requisiti di efficienza energetica e comfort dello standard *Passivhaus* in modo economicamente conveniente nei paesi europei esaminati (Fig. 1.0).



Fig. 1.0 – Paesi partner del progetto 'Passive-on'

1 PASSIVHAUS PER CLIMI CALDI

1.1 COS'È UN PROGETTO PASSIVO?

L'era dei combustibili fossili a basso costo, durata circa 100 anni, è quasi alla fine. In quest'epoca molte apparecchiature meccaniche ed elettriche sono state sviluppate per riscaldare, raffreddare, ventilare ed illuminare l'interno dei nostri edifici. Una nuova professione, l'impiantista, nacque per progettare e ed individuare gli impianti (meccanici) "attivi" adatti alle diverse tipologie di edifici. Uno delle conseguenze della scelta di condizionare artificialmente l'ambiente interno fu che l'involucro edilizio smise di essere moderatore primario del clima esterno nei confronti dell'ambiente interno, e così gli architetti cedettero la responsabilità del controllo ambientale agli ingegneri. Ma a seguito della crisi petrolifera del 1973, molti architetti e ingegneri riconobbero saggio ridurre la dipendenza dai combustibili fossili, e svilupparono un rinnovato interesse nel ricco, vario e raffinato vocabolario di un'architettura che moderasse con successo l'ambiente interno in funzione della stagione, in virtù di una sapiente progettazione. Ciò ha portato ad una riscoperta dei principi di controllo ambientale attraverso la manipolazione della forma dell'edificio, la disposizione delle aperture e le prestazioni termiche dei materiali: la cosiddetta progettazione "passiva".

La progettazione passiva cerca di massimizzare i benefici termici ed ambientali che possono sorgere mediante l'attenta considerazione delle prestazioni termiche dei componenti dell'edificio e dei sistemi, in modo da minimizzare le perdite di calore d'inverno e i guadagni termici d'estate. Un progetto puramente "passivo" escluderebbe qualunque intervento meccanico. Ma ciò risulterebbe spesso inopportuno, dal momento che l'inserimento di apparecchiature elettriche o meccaniche (in particolare per esplicitare una funzione di controllo) è normalmente desiderabile per permettere agli elementi passivi di funzionare in modo corretto.

La "progettazione passiva" è quindi un termine generico, ed è usato per definire un approccio strategico alla progettazione che sia aperto all'interpretazione da più persone in diversi climi e località, con l'obiettivo di minimizzare il consumo di combustibili fossili per il riscaldamento, la ventilazione, l'illuminazione e il raffreddamento. In Nord Europa il fabbisogno energetico per riscaldamento è predominante, mentre in Sud Europa le esigenze di riscaldamento residenziale sono minime, ma la richiesta di raffreddamento meccanico è notevolmente aumentata. Pertanto, è sorto un

crescente interesse verso strategie per ottenere sia "riscaldamento passivo" che "raffrescamento passivo".

Le strategie progettuali per riscaldamento e raffrescamento passivo fanno affidamento sullo sfruttamento delle sorgenti di calore ambientali (es. il Sole) e dei cosiddetti pozzi (es. il cielo stellato). Molto del lavoro iniziale in questo settore fu svolto negli USA negli anni '70, sotto l'amministrazione Carter. Questo fu poi raccolto e sviluppato ulteriormente in Europa negli anni '80, su fondi dei programmi di ricerca e sviluppo della Commissione Europea. E' in questo contesto che il concetto di *Passivhaus* fu sviluppato.



Fig. 1. 1 – Una *Passivhaus* in Germania



Fig. 1. 2 – Case imbiancate e vicoli stretti nel distretto di Santa Cruz a Siviglia, Spagna. Solo due delle molte strategie impiegate dall'architettura tradizionale per raffrescare le case in estate.

1.2 LO STANDARD *PASSIVHAUS*

Nel 1991 Wolfgang Feist e Bo Adamson applicarono l'approccio progettuale passivo ad una casa a Darmstadt, con l'obiettivo di fornire un caso studio di abitazione a basso consumo energetico a costo ragionevole per il clima tedesco. Il progetto risultò convincente sia in termini di consumo energetico che di comfort, tanto che gli stessi sistemi passivi furono applicati anche in una seconda costruzione a Groß-Umstadt nel 1995.

Dal 1995, basandosi sull'esperienza dei primi sviluppi, Feist iniziò a codificare il Progetto Passivo delle case di Darmstadt e Groß-Umstadt nello **standard *Passivhaus***. Lo standard fondamentale consiste di tre elementi:

- un limite energetico (per riscaldamento e raffrescamento)
- un requisito di qualità (comfort termico)
- un set definito di Sistemi Passivi preferenziali che permettono di rispettare i requisiti di energia e qualità a costi sopportabili

In questi punti sono riassunte tutte le caratteristiche di ciò che oggi è noto come standard *Passivhaus* tedesco: ottimo isolamento, ponti termici ridotti e finestre ben isolate, buona tenuta all'aria e sistema di ventilazione con recupero di calore ad alta efficienza. Per i climi dell'Europa Centrale, è risultato che questi miglioramenti nell'efficienza energetica hanno come conseguenza la possibilità di semplificare il sistema di riscaldamento. Diventa possibile mantenere l'edificio confortevole riscaldando l'aria che va fornita all'edificio per garantire una buona qualità dell'aria interna. L'intero sistema di distribuzione del calore può quindi essere ridotto a un piccolo post-riscaldatore (sistema di recupero del calore). Ciò rende l'alta efficienza energetica conveniente: considerando il costo del ciclo di vita dell'edificio, una *Passivhaus* non risulta più costosa di una nuova abitazione convenzionale (vedi Cap. 5).

In totale più di 8.000 case sono state costruite finora in Germania e altrove in Europa Centrale (per es. in Austria, Belgio, Svizzera, Svezia) conformi all'attuale standard *Passivhaus*. Per la maggior parte dei professionisti in Germania e per molti in generale, una Casa Passiva ora equivale allo standard *Passivhaus*, ma la sua applicabilità in altre zone d'Europa deve ancora essere testata.



Fig. 1. 3 – *Passivhaus* monofamiliare a Ganderkesee, Germania settentrionale. (Realizzato da: team 3, Oldenburg)

La definizione di uno standard per case a basso consumo energetico ha offerto numerosi vantaggi sia per il settore edile in generale che per il mercato tedesco in particolare. Infatti, è stata la ragione principale dell'esplosione della costruzione di case a basso consumo energetico in Germania. Di seguito sono riportati i cinque punti che definiscono l'attuale **Standard Passivhaus tedesco per i paesi dell'Europa Centrale:**

- Criterio del riscaldamento: il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento ambientale non ecceda i 15 kWh per m² di superficie netta abitabile per anno.
- Criterio dell'energia primaria: la richiesta di energia primaria per tutti i servizi energetici, inclusi riscaldamento, acqua calda sanitaria, elettricità per l'abitazione e gli ausiliari, non ecceda i 120 kWh per m² di superficie netta abitabile per anno.
- Tenuta all'aria: l'involucro edilizio dovrebbe presentare un risultato del test di pressurizzazione (a 50 Pa), condotto secondo la EN 13829, di non più di 0.6 h⁻¹.
- Criterio della temperatura di comfort invernale: la temperatura operativa nelle stanze può essere mantenuta sopra i 20 °C d'inverno, usando le succitate quantità di energia.
- Tutti i valori di richiesta energetica sono calcolati secondo il Passive House Planning Package (PHPP) e si riferiscono alla superficie netta abitabile, cioè la somma delle superfici nette abitabili di tutte le stanze (in pianta).

Ma anche se in Europa Centrale (es. Germania, Austria, Nord Italia, etc.) la progettazione passiva è sempre più associata allo standard *Passivhaus*, questo non è necessariamente vero in Sud Europa (es. in Spagna, Italia, Portogallo e Grecia). Qui per la maggior parte degli architetti una casa passiva generalmente corrisponde ad una casa costruita secondo i principi della progettazione solare passiva. Inoltre, molti professionisti del settore non concordano con l'associare la parola generica "passivo" con uno specifico standard edilizio che propone un sistema di ventilazione attivo.

Il consorzio 'Passive-on' ha pertanto formulato una proposta di revisione per l'applicazione dello standard *Passivhaus* nei paesi caldi europei, che tiene conto del clima unitamente alle questioni più filosofiche su menzionate. I sei punti che definiscono lo **Standard Passivhaus proposto per i climi caldi europei** sono elencati sotto:

- Criterio del riscaldamento: il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento ambientale non ecceda i 15 kWh per m² di superficie netta abitabile per anno.
- Criterio di raffrescamento: il fabbisogno di energia sensibile utile per il raffrescamento ambientale non ecceda i 15 kWh per m² di superficie netta abitabile per anno.
- Criterio dell'energia primaria: la richiesta di energia primaria per tutti i servizi energetici, inclusi riscaldamento, acqua calda sanitaria, elettricità per l'abitazione e gli ausiliari, non ecceda i 120 kWh per m² di superficie netta abitabile per anno
- Tenuta all'aria: se una buona qualità dell'aria ed un alto comfort termico sono raggiunti per mezzo di un sistema di ventilazione meccanica, l'involucro edilizio dovrebbe presentare un risultato del test di pressurizzazione (a 50 Pa), condotto secondo la EN 13829, di non più di 0.6 h⁻¹. Per località con temperature di progetto invernali esterne di circa 0 °C, un risultato del test di pressurizzazione pari a 1.0 h⁻¹ dovrebbe essere sufficiente. .
- Criterio della temperatura di comfort invernale: la temperatura operativa nelle stanze può essere mantenuta sopra i 20 °C d'inverno, usando le succitate quantità di energia.
- Criterio della temperatura di comfort estiva: nelle stagioni calde ed umide, la temperatura operativa rimanga nel range di comfort definito dalla EN 15251. Inoltre, se un sistema di raffrescamento attivo risulta essere l'apparecchiatura principale usato per il raffrescamento, la temperatura operativa può essere mantenuta sotto i 26 °C.

Questi criteri, specie in relazione al fabbisogno per raffrescamento, saranno rivisti allorquando si sarà maturata una maggiore esperienza di costruzioni secondo lo standard *Passivhaus* nei climi caldi.

2 COMFORT INTERNO

Se non si presta la dovuta attenzione, le discussioni sugli edifici a basso consumo energetico possono trascurare altri aspetti importanti della progettazione edilizia. Infatti, va ricordato che l'uso di energia è un mezzo e non un fine. Una delle esigenze più importanti è che gli edifici forniscano un ambiente confortevole in cui lavorare, rilassarsi e giocare.

Anche se le case in Sud Europa devono essere riscaldata in inverno, spesso l'esigenza maggiore ed assicurare il comfort di estate, Come già richiamata sopra, lo standard *Passivhaus* è stato recentemente rivisto per renderlo pertinente ed utile alle esigenze specifiche dei climi più caldi. Una dei cambiamenti principali rispetto alla definizione precedente, che si riferiva in particolare ai climi dell'Europa Centrale, è stata pertanto l'introduzione di requisiti espliciti sulle condizioni di comfort interno nel periodo estivo.

Per raggiungere lo standard *Passivhaus* ora diviene necessario che le temperature estive interne, più specificamente le temperature operative, rimangano minori della massima temperatura definita dalla norma EN 15251.

Secondo la norma EN 15251, le temperature di comfort accettabili dipendono in effetti dal tipo di sistema usato per fornire il comfort estivo. Se il raffrescamento è fornito mediante un sistema attivo allora le temperature interne devono rispettare quelle definite dal modello di Fanger. Se invece il comfort estivo è mantenuto mediante strategie di raffrescamento passivo, allora il limite di temperatura superiore è imposto dal modello Adattivo.

La differenza tra il modello di Fanger e quello Adattivo è spiegata in breve nella sezione che segue, ed in maggior dettaglio nella seconda parte delle linee guida. Comunque, lasciando da parte le diverse procedure, probabilmente l'aspetto più importante è che le temperature di comfort estivo interno sono ora un requisito esplicito dello standard *Passivhaus*. Come conseguenza, lo standard *Passivhaus* fornisce un marchio di qualità globale per le abitazioni che non è offerto da altri sistemi di certificazione energetica.

2.1 MODELLI DI COMFORT ESTIVO

I modelli di comfort descrivono quantitativamente (in base di studi su ampi sondaggi sulle persone) in quali range di condizioni le persone avvertono

sensazioni confortevoli all'interno degli edifici. Scegliendo un range troppo stretto di condizioni può comportare ad uso eccessivo di energia.

Nel valutare il comfort termico degli edifici, occorre scegliere tra usare:

- il modello di comfort originariamente proposto da Fanger o modello del *Predicted Mean Vote* (PMV),
- e il modello che tiene conto della capacità degli occupanti degli edifici di adattarsi al clima prevalente (modello di comfort Adattivo)

I due modelli sono applicabili in diverse condizioni; in breve, il modello di Fanger è applicabile in edifici condizionati meccanicamente (entro uno specifico range di temperature, umidità, velocità dell'aria,...), mentre il Modello Adattivo si usa negli edifici non condizionati meccanicamente o con ventilazione naturale. C'è ricerca in corso per determinare i limiti di applicabilità dei due modelli, con alcuni studi che hanno collaudato il Modello Adattivo in edifici condizionati meccanicamente. Una correzione andrebbe apportata quando si valutano le condizioni estive, per tener conto dell'aumento di comfort dovuto all'aumento della velocità dell'aria generata dalla ventilazione naturale o ventilatori.

Nel modello di Fanger la condizione interna ottimale di un edificio (quella in cui gli occupanti si sentono in condizioni gradevoli) è correlata esclusivamente ai parametri relativi alle condizioni interne all'edificio (es. temperatura dell'aria e velocità, temperatura media radiante, umidità dell'aria), alle caratteristiche del vestiario e al tasso metabolico degli occupanti. Il modello di Fanger si basa sulle correlazioni trovate tra l'impressione di comfort soggettiva delle persone e le condizioni termiche (es. temperatura operativa, umidità relativa, tasso metabolico, vestiario) all'interno di un ambiente chiuso e controllato. Anche se il modello di Fanger tiene conto di come le persone sono vestite e della loro attività, risulta necessario spesso in pratica assumere dei valori tipici per il vestiario e i tassi metabolici. Questo può condurre i progettisti a definire una banda statica e stretta di temperature "confortevoli" da applicare uniformemente nello spazio e nel tempo. Le temperature statiche sfavoriscono le tecnologie passive, le quali sono efficaci nel moderare le fluttuazioni delle condizioni esterne, ma in generale non sono in grado di disaccoppiarle completamente dall'ambiente interno.

Molta attenzione va posta nell'applicare il modello di Fanger solo all'interno dei limiti di validità, come prescritto dalla ISO 7730 (emanata nel 1994 e

rivista nel 2005).

Il modello di comfort Adattivo propone una correlazione tra la temperatura di comfort per gli occupanti di un edificio e la temperatura dell'aria esterna. Il concetto di base è il processo documentato per il quale il corpo umano si adatta (inclusa la variazione del tasso metabolico) al clima stagionale e locale. Di conseguenza, gli occupanti considereranno temperature interne diverse come confortevoli secondo la stagione e della località. Il modello Adattivo si basa su correlazioni misurate tra l'impressione soggettiva di comfort della gente e la temperatura interna in centinaia di edifici reali.

Rispetto al modello di Fanger, il modello Adattivo considera un più ampio range di temperature come "confortevoli" e pertanto permette una più agevole integrazione di tecnologie di raffrescamento passivo.

Ad ogni modo, il fatto di permettere un più ampio range di temperature non va visto come una mancanza di controllo; le temperature di comfort massime previste dal modello Adattivo sono ancora relativamente basse. Per esempio, applicando l'algoritmo adattivo definito nella norma EN 15251 a dati meteorologici annuali tipici, si giunge a prevedere temperature di comfort neutrali massime (in corrispondenza di una sequenza di giorni caldi) per Francoforte, Milano, Lisbona e Siviglia pari rispettivamente a 26.1°C, 27.2°C, 26.7°C, e 28.7°C.

Come confronto, un edificio raffrescato per mezzo di un sistema di condizionamento dell'aria lavora spesso con un set point tra 23°C e 26°C. Anche se la maggior parte delle norme propongono che il modello Adattivo venga usato in edifici ventilati in modo naturale, McCartney e Nicol (2002) hanno testato un algoritmo basato sul modello di comfort Adattivo con successo in un edificio condizionato .

Il modello di comfort Adattivo è stato definito nel corso degli anni e collaudato in vari studi (Humphreys, 1975; 1978; 1979; Nicol, 1993; de Dear, 1998; Nicol & McCartney, 2001). Nella maggior parte delle attuali norme edilizie, la definizione di comfort termico segue la norma ISO 7730, che è basata sul modello stazionario di Fanger.

Ma in anni recenti, alcune norme internazionali (es. la norma americana ASHRAE 55 2004 e la norma europea EN 15251) hanno proposto modelli di comfort Adattivo basati su sondaggi di comfort effettuati negli edifici reali.

Queste hanno introdotto modelli Adattivi per gli edifici ventilati in modo naturale.

2.2 COMFORT INTERNO E STANDARD *PASSIVHAUS*

Il fabbisogno di raffrescamento è l'energia richiesta per mantenere un dato set di condizioni di temperatura e umidità interne durante il periodo estivo. La composizione dell'involucro dell'edificio, i guadagni interni e le condizioni interne richieste definiscono l'entità di questa richiesta ; temperature interne estive più basse comportano maggiori carichi termici (cioè serve più energia per mantenere l'edificio alla temperatura richiesta).

Come visto, il modello Adattivo generalmente definisce temperature di comfort maggiori e più flessibili rispetto al modello di Fanger. Spesso la temperatura di comfort Adattiva neutra può essere raggiunta utilizzando strategie di raffrescamento passivo, come l'ombreggiamento delle finestre e la ventilazione notturna. In questi casi, il fabbisogno di raffrescamento si riduce praticamente a zero, e non è necessario un raffrescamento meccanico.

In alcune località mantenere le temperature di comfort definite dal modello Adattivo richiede comunque energia. Per esempio, a Palermo in Sicilia le escursioni di temperatura diurne sono basse, e le temperature esterne notturne sono solo pochi gradi inferiori a quelle diurne. In questa situazione, le strategie di ventilazione notturna assistano ma non sono sufficiente a raffrescare del tutto un edificio. Di conseguenza la *Passivhaus* a Palermo ha un fabbisogno di raffrescamento di circa 2 kWh/m²/anno, il che richiede un sistema di raffrescamento meccanico attivo per ridurre le temperature di picco (anche se i mezzi principali di raffrescamento sono sempre passivi). Ma anche se la *Passivhaus* a Palermo ha un fabbisogno di raffrescamento, esso è così basso che il fabbisogno annuale per riscaldamento e raffrescamento resta comunque sotto il 15 kWh/m²/anno, e quindi conforme allo standard *Passivhaus*.

Poiché il modello di Fanger in genere porta a temperature di comfort interne neutre più basse di quelle predette dal modello Adattivo, i carichi di raffrescamento e il fabbisogno di raffrescamento degli edifici sono più alti. Pertanto c'è un ovvio vantaggio nel proporre strategie di raffrescamento passivo.

Ma in alcune località l'applicazione di tecniche di raffrescamento passivo

può essere problematico. In particolare, nelle città può essere difficile realizzare strategie di ventilazione notturna efficaci (con le quali l'aria fredda notturna è usata per raffrescare la massa termica dell'edificio) sia perché gli occupanti potrebbero chiudere le finestre di notte per impedire l'ingresso dei rumori, sia perché le oscillazioni di temperatura diurne risultano ridotte a causa dell'effetto "isola di calore". In questi casi può risultare necessario installare quindi sistemi di raffrescamento attivi per fornire condizioni interne accettabili.

Come conseguenza, nel rivedere lo standard *Passivhaus* per i climi europei caldi gli edifici devono ora rispettare i seguenti requisiti:

Se il raffrescamento è fornito con mezzi prevalentemente **passivi**

Requisiti di comfort interno: come definiti dal modello Adattivo dell'Allegato A.2 ("Temperature interne accettabili per la progettazione di edifici senza sistemi di raffrescamento meccanici") della EN 15251

Fabbisogno per riscaldamento e raffrescamento: < 15 kWh/m²/anno

Energia primaria totale: < 120 kWh/m²/anno

Se il raffrescamento è fornito con **sistemi attivi**

Requisiti di comfort interno: come definiti dal modello di Fanger della EN 15251 (cioè per edifici raffrescati con i sistemi basati sul ciclo a compressione)

Fabbisogno per riscaldamento: < 15 kWh/m²/anno

Fabbisogno per raffrescamento: < 15 kWh/m²/anno

Energia primaria totale: < 120 kWh/m²/anno

Lo standard proposto, comunque, raccomanda che i sistemi meccanici vengano usati solo nel caso sussistano limiti tecnici all'uso di soluzioni prevalentemente passive.

3 PROPOSTE DI *PASSIVHAUS*

3.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo vengono presentati esempi di come lo standard *Passivhaus* possa essere applicato nei cinque Paesi Partner (Francia, Spagna, Portogallo, Italia e Regno Unito) in condizioni climatiche e socio-economiche diverse dal contesto di applicazione della Germania. Il tentativo fu intrapreso dai Partner con l'obiettivo di applicare lo standard *Passivhaus*, come descritto in dettaglio nei Capp. 1 e 2, inteso come un livello prestazionale piuttosto che come una lista di requisiti prescrittivi.

Le proposte nazionali furono formulate con riferimento alla tipologia standard di una villetta a schiera. I modelli furono adattati e ottimizzati per ottenere il livello di comfort richiesto e un basso fabbisogno energetico. Le valutazioni delle prestazioni furono fatte con l'ausilio della simulazione termodinamica ; anche se gruppo non ha potuto utilizzare lo stesso strumento . L'analisi mirava ad determinare il fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento nelle varie località e determinare possibilità di applicare lo standard .

L'analisi ha rivelato che risulta generalmente possibile limitare senza troppo difficoltà i carichi termici nei paesi del Sud Europa a meno di 15 kWh/m²/anno. Carichi così bassi diventano quindi marginali rispetto ad altri fabbisogni energetici delle abitazioni, come per l'acqua calda sanitaria, l'illuminazione ed le apparecchiature domestiche. Il risultato interessante dell'esercizio comunque e che i carichi di raffrescamento spesso possono essere fronteggiati con sole strategie passive.

Ciò ha portato a un ampio range di soluzioni progettuali, che si riflettono nelle proposte delle varie Nazioni, descritte in seguito. Queste mostrano che è possibile progettare, adottando le soluzioni appropriate , abitazioni confortevoli a basso consumo energetico che possono spesso evitare l'uso di mezzi di raffrescamento attivi. La Parte 2 presenta in più dettaglio le assunzioni e risultati relative alle proposte qui descritte sommariamente mentre la Parte 3 presenta una lista di generiche strategie passive,

3.2 LA PASSIVHAUS NEL REGNO UNITO

3.2.1 La casa

Il punto di partenza per la proposta presentata dalla School of the Built Environment (SBE) di una *Passivhaus* per il Regno Unito, è stata una villetta a schiera standard con tre camere da letto, conforme ai Regolamenti edilizi del 2006. Gli standard di energia e comfort della *Passivhaus* tedesca furono adattati al contesto inglese tenendo conto del clima locale, degli standard costruttivi, del quadro tecnico ed economico come pure della differenza di stile di vita e di aspettative degli acquirenti di immobili inglesi per quanto riguarda l'uso dello spazio e l'interazione con l'edificio. Per esempio, una delle caratteristiche principali della *Passivhaus* tedesca è il sistema di ventilazione meccanica con recupero di calore. Perché questo funzioni (cioè comporti un risparmio netto di energia) la casa deve avere un'ottima tenuta all'aria. Ma nel Regno Unito c'è un diffuso scetticismo tra i costruttori circa la necessità di case estremamente sigillate e l'uso di ventilazione meccanica. Ciò è in parte dovuto al clima invernale più mite e alla difficoltà percepita di raggiungere tassi di infiltrazione molto bassi. Pertanto, nella proposta della SBE, la ventilazione è ottenuta naturalmente per mezzo di aperture di basso livello (controllate manualmente) ed alto livello (controllate in modo automatico). Questo ha il beneficio di evitare costi di capitale e manutenzione di un sistema meccanico e permette agli occupanti di avere un grado di controllo sull'apertura delle finestre. La tenuta all'aria è ancora importante, ma la minima portata d'aria è immessa attraverso lo spazio cuscinetto mediante ventilatori automatizzati e alette di ventilazione.

La tipica *Passivhaus* britannica segue il layout generale di una villetta bifamiliare tradizionale con tre camere da letto. Il piano terra include due 'spazi cuscinetto' a nord e sud. Anche se essi sottraggono spazio abitabile alla superficie in pianta totale, possono essere usati come magazzini temporanei, serre o aree di lavanderia. Lo spazio cuscinetto a nord funge anche come atrio di entrata, mentre quello a sud è come una serra inclusa nel volume dell'edificio. Le altre caratteristiche della *Passivhaus* britannica sono il lucernario alla sommità del vano scale, che fornisce l'uscita per l'effetto camino, e le aperture automatizzate con ventilatori ad alette. Sono presenti circa 300 mm di isolante sul tetto e 200 mm a parete. Lo spazio cuscinetto vetrato al lato sud è munito di scuri Veneziani per il controllo solare estivo e di persiane isolate contro le perdite di calore invernali. Gli extra costi della *Passivhaus* proposta per il Regno Unito, confrontati con una casa standard, sono di 49 £/m² con un tempo di ritorno di 19 anni.



Fig. 3. 1 – Esempio di casa a zero energia fossile nel Regno Unito, Bedzed (Realizzazione: Zed Factory)



Fig. 3. 2 – Vista 3D della *Passivhaus* britannica proposta da SBE

3.2.2 La strategia

La strategia di progettazione ambientale proposta costituisce una variante dalla strategia tedesca *Passivhaus*, combinando la ventilazione naturale con un'alta capacità termica interna. D'inverno l'aria di mandata viene preriscaldata attraverso lo spazio cuscinetto a sud, che può raggiungere temperature fino a 20°C. Laddove lo spazio lo consente, si possono installare tubi nel terreno del giardino per il pre-riscaldamento (o pre-raffreddamento) dell'aria destinata allo spazio cuscinetto. Il carico di riscaldamento residuo è così basso che lo si potrebbe bilanciare con una fonte "carbon neutral" come una caldaia a cippato, che potrebbe fornire anche l'acqua calda sanitaria. In estate, durante i giorni caldi, lo spazio cuscinetto è aperto verso l'esterno per evitare surriscaldamento ed agisce come un'estensione dello spazio vissuto. Nelle notti estive, il controllo automatico di alto livello dei ventilatori provvederà a raffreddare l'edificio e la massa termica degli interni. La sicurezza è mantenuta usando alette di ventilazione automatizzate di alto livello e ventilatori di basso livello.

L'alta capacità termica interna può essere raggiunta per mezzo di pannelli in calcestruzzo prefabbricati a faccia-vista, oppure, laddove è preferita una costruzione leggera, per mezzo di PCM (phase change materials) incapsulati nel cartongesso. L'alta capacità termica interna è importante per evitare il surriscaldamento e la necessità del raffrescamento, che con il progredire del surriscaldamento globale diventerà una priorità crescente. Perciò la tipica *Passivhaus* Britannica evita l'utilizzo di raffrescamento attivo mediante ombreggiamento e ventilazione naturale accoppiati con massa termica esposta.

Per minimizzare le perdite per trasmissione ed infiltrazione, si sono assunti alti livelli di isolamento con valori tipici di U intorno a 0.2 W/m²K e 0.15 W/m²K, rispettivamente per le pareti e il tetto. Doppi vetri basso emissivi (non tripli vetri come nella *Passivhaus* tedesca) sono proposti per le superfici finestrate interne, mentre lo strato esterno dello spazio cuscinetto presenta vetri semplici. Lo strato esterno potrebbe essere a doppio vetro anch'esso, il che potrebbe migliorare le prestazioni in modo sostanziale, ma con le simulazioni si è previsto che con la vetratura descritta si raggiunge già lo standard richiesto per il riscaldamento. Si assumono valori tipici di U pari a 1.8 W/m²K per le finestre, mentre i tassi di infiltrazione sono pari a 3 ricambi orari a 50 Pa.

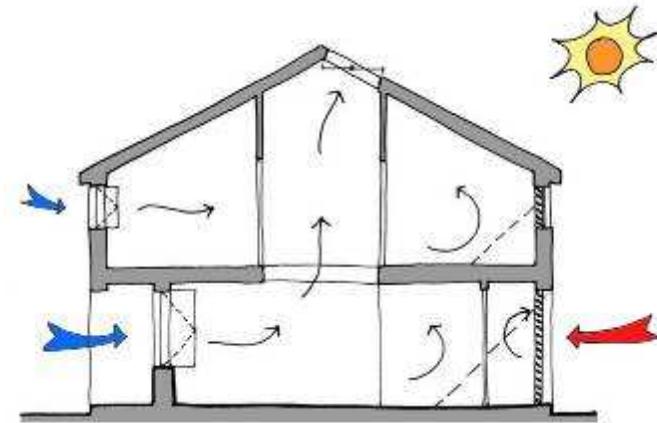


Fig. 3. 3 – Strategia di ventilazione estiva

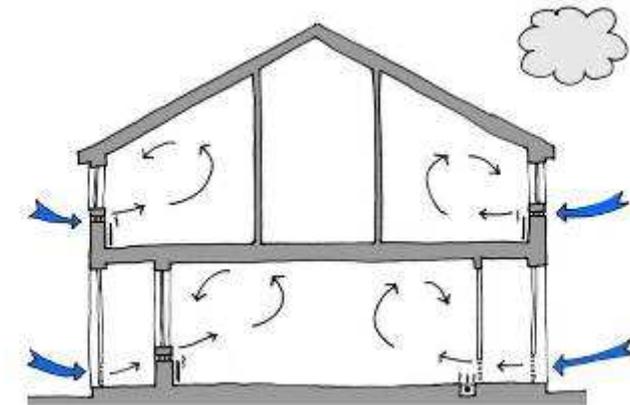


Fig. 3. 4 – Strategia di ventilazione diurna invernale

3.2.3 Prestazioni: energia e comfort

Il fabbisogno energetico annuale per riscaldamento della *Passivhaus* Britannica proposta da SBE è stata stimata pari a un totale di 13.8 kWh/m². Questo valore è conforme con lo standard *Passivhaus* di 15 kWh/m², e va confrontato con un valore tipico di fabbisogno energetico annuale per riscaldamento per la stessa casa costruita con le correnti regole edilizie pari a 55 kWh/m². Non è richiesto raffrescamento attivo in virtù delle strategie di mitigazione passiva descritte sopra. Andrebbe ricordato che si tratta di una villa con frontone a vista, e pertanto una villetta a schiera con lo stesso layout potrebbe ottenere queste prestazioni con delle specifiche leggermente ridotte.

I criteri di comfort adottati durante l'analisi estiva si sono basati sul calcolo degli indici di comfort (vedi la Parte 2). Gli indici sommano la "distanza" tra la temperatura operativa prevista della stanza e le temperature neutre ad ogni ora sull'intero anno. L'Indice di Comfort Adattivo (AI2), applicato ad edifici "free running" (cioè senza riscaldamento e raffrescamento supplementari), si riferisce a una temperatura di comfort neutra definita sulla base dei Modelli Adattivi mensili riportati in ASHRAE 55. Quando si valuta il comfort usando quest'indice, un basso valore indica una prestazione migliore, essendo zero la prestazione ottimale. Per la *Passivhaus* proposta per il Regno Unito l'indice AI2 era pari a zero. Riguardo alle condizioni di temperature estive, la temperatura risultante (o operativa), che è media tra temperatura dell'aria e temperatura radiante, è tenuta sotto 25°C per il 96 % del tempo di occupazione (per una discussione più ampia sulla questione comfort si veda il Cap. 2). D'inverno la temperatura interna dell'aria è tenuta a 20°C per mezzo di riscaldamento tradizionale per far fronte alla richiesta residua per riscaldamento. Ma in assenza di sistema di riscaldamento supplementare, la percentuale del tempo in cui la temperatura risultante interna supera i 18°C è il 68%. Nell'area vissuta le temperature risultanti oscillano tipicamente tra 10 e 24°C, superando la temperatura ambiente di 5 - 15°C.

Quanto detto dimostra che la strategia adottata per il progetto della casa riesce a garantire lo standard *Passivhaus* in termini di fabbisogno per riscaldamento/raffrescamento e di comfort termico. Esso rivela anche che non è necessario che le misure richieste per raggiungere queste prestazioni siano prescrittive. Ciò fornirà sia ai progettisti che ai costruttori una maggiore flessibilità al momento di destreggiarsi tra le diverse priorità per ottenere una casa passiva affidabile.

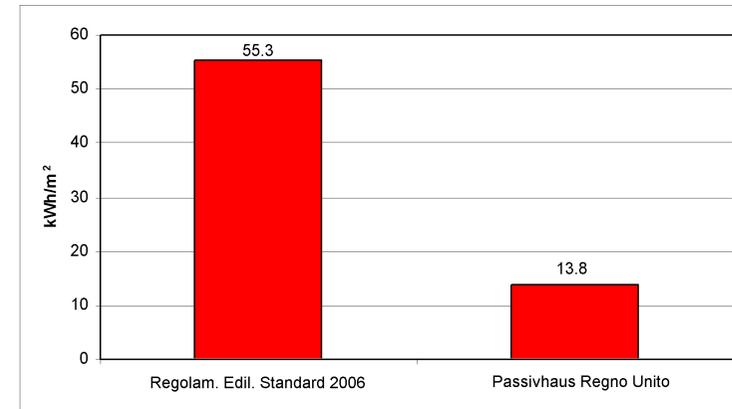


Fig. 3. 5 – Fabbisogno energetico annuale per una casa standard e per una *Passivhaus*

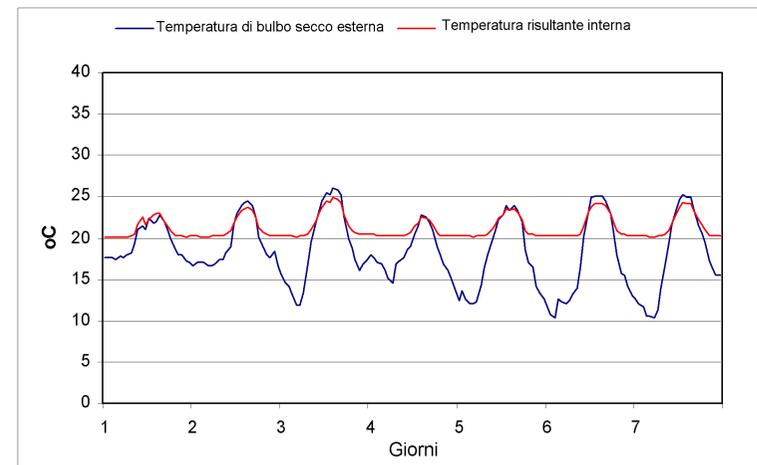


Fig. 3. 6 – Andamento tipico delle temperature di bulbo secco estive senza raffrescamento aggiuntivo

3.3 LA *PASSIVHAUS* IN SPAGNA

3.3.1 La casa

Il punto di partenza è costituito da una tipica villetta a schiera o bifamiliare, localizzata nei pressi di una grande città. Essa presenta tre o quattro camere da letto ed un'area in pianta calpestabile totale di 100 m². Essa rispetta gli attuali regolamenti edilizi spagnoli, racchiusi nel "Building Technical Code", obbligatorio dal 2007, in particolare per i limiti di richiesta energetica.

L'obiettivo era applicare i principi della *Passivhaus* tedesca partendo da questa abitazione e tenendo conto del clima della Spagna. L'analisi si è concentrata sul clima regionale dell'Andalusia: Siviglia e Granada. Entrambe le località presentano un clima mediterraneo, ma con peculiarità che le rendono più estreme e complesse di altre località come Cadice o Almeria. Siviglia ha un'estate molto critica, mentre Granada presenta un inverno rigido. Inoltre, si intende ottenere abitazioni che, nell'ambito delle nuove regole di etichettatura energetica, raggiungano il massimo livello (A il migliore - E il peggiore) con tecniche di riscaldamento e raffrescamento passive, a basso costo, e condizioni di comfort soddisfacenti come espresse nella EN 15251.

La distribuzione planimetrica della casa non è quella tipica spagnola. Infatti, le villette a schiera o bifamiliari hanno pareti esterne di superficie minima. Le pareti di separazione tra le abitazioni hanno la superficie maggiore. Questa opzione massimizza la compattezza (vedi Parte 2), ideale nei climi con inverni molto rigidi e laddove la radiazione solare non è elevata. Ma a Siviglia e Granada conviene sacrificare la compattezza per avere una maggiore superficie orientata a sud, aumentare l'area di trasferimento di calore in questo lato e, come risultato, ridurre il fabbisogno energetico per riscaldamento. In questa situazione avremo nel nostro prototipo una maggiore superficie di pareti rivolta verso l'esterno. L'orientamento prevalente delle facciate è a sud – maggiore superficie vetrata (circa 50%) – e nord – minore superficie vetrata (circa 10%) -. Questa strategia progettuale può creare problemi nel contesto urbano perché non è una modalità comune, ma rappresenta il meglio dal punto di vista energetico.

L'extra-costo della *Passivhaus* spagnola è di ca. 25 €/m² – che rappresenta un aumento del 5% rispetto al costo di costruzione degli edifici standard – e il tempo di ritorno scontato medio (DPB) è di circa 5 anni. Questa cifra è minore di altri paesi per via del fatto che la nostra proposta si basa più sulla

progettazione che sull'uso di sistemi innovativi o di alti livelli di tenuta all'aria.



Fig. 3. 7 – Casa a basso consumo in Spagna, Siviglia

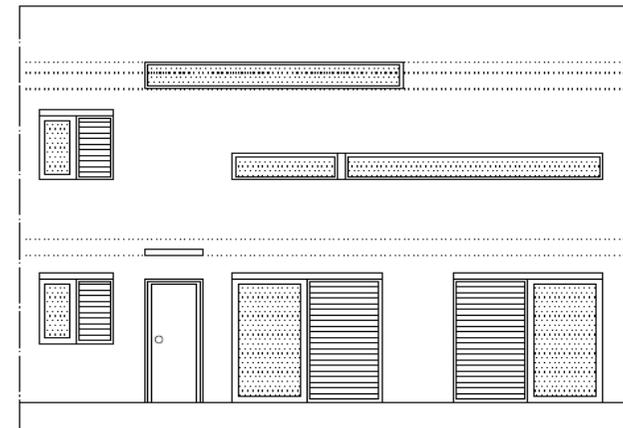


Fig. 3. 8 – Facciata nord della *Passivhaus* proposta per la Spagna

3.3.2 La strategia

La strategia ambientale per l'esempio di *Passivhaus* spagnola comprende gli elementi descritti sotto.

Pre-riscaldamento dell'aria entrante

Un sistema di ventilazione meccanica (con livelli molto alti di tenuta all'aria richiesti per l'edificio) non è stato considerato in quanto non compatibile con le caratteristiche edilizie spagnole.

Vetri

L'alto livello di vetratura a sud massimizza i guadagni solari d'inverno. Il vantaggio principale dell'orientamento a sud, diversamente da est e ovest, è che presenta livelli più bassi di radiazione solare d'estate – quando non è desiderata; inoltre, è più facile controllarne l'ingresso. Il controllo solare si ottiene con l'uso di ombreggiamenti mobili (vedi: "Vetratura ed energia solare" nella Parte 2). Sul lato nord si raccomanda di usare la superficie minima vetrata per soddisfare i requisiti minimi di luce naturale. In località con severe condizioni invernali si suggerisce di migliorare il valore di U dei vetri a nord.

Massa ed inerzia termica

Si propongono due soluzioni: bassa inerzia con mattoni tradizionali di 6 cm verso lo spazio interno, ed alta inerzia con blocchi ceramici di bassa densità. L'alta inerzia non è applicabile a Granada per considerazioni strutturali. In ogni caso una soluzione ad alta inerzia va usata insieme con:

- Ventilazione che metta l'aria entrante in contatto con le pareti interne ad alta inerzia (alta massa termica); le altre pareti non occorre che abbiano alta inerzia.
- Corretta distribuzione della massa, in modo che la radiazione solare impatti sulle pareti più massive.

Ventilazione notturna

Lo spazio delle scale di notte agisce come un camino che permette l'estrazione dell'aria nelle notti estive.

Illuminazione

In cima alle scale si è prevista una lunga finestra orientata a sud, in modo da permettere l'illuminazione naturale della zona nord.

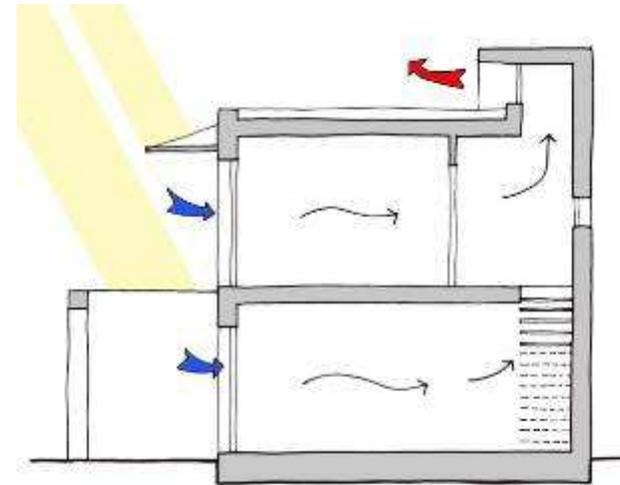


Fig. 3. 9 – Strategia di illuminazione-ventilazione in estate

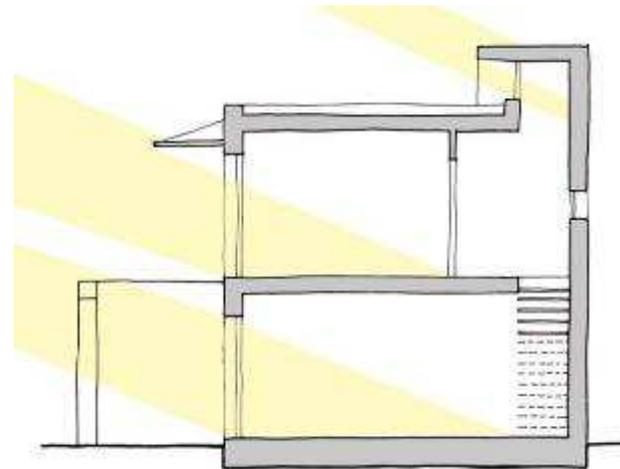


Fig. 3. 10 – Strategia di uso della radiazione per l'illuminazione d'inverno

3.3.3 Prestazioni: energia e comfort

Il fabbisogno energetico totale della casa di Siviglia è di 24.5 kWh/m² (2.8 kWh/m² per riscaldamento, 21.7 kWh/m² per raffrescamento); questo valore non è conforme ai requisiti estivi della *Passivhaus*. Tuttavia, questi valori corrispondono a ottimi livelli nell'ambito dell'etichettatura energetica nazionale (A per il riscaldamento - B per il raffrescamento). Il fabbisogno energetico totale medio per una nuova abitazione convenzionale è di 57.3 kWh/m², il progetto di *Passivhaus* proposto per la Spagna comporta una riduzione del 57% rispetto a questo valore.

La richiesta energetica totale della casa di Granada è di 16.6 kWh/m² (8.7 kWh/m² per riscaldamento e 7.9 kWh/m² per raffrescamento); questo valore è conforme ai requisiti della *Passivhaus*. Il fabbisogno energetico totale medio per una nuova abitazione convenzionale è di 69.0 kWh/m², pertanto si è ottenuta una riduzione del 76% rispetto a questo valore. Questa *Passivhaus* avrebbe un'etichetta energetica A per il riscaldamento e B per il raffrescamento.

Questi valori sono così bassi che virtualmente non ci sarebbe bisogno di sistemi di riscaldamento o raffrescamento attivi (eccetto che per i più alti carichi di raffrescamento di Siviglia). Infatti, le simulazioni mostrano che la strategia complessivamente adottata per la progettazione *Passivhaus* spagnola risponde ai requisiti previsti in termini di riscaldamento/raffrescamento e comfort termico.

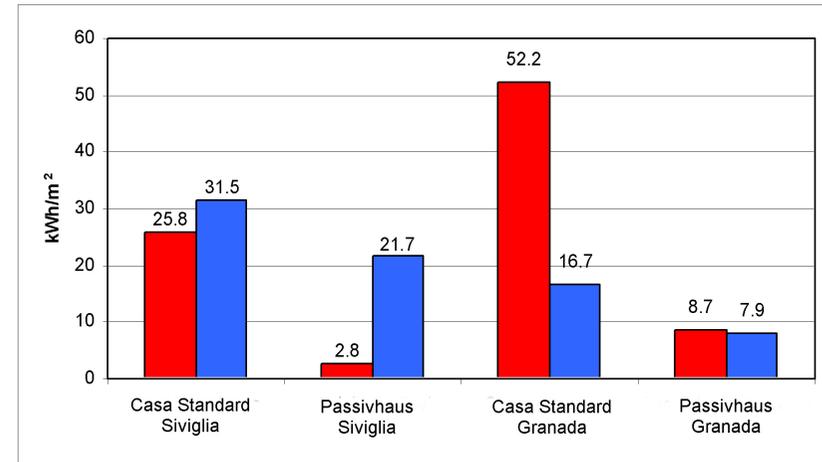


Fig. 3. 11 – Fabbisogno energetico annuale per una casa standard e per una *Passivhaus* a Siviglia e Granada

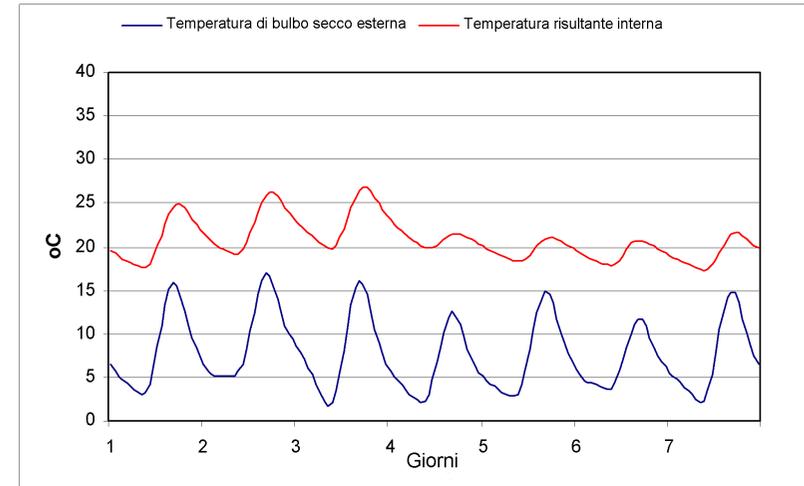


Fig. 3. 12 – Temperature previste durante una settimana d'inverno nella *Passivhaus* a Granada, SP

3.4 LA PASSIVHAUS IN PORTOGALLO

3.4.1 La casa

Il punto di partenza per la proposta di *Passivhaus* portoghese è costituito da una casa ad unico piano con due camere da letto, conforme al Regolamento Edilizio nazionale 2006 (RCCTE, DL 80/2006). Le strategie inerenti standard di energia e comfort della *Passivhaus* sono state adattate al contesto portoghese, in particolare per quanto riguarda la lunga stagione di raffrescamento. La proposta attuale tiene conto del clima locale (caso studio per Lisbona), degli standard costruttivi e del contesto tecnico-economico.

Viene proposto un semplice prototipo per consentire agli architetti sufficiente libertà di progettazione delle case. Esso presenta una pianta rettangolare con due camere da letto ed un tetto piano, per una superficie utile totale di 110 m^2 . Il semplice layout suggerito può facilmente essere esteso al caso di più stanze e/o superficie maggiore in pianta.

Il livello d'isolamento di pareti e tetto supera gli standard nazionali, mentre i ricambi d'aria sono controllati (0.8 h^{-1} a 50 Pa). Tuttavia, isolamento e tenuta all'aria non sono le principali questioni per la proposta in esame. I tre aspetti cardine nella casa qui proposta sono: relazione con il Sole, ventilazione per il raffrescamento, alta massa termica per controllare le oscillazioni di temperatura. La disponibilità di Sole è piuttosto alta in Portogallo, anche durante la stagione fredda. Perciò un fattore chiave in questa casa è la relazione con la radiazione solare, catturata sia direttamente (finestre) che indirettamente (solare termico). Ampie finestre sono orientate principalmente a sud per aumentare i guadagni solari d'inverno. Superfici minori sono orientate ad est ed ovest, minime a nord. La protezione solare è scelta a seconda dell'orientamento: aggetti sulle finestre a sud per ridurre l'incidenza solare d'estate, scuri Veneziani esterni in tutte le finestre.

Un aspetto molto importante della proposta è l'uso del solare termico. Il nuovo Regolamento Termico edilizio obbliga all'uso del solare termico per produrre ACS (purché si disponga di esposizione idonea). La proposta estende l'impiego del solare anche per coprire una parte importante della domanda di riscaldamento, aumentando l'area dei pannelli solari ed usando un sistema di distribuzione a bassa temperatura (es. pavimenti radianti). Come proposto per lo standard *Passivhaus*, la capacità di riscaldamento e raffrescamento attivo è limitata a 10 W/m^2 . L'extra-costi della *Passivhaus* proposta per il Portogallo è di 57 €/m^2 , con tempo di ritorno di 12 anni.



Fig. 3. 13 – Foto di una casa a basso consumo esistente in Portogallo (Janas House)

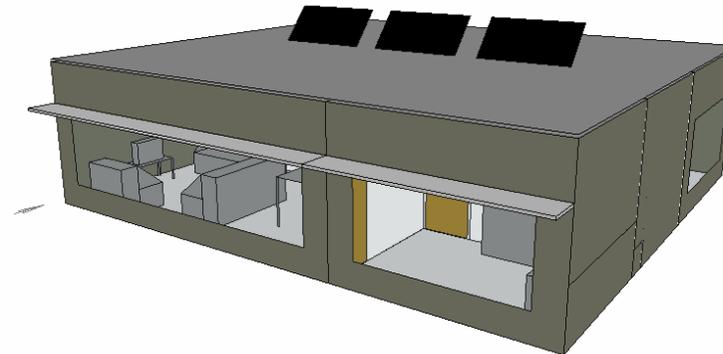


Fig. 3. 14 – Vista 3D della *Passivhaus* proposta per il Portogallo

3.4.2 La strategia

La casa combina l'abilità di raccogliere calore dal Sole (ampie finestre a sud) e la capacità di regolare la temperatura interna con la sua alta inerzia termica.

Per ridurre le perdite ed i guadagni di calore, sono stati proposti 150 mm e 100 mm di isolamento per tetto e pareti esterne, con valori di U di 0.23 W/m²K e 0.32 W/m²K rispettivamente. Isolando il pavimento (80 mm) si hanno benefici nei climi più freddi. Ma laddove il raffrescamento prevale sul riscaldamento, andrebbe isolata solo una striscia di 1 m del perimetro sotto il pavimento, in modo da permettere al nucleo centrale della casa di rilasciare il calore verso il terreno durante l'estate. Le finestre che si affacciano a sud corrispondono a circa il 60% della superficie finestrata totale; circa il 20% della superficie finestrata si affaccia ad est, un altro 20% ad ovest. La casa presenta circa 1.2 m² di vetri a sud per ogni 10 m² di area netta (totale di 2.1 m² di vetri per ogni 10 m² di area netta). I doppi vetri basso-emissivi possono essere molto efficaci nei climi più freddi del Portogallo, ma il più delle volte i doppi vetri normali risultano più convenienti (si sono considerate U di 2.9 W/m²K per i doppi vetri normali e 1.9 W/m²K per i basso-emissivi).

Il solare termico copre la maggior parte della domanda per il riscaldamento della casa. I pannelli solari sono installati verso sud, con tilt di 50° rispetto al piano orizzontale, per aumentare l'efficienza d'inverno.

Per evitare il surriscaldamento durante la stagione estiva, in particolare nelle stanze che si affacciano a sud ed ovest, è importante usare strumenti di controllo solare (scuri e aggetti), e combinare alta inerzia termica e ventilazione, soprattutto di notte (la temperatura dell'aria esterna scende molto durante le ore notturne). L'alta inerzia termica può ottenersi per esposizione di pesanti pavimenti in cemento, usando partizioni interne in mattoni e applicando un isolamento esterno a pareti e tetto. Ma c'è ancora scetticismo tra i costruttori portoghesi sulle prestazioni meccaniche dell'isolante esterno, per cui si propone di usare la parete tradizionale a doppia fila di mattoni con strato isolante nell'intercapedine.

Un'efficace strategia di ventilazione passante può asportare il calore immagazzinato nelle pareti e nei pavimenti. Nelle camere da letto la ventilazione dovrebbe avvenire nelle ore serali, per evitare correnti durante le ore del sonno; negli altri spazi si può usare il raffrescamento tutta la notte. Un controllo solare efficace, unito ad una strategia di ventilazione che dissipi i guadagni solari e interni, può ridurre la potenza necessaria per il

raffrescamento attivo o renderne addirittura superflua l'installazione.

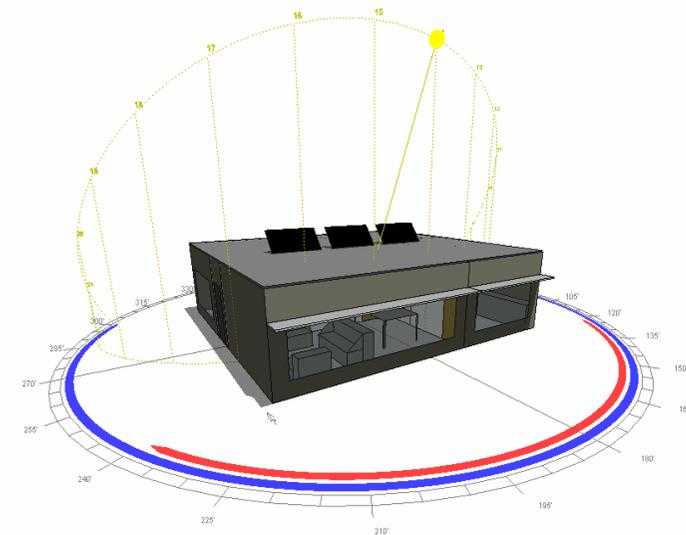


Fig. 3. 15 – Incidenza solare estiva, vista da SO

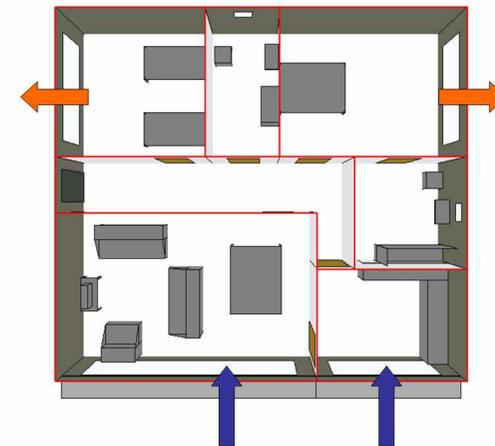


Fig. 3. 16 – Strategia di ventilazione estiva

3.4.3 Prestazioni: energia e comfort

Il fabbisogno energetico annuale per riscaldamento della *Passivhaus* proposta per il Portogallo è stato stimato in 16.9 kWh/m^2 , di cui 11 kWh/m^2 sono forniti col solare termico (in questa analisi la priorità del solare termico è data per il riscaldamento, mentre la frazione solare per l'acqua calda sanitaria è del 48%). Il fabbisogno energetico annuale per raffrescamento è di 3.7 kWh/m^2 . La somma del fabbisogno netto per riscaldamento e raffrescamento è di 9.6 kWh/m^2 anno. Secondo il regolamento termico i limiti di riscaldamento e raffrescamento per questa casa costruita a Lisbona sono 73.5 e 32 kWh/m^2 anno rispettivamente.

L'analisi del comfort termico è basata sulla temperatura risultante (o operativa), media della temperatura dell'aria e di quella radiante. I criteri di comfort adottati durante l'analisi estiva si sono basati sul calcolo degli indici di comfort (vedi Parte 2). Gli indici sommano su tutto il periodo la "distanza" tra temperatura operativa prevista della stanza e temperature neutre per ogni ora. Quindi un valore basso dell'indice indica una prestazione migliore.

La casa in esame, con raffrescamento attivo, presenta un Indice di comfort di Fanger pari a 811 (la casa è penalizzata dall'influenza della temperatura radiante dell'ampia area finestrata). Se non è presente alcun raffrescamento attivo, si applica l'Indice di Comfort Adattivo (AI2) secondo quanto riportato in ASHRAE 55. Per la *Passivhaus* proposta per il Portogallo l'indice AI2 valeva 16. Per questa casa la temperatura risultante è tenuta sotto i 25°C per il 71% del tempo di occupazione, e sotto i 28°C per il 98% del tempo di occupazione. In assenza di sistemi di raffrescamento attivo, la dimensione delle finestre e l'isolamento termico delle pareti andrebbero ridotti (anche se quest'ultima azione potrebbe far aumentare la domanda di riscaldamento).

D'inverno si usa il sistema di riscaldamento a bassa potenza (10 W/m^2), con il quale solo per l'8% del tempo la temperatura risultante scende sotto 19.5°C (la temperatura risultante più bassa raggiunta è 18°C).

L'analisi precedente mostra come le strategie adottate per progettare una *Passivhaus* per il clima di Lisbona possano essere vincenti, sia per quanto riguarda i limiti di energia che di comfort. Anche se la progettazione specifica

può essere molto diversa dal semplice layout presentato, le strategie applicate si sono rivelate efficaci nella loro relazione con il clima.

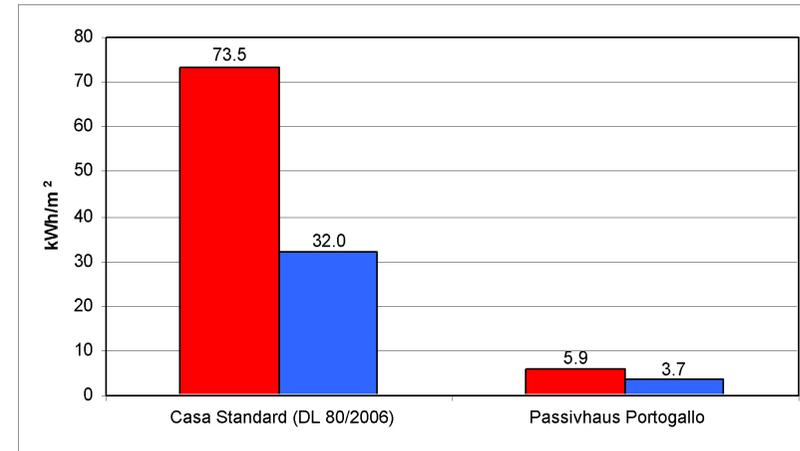


Fig. 3. 17 – Fabbisogno annuale previsto per il riscaldamento (rosso) e il raffrescamento (blu) per una casa standard e una *Passivhaus*

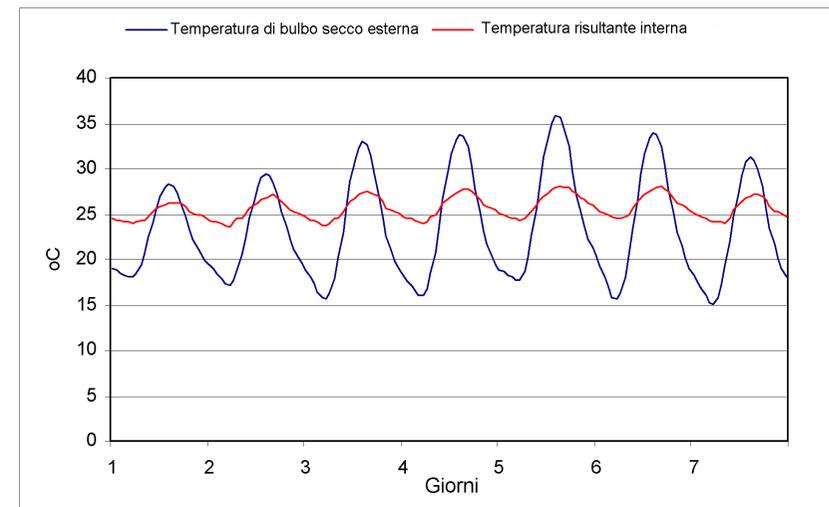


Fig. 3. 18 – Andamento delle temperature durante una settimana molto calda, senza raffrescamento attivo

3.5 LA *PASSIVHAUS* IN ITALIA

3.5.1 La casa

La *Passivhaus* italiana nasce dalla premessa che le soluzioni progettuali comunemente implementate per le *Passivhaus* dell'Europa centrale, tipicamente basate su un isolamento elevato dell'involucro, assenza di ponti termici e ventilazione forzata con recupero di calore:

- sono riproponibili nelle zone italiane caratterizzate da inverni relativamente rigidi, anche se brevi, come Milano e, in generale, tutto il Nord, ma anche come le regioni montane del Sud;
- possono, se integrate con soluzioni aggiuntive, fornire una strategia efficace per il raffrescamento passivo estivo.

La *Passivhaus* italiana adotta le seguenti soluzioni aggiuntive:

- l'ombreggiamento delle finestre per mezzo di gronde o persiane per ridurre i guadagni solari;
- una strategia di ventilazione notturna, integrata nei giorni particolarmente caldi da raffrescamento attivo fornito da una pompa di calore reversibile di bassa potenza.

Il vantaggio di basare la *Passivhaus italiana* sui concetti applicati in Europa Centrale risiede nel fatto che quei concetti si possono prontamente integrare in case con estetiche e layout comunemente accettati, come conferma la *Passivhaus* recentemente completata a Cherasco (2006), in Provincia di Cuneo (vedi foto nella pagina a fronte). In questo caso non è stato necessario prevedere ampie superfici finestrate a Sud o serre solari per assicurare sufficienti guadagni termici invernali.

Analogamente all'esempio proposto, la *Passivhaus* discussa in queste linee guida segue lo stile villa monofamiliare che rappresenta una parte significativa delle nuove costruzioni di provincia edificate in Italia negli ultimi anni, almeno nel Centro-Nord. La casa è una villetta a schiera di testa, con orientamento Nord-Sud, con un'area netta calpestabile di 120 m² ed un rapporto S/V di 0.8 m⁻¹. La schiera è sfalsata in modo che il 50% della parete ad ovest è protetta dalla parete ad est della casa contigua.

Simulazioni condotte con un software di modellazione dinamica (DOE energy-plus) hanno mostrato che con opportuni adeguamenti delle varie strategie di progettazione (per esempio variando i livelli di isolamento dell'involucro edilizio) si ottengono condizioni confortevoli per tutto l'anno a Milano, Roma e Palermo. Le caratteristiche tecniche della *Passivhaus* recentemente costruita a Cherasco confermano in larga misura le specifiche descritte in queste linee guida.

Per Milano gli extra-costi della *Passivhaus* sono stati valutati in 84.0 Euro/m², che corrispondono a un aumento di circa il 7% rispetto a una casa costruita secondo gli attuali standard edilizi minimi. Considerando risparmi energetici di 924 Euro/anno si stima un tempo di ritorno di circa 12 anni.



Fig. 3. 19 – La *Passivhaus* costruita a Cherasco, Provincia di Cuneo, nel Nord Italia

3.5.2 La strategia

Anche se la *Passivhaus* italiana adotta molti dei concetti della *Passivhaus* tedesca, si sono modificate alcune specifiche di dettaglio. In generale il clima più mite presente in Italia permette di raggiungere i limiti energetici e di comfort dello standard *Passivhaus* utilizzando criteri meno stringenti per quanto riguarda:

- i livelli di isolamento: una tipica *Passivhaus* tedesca richiede 25-30 cm di isolante sulle pareti esterne e 35-40 cm sul tetto. A Roma sono sufficienti 10 cm di isolante su parete e tetto.
- La tenuta all'aria dell'involucro: lo standard e la buona pratica dell'Europa Centrale richiedono che gli involucri edilizi limitino il ricambio d'aria a un massimo di 0.6 h^{-1} per una differenza di pressione di 50 Pa ($n_{50} < 0.6 \text{ h}^{-1}$). Ma a Milano e Roma il limite di n_{50} pari a 1 h^{-1} dovrebbe risultare accettabile, e anche troppo conservativo a Palermo.

In particolare per il Comfort Invernale la *Passivhaus* italiana:

- minimizza le perdite di calore invernali grazie a un involucro altamente isolato e all'eliminazione dei ponti termici.
- Fornisce ventilazione forzata con recupero di calore dall'aria esausta.
- Fornisce riscaldamento attivo utilizzando una pompa di calore geotermica di bassa potenza (carico termico massimo in inverno ed estate = 1.5 kW).
- Permette guadagni solari utilizzando la porzione vetrata (30%) delle superfici rivolte a Sud e riduce le perdite limitando le superfici vetrate a Nord.

Mentre per il **Comfort Estivo**:

- minimizza i guadagni solari grazie a un involucro altamente isolato e all'ombreggiamento delle finestre.
- Asporta i guadagni solari diurni e quelli interni accumulati nelle strutture edilizie utilizzando una strategia notturna di ventilazione ibrida (naturale e forzata).

A tal proposito si evidenzia che usando una struttura pesante e ben isolata, si ottiene una condizione idonea allo sfruttamento del raffreddamento notturno estivo della massa termica dell'edificio. L'aria di notte viene fatta circolare attraverso l'edificio, per azione del vento o di gradienti naturali di densità, oppure utilizzando i ventilatori del sistema di ventilazione forzata. Tale strategia funziona a Milano, anche se è più efficace a Roma.

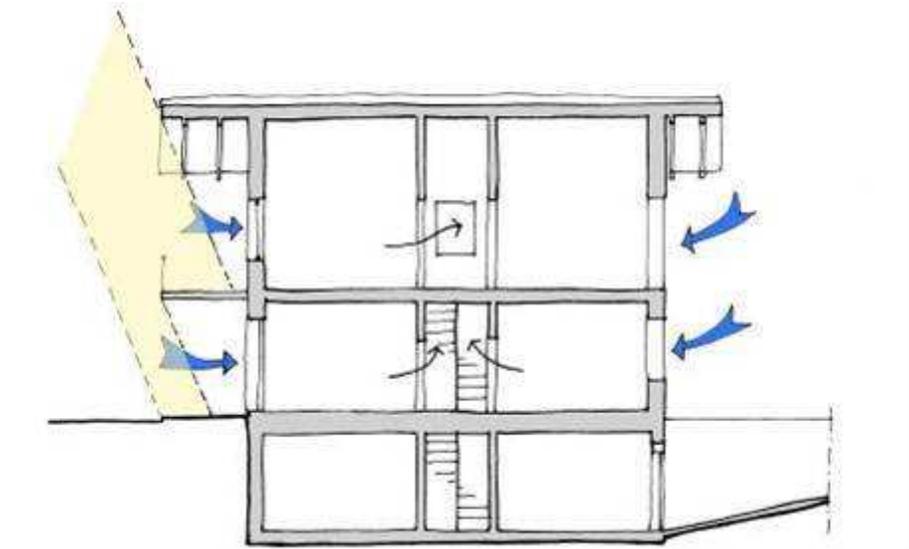


Fig. 3. 20 – Strategie estive

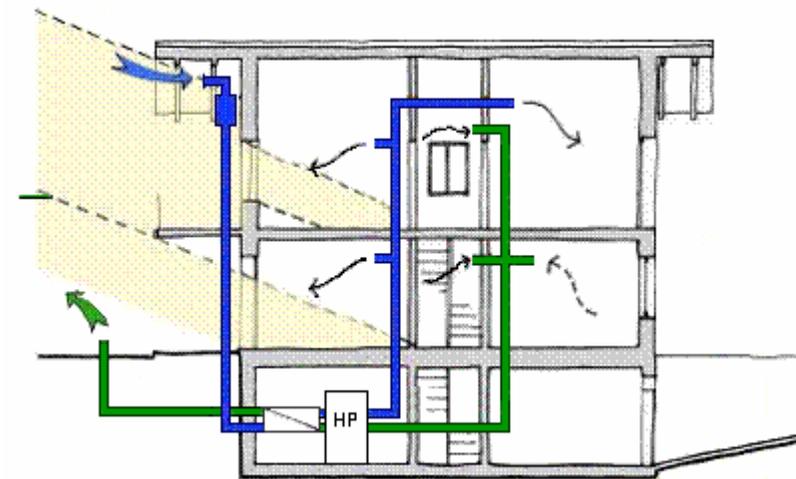


Fig. 3. 21 – Strategie invernali

3.5.3 Prestazioni: energia e comfort

Le condizioni di comfort estive a Milano e Roma possono essere assicurate con sistemi **interamente passivi**. Più precisamente:

- a Milano il limite superiore della temperatura di Comfort Adattivo (secondo la EN 15251) non viene mai superato, anche se la temperatura di neutralità termica viene occasionalmente superata in agosto.
- a Roma il limite superiore della temperatura di Comfort Adattivo non è mai superato, ma spesso si supera la temperatura di neutralità in agosto.

In ogni caso il raffrescamento passivo comporta temperature interne massime di circa 30°C sia a Milano che a Roma.

Anche se la strategia di ventilazione notturna risulta efficace, le temperature interne possono essere ridotte utilizzando una piccola pompa di calore reversibile. Modesti consumi energetici portano le temperature interne apprezzabilmente vicino alla temperatura di neutralità definita dal modello di comfort adattivo. (Temperatura massima di circa 27.5°C).

A Palermo la strategia di ventilazione naturale è meno efficace e si rende necessaria qualche forma di raffrescamento attivo per garantire le condizioni di comfort. A Palermo, la strategia di ventilazione naturale è meno efficace a causa della ridotta escursione termica giornaliera (in media solo 3°C d'estate). E' richiesto un raffrescamento attivo per rendere accettabili le condizioni di comfort estivo. Impiegando sistemi puramente passivi la temperatura estiva raggiunge i 32.5°C, valore maggi ore della temperatura di comfort superiore accettabile secondo il modello adattivo, per gran parte del mese di agosto. Anche con un raffrescamento attivo significativo (9 kWh/m²/anno) la temperatura di neutralità viene superata per molti giorni ad agosto, anche se in generale le temperature interne rimangono sempre minori della temperatura massima accettabile.

Infine, si è esaminato il comportamento delle case durante estati particolarmente calde, aumentando le temperature estive di 3°C. Mentre a Milano e Roma si conservano condizioni confortevoli, a Palermo la temperatura interna supera in modo consistente la temperatura di neutralità, anche con raffrescamento attivo.

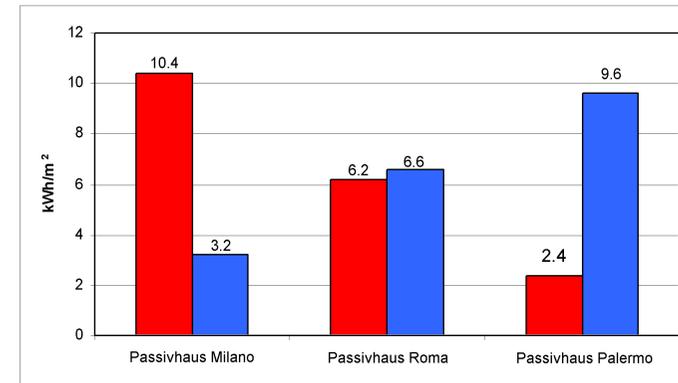


Fig. 3. 22 – Fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento della *Passivhaus* italiana.

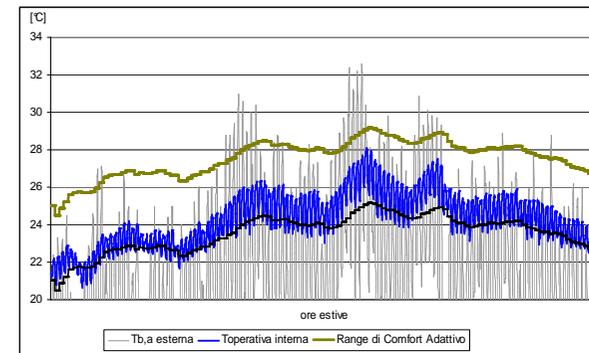


Fig. 3. 23 – Andamento della temperatura del soggiorno in estate a Milano, applicando il raffrescamento passivo.

3.6 LA PASSIVHAUS IN FRANCIA

3.6.1 La casa

Il clima del nord della Francia è piuttosto simile a quello della Germania, anche se leggermente più mite grazie all'influenza dell'Oceano Atlantico. Perciò una *Passivhaus* nel nord della Francia potrebbe somigliare ad una *Passivhaus* in Germania: ottimo isolamento dell'involucro edilizio (tipicamente da 25 a 40 cm di isolante) senza ponti termici apprezzabili, infiltrazioni d'aria ridotte al minimo, un sistema di mandata ed estrazione dell'aria con recupero del calore molto efficiente, finestre con telai isolati e tripli vetri basso-emissivi con gas nelle intercapedini. Ciò permette una semplificazione del sistema meccanico: il sistema di distribuzione del calore può essere sostituito da una unità riscaldante centralizzata ad aria che serva l'intera abitazione.

Per due località dal clima mediterraneo nel sud della Francia, Nizza e Carpentras, la proposta di *Passivhaus* è stata sviluppata adattando questo concetto ai climi più caldi del sud. La disposizione della casa corrisponde a una tipica villetta a schiera a due piani come se ne stanno costruendo in gran numero in tutta Europa, con uno scantinato non riscaldato, un open space sul piano terra e tre camere da letto al primo piano. Le case sono ipotizzate orientate a sud, con la successiva schiera di case situata a una distanza di 23 m.

Per Carpentras, il livello di isolamento può essere ridotto a 15 cm a parete e tetto e 8 cm nel pavimento dello scantinato. Per il clima mite di Nizza, risulta già sufficiente usare il livello di isolamento richiesto dalla legge. La riduzione dei ponti termici viene applicata in modo esteso, eccetto per i muri portanti tra scantinato e primo piano. In particolare, ciò corrisponde all'uso di isolamento esterno, in modo che le pareti interne e il soffitto non abbiano effetto rilevante nei confronti dei ponti termici quando si considerano le dimensioni esterne. Per ambedue le località sono risultati appropriati i doppi vetri basso-emissivi con telai convenzionali. Si è inoltre applicata la ventilazione con recupero di calore insieme alla riduzione delle infiltrazioni. Nei climi miti mediterranei, lo stesso valore estremamente basso di fabbisogno per riscaldamento può essere ottenuto anche con un sistema ad aria esausta tradizionale, ma, ad esempio a Carpentras, ciò richiederebbe spessori di isolante maggiori di 300 mm e telai delle finestre isolati.



Fig. 3. 24 – Schiere di *Passivhaus* ad Hannover-Kronsberg (davanti). La geometria degli edifici è simile alla proposta francese di *Passivhaus*.

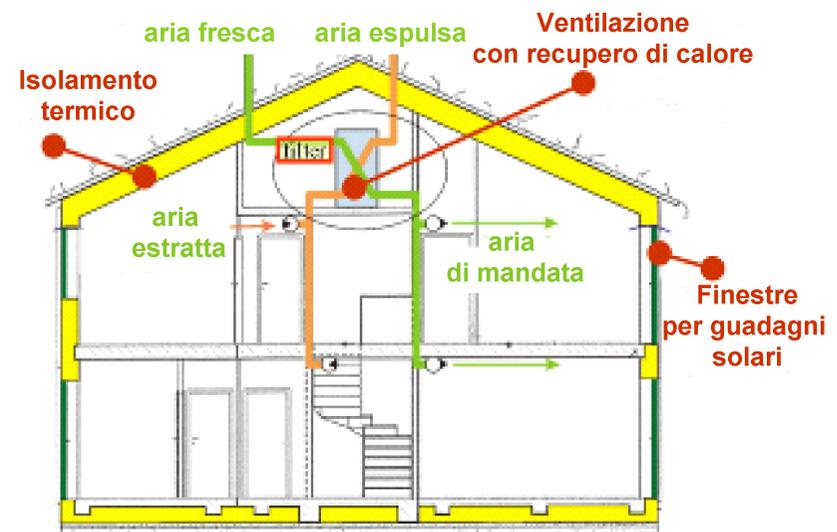


Fig. 3. 25 – Sezione della *Passivhaus* per la Francia. L'aspetto visivo degli edifici può essere adattato facilmente per soddisfare preferenze locali

3.6.2 La strategia

Il carico termico medio giornaliero è piccolo abbastanza da poter essere coperto con un semplice pre-riscaldamento meccanico dell'aria di mandata. Non sono più necessari radiatori ed un sistema di distribuzione del calore separato. Il modo in cui viene prodotto il calore non è di grande importanza, ma andrebbe evitato l'uso di resistenze elettriche per riscaldare.

Dato il piccolo carico termico di picco, i servizi per l'edificio possono essere notevolmente semplificati. Ciò reduce i costi d'investimento complessivi e pertanto giustifica il maggiore investimento per un involucro efficiente. Una significativa riduzione del costo spesso può ottenersi usando unità compatte di pompe di calore. Queste unità usano l'aria esausta a valle dello scambiatore di calore come sorgente termica della pompa di calore integrata. La pompa di calore provvede inoltre alla produzione di acqua calda sanitaria, accumulata in un serbatoio. Tutti i servizi richiesti dall'edificio, cioè riscaldamento, ACS e ventilazione, sono integrati in un'unica unità, con un suo meccanismo di controllo e regolazione, che può essere facilmente installata senza la necessità di gestire la circolazione di un refrigerante. Non si richiedono vettori energetici da collegare all'edificio, salvo l'elettricità.

Durante l'estate, l'isolamento delle pareti e del tetto aiuta a limitare i carichi solari che penetrano nell'edificio. Sono richiesti accessori per l'ombreggiamento esterno per minimizzare la radiazione solare attraverso le finestre. Siccome la temperatura ambiente media è minore di 25 °C per la maggior parte del tempo, il recupero di calore del sistema di ventilazione viene by-passato durante la stagione del raffrescamento.

Le restanti strategie di raffrescamento differiscono a seconda della località. A Carpentras, in virtù delle temperature notturne basse e dei livelli accettabili di umidità specifica, un ricambio notturno con finestre aperte è sufficiente per garantire il comfort termico. A Nizza, a causa degli alti livelli di umidità e dell'escursione termica diurna meno pronunciata, la portata d'aria di mandata viene raffrescata in modo attivo se necessario, eventualmente anche deumidificando. E' tecnicamente possibile costruire pompe di calore compatte che forniscano anche il raffrescamento dell'aria di mandata, ma non sono attualmente disponibili in commercio. Il ricambio d'aria per ventilazione meccanica è ancora determinato in funzione dei requisiti di qualità dell'aria interna. Si ipotizza una modesta ventilazione naturale, per tener conto che gli utenti possono aprire le finestre quando ci sono

favorevoli condizioni esterne.

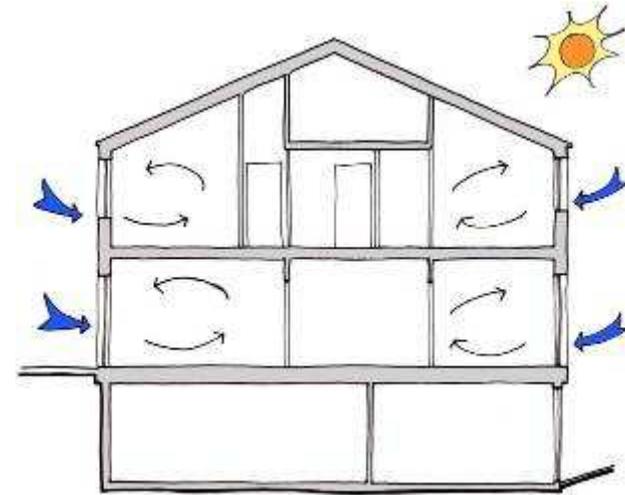


Fig. 3. 26 – Strategia estiva

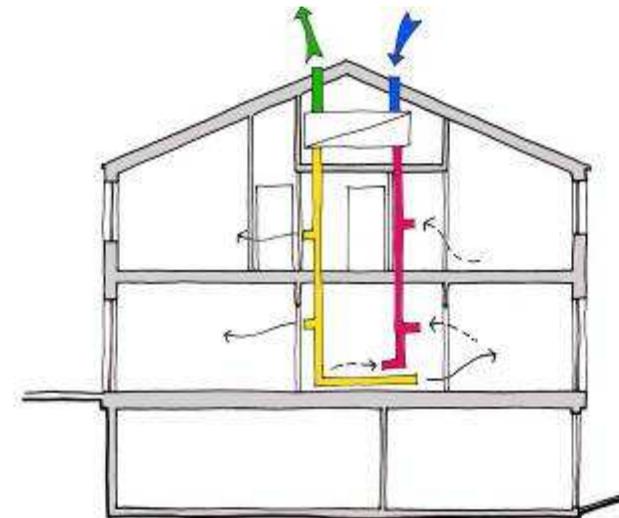


Fig. 3. 27 – Strategia invernale

3.6.3 Prestazioni: energia e comfort

Sia a Carpentras che a Nizza, il fabbisogno per riscaldamento annuale dell'edificio è leggermente minore di 15 kWh/m² anno. Occasionalmente, nei giorni soleggiati invernali, la temperatura interna aumenta di 1 o 2 K al di sopra del set point pari a 20 °C.

Come descritto sopra, gli esempi di Nizza e Carpentras seguono diversi approcci per il raffrescamento estivo. A Carpentras, grazie al concetto di raffrescamento passivo, non è richiesta energia per raffrescare. Il controllo solare e la forte ventilazione attraverso le finestre durante i periodi favorevoli (specie di notte) mantengono le temperature sotto i 25 °C per più del 99 % dell'anno in tutte le stanze. A Nizza si raggiunge un risultato simile fornendo aria fredda e solo una modesta ventilazione addizionale mediante apertura delle finestre. In ambo i casi, le temperature risultanti rimangono ben al di sotto la temperatura di comfort adattivo estive.

Una questione che merita ulteriore considerazione è l'umidità. Al di sopra di 12 g/kg, le persone iniziano ad avvertire disagio a prescindere dalla temperatura. Inoltre, l'umidità relativa deve rimanere tra il 30 e il 70%.

Nel caso di Carpentras, si è visto che questi requisiti possono essere garantiti con strategie di raffrescamento passive durante la maggior parte del tempo. Il limite superiore per l'umidità relativa viene superato per meno del 4% dell'anno in tutte le stanze; la frazione durante la quale il limite di umidità assoluta viene superato è anche più bassa.

A Nizza, invece, l'umidità specifica dell'aria ambiente è significativamente più alta che nell'entroterra. Se si considerassero solo le temperature, il raffrescamento passivo sarebbe facilmente applicabile in questo clima, simile a Carpentras. Senza deumidificazione, comunque, entrambi i limiti di umidità superiore verrebbero superati per il 13-15% dell'anno in tutte le zone. Il raffreddamento dell'aria e la corrispondente deumidificazione, d'altro canto, conferiscono condizioni confortevoli.

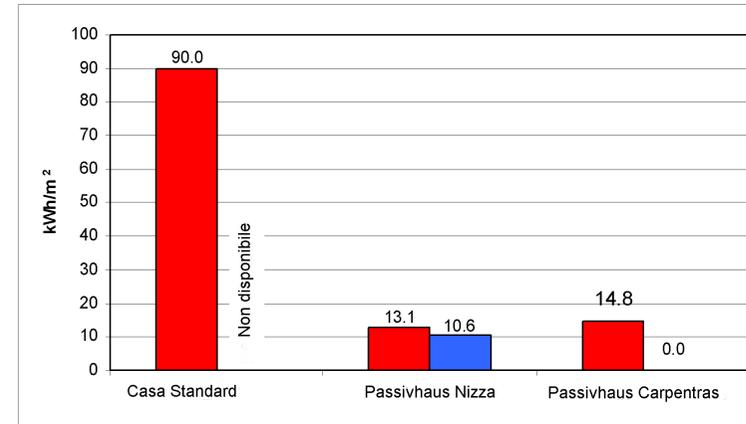


Fig. 3. 28 – Fabbisogno annuale per riscaldamento per una casa standard e una *Passivhaus*

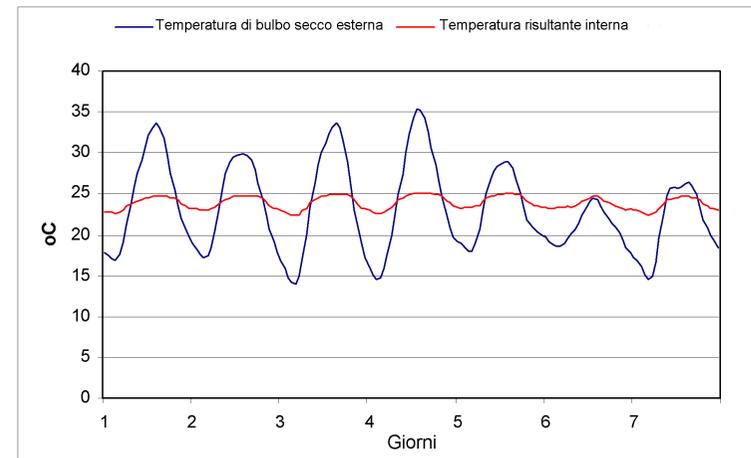


Fig. 3. 29 – Andamento tipico delle temperature estive senza raffrescamento attivo (Carpentras, massimo di tutte le stanze vissute)

4 APPLICABILITÀ CLIMATICA

4.1 INTRODUZIONE

Obiettivo di questo capitolo è quello di investigare l'applicabilità climatica delle strategie e degli scenari introdotti nelle proposte nazionali di *Passivhaus*. Anche se ogni proposta nazionale contiene una o due località climatiche per paese, ciò non implica che gli esempi illustrati possano essere generalizzati ad ogni paese. Climi diversi, anche nello stesso paese, possono comportare che una specifica soluzione progettuale o strategia passiva può funzionare in un contesto ma non in un altro.

4.2 APPLICABILITÀ CLIMATICA

La richiesta energetica di un edificio dipende dal clima e dalle caratteristiche termiche dell'involucro edilizio. I parametri climatici che influenzano il fabbisogno energetico dell'edificio sono la temperatura esterna e la radiazione solare. Potenzialmente le domande di riscaldamento e raffrescamento si possono valutare sulla base dei "gradi-giorno", ma questo parametro tiene conto solo delle temperature e non dell'influenza della radiazione solare. Pertanto, al fine di confrontare due climi diversi, dovremmo confrontare sia temperatura esterna che radiazione solare. Ciò significa che è possibile estrapolare l'uso di una tecnica passiva/strategia progettuale da una località ad un'altra quando entrambe hanno temperature esterne simili e analoghi livelli di radiazione solare. Ma ciò pone due nuove questioni: è possibile confrontare le temperature esterne? Inoltre: è possibile paragonare i livelli di radiazione in diverse località?

I "gradi-giorno" estivi e invernali possono essere usati per confrontare le temperature esterne in località diverse e determinare i fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento. Maggiori sono i gradi-giorno invernali o estivi, maggiori saranno le corrispondenti richieste di energia per riscaldare o raffrescare. Ma confrontando la radiazione solare, come anche i gradi-giorno estivi e invernali in due diverse località, a parità di altri fattori, si può dedurre che una tecnica valida per un clima è valida anche per l'altro.

Servendosi delle quattro mappe riportate nelle figure 4.1-4.4, si possono confrontare i parametri climatici in differenti località e, se questi quattro parametri sono uguali, si possono usare tutte le tecniche usate nella *Passivhaus* di una località anche per la corrispondente altra località.

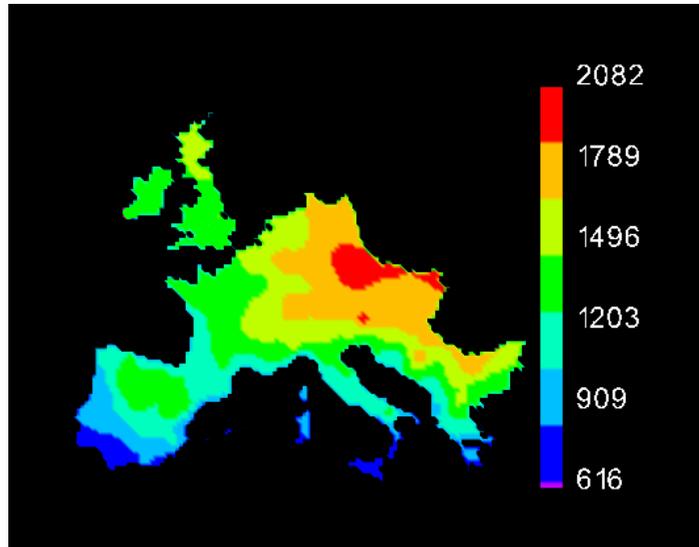


Fig. 4. 1 – Gradi-Giorno invernali

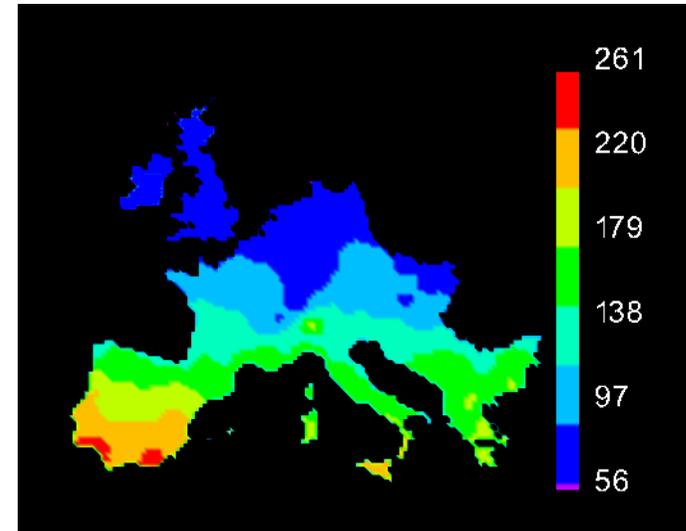


Fig. 4. 3 – Radiazione sulla superficie orizzontale d'inverno (kW/m²)

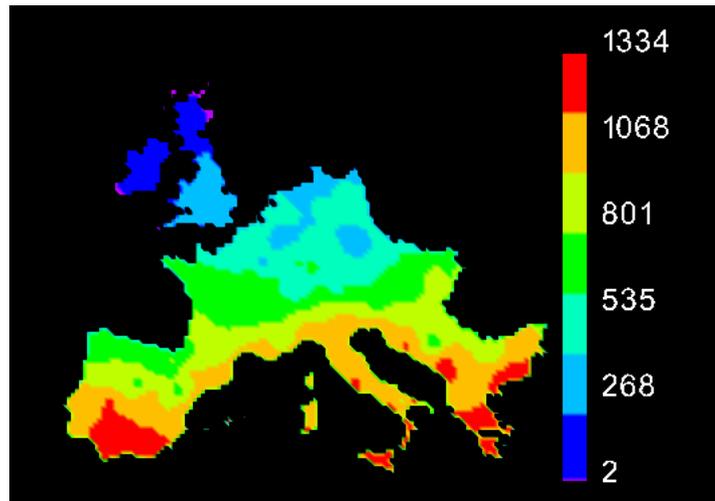


Fig. 4. 2 – Gradi-Giorno estivi

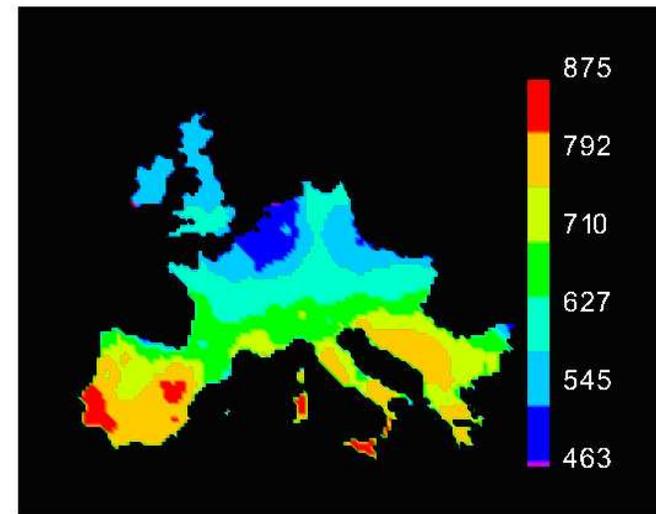


Fig. 4. 4 – Radiazione sulla superficie orizzontale d'estate (kW/m²)

4.3 INDICE DI SEVERITÀ CLIMATICA

L'impatto del clima sui carichi per riscaldamento e raffrescamento viene talvolta espresso in termini del numero di "gradi-giorno" per quella località. Comunque, come visto nel par. 4.2, ciò non tiene conto dell'influenza della radiazione solare o delle caratteristiche termiche di un particolare edificio.

L'"Indice di Severità Climatica" (CSI) è stato sviluppato per permettere la caratterizzazione del clima in relazione ad un edificio di cui sono note le caratteristiche di involucro (Markus et al 1984). Il CSI (un numero adimensionale) è specifico per ogni edificio e località, e tiene conto sia della temperatura che della radiazione solare. Il CSI viene calcolato separatamente per rappresentare le condizioni estive ed invernali.

Due diverse condizioni climatiche invernali possono essere considerate identiche se il fabbisogno per riscaldamento è lo stesso in un certo edificio, in entrambe le condizioni climatiche. In questo caso possiamo dire che ambedue le condizioni climatiche invernali hanno la stessa Severità Climatica Invernale (WCS). La stessa definizione è valida per il fabbisogno di raffrescamento ed il termine che si usa è Severità Climatica Estiva (SCS). E' possibile che due diverse condizioni climatiche abbiano uguale severità climatica invernale (WCS), ma diversa severità climatica (SCS). Lo si può vedere confrontando ad esempio Brighton (Regno Unito) e Milano (Italia) in Tabella 1.

Per illustrare questa variazione nell'ambito dell'Europa, si sono determinate le richieste per riscaldamento e raffrescamento per 8 edifici in 18 località. Considerando il valore medio del fabbisogno per riscaldamento e raffrescamento di tutti gli edifici in ciascuna località, si sono assegnati un fabbisogno per riscaldamento e uno per raffrescamento per ogni località, e tutti i valori sono stati divisi per il valore relativo a Madrid. I valori risultanti sono riportati nella Tab. 4.1 ed illustrati nel CSI invernale ed estivo (figg. 4.4 e 4.5).

Queste mappe, comunque, sono utili per il confronto dei climi e per identificare differenti zone climatiche in un certo paese, ma non sono idonee per verificare l'applicabilità di una specifica tecnica in diverse località. Perciò vanno usate le mappe e la metodologia riportate nel par. 4.2.

Tabella 4.1 – Indici di Severità Climatica in località europee

Località	Severità Climatica Invernale (WCS)	Severità Climatica Estiva (SCS)
Germania (Dresda)	3.31	0.00
Germania (Braunschweig)	2.56	0.05
Germania (Friburgo)	2.14	0.10
Regno Unito (Brighton)	1.83	0.01
Regno Unito (Glasgow)	2.59	0.00
Regno Unito (Londra)	2.22	0.01
Regno Unito (Newcastle)	2.59	0.00
Regno Unito (Nottingham)	2.36	0.00
Francia (Agen)	1.44	0.19
Francia (Carcassonne)	1.24	0.37
Italia (Milano)	1.81	0.46
Italia (Roma)	0.83	1.19
Italia (Trapani)	0.32	1.87
Portogallo (Lisbona)	0.37	1.05
Spagna (Siviglia)	0.32	2.56
Spagna (Madrid)	1.00	1.00
Spagna (Granada)	0.81	1.11
Spagna (Burgos)	1.96	0.05

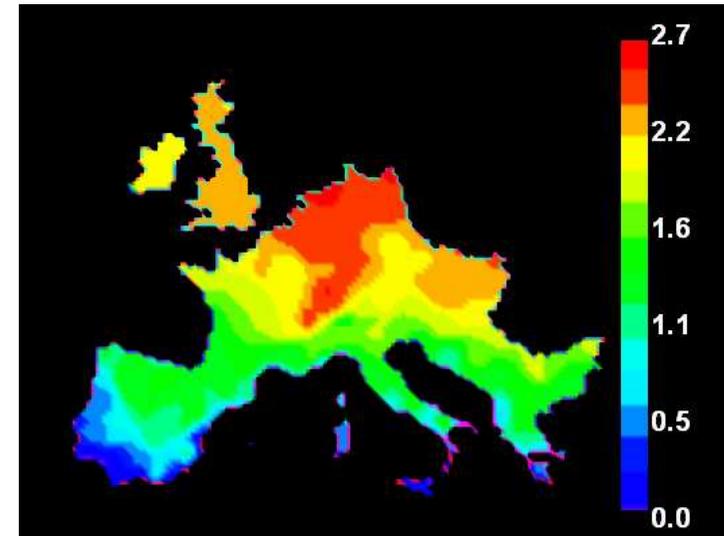


Fig. 4.5 – Indice di Severità Climatica invernale (WCS)

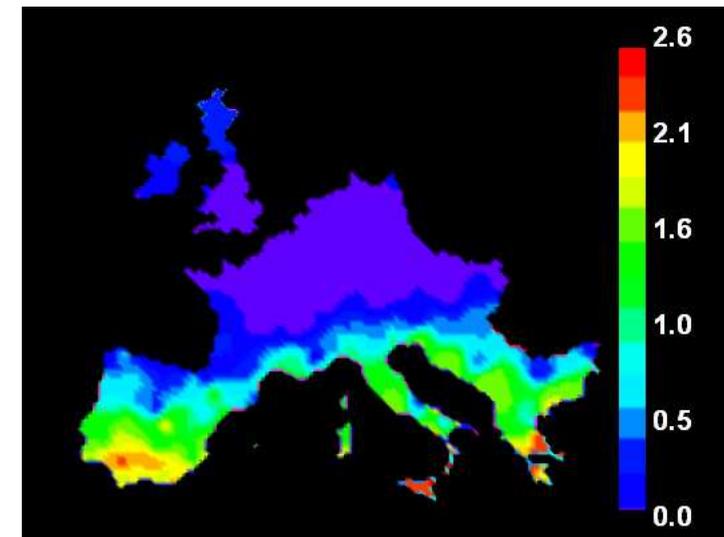


Fig. 4.6 - Indice di Severità Climatica estivo (SCS)

4.4 MAPPE DI RISPARMIO ENERGETICO

Le mappe da 4.6 a 4.9 mostrano i risparmi medi attesi a seguito del miglioramento di certi componenti. Per il tetto e le pareti i risparmi sono stati espressi in tutti i casi in kWh per metro quadro di componenti in corrispondenza di un miglioramento di $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ della U; nel caso delle finestre, i risparmi sono stati espressi in tutti i casi in kWh per metro quadro di vetri in corrispondenza della sostituzione dei doppi vetri con doppi vetri basso-emissivi.

Un esempio è descritto sotto per chiarire i concetti di base. Ad esempio, considerando un tetto con U di $0.45 \text{ W/m}^2\text{K}$, una riduzione di $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (es. migliorando l'isolamento) porta la U al nuovo valore di $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$. Questo potrebbe essere facilmente ottenuto con 200 mm di isolante con conduttività termica di 0.031 W/mK . In definitiva, aggiungendo 200 mm di isolante alla soluzione iniziale, si otterrà un risparmio energetico medio di 6 kWh per metro quadro di tetto a Parigi o a Londra; da notare che questa cifra può arrivare a 7 in Germania o scendere a 3 a Lisbona (figura 4.7).

Siccome i risparmi energetici sono proporzionali alla riduzione di U, se la riduzione è diversa da $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ il risparmio energetico medio può essere calcolato dividendo la riduzione di U per 0.1 e poi moltiplicando il risultato per la cifra riportata nella mappa. Ad esempio, se la riduzione di U dell'esempio precedente fosse di 0.15, il risparmio energetico medio sarebbe di 9 kWh per metro quadro di tetto a Parigi e Londra, che è il numero di figura 4.7 moltiplicato per 1.5 (cioè $0.15/0.10$).

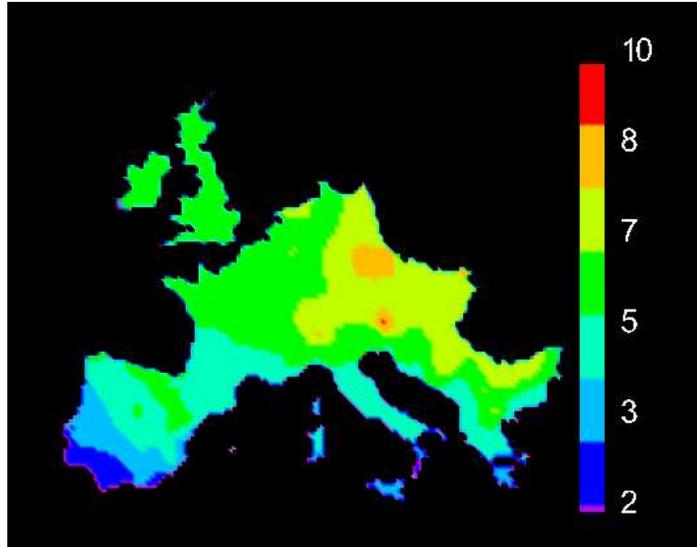


Fig. 4. 7 – Risparmio medio in kWh per m² di componente: miglioramento del tetto

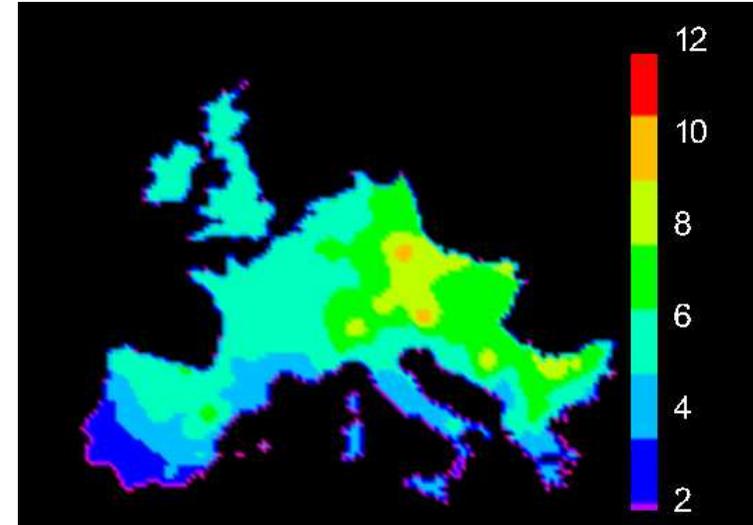


Fig. 4. 9– Risparmio medio in kWh per m² di componente: miglioramento delle facciate orientate a nord

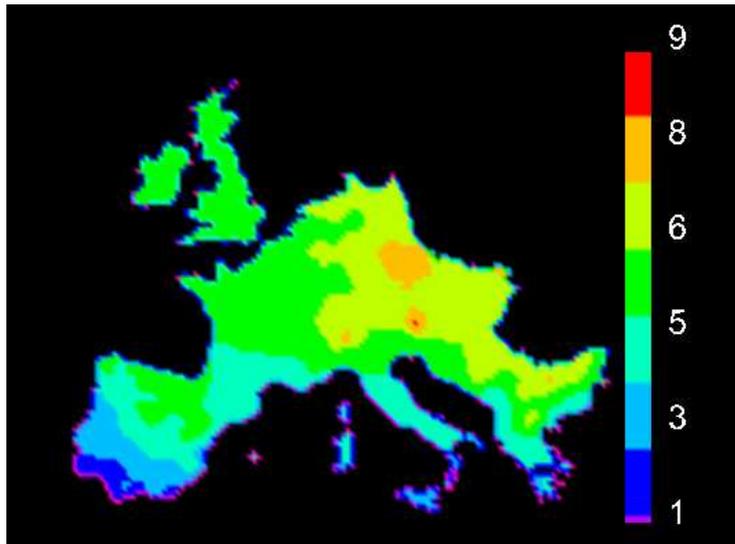


Fig. 4. 8 – Risparmio medio in kWh per m² di componente: miglioramento delle facciate orientate a sud

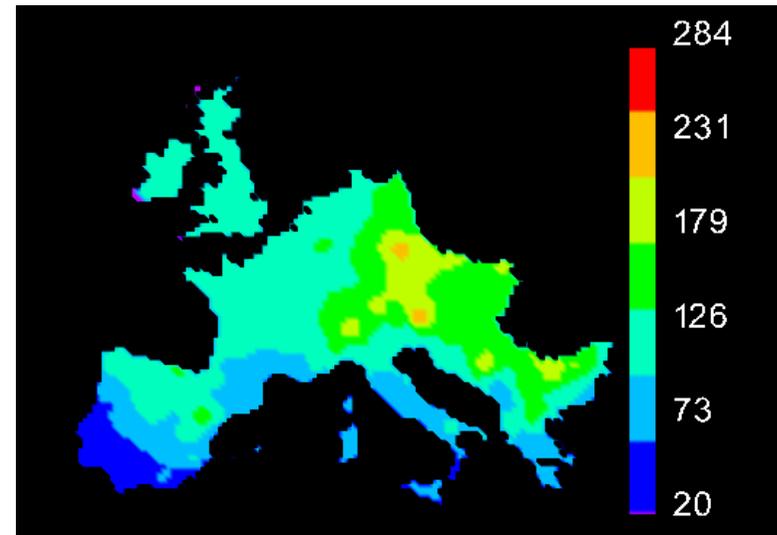


Fig. 4. 10 – Risparmio medio in kWh per m² di componente: miglioramento dei vetri orientati a nord da doppi a basso emissivi

5 COSTI DELLA *PASSIVHAUS*

5.1 INTRODUZIONE

Sono stati calcolati i costi del ciclo di vita delle *Passivhaus* come proposte nel Capitolo 3. Le analisi economiche sono stata condotte dal SBE con l'assistenza dei partner del progetto che hanno fornito dati relativi al settore edilizio dei vari paesi.

L'Analisi di Costo del Ciclo di Vita (LCCA) è una tecnica per stimare le spese totali associate sia all'acquisto sia alla gestione di un immobile per un periodo di tempo predeterminato. E' il Costo del Ciclo di Vita, non il costo di acquisto, che determina se una proprietà costruita secondo lo standard *Passivhaus* sia più o meno conveniente per il proprietario rispetto alla casa standard.

Per determinare i costi di costruzione delle varie proposte di *Passivhaus*, si è partiti da un'analisi dettagliata della loro componentistica. In particolare sono stati stabiliti i costi dei materiali e della manodopera per realizzare le diverse strategie. Il lavoro presente mostra i valori per la Germania, la Francia, la Spagna (Granada e Siviglia), Italia e Regno Unito.

Per determinare i costi di costruzione delle abitazioni standard è stato sufficiente fare una breve analisi di mercato nei vari paesi.

Invece per determinare i costi di gestione è stato necessario tradurre i consumi energetici annuali delle diverse tipologie di casa (*Passivhaus* o standard) in un costo economico considerando il costo medio delle varie fonti energetiche nei singoli paesi. Il costo di gestione considera anche i costi associati alla manutenzione dei vari sistemi di climatizzazione.

Il bilancio economico è stato analizzato sia dalla prospettiva di proprietario-occupante, che dal punto di vista di un costruttore/ esecutore che trasferirebbe i benefici ai futuri proprietari.

Il punto di forza di una LCCA non è solo la possibilità di valutare le spese totali associate alla costruzione e manutenzione di un edificio passivo su un certo periodo di tempo, ma anche la possibilità di confrontare i costi totali con quelli di un'abitazione standard alternativa. In particolare permette di determinare le opzioni che forniscono il maggiore ritorno economico. Inoltre,

è possibile tenere in considerazione i probabili aumenti dei costi dei combustibili per il riscaldamento e l'elettricità nel tempo. Il modello considera al contempo il costo opportunità del capitale ed il valore tempo per il denaro.

Nel caso specifico sono state assunti i seguenti valori: costi di manutenzione dei sistemi di climatizzazione – passivi o attivi – (1-2% del costo capitale); il periodo di tempo lungo il quale questi costi sono sostenuti o, in alternativa, un periodo di analisi predeterminato (10 e 20 anni); e il tasso di sconto per attualizzare i costi futuri (3.5%).

5.2 COSTI CAPITALE & EXTRA COSTI

La tabella seguente mostra i costi medi degli edifici residenziali standard ed i costi delle abitazioni costruite secondo lo standard *Passivhaus* come determinato dall'analisi.

	Casa Standard €/m ²	<i>Passivhaus</i> €/m ²	Extra Costi €/m ²	Extra Costi (%)
Francia	1100	1203	103	9
Germania	1.400	1.494	94	6.71
Italia	1.200	1.260	60	5
Spagna (Granada)	720	744,1	24,1	3,35
Spagna (Siviglia)	720	740,5	20,5	2,85
Regno Unito (€)	1.317	1390	73	5,54
Regno Unito (£)	881	930	49	5,54

Come mostra la tabella, gli extra costi capitale oscillano tra il 2.85% (Siviglia) e il 10% (Francia) dei rispettivi costi delle case standard. Questo range riflette diverse realtà in termini di costi degli edifici, tradizioni costruttive e standard edilizi.

5.3 ANALISI DI COSTO DEL CICLO DI VITA

La tabella che segue riassume i singoli risultati e permette confronti diretti tra i partner. I confronti comunque andrebbero fatti con cautela, poiché le realtà locali e i vincoli di mercato, che si riflettono nei dati di input di calcolo, hanno un effetto significativo sui risultati qui forniti.

Si è trovato che i costi capitale addizionali variano tra il 3 e il 10% tra i diversi centri (la Spagna richiede il minore investimento addizionale). I risparmi energetici totali misurati rispetto ad una casa standard della stessa superficie in pianta, sono stati previsti essere del 25 – 65%. In tutti i casi, il LCC su 20 anni era più basso per la *Passivhaus* rispetto alla casa standard. In Spagna si è raggiunto un minore LCC entro 10 anni.

Il tempo di ritorno scontato variava tra 4 e 19 anni per i diversi paesi. Spostandosi verso il sud dell'Europa il tempo di ritorno scontato si riduce, da 19 anni nel Regno Unito e in Germania, a 8 anni in Italia e 4 – 5 nel sud della Spagna.

Ciò indica che, per occupanti proprietari e per fornitori di edilizia sociale, l'investimento addizionale può considerarsi molto interessante.

Tabella riassuntiva

		Francia	Germania	Italia	Spagna Granada	Spagna Siviglia	Regno Unito
Extra Costi Capitale (€/m ²)		103	94	60	24,1	20,5	73
Extra Costi Capitale (%)		9%	6,71%	5%	3,35%	2,85%	5,54%
Risparmi Energetici Totali (kWh/m ² /anno)		55	75,0	86,0	65,5	37,6	39,7
Risparmi Energetici Totali (%)		45%	50,0%	65,4%	57,3%	40,7%	26,4%
Extra Costi per kWh/m ² /anno risparmiato		1,87	1,25	0,70	0,37	0,55	1,84
LCC 10 anni €	Standard	143.731	184.716	193.817	101.828	98.385	108.337
	Passiva	152.621	190.104	190.437	95.676	96.100	111.988
LCC 20 anni €	Standard	160.343	204.942	221.148	117.928	108.689	117.875
	Passiva	160.552	200.579	198.458	103.647	102.290	117.256
Rapporto Costi-Benefici, 10 anni		-0,72	-0,48	0,39	2,13	0,93	-0,65
Rapporto Costi-Benefici, 20 anni		0,02	0,39	2,63	4,94	2,60	0,11
Tempo di Ritorno Scontato (anni)		19.5	19	8	4	5	19

6 BIBLIOGRAFIA

A Green Vitruvius - Principles and Practice of Sustainable Architectural Design, James & James (Science Publishers) Ltd. For the European Commission, Directorate General XVII for Energy and the Architect's Council of Europe, London, 1999

Allard, Francis (Editor): *Natural Ventilation in buildings – a design handbook* James & James (Science Publishers) Ltd. UK 1998

Anderson, Bruce: *Solar Energy: Fundamentals in Building Design*, McGraw-Hill Book Company, USA 1977

Anink, David; Chiel, Boonstra; Mak, John: *Handbook of Sustainable Building*, James & James, London, 1996

Auliciems, Andris; Szokolay, Steven V.: *Thermal Comfort*, PLEA Notes, note 3, 1997

Burton, Simon (Editor): *Energy efficient office refurbishment*, James & James, London, 2001

Carotti A., La Casa Passiva, Ed. Clup 2004 (Collana "Innovazione e hi-tech in Architettura ed Edilizia")

Carotti A., La Casa Passiva in Europa, Ed. Clup 2005.

CIBSE: *Energy efficiency in buildings*, CIBSE Guide F, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London 2006

CIBSE: *Environmental design*, CIBSE Guide A, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London 2006

Cofaigh, Eoin O.; Olley, John A.; Lewis, J. Owen: *The Climatic Dwelling: An introduction to climate-responsive residential architecture*, James & James on behalf of the European Commission, 1996

Daniels, Klaus: *Advanced Building Systems*, Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin, 2002

De Herde, A., Liébard, A.. *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*

Editions Observ'er, Observatoire des énergies renouvelables, Paris, Architecture et climat, Le Moniteur, 2005, ISBN 2-913620-37-X

DGGE / IP-3E: *Reabilitação Energética da envolvente de edifícios residenciais*, Lisboa 2004

Flanagan, Roger; Norman, George: *Life cycle costing for construction*, Royal Institution of Chartered Surveyors, 1989

Franklin Research Center: *The First Passive Solar Home Awards*, U.S. Department of Housing and Urban Development, in cooperation with the U.S. Department of Energy, Philadelphia 1979

Gissen, David (Editor): *Big & Green*, Princeton Architectural Press, New York, 2002

Givoni, Baruch: *Climate considerations in building and urban design*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1998

Givoni, Baruch: *Passive and low energy cooling of buildings*, John Wiley, New York, 1994

Gonçalves, Helder; Graça, João Mariz: *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, INETI, 2004

Gonçalves, Helder; Joyce, António; Silva, Luis (Editores): *Forum Energias Renováveis em Portugal*, ADENE / INETI, Lisboa 2002

Goulding, John R.; Lewis, J. Owen; Steemers, Theo C.: *Energy in Architecture: the European Passive Solar Handbook*, Commission of the European Communities, 1992

Goulding, John R.; Lewis, J. Owen; Steemers, Theo C.: *Energy Conscious Design: A primer for architects*, Commission of the European Communities, 1992

Hulme et al. *Climate Change Scenarios for the United Kingdom. The UKCIP02 Scientific Report*, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK. 120pp (2002). (available from

<http://www.ukcip.org.uk/resources/publications>)

International Energy Agency - IEA: *Solar energy in building renovation*,

- James & James, London, 1997
- Liddament, Martin W.: *A Guide to Energy Efficient Ventilation*, International Energy Agency, AIVC, Oscar Fager Plc, 1996
- Mazria, Edward: *The Passive Solar energy Book – A complete guide to passive solar house, greenhouse and building design*, Rodale Press, Emmaus, Pa. 1979
- Moore, Fuller: *Environmental Control Systems: heating cooling lighting*, McGraw-Hill International Editions, Singapore 1993
- Nascimento, Carlos; Gonçalves, Helder: *Prémio DGE 2003 – Eficiência Energética em Edifícios*, DGGE / IP-3E, Lisboa 2005
- Olgay, Victor: *Design with Climate*, Princeton University Press, Princeton 1973
- Ray-Jones, Anna (Editor): *Sustainable Architecture in Japan: The Green Buildings of Nikken Sekkei*, Wiley-Academy, 2000
- RCCTE: *Regulamento das Características de Comportamento Térmico em Edifícios*, Decreto-Lei N. 80/06 de 4 de Abril
- RCESE: *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*, Decreto-Lei N. 79/06 de 4 de Abril
- Santamouris, M.; Asimakopoulis, D. (Editores): *Passive Cooling of Buildings*, James & James, London 1996
- Santamouris, Mat (Editor): *Environmental design of urban buildings: An integrated approach*, Earthscan, London, Sterling, VA, 2006
- SCE: *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios*, Decreto-Lei N 78/06 de 4 de Abril
- Schnieders, Jürgen und Wolfgang Feist: *Wärmebrückenfreies Konstruieren*, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 6, Fachinformation PHI-1999/5, Darmstadt, Passivhaus Institut, Januar 1999
- Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R. und Kah, O.: *CEPHEUS – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung*, Endbericht, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 22, Fachinformation PHI-2001/9, Darmstadt, Passivhaus Institut, Juli 2001
(A slightly modified version of this project report is also available in English and for free from http://www.passiv.de/07_eng/news/CEPHEUS_final_long.pdf)
- Søren Peper, Wolfgang Feist, Vahid Sariri: *Luftdichte Projektierung von Passivhäusern. Eine Planungshilfe*. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 7, Fachinformation PHI-1999/6, Darmstadt, Passivhaus Institut, 1999
- Szokolay, S. V.: *Solar energy and building*, The Architectural Press, London, Halsted Press, a Division of John Wiley & Sons Inc., New York, first published 1975 in Great Britain, second edition reprinted 1978
- Szokolay, Steven V.: *Solar Geometry*, PLEA Notes, note 1, 1996
- Szokolay, Steven V.: *Environmental Science Handbook*, The Construction Press, Lancaster 1980
- Turnpenny, J.R., Etheridge, D.W., Reay, D.A. 'Novel ventilation system for reducing air-conditioning in buildings. Part 2: Testing of prototype.' In *Applied Thermal Engineering* 21 (2001) 1203-1217. Pergamon
- United Nations Development Programme: *World Resources*, World Resources Institute, Washington, 2000
- Watson, Donald: *Designing & Building a Solar House*, Garden Way Publishing, Vermont 1977
- Wienke U., *L'edificio Passivo*, Standard, Requisiti, Esempi, Alinea 2002
- Wines, James: *Green Architecture*, Taschen 2000
- Wright, David: *Natural Solar Architecture: a passive primer*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne, 1978
- Yannas, Simos: *Solar Energy and Housing Design*, Volume 1: Principles, Objectives, Guidelines, Architectural Association Publications, London, 1994
- Zöld, András; Szokolay, Steven V.: *Thermal Insulation*, PLEA Notes, note

