

Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura

XXI ciclo

dottoranda: Monica Rossi

Tutor: Prof. Augusto Vitale

anno accademico 2008/2009

**Prodotti e sistemi di involucro innovativi  
per il progetto di edifici energeticamente efficienti**

Procedure, simulazioni termodinamiche e criteri progettuali  
per un'applicazione nel Sud Europa



# Indice

- Introduzione: ambito tematico e motivazioni della ricerca.

## **1. Il ruolo dell'involucro edilizio negli edifici energeticamente efficienti**

- 1.1 Edifici energeticamente efficienti: evoluzione di un approccio culturale.
- 1.2 Comfort ambientale: esigenze progettuali.
- 1.3 Edifici energeticamente efficienti nel Sud Europa: parametri progettuali.
- 1.4 L'involucro edilizio come interfaccia dinamica: parametri prestazionali per il Sud Europa.

## **2. Prodotti e sistemi di involucro edilizio innovativi sviluppati in Europa centrale. Valutazioni per una possibile applicazione nel Sud Europa.**

- 2.1 Metodologie e strumenti per la valutazione delle prestazioni energetiche in uso di sistemi di involucro edilizio innovativi: le test-rooms.
  - Interviste ai responsabili delle principali test-rooms europee.
- 2.2 Prodotti per l'involucro edilizio ad elevate prestazioni energetiche sviluppati in Europa centrale: VIP, TIM e PCM.
  - Schede prodotto.
- 2.3 Sistemi di involucro edilizio stratificati a secco contenenti prodotti innovativi sperimentati in edifici dell'Europa centrale. Analisi prestazionale per una possibile applicazione nel Sud Europa.
  - Edifici sperimentali - tre casi studio.

## **3. Sperimentazioni applicative, in tre zone climatiche italiane, dei sistemi di involucro edilizio selezionati**

- 3.1 Messa a punto di una procedura di sperimentazione applicativa per la valutazione delle prestazioni energetiche in uso di sistemi di involucro edilizio leggeri.
- 3.2 Analisi delle prestazioni energetiche in uso in tre zone climatiche italiane: simulazioni termodinamiche e valutazioni dei risultati.
- 3.3 Proposte migliorative e criteri progettuali per l'impiego dei sistemi di involucro analizzati in edifici localizzati nel Sud Europa.

Apparati:

- Grafici del fabbisogno energetico ricavati dalle simulazioni.
- Bibliografia argomentata e sitografia.
- Direttive, leggi e norme di riferimento.



## Introduzione

### ambito tematico e motivazioni della ricerca

A seguito del riconoscimento diffuso dell'urgenza delle problematiche ambientali e delle responsabilità correlate all'attività edilizia, il concetto dell'efficienza energetica viene interpretato e mutuato nell'architettura odierna come un presupposto fondativo delle scelte progettuali. Si è ormai fatta strada l'esigenza di una progettazione rinnovata, in grado di combinare l'ottimizzazione delle risorse locali (climatiche e materiche) e della qualità ambientale interna a modalità tecnico-costruttive innovative.

Con edificio ad alta efficienza energetica si intende, infatti, un organismo edilizio in grado di garantire al suo interno una condizione di benessere e in cui, limitando al minimo l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili, il raggiungimento del comfort termo-igrometrico, acustico, luminoso e della qualità dell'aria interna, non sono delegati esclusivamente all'impiantistica, ma sono ottenuti mediante soluzioni ambientali, tipologiche e tecnico-costruttive appropriate.

La tesi si inserisce nell'ambito delle ricerche di Tecnologia dell'Architettura ed in particolare nel settore dell'efficienza energetica dell'edificio incentrando il proprio campo di azione sull'involucro edilizio inteso come insieme strutturato ed integrato di materiali, sistemi e componenti in grado trasformare, potenziare, ridurre e modulare i segnali termici, acustici e luminosi provenienti dall'esterno. Con l'intento di ottenere risultati concreti supportati da una verifica sperimentale, la ricerca si avvale del contributo del settore della Fisica Tecnica ambientale che ha costituito un importante strumento per poter commisurare prestazioni energetiche quantitative con soluzioni progettuali valide sotto il punto di vista costruttivo ed architettonico. La ricerca si propone di verificare la possibile applicazione in edifici localizzati nel Sud Europa di sistemi di involucro innovativi leggeri sviluppati in Europa centrale. Al fine di colmare una lacuna legislativa, fortemente avvertita dalla letteratura tecnica e scientifica, quale la mancanza di strumenti e di norme per la verifica delle prestazioni energetiche di involucri edilizi leggeri - con una massa superficiale inferiore a  $230 \text{ Kg/m}^2$  - e sulla base di un'attenta analisi delle metodologie e degli strumenti di monitoraggio e verifica delle prestazioni energetiche delle principali test-rooms europee, si intende mettere a punto una procedura applicativa sperimentale per la verifica delle prestazioni energetiche in uso, valutate in un regime dinamico, di sistemi di involucro edilizi leggeri, con la quale verificare la possibile applicazione in edifici localizzati nel Sud Europa di involucri innovativi ad elevata efficienza energetica sviluppati in Europa centrale e non ancora commercializzati nel nostro paese.

La tesi è strutturata in tre sezioni corrispondenti ai tre capitoli.

Nel primo capitolo si intende introdurre il concetto di edificio energeticamente efficiente inteso non solo come un organismo edilizio in grado di rispondere a determinate esigenze prestazionali limitando al minimo l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili, ma anche come risultato di un'evoluzione culturale che pone le proprie basi nell'architettura solare degli anni '70, nata come risposta concreta alla crisi energetica. A tale scopo vengono ripercorse le principali tappe dell'evoluzione culturale e tecnologica che ha portato all'attuale concezione di edificio eco-efficiente dando particolare rilievo a quegli eventi che hanno radicalmente modificato la concezione dell'edificio in relazione all'utilizzo parsimonioso delle risorse ambientali e al raggiungimento, attraverso accorgimenti passivi, della condizione di comfort ambientale interno.

Con l'intento di proporre una risposta concreta alla problematica dell'efficienza energetica dell'edilizia localizzata nel Sud Europa - dove il problema energetico non consiste solo nel limitare le dispersioni termiche nel periodo invernale, quanto piuttosto nel favorire il raffrescamento passivo in quello estivo - vengono definite le esigenze di comfort ambientale dell'utente ed i parametri progettuali dell'edificio e le prestazioni dell'involucro che influenzano il fabbisogno energetico totale. Il primo capitolo si conclude con la definizione delle *Energy Performances* dell'involucro edilizio suddivise in *statiche*, cioè valutabili in un regime statico, e *dinamiche*, per la cui valutazione è necessaria una verifica in un regime dinamico al variare delle condizioni ambientali esterne. Le prime sono definite dalla normativa e la loro verifica è sufficiente per valutare il comportamento energetico di involucri edilizi pesanti, le seconde, invece, sono indispensabili per la verifica dell'inerzia termica di involucri edilizi leggeri.

Nel secondo capitolo si analizzano le metodologie e gli strumenti utilizzati presso le principali test-rooms europee e si presentano prodotti e sistemi di involucro innovativi, sviluppati in Europa centrale che, data la loro rispondenza alla *Energy Performances statiche* precedentemente definite, si ipotizza possano risultare efficienti anche in edifici localizzati nel Sud Europa. Tra i numerosi prodotti, sistemi e componenti innovativi sono selezionati i tre dotati delle caratteristiche prestazionali più idonee. I sistemi di involucro edilizio scelti sono analizzati non solo in relazione alle proprie caratteristiche prestazionali energetiche, ma vengono valutati in relazione agli altri parametri progettuali in tre casi studio costituiti da edifici realizzati in Europa centrale.

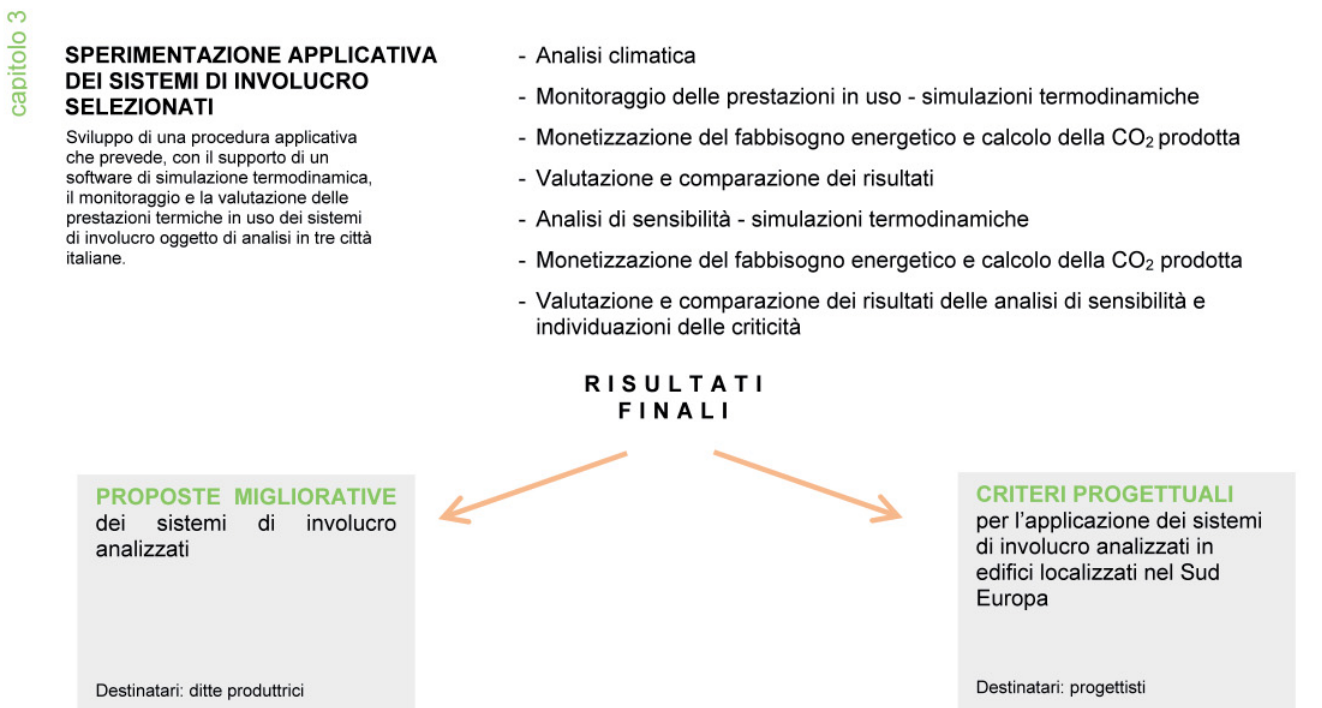
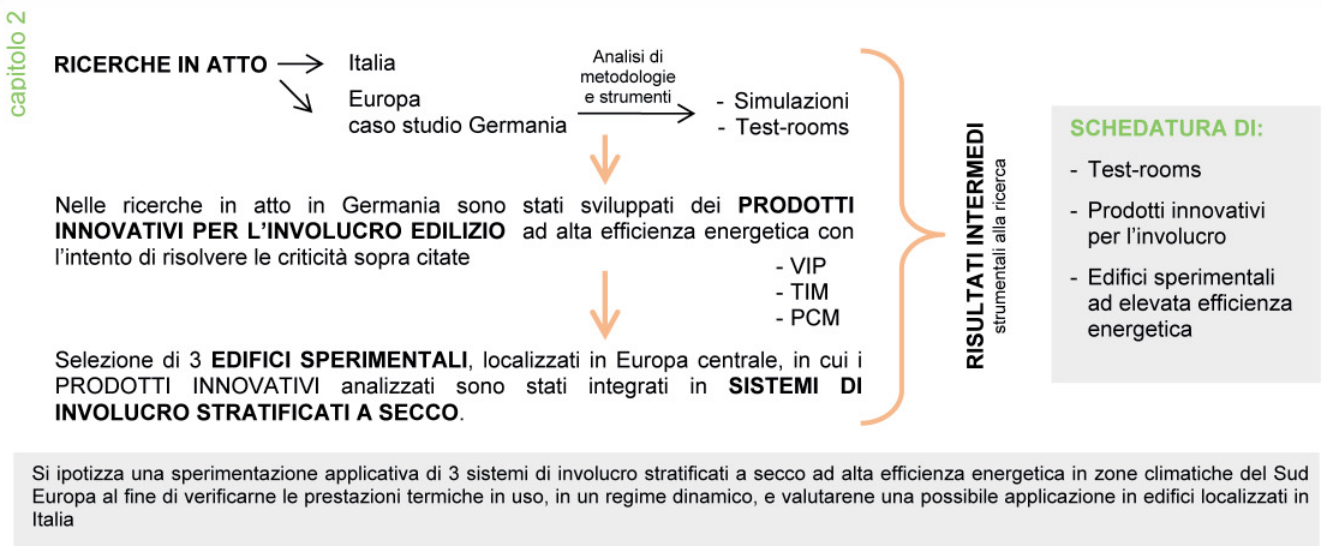
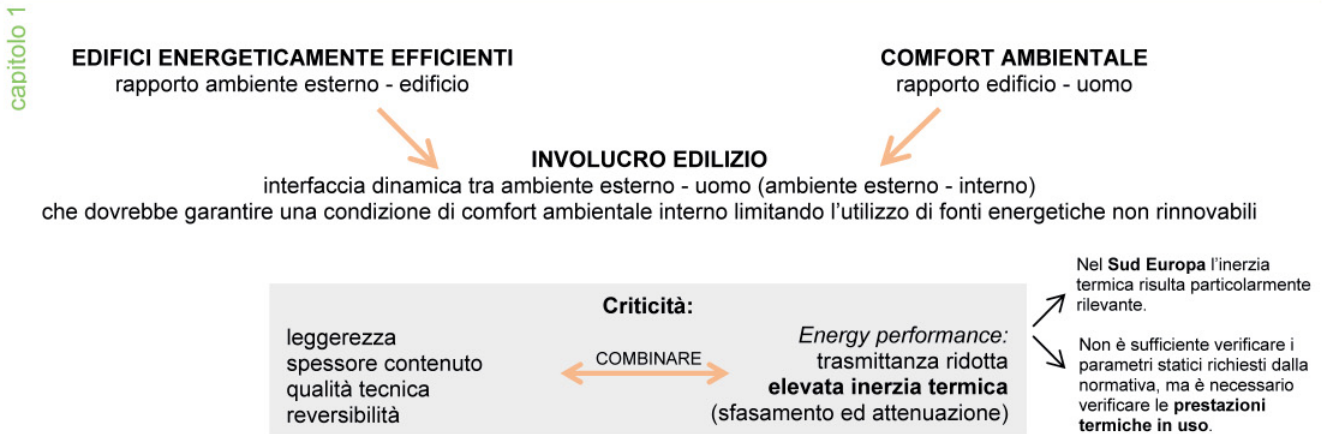
Nel terzo capitolo viene messa a punto una procedura sperimentale per la verifica delle prestazioni in uso, valutate in un regime dinamico, di sistemi di involucri edilizi leggeri. Tale procedura verrà applicata per la verifica della possibile applicazione nel Sud Europa dei tre sistemi di involucro selezionati. Mediante delle simulazioni

termodinamiche effettuate con il software *Energy Plus*, su test-rooms virtuali localizzate in tre delle sei differenti zone climatiche italiane individuate dalle attuali normative sul risparmio energetico verrà testato, in un regime annuale, ciascuno dei sistemi d'involucro prescelti e valutato in relazione alle prestazioni termiche dell'involucro stesso, alle condizioni di benessere degli ambienti retrostanti, al bilancio energetico della stanza test e alla rispondenza alle *Energy Performances dinamiche* precedentemente definite. Le prestazioni dei sistemi di involucro innovativi leggeri vengono inoltre comparate con quelle di un involucro di tipo tradizionale con una massa superficiale rispondente a quella minima definita dalla normativa.

Sulla base delle simulazioni termodinamiche, che prevedono anche delle analisi di sensibilità condotte in relazione alla variazione di orientamento e del rapporto tra superficie finestrata ed opaca sono effettuate delle proposte migliorative dei sistemi di involucro edilizio analizzati e sono stilati dei *"Criteri progettuali per l'impiego dei sistemi di involucro analizzati in edifici localizzati nel Sud Europa"*. Con la consapevolezza, infatti, che non è solo l'involucro edilizio a determinare l'efficienza energetica di un edificio e che l'applicazione errata di un sistema, seppur innovativo e ad elevate prestazioni, non riduce il fabbisogno energetico di un edificio, ma in alcuni casi può addirittura peggiorare il suo funzionamento, si ritiene che l'applicazione dei sistemi di involucro analizzati debba avvenire sulla base di un *concept energetico* globale dell'edificio e in maniera consapevole delle caratteristiche e delle potenzialità di questi sistemi di involucro altamente specializzati. Pertanto si propongono dei criteri e delle linee guida che intendono supportare il progettista nell'utilizzo nel nostro paese dei sistemi di involucro innovativi sperimentati.

## SCHEMA SINOTTICO DELLA RICERCA

**obiettivi:** verificare la possibile applicazione nel Sud Europa di sistemi di involucro innovativi sviluppati in Europa centrale



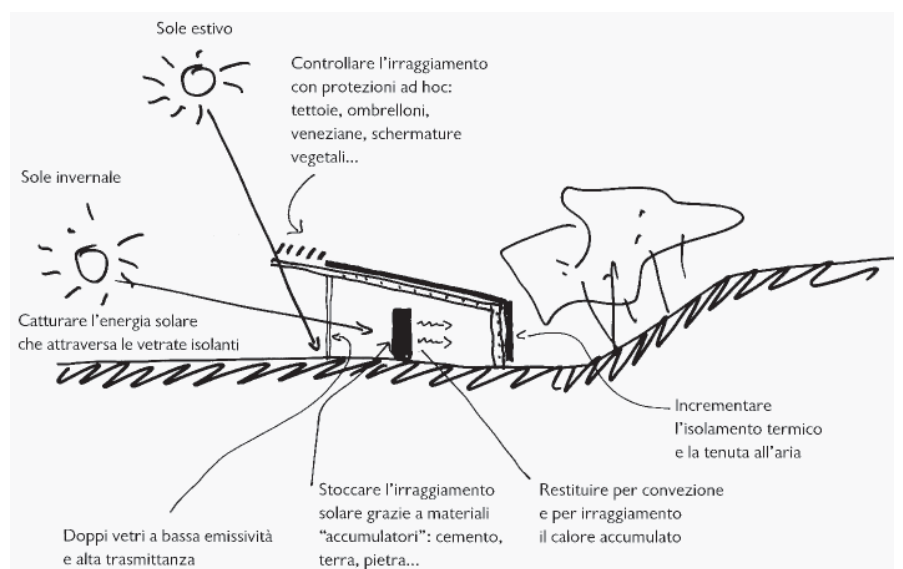




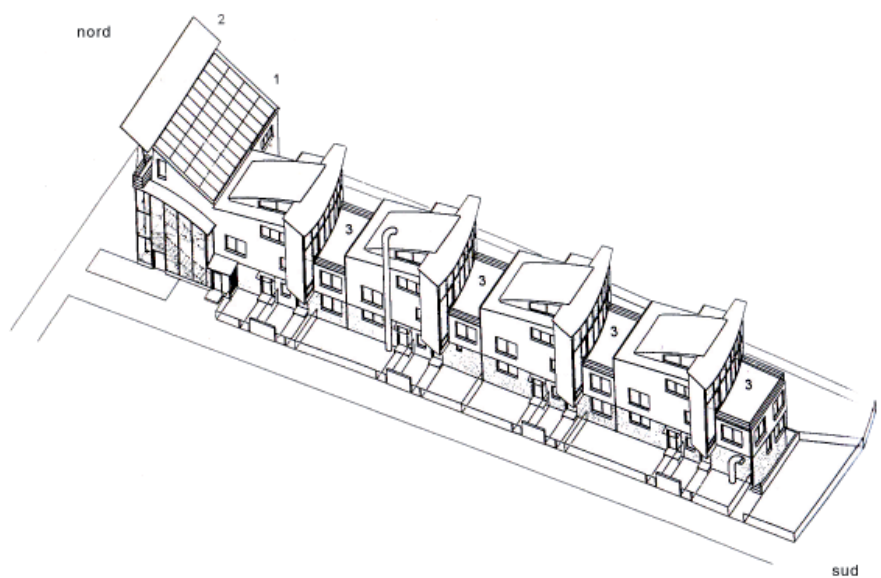


## Capitolo 1

### Il ruolo dell'involucro edilizio negli edifici energeticamente efficienti



disegno di Jean-Yves Barrier



Georg W. Reinberg, *Complesso residenziale Sagedergasse*, Vienna, Austria, 1994 -1998.  
Assonometria.  
1 Collettori solari,  
2 Pannelli fotovoltaici  
3 Giardini d'inverno.

## Capitolo 1

### Il ruolo dell'involucro edilizio negli edifici energeticamente efficienti

#### 1.1 Edifici energeticamente efficienti: evoluzione di un approccio culturale

*“Le realizzazioni di qualità mostrano che l’efficienza energetica non è in contrasto con la qualità architettonica.*

*Gli edifici ad elevata efficienza energetica*

*sono importanti progetti pilota per il futuro dell’architettura.(...)*

*Un elevato standard energetico da solo non è, però, garanzia di qualità architettonica.”*

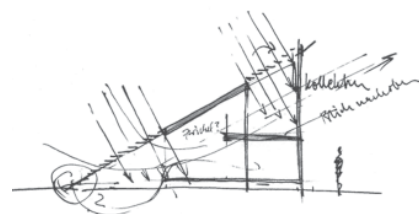
Andreas Gabriel, 2007<sup>1</sup>

A seguito del riconoscimento diffuso della quantità di effetti, diretti ed indiretti, che scaturiscono dall’attività edilizia, il concetto di efficienza energetica viene interpretato e mutuato nell’architettura odierna come un presupposto fondativo delle scelte progettuali.

*“Il settore delle costruzioni, infatti, a causa dello sfruttamento di risorse materiali, dell’uso del territorio, del consumo energetico relativo a tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto edilizio e della produzione di rifiuti da demolizione”<sup>2</sup>, costituisce, in particolare nei paesi industrializzati, uno dei principali fattori che determinano l’inquinamento ambientale ed è responsabile di quasi il 50% del consumo di energia totale<sup>3</sup> e del 40% della produzione di rifiuti non riciclabili.<sup>4</sup>*

Si è ormai fatta strada l’esigenza di una progettazione rinnovata in grado di combinare l’ottimizzazione delle risorse locali (climatiche e materiche) con un’elevata qualità ambientale interna. Con edificio ad alta efficienza energetica si intende, infatti, *“un organismo edilizio in grado di garantire al suo interno una condizione di benessere limitando al minimo l’utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili”<sup>5</sup>* in cui il raggiungimento del comfort termo-igrometrico, acustico, luminoso, psicologico e della qualità dell’aria interna, non sono delegati esclusivamente all’impiantistica, ma sono ottenuti mediante soluzioni tipologiche e tecnico-costruttive appropriate.

Il concetto di efficienza energetica, infatti, non indica solo un obiettivo da raggiungere, costituito dal soddisfacimento delle esigenze di



Thomas Herzog, Casa unifamiliare, Regensburg, Germania, 1977-1979.

1 Andreas Gabriel, *Risparmio energetico*, in «Detail» 6/2007, p. 598.

2 Monica Lavagna, *Sostenibilità e risparmio energetico. Soluzioni tecniche per edifici eco-efficienti*, Libreria CLUP, Milano, 2005, p. 15.

3 Cfr. Edward Mazria, *It's the architecture, stupid*, in «Solar Today», maggio-giugno 2003, p. 50.

4 Cfr. Angelo Lucchini, *Agenda 21*, in Carlo Monti, Riccardo Roda, M. Chiara Torricelli, Angelo Lucchini (a cura di) *Costruire sostenibile*, Alinea, Firenze, 2000.

5 Ingeborg Flagge, Verena Herzog-Loibl, Anna Meseure (a cura di), *Thomas Herzog Architektur + Technologie / Architecture + Technology*, Prestel Verlag, Munich/London/New York, 2001, p. 10.

- 6 Manfred Hegger, *Correttezza delle strategie: tra rendimento e sostenibilità*, in Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008, p. 24.
- 7 ISO 9000:2000 *Sistemi di gestione per la qualità - Fondamenti e terminologia*. Le norme della serie ISO 9000 sono state prodotte dall'ISO (*International Organization for Standardization*) per definire i requisiti internazionali per i sistemi di gestione per la qualità.
- 8 Cfr. P. Angelo Cetica in *L'edilizia di terza generazione. Breviario di poetica per il progetto nella strategia del costruire*, Franco Angeli, Milano, 1993.
- 9 Cfr. Adriano Paoletta, *Abitare i luoghi. Insediamenti, tecnologia, paesaggio*, BFS edizioni, 2004, Pisa, p. 73.
- 10 L'LCA (*Life Cycle Assessment*), come definito nella norma ISO 14040:2006, "considera gli impatti ambientali del caso esaminato nei confronti della salute umana, della qualità dell'ecosistema e dell'impoverimento delle risorse, considerando inoltre gli impatti di carattere economico e sociale". Gli obiettivi dell'LCA sono quelli di definire un quadro completo delle interazioni con l'ambiente di un prodotto o di un servizio, contribuendo a comprendere le conseguenze ambientali direttamente o indirettamente causate e quindi dare a chi ha potere le informazioni necessarie per definire i comportamenti e gli effetti ambientali di una attività e identificare le opportunità di miglioramento al fine di raggiungere le migliori soluzioni per intervenire sulle condizioni ambientali.
- 11 Salvatore Dierna, *Introduzione. Involucro ecoefficiente per un'architettura ben temperata*, in Fabrizio Tucci, *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Alinea editrice, Firenze, 2006, pp.12-13.

comfort ambientale dell'utente, ma stabilisce le modalità con le quali tali esigenze devono essere soddisfatte, cioè mediante un uso parsimonioso delle fonti energetiche non rinnovabili.

Nella definizione di edifici energeticamente efficienti è utile distinguere i concetti di efficacia ed efficienza. *“Una procedura è considerata efficace se permette di raggiungere un determinato obiettivo indipendentemente dal dispendio di energia o di denaro utilizzato. Essere efficaci significa dunque adottare le corrette strategie indipendentemente dall'uso di mezzi ad esse connesso. Una procedura è invece efficiente se permette di raggiungere un obiettivo con il minor dispendio di mezzi”*.<sup>6</sup> La norma ISO 9000:2000<sup>7</sup>, relativa ai sistemi di gestione della qualità, definisce l'efficienza come il *“rapporto tra il risultato ottenuto ed i mezzi utilizzati”*.

Il progetto di un edificio energeticamente efficiente implica, quindi, una visione strategica che, in ragione della consapevolezza del gran numero di variabili che partecipano alla definizione di un progetto di architettura, sia in grado di verificare e pre-figurare non solo *“lo stato di qualità vigente”*, ma anche *“lo stato di qualità atteso”*<sup>8</sup> inteso come l'insieme degli effetti, diretti ed indiretti, derivanti dalle decisioni prese dal progettista durante tutte le fasi di progettazione e di realizzazione.

Il progettista, quindi, assume un ruolo di maggiore responsabilità, in virtù della quale deve considerare variabili che esulano dal proprio campo disciplinare, configurare soluzioni di sistema e di processo - promuovendo una progettualità interessata alle relazioni tra edificio, utente ed ambiente - e allargare le verifiche dell'efficienza delle

Thomas Herzog, *Casa unifamiliare*, Regensburg, Germania, 1977-1979.



soluzioni applicate, anche al di fuori dell'efficacia settoriale.<sup>9</sup>

In quest'ottica di complessità e includendo valutazioni sull'LCA<sup>10</sup>, non solo dell'edificio, ma anche dei materiali, dei sistemi e dei componenti utilizzati per la sua realizzazione, negli ultimi anni il concetto di efficienza energetica è stato ulteriormente ampliato assumendo la denominazione di *eco-efficienza*.

*“Possiamo definire eco-efficiente un organismo edilizio, un sistema architettonico, un prodotto tecnologico, quando le alterazioni morfologiche, strutturali e funzionali, dirette e indotte, del sistema ambientale, nelle fasi di approvvigionamento, produzione, consumo e smaltimento, siano riequilibrare naturalmente o artificialmente in termini quantitativi e qualitativi; quando siano perseguiti un'ottimizzazione ed un risparmio dei consumi energetici (di estrazione, produzione, trasporto, etc.), una drastica e generalizzata riduzione dei gas inquinanti e degli scarti, ed un'attenta valutazione e preservazione delle materie prime in via di esaurimento; ed infine quando sia al contempo garantita la salute psicofisica degli operatori e dei fruitori in tutte le fasi, i momenti e gli aspetti precedentemente elencati”.*<sup>11</sup>

La presa di coscienza da parte di un numero sempre maggiore di progettisti dell'urgenza delle problematiche ambientali costituisce il risultato di una lenta evoluzione progettuale, ma soprattutto culturale, iniziata alla fine degli anni '60, con i primi edifici solari, e messa a punto nel corso degli anni successivi con la realizzazione di progetti pilota altamente sperimentali, fino allo sviluppo di strategie progettuali integrate, di tecnologie innovative e di sistemi di involucro altamente performanti che, negli ultimi anni, hanno permesso la realizzazione di edifici di grande dimensione ad elevata efficienza energetica.

Il concetto di limitatezza delle risorse naturali, dal cui mantenimento dipende in maniera sostanziale l'equilibrio ambientale del nostro pianeta, e la necessità di ripensare il modello economico dei paesi industrializzati sono stati espressi per la prima volta a livello internazionale nel 1972 dal rapporto *I limiti dello sviluppo*, redatto dal MIT<sup>12</sup> e dal Club di Roma.<sup>13</sup>

A seguito della crisi petrolifera del 1973 la necessità di salvaguardare le risorse naturali divenne una consapevolezza largamente condivisa e la valutazione che, nei paesi industrializzati, il 30%<sup>14</sup> delle fonti energetiche non rinnovabili venisse utilizzato direttamente o indirettamente dal settore dell'edilizia, incentivò le ricerche sul contenimento energetico degli edifici.

A partire dalla fine degli anni '70, infatti, nei paesi dell'Europa centrale, in particolare in Germania, grazie alle campagne di sensibilizzazione del governo, alla collaborazione attiva da parte delle industrie produttrici di componenti edili, ma soprattutto alle capacità e alla sensibilità dei singoli progettisti, è stato possibile realizzare edifici

12 MIT - *Massachusetts Institute of Technology*.

13 Il Club di Roma è un'associazione non governativa, fondata nell'aprile del 1968, di cui fanno parte scienziati, economisti, uomini d'affari, attivisti dei diritti civili, alti dirigenti pubblici internazionali e capi di stato di tutti e cinque i continenti. La sua missione è di agire come catalizzatore dei cambiamenti globali, individuando i principali problemi che l'umanità si troverà ad affrontare, analizzandoli in un contesto mondiale e ricercando soluzioni alternative nei diversi scenari possibili.

14 Dato tratto dal rapporto *I limiti dello sviluppo* del 1972.



Thomas Herzog, *Complesso residenziale Richter*, Monaco di Baviera, Germania, 1979-1981.



Hermann Schröder e Sampo Widmann, *Complesso residenziale*, Passau, Germania, 1985-1989.



Arge - Martin Trebersprung, Georg Reinberg, Erich Raith, *Complesso residenziale Stadlau*, Vienna, Austria, 1988-1991.



Demmel + Mühlbauer e Lengdobler, *Edifici residenziali*, Altötting, Germania, 1991-1994.

- 15 Christian Schittich, *Verso un'architettura solare*, in Christian Schittich (a cura di), *Solares Bauen* Birkhäuser, Basel, 2003 (tr. it di George Frazzica *Architettura Solare*, Birkhäuser, Basel, 2005) p.10.
- 16 Tra i principali scritti dei primi anni '80 *Mit der Sonne bauen* di Thomas Herzog ha costituito un riferimento di fondamentale importanza.
- 17 *Baustein*, pietra da costruzione. Bau: costruzione, Stein: pietra.
- 18 *Il rapporto Brundtland* è un documento rilasciato nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED). Il nome Brundtland viene dato dalla coordinatrice Gro Harlem Brundtland che in quell'anno era presidente del WCED e ha commissionato il rapporto.
- 19 Il concetto di sostenibilità proviene dal settore dell'economia e solo successivamente è stato applicato in quello dell'edilizia. Dal Dizionario Treccani: Sostenibile: [der. di *sostenere*] Che si può sostenere. Sostenere: [lat. *sustinēre*, der. di *tenēre* "tenere", col pref. *sus-*, var. di *sub* "sotto"] Tenere una cosa o una persona in una determinata posizione sopportandone il peso. A differenza degli altri paesi europei in cui sostenibile e sostenibilità hanno un'assonanza fonetica rispetto ad una radice comune, in lingua tedesca la parola sostenibile viene tradotta come *Nachhaltigkeit* (*halten*: tenere / resistere e *nach*: dopo) cioè la capacità di mantenere costante una determinata situazione o una determinata risorsa anche in un momento successivo, quindi in futuro. Sempre in tedesco, un aggettivo che viene spesso associato al concetto di sostenibilità è *zukunftsfähig* (*fähig*: capace di, *Zukunft*: futuro). È appunto questa capacità di garantire un futuro anche alle generazioni successive, che è alla base del concetto di sviluppo sostenibile.
- 20 Definizione tratta dal rapporto Brundtland, 1987.
- 21 Il principio di responsabilità applicato all'architettura prende spunto dal saggio del 1979, pubblicato in Italia solo nel 1990, del filosofo tedesco di origine ebraica Hans Jonas, *Das Prinzip Verantwortung* (Il principio di responsabilità). Questo testo ha costituito il cardine di un'etica razionalista applicata in particolare ai temi dell'ecologia e della bioetica.
- 22 Massimo Perriccioli, Appunti di preparazione al convegno Incontri dell'Annunziata VI edizione dal titolo *Innovazione, ambiente, responsabilità*.
- 23 *Carta europea per l'Energia solare in architettura e pianificazione urbana*, Berlino, 3/1996. La carta Europea è stata elaborata da Thomas Herzog nell'ambito del progetto READ (Renewable Energies in Architecture and Design) per la commissione Europea DG XII 1994/95. Nel marzo 1996 la carta è stata sottoscritta da dieci tra i più famosi architetti europei quali: Renzo Piano, José M. de Prada Poole, Richard Rogers, Francesca Sartogo, Hermann Schröder, Roland Schweitzer, Peter C. von Seidlein, Thomas Sievert, Otto Steidle e Alexandros N. Tombazis.
- 24 *Carta europea per l'Energia solare in architettura e pianificazione urbana*, Berlino, 3/1996, p.2.
- 25 Ibidem.
- 26 Ivi, p.4.
- 27 *Gestaltungsform* espressione coniata da Thomas Herzog per indicare la forma

sperimentali che, in virtù dell'attenzione posta alle problematiche ambientali e all'utilizzo, diretto ed indiretto, dell'energia solare, sono stati definiti *architetture solari*.

Caratteristica comune a questi edifici, inizialmente di piccole dimensioni, è l'applicazione in via sperimentale di materiali e soluzioni tipologiche e tecnico-costruttive innovative atte a limitare le dispersioni energetiche e ad ottimizzare i guadagni termici. Nonostante in alcuni di questi primi progetti pilota "*i dispositivi solari venivano messi in risalto in modo quasi mostruoso*"<sup>15</sup>, essi costituirono un banco di prova fondamentale per le prime ricerche sull'orientamento e la forma degli edifici rispetto al sole e ai venti prevalenti e per lo sviluppo di materiali, sistemi e componenti innovativi come isolanti termici, sistemi di schermatura solare, serre o giardini d'inverno, pannelli fotovoltaici e pompe di calore.

L'architettura solare mitteleuropea dell'inizio degli anni '80, oltre ad incentivare la ricerca industriale nel settore delle energie rinnovabili, ha costituito un importante apporto teorico-culturale<sup>16</sup> che ha contribuito a sensibilizzare la collettività sul tema dell'efficienza energetica degli edifici e ha interpretato per la prima volta la radiazione solare come una *Baustein*<sup>17</sup> (pietra da costruzione) del progetto al pari degli altri materiali o componenti costruttivi.

A seguito del Rapporto Brundtland "*Our common future*"<sup>18</sup> del 1987, la questione ambientale, inizialmente legata solo al problema dell'esaurimento delle risorse naturali, venne ampliata includendo anche la capacità da parte dell'ambiente di sostenere lo sviluppo della società e di smaltire l'inquinamento e i rifiuti prodotti dall'uomo in quantità sempre maggiore. Il Rapporto Brundtland introdusse il concetto di *sviluppo sostenibile*<sup>19</sup> inteso come uno "*sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri*"<sup>20</sup>, sviluppo che fa riferimento alla *carrying capacity*, ossia alla capacità di carico da parte dell'ambiente rispetto al flusso di risorse estratte e dismesse dall'attività antropica e alla responsabilità da parte delle generazioni attuali nei confronti di quelle future.

Il principio di responsabilità<sup>21</sup>, inteso come un "*atteggiamento etico del progetto di architettura che si esplica nello studio consapevole delle conseguenze che le trasformazioni operate in virtù di esso possono comportare*"<sup>22</sup>, costituisce il fondamento su cui si basa la *Charta europea per l'Energia solare in architettura e pianificazione urbana*<sup>23</sup>, un documento di autoregolazione firmato nel 1996 da undici dei più famosi progettisti europei.

La Charta è costituita da una parte introduttiva teorica in cui si afferma che "*il ruolo dell'architettura quale professione responsabile è quello di dare espressione al rispetto per l'ambiente*"<sup>24</sup>; da una seconda sezione contenente linee guida per progetti di architettura, a scala dell'edificio e a scala urbana - in grado di "*salvaguardare le*



*riserve naturali ed impiegare quanto più ampiamente possibile forme rinnovabili di energia e tecniche eco-compatibili*<sup>25</sup> - e da una sezione conclusiva in cui sono introdotti due concetti estremamente innovativi quali il *regime d'uso* ed il *bilancio energetico degli edifici*.

Per la prima volta all'edificio viene affidata la funzione di *"sistema di autocontrollo capace di operare uno sfruttamento ottimale di forme di energia sostenibili per l'ambiente, al fine di venire incontro alle differenti esigenze dell'utente"*.<sup>26</sup>

I progetti di architettura solare realizzati in Europa centrale nella seconda metà degli anni '90 si differenziano rispetto ai primi prototipi sperimentali per due fattori fondamentali: la maggiore integrazione dei sistemi di approvvigionamento energetico con il resto dell'edificio e l'ampia scala dell'intervento, non più limitato al singolo fabbricato, ma esteso alla scala del quartiere o della città.

- L'integrazione dei dispositivi tecnologici per il risparmio energetico con il resto dell'edificio è il frutto di un processo progettuale integrato il cui risultato finale è costituito dalla *Gestaltungsform*<sup>27</sup> (forma appropriata) in grado di combinare soluzioni tecniche per il risparmio energetico con scelte estetiche e funzionali. Non una forma a priori, ma una forma frutto di scelte progettuali consapevoli apportate a scale differenti e derivanti dal soddisfacimento di esigenze specifiche dell'utente.

Il raggiungimento della *Gestaltungsform* costituisce inoltre sinonimo di qualità. La norma europea UNI 8402<sup>28</sup> emanata nel 1988 definisce la qualità come *"l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto o un servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze espresse ed implicite"*. Con la consapevolezza che l'efficienza nell'impiego di energie e materie prime, finalizzata al raggiungimento della condizione di benessere dell'utente e alla salvaguardia dell'ambiente, costituisce una delle principali esigenze sociali nella trasformazione del

appropriata in grado di combinare soluzioni tecniche per il risparmio energetico e qualità estetica, tecnica e funzionale. *"Non è corretto porsi una forma a priori e solo in un secondo momento verificare se è possibile realizzarla attraverso tecnologie innovative. È in realtà proprio il momento tecnologico quello in cui inizia l'avventura progettuale"*.

28 Norma UNI EN ISO 8402/1988 *Gestione per la qualità ed assicurazione della qualità. Termini e definizioni*.



D'Inka + Scheible, *Scuola materna*, Pliezhausen, Germania, 1998-1999.



Schaudt Architekten, *Casa unifamiliare*, Costanza, Germania, 1999.

3XNielsen, *Complesso residenziale*, Kolding, Danimarca, 1998-1999.

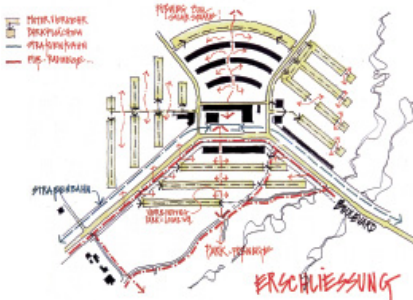


- 29 M. Chiara Torricelli in *Normazione, qualità e processo edilizio*, Alinea, Firenze, 1990, definisce la qualità edilizia come "l'insieme delle caratteristiche che definiscono il grado di rispondenza di un edificio alle esigenze di ordine abitativo, tecnico e funzionale".
- 30 Thomas Herzog, *A house is not a car, una conversazione con Thomas Herzog*, in Massimo Perriccioli, Monica Rossi, *thomas herzog - reacting skin*, edizioni Kappa, 2005, Roma, p. 83.
- 31 Federico M. Butera, *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, 2007, seconda di copertina.
- 32 Edward Mazria, *It's the architecture, stupid*, in «Solar Today», maggio-giugno 2003.
- 33 L'espressione *It's the architecture, stupid* coniata da Edward Mazria, uno dei pionieri dell'architettura bioclimatica riprende lo slogan "*It's the economy, stupid*", su cui è stata fondata la campagna elettorale di Bill Clinton del 1992. "*It's the architecture, stupid! Who really holds the key to the global thermostat? The answer might surprise you. One of the keys to slowing global warming on our beautiful little blue planet may be educating architects and other building professionals about designing and building more efficient buildings*".
- 34 Ibidem.
- 35 Ivi, p.129.

territorio, riuscire a soddisfare tale esigenza - contestualmente a quelle *abitative, tecniche e funzionali*<sup>29</sup> - diviene un requisito imprescindibile al raggiungimento della qualità del progetto di architettura.

- Il passaggio di scala dall'edificio isolato al quartiere solare è dovuto, oltre che ad una maggiore sensibilizzazione della collettività alle problematiche ambientali - che ha comportato maggiori finanziamenti da parte delle pubbliche amministrazioni-, anche alla considerazione che "*dal punto di vista ambientale, dell'inquinamento e dello spreco di risorse, la casa unifamiliare isolata rappresenta un controsenso e che è preferibile ragionare su processi di densificazione dell'abitato*".<sup>30</sup>

Sulla base di queste considerazioni sono state avviate delle ricerche relative ai flussi e ai percorsi degli utenti, alle distanze massime percorribili a piedi e ai mezzi di trasporto pubblico più appropriati. Tali ricerche hanno portato all'elaborazione di soluzioni di sistema il cui obiettivo non è stato solo quello di limitare il fabbisogno energetico dell'edificio, ma di trascendere dagli interessi immediati dei singoli e di rispondere ai doveri più stringenti verso comunità e ambiente con risposte progettuali non contingenti, ma guidate da una correttezza dell'agire estesa al di là dello specifico contesto disciplinare, procedurale e normativo.



Norman Foster and Partners, Herzog + Partner, Richard Rogers Partnership, *Solar City*, Linz, Austria, 1995-2004. Pianta delle infrastrutture e vista del settore WAG.

Nonostante in Germania ed in alcuni paesi scandinavi - in virtù dell'evoluzione culturale e progettuale iniziata già dalla fine degli anni '60 e supportata non solo dalle capacità visionarie di singoli progettisti, ma da campagne di sensibilizzazione sociale portate avanti dalle pubbliche amministrazioni - il risparmio energetico costituisca da almeno trent'anni un'esigenza imprescindibile ampiamente condivisa dalla collettività, nella maggior parte degli altri paesi europei, come ad esempio l'Italia, le problematiche ambientali hanno stentato a prendere piede.



L'edilizia diffusa realizzata negli ultimi quarant'anni nel nostro paese è costituita, infatti, da edifici privi di un isolamento termico adeguato o di altre strategie per il risparmio energetico, edifici in cui il raggiungimento del benessere ambientale interno è affidato esclusivamente a sistemi attivi che utilizzano fonti energetiche non rinnovabili, *“macchine energivore sostenute da tecnologie che hanno radicalmente trasformato il comfort e la qualità della vita”*.<sup>31</sup>

*“It's the architecture, stupid”*<sup>32</sup> scrive ironicamente Edward Mazria in un famoso articolo che riprende uno slogan<sup>33</sup> su cui è stata basata la campagna elettorale di Bill Clinton del 1992.

Le basi dello scarso interesse alle conseguenze che le scelte progettuali hanno sull'ambiente e la convinzione *“basata sull'assunto che l'energia (fossile) sia a disposizione in modo illimitato e che la combustione non provochi alcun danno al clima ed alla qualità dell'aria”*<sup>34</sup> sono da ricercarsi nell'architettura dell'inizio del XX secolo in cui, sotto la bandiera dell'internazionalità e del progresso delle tecnologie di controllo climatico, sono stati realizzati edifici privi di rapporto con il luogo e con i fattori climatici esterni.

Lo stesso Le Corbusier nel progetto della *Cité de Refuge* del 1929 mette a punto la *“respiration exacte”*. Egli infatti sosteneva che *“ogni nazione costruisce case per il proprio clima. In questi tempi di interpretazione internazionale di tecniche scientifiche io propongo: un solo edificio per tutte le nazioni e i climi, la casa con la respirazione esatta”*.<sup>35</sup>

Ed è proprio la convinzione che sia, non solo possibile ma anche corretto, realizzare degli ambienti sigillati con condizioni climatiche standard in qualsiasi luogo, indipendentemente dalle condizioni ambientali esterne, a creare lo scollamento tra architettura e luogo, tra scelte formali - tecnologiche - costruttive e contesto ambientale.

*“La ricerca della qualità ambientale è un'attitudine ancestrale a stabilire un equilibrio armonico tra l'uomo e la natura che lo circonda. Praticata per necessità per molti secoli, in particolare nell'architettura locale e vernacolare, è caduta in disuso dopo la rivoluzione industriale, in un'epoca in cui l'uomo ha creduto nella propria onnipotenza e ha attinto senza misura alle risorse del pianeta”*.<sup>36</sup>

Se nei primi anni del XX secolo le conseguenze ambientali di questo modo di costruire non erano forse ancora prevedibili, dagli anni '70, a seguito della crisi petrolifera, la limitatezza delle risorse diventa una consapevolezza comune, ma in alcuni paesi europei, in particolare in quelli del Sud Europa, le problematiche ambientali hanno costituito per anni un interesse marginale.

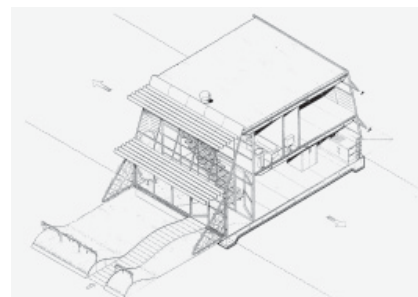
Nonostante l'Italia abbia aderito già dal 1997 al protocollo di Kyoto<sup>37</sup>, tranne alcuni esempi isolati di singoli progettisti o di amministrazioni locali particolarmente sensibili - come ad esempio la provincia autonoma di Bolzano e i comuni altoatesini, che nel 1992 si sono uniti per l'elaborazione di un *certificato climatico dell'edificio*<sup>38</sup>, o l'istituto

36 Dominique Gauzin-Müller, *L'architecture écologique*, Le Moniteur, Paris, 2001 (tr. it. a cura di Marco Moro, *Architettura sostenibile. 29 esempi europei di edifici ed insediamenti ad alta qualità ambientale*, Edizioni Ambiente, Milano, 2003), p. 12.

37 Il protocollo di Kyōto è un trattato internazionale sottoscritto nella città giapponese di Kyōto l'11 dicembre 1997 da più di 160 paesi in occasione della Conferenza COP3 della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). Il protocollo prevede l'obbligo dei paesi industrializzati di operare una riduzione delle emissioni di elementi inquinanti (biossido di carbonio ed altri cinque gas serra, ovvero metano, ossido di diazoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo) in una misura non inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 (considerato come anno base) nel periodo 2008-2012.

38 Il *certificato climatico* è un attestato energetico dell'edificio, successivamente chiamato *pass energetico*, che ha costituito il primo passo nell'elaborazione del sistema di certificazione energetica CadaClima. Il certificato descrive in modo facile e comprensibile l'efficienza energetica di una casa: edifici con un'efficienza energetica buona, (A-B-C in base ad una classificazione che va dalla lettera A alla F) ricevono il certificato energetico ed una targhetta CasaClima da affiggere sull'edificio.

39 ITACA – istituto per l'innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale.



Richard Rogers Partnership, *Solar City*, Linz, Austria, 1995-2004.



Herzog + Partner, *Solar City*, Linz, Austria, 1995-2004.

40 Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 *sul rendimento energetico nell'edilizia*. Art. 2. "Il rendimento energetico di un edificio è la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi, tra gli altri, il riscaldamento, il riscaldamento dell'acqua, il raffreddamento, la ventilazione e l'illuminazione. Tale quantità viene espressa da uno o più descrittori calcolati tenendo conto della coibentazione, delle caratteristiche tecniche e di installazione, della progettazione e della posizione in relazione agli aspetti climatici, dell'esposizione al sole e dell'influenza delle strutture adiacenti, dell'esistenza di sistemi di generazione propria di energia e degli altri fattori, compreso il clima degli ambienti interni, che influenzano il fabbisogno energetico". Art.3, "... Il rendimento energetico degli edifici è espresso in modo trasparente e può indicare il valore delle emissioni in CO<sub>2</sub>".

41 Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 *sul rendimento energetico nell'edilizia*, Art. 4: "Gli Stati membri adottano le misure necessarie per garantire che siano istituiti requisiti minimi di rendimento energetico per gli edifici, calcolati in base alla metodologia di cui all'articolo 3. Nel fissare tali requisiti, gli Stati membri possono distinguere tra gli edifici già esistenti e quelli di nuova costruzione, nonché diverse categorie di edifici. Tali requisiti devono tener conto delle condizioni generali del clima degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi quali una ventilazione inadeguata, nonché delle condizioni locali, dell'uso cui l'edificio è destinato e della sua età. I requisiti sono riveduti a scadenze regolari che non dovrebbero superare i cinque anni e, se necessario, aggiornati in funzione dei progressi tecnici nel settore dell'edilizia".

42 D.lgs. 192/2005 *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005 - Supplemento ordinario n. 158.

43 D.lgs. 311/2006 *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 26 del 1 febbraio 2007 - Supplemento ordinario n. 26/L.

44 In base al D.lgs. 192/2005 e s.m.i. l'indice di prestazione energetica EP esprime "il consumo di energia primaria totale riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo espresso rispettivamente in kWh/m<sup>2</sup> anno o kWh/m<sup>3</sup> anno".

45 Il D.lgs. 192/2005 e s.m.i. definisce la trasmittanza termica come il "flusso di calore che passa attraverso una parete per m<sup>2</sup> di superficie della parete e per grado K di differenza tra la temperatura interna ad un locale e la temperatura esterna o del locale contiguo".

ITACA<sup>39</sup> fondato nel 1996 - , la vera svolta nel sentire collettivo è avvenuta a seguito dell'emanazione di due recenti direttive europee. Nella direttiva 2002/91/CE *sul rendimento energetico in edilizia*, oltre ad essere definiti una serie di concetti fondamentali come il *rendimento energetico dell'edificio*<sup>40</sup> e i *requisiti di rendimento energetico*<sup>41</sup>, viene sottolineata la necessità da parte degli stati membri di definire normative, sistemi di gestione, di controllo e di valutazione del processo progettuale e costruttivo in relazione al consumo energetico degli edifici. L'Italia ha recepito la norma europea con il D.lgs. 192/2005<sup>42</sup> ed il D.lgs. 311/2006<sup>43</sup> che hanno individuato come *requisiti energetici dell'edificio l'indice di prestazione energetica*<sup>44</sup> (i cui valori limite dipendono dal rapporto di forma dell'edificio e della zona climatica) e la *trasmittanza termica*<sup>45</sup> delle chiusure opache e trasparenti.

La direttiva europea 2006/32/CE *concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici*, ha stabilito invece che, entro il 2020, devono essere ridotti del 20% sia i consumi energetici che le emissioni di gas inquinanti rispetto a quelli del 1991. In base al rapporto ENEA del 2007 *"Dall'eco-building al distretto energetico: la proposta ENEA per un modello di sviluppo fondato su eco edifici e generazione distribuita"*, dal 1999 al 2006 in Italia è stato registrato un aumento dei consumi energetici del 2%. A fronte di questa considerazione, nelle Leggi Finanziarie del 2007 e del 2008<sup>46</sup>, il governo italiano ha previsto dei notevoli sgravi fiscali per interventi edilizi che aumentano il livello di efficienza energetica.

Oltre agli incentivi statali, a far sì che la riduzione degli impatti ambientali provocati dai processi costruttivi, da interesse di una piccola parte dei progettisti, divenisse un intento condiviso da gran parte della collettività, ha contribuito in maniera sostanziale anche il rapporto dell'IPCC<sup>47</sup> del febbraio 2007 che ha catalizzato l'attenzione dei media sul tema dei cambiamenti climatici. Questo interesse collettivo ha costituito il motore propulsore per l'incentivazione della ricerca e lo sviluppo di materiali, sistemi e componenti ad elevata efficienza energetica. Negli ultimi anni, infatti, sono stati immessi sul mercato edilizio italiano ed europeo numerosi prodotti innovativi pubblicizzati per le loro elevate prestazioni energetiche e la rispondenza ai valori limite di trasmittanza termica definiti dalle recenti normative nazionali.

Nonostante il crescente interesse da parte dei media, delle pubbliche amministrazioni e dei singoli cittadini al contenimento energetico degli edifici, si riscontra la mancanza di una strategia unitaria in grado di gestire in modo appropriato la complessità delle problematiche ambientali. Le stesse normative italiane definiscono dei requisiti energetici dell'edificio senza rapportarli alle esigenze di benessere dell'utente, senza affrontare in maniera approfondita il problema del dispendio energetico per il condizionamento dell'aria nei mesi estivi

e senza fornire indicazioni sul processo edilizio.

*“Le sperimentazioni progettuali che hanno assunto come asse centrale il tema ambientale non hanno saputo declinare l’innovazione contenuta nei metodi, nei processi, nei sistemi utilizzati in una configurazione spaziale altrettanto innovativa (...). Molto rari sono i progetti in cui attenzione spaziale e scelte ambientali nascono integrate (...). Siamo ancora molto lontani da una cultura progettuale che sappia declinare compiutamente nella forma e nell’articolazione spaziale dell’architettura il concetto di efficienza ambientale che presiede alle numerose scelte che vengono prese alle diverse scale del progetto (...).”*<sup>48</sup>

Affinché un edificio risulti effettivamente energeticamente efficiente non è infatti sufficiente che risponda ai *requisiti energetici* definiti dalla normativa, ma è necessario un processo progettuale in cui tutte le scelte effettuate nelle differenti fasi ed alle diverse scale (dalla disposizione nel lotto ai dettagli costruttivi, dalle soluzioni di involucro al sistema impiantistico, dalla disposizione degli ambienti interni alla scelta dei materiali), abbiano come obiettivo quello di garantire il comfort ambientale dell’utente limitando al minimo l’utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili e le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Le articolate interazioni esistenti tra uomo e ambiente comportano la ricerca di una soluzione progettuale che tenga conto della complessità del sistema e superi i limiti posti dall’agire settoriale. Con queste premesse il progetto di architettura non può più essere considerato chiuso all’interno di un’area disciplinare specifica, ma spazia attraverso le diverse competenze a ricercare l’organicità della scelta, avendo come fine la risoluzione di un problema sistemico.<sup>49</sup>

Per rispondere a queste esigenze di complessità è necessario adottare un *“approccio integrato alla progettazione che si fonda anche su un concreto programma operativo indispensabile per organizzare e controllare tutte le fasi che si pongono a cavallo del momento ideativo e di quello esecutivo”*.<sup>50</sup>

Il risultato finale di questo processo multi-disciplinare e multi-dimensionale è l’elaborazione di un *“sistema unitario coordinato”*<sup>51</sup> costituito dal prodotto edilizio.

*“La definizione formale dell’edificio diviene quindi l’esito di un processo progettuale finalizzato a ottimizzare l’efficienza ambientale attraverso specifiche soluzioni progettuali, in cui la capacità compositiva ed evocativa del progettista svolge un’adeguata e corretta funzione di raccordo, interpretazione e caratterizzazione”*.<sup>52</sup>

46 La Legge Finanziaria del 2007 (Legge n. 296 del 27 dicembre 2006) e la Legge Finanziaria del 2008 (legge n. 244 del 24 dicembre 2007) hanno previsto delle agevolazioni fiscali per i contribuenti che *“sostengono spese per il conseguimento di risparmio energetico”*. L’agevolazione consiste nel riconoscimento di detrazioni d’imposta nella misura del 55 per cento delle spese sostenute entro il 31 dicembre 2010.

47 IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

48 Andrea Campioli, *Presentazione*, in Monica Lavagna, *Sostenibilità e risparmio energetico. Soluzioni tecniche per edifici eco-efficienti*, Libreria CLUP, Milano, 2005, p. 13.

49 Cfr. Adriano Paoletta, *Abitare i luoghi. Insediamenti, tecnologia, paesaggio*, BFS edizioni, 2004, Pisa, p. 131.

50 Claudio Claudi de Saint Mihiel, *L’innovazione dei processi costruttivi*, in Mario Losasso (a cura di) *Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Clean Edizioni, Napoli, 2005, p. 97.

51 Gerhard Hausladen, *Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können: ClimaDesign 3 + x*, in «Xia», 07-09/2005, p. 20.

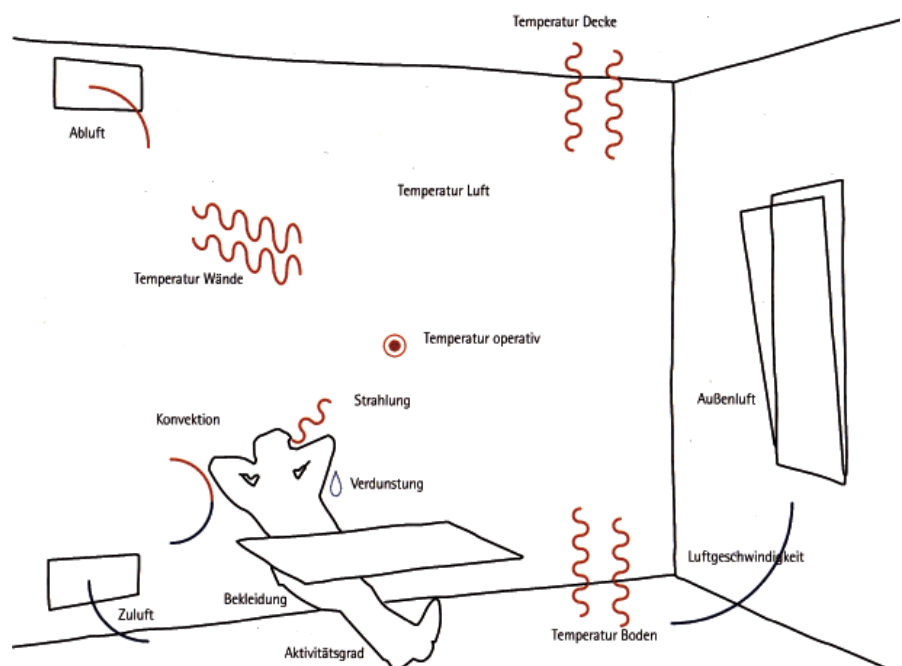
52 Adriano Paoletta, *Abitare i luoghi. Insediamenti, tecnologia, paesaggio*, BFS edizioni, 2004, Pisa, p. 75.



Matthias Sauerbruch e Louisa Hutton, *Sede dell’ufficio federale per l’ambiente*, Dessau, Germania, 2005.



Mario Cucinella, *SIEEB Sino-Italian Ecological and Energy Efficient Building*, Pechino, Cina, 2007.



Schematizzazione dei parametri che influenzano il livello di benessere termigrometrico.  
 Immagine tratta da: Hausladen Gerhard, de Saldanha Michael, Liedl Petra, Sager Christina, *ClimaDesign - Lösungen für Gebäude die mit weniger Technik mehr können*, Callwey, München, 2005, p. 28.

## 1.2 Comfort ambientale: esigenze progettuali

*“Il benessere o comfort ambientale può essere definito come la condizione in cui un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell’ambiente che lo circonda. In generale una persona si trova in stato di benessere quando non percepisce nessun tipo di sensazione fastidiosa ed è in una condizione di neutralità assoluta rispetto all’ambiente circostante”.*  
UNI 10379:2005<sup>1</sup>

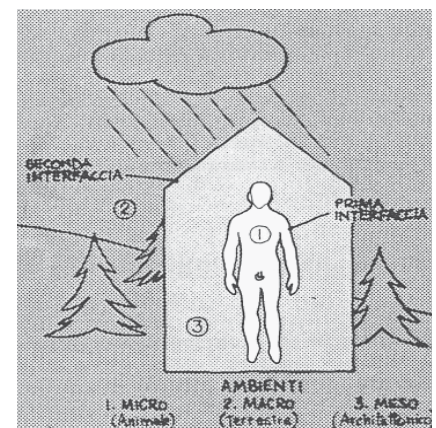
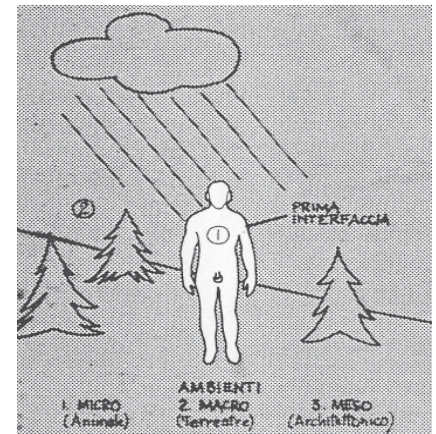
La complessità del processo edilizio e la molteplicità dei fattori e delle variabili che influenzano l’efficienza energetica di un edificio possono essere ricondotte a due scale di intervento principali: *“la scala dei rapporti tra l’edificio e l’ambiente e la scala dei rapporti tra l’edificio e i suoi abitanti”*.<sup>2</sup>

Edificare, infatti, oltre a produrre rifiuti ed anidride carbonica (non solo all’atto della costruzione, ma anche durante tutto il processo costruttivo, dall’approvvigionamento delle materie prime, produzione e trasporto, fino alla dismissione e allo smaltimento delle macerie), genera impatti sull’ambiente dovuti all’utilizzo di sistemi meccanici per la regolazione del livello di comfort ambientale interno. Per progettare edifici ad elevata efficienza energetica è quindi necessario prefigurare, programmare e regolare questo duplice rapporto edificio-uomo ed edificio-ambiente.

Nel 1972 Fitch afferma che *“lo scopo ultimo dell’architettura è di agire a favore dell’uomo: di interporre tra l’uomo e l’ambiente naturale nel quale questi si trova, in modo da togliere dalle sue spalle gran parte del carico ambientale. La funzione centrale dell’architettura è quindi di alleviare lo stress della vita. Il suo scopo è quello di massimizzare le capacità dell’uomo”*.<sup>3</sup>

La definizione delle esigenze dell’utente, il cui livello di soddisfacimento diviene il *“misuratore”* della qualità del progetto edilizio<sup>4</sup>, costituisce da decenni uno dei principali ambiti di indagine della ricerca scientifica nell’area disciplinare della tecnologia dell’architettura. Le esigenze costituiscono l’esplicazione dei bisogni dell’utenza finale tenuto conto dei vincoli che l’ambiente naturale pone all’ambiente costruito e la loro individuazione scaturisce dall’analisi dei bisogni da soddisfare confrontati con i fattori di tipo ambientale, culturale ed economico.<sup>5</sup>

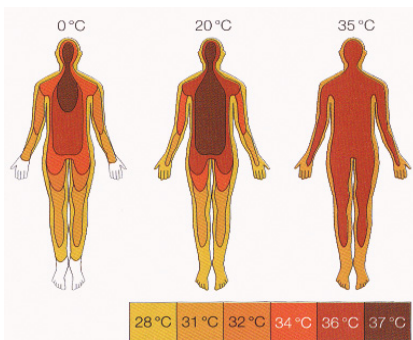
*“Le esigenze vengono tradotte in requisiti ambientali, ovvero in richieste rivolte agli ambienti di definire opportune prestazioni. Ciascun requisito ambientale (ed in particolare quelli attinenti al comfort) è suscettibile di essere rappresentato mediante opportune grandezze e corrispondenti metodi di verifica”*.<sup>6</sup>



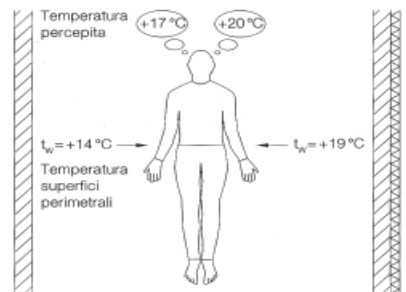
Architettura come interfaccia in grado di alleviare lo stress della vita. Schizzi tratti dal libro di James Marston Fitch<sup>3</sup>.

- 1 UNI 10379:2005 *Riscaldamento degli edifici - Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato.*
- 2 Monica Lavagna, *Sostenibilità e risparmio energetico. Soluzioni tecniche per edifici eco-efficienti*, Libreria CLUP, Milano, 2005, p. 15.
- 3 James Marston Fitch, *American Building 2: The Environmental Forces that shape it*, Houghton Mifflin, Boston, 1972 (tr. it. a cura di Girolamo Mancuso, *La progettazione ambientale – analisi interdisciplinare dei sistemi di controllo dell’ambiente*, Franco Muzzio & C. editore, Padova, 1980), p. 11.
- 4 Cfr. Nicola Sinopoli, *Il controllo della qualità ambientale. Relazione tra i modelli d’uso dell’abitazione e i parametri di comfort*, in Gérard Blachère, Nicola Sinopoli, Franco Laner, Vittorio Manfom, Gianfranco Roccatagliata, Pietro Zennaro, *Qualità norma e progetto*, Arsenale Editrice, Venezia, 1988, p. 35.
- 5 Cfr. UNI 8289:1981 *Edilizia. Esigenze dell’utenza finale. Classificazione.*
- 6 Ivi, p. 36.

- 7 La norma UNI 8289:1981 *Edilizia. Esigenze dell'utenza finale. Classificazione* definisce sette classi di esigenze: *sicurezza, benessere, fruibilità, aspetto, gestione, integrabilità e salvaguardia dell'ambiente.*
- 8 UNI 10379:2005 *Riscaldamento degli edifici - Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato.*
- 9 Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008, p. 55.
- 10 UNI 8289:1981 *Edilizia. Esigenze dell'utenza finale. Classificazione.*
- 11 UNI 10838:1999 *Edilizia - Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia.*



Distribuzione della temperatura nel corpo umano in relazione a differenti temperature dell'ambiente esterno.



Temperatura dell'aria interna  $t_a = 21^\circ\text{C}$

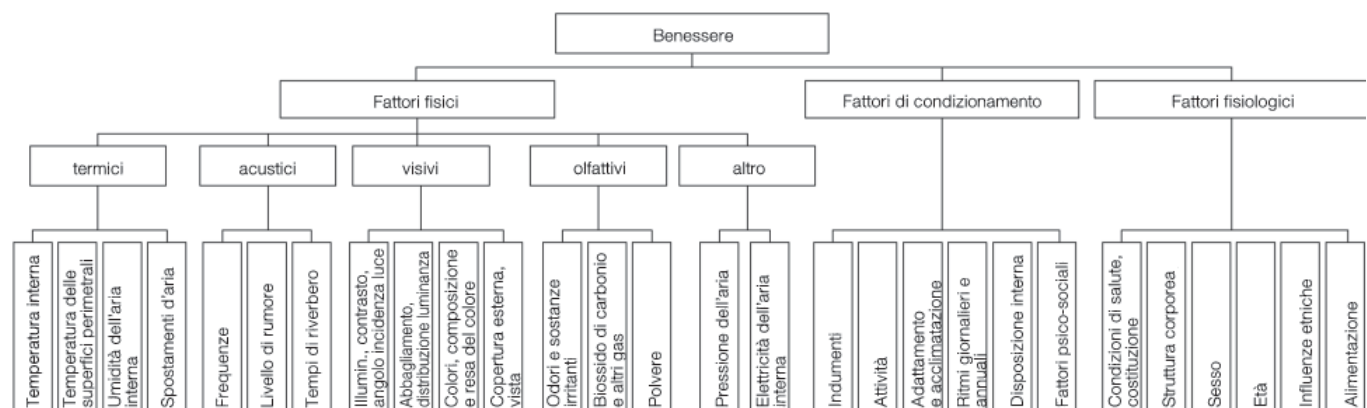
Temperatura percepita con differenti temperature delle superfici perimetrali.

Quadro sinottico dei fattori di benessere tratto da Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer, *Energie Atlas*, Birkhäuser, Munich, 2007 (tr.it George Frazzica, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008), p.55.

Il benessere o comfort ambientale costituisce una delle sette classi di esigenze definite dalla norma UNI 8289:1981<sup>7</sup> in relazione all'organismo edilizio e può essere definito come *"la condizione in cui un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente che lo circonda"*.<sup>8</sup> Un utente si trova in una condizione di benessere quando non percepisce nessun tipo di sensazione fastidiosa ed è in una situazione di neutralità assoluta rispetto all'ambiente circostante.

Il comfort ambientale non è una condizione oggettiva, ma rispecchia i valori dell'esperienza individuale in virtù dei quali un utente percepisce l'ambiente che lo circonda. *"Accanto a condizioni ambientali normalizzate, fisiche e misurabili (temperatura interna, intensità luminosa, livello del rumore), la sensazione di benessere è influenzata anche da aspetti fisiologici dell'individuo (età, sesso, costituzione fisica) e da fattori di condizionamento (indumenti, grado di attività, cibo, bevande consumate)"*.<sup>9</sup> A determinare il livello di soddisfazione contribuiscono, inoltre, le condizioni sociali ed ambientali: ad esempio nel caso di una prolungata situazione di disagio si possono ritenere accettabili anche condizioni ambientali che in contesti differenti sarebbero giudicate di malessere o, al contrario, la permanenza in un ambiente freddo può essere sopportata per un periodo di tempo limitato, ma non è ritenuta accettabile durante l'intera giornata se si svolge un lavoro sedentario. La percezione dello spazio esterno da parte di un individuo è quindi ottenuta mediante l'elaborazione di impulsi termici, visivi, acustici, olfattivi e psicologici esterni filtrati mediante una sensibilità individuale derivante dalle condizioni psico-fisiche soggettive, dalla sensazione di sicurezza, ma anche dal proprio patrimonio di esperienze precedenti. La sovrapposizione di tali livelli percettivi contribuisce alla formazione di un quadro unitario che individua il livello di comfort di un determinato soggetto.

Non essendo possibile la definizione oggettiva di una condizione di comfort ambientale universalmente condivisa, la normativa<sup>10</sup> definisce cinque differenti sotto classi di esigenze relative al benessere - termo-igrometrico, visivo, acustico, olfattivo e psicologico - la cui individuazione è legata a dei requisiti specifici, i cui valori di riferimento, stabiliti su basi statistiche, sono indicati in norme nazionali o internazionali. I requisiti di riferimento sono intesi come *"la traduzione di un'esigenza in fattori atti ad individuare le condizioni"*





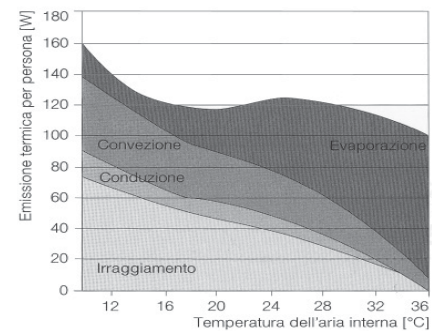
di soddisfazione da parte di un organismo edilizio in particolari condizioni d'uso".<sup>11</sup>

Nella terza parte di questo lavoro di ricerca verranno testati e valutati dei sistemi di involucro innovativo in base alle loro prestazioni termometriche - cioè alla loro capacità di garantire un buon livello di benessere termometrico con un utilizzo limitato di sistemi meccanici di riscaldamento e di reffrescamento - , pertanto questa esigenza di benessere verrà trattata in maniera più dettagliata rispetto alle altre. Il benessere termometrico<sup>12</sup> è quella condizione in cui "la temperatura, l'umidità e il movimento dell'aria sono tali per cui l'individuo prova un senso di soddisfazione e non desidera condizioni di maggiore o minore calore né umidità".<sup>13</sup> Per mantenere costante nel tempo questa condizione è necessario che il bilancio termico sia nullo e cioè che "la somma del calore metabolico e di quello che il corpo può ricevere dall'ambiente siano uguali alla quantità di calore che può essere ceduto all'ambiente stesso".<sup>14</sup> Il bilancio termico del corpo umano, infatti, è influenzato dagli scambi di calore per convezione, conduzione ed irraggiamento, dall'energia termica prodotta per l'effetto del metabolismo corporeo e dal calore disperso per effetto della respirazione, della traspirazione della pelle e dell'evaporazione dell'umidità e del sudore. Se la somma algebrica dei valori relativi a questi scambi di calore è pari a zero si ha una condizione stazionaria. Il livello di comfort termometrico dipende in larga misura da parametri fisici quali la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e la velocità dell'aria. Sebbene tali parametri siano interdipendenti e la sensazione di benessere sia sempre influenzata dalla percezione soggettiva, è tuttavia possibile definire alcuni valori di riferimento o range di valori che indicano una condizione di comfort.

12 Definizione del benessere termometrico data dall'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers): "Human thermal comfort is the state of mind that expresses satisfaction with the surrounding environment. Maintaining thermal comfort for occupants of buildings or other enclosures is one of the important goals of HVAC design engineers. Thermal comfort is affected by heat conduction, convection, radiation, and evaporative heat loss. Thermal comfort is maintained when the heat generated by human metabolism is allowed to dissipate, thus maintaining thermal equilibrium with the surroundings. Any heat gain or loss beyond this generates a sensation of discomfort. It has been long recognised that the sensation of feeling hot or cold is not just dependent on air temperature alone".

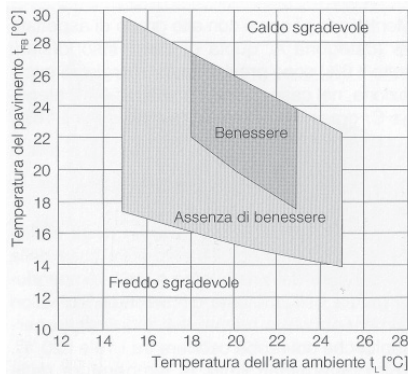
13 Norma DIN 1946-2 Ventilation and air conditioning; technical health requirements (VDI ventilation rules).

14 Definizione tratta dal sito della ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro). [www.ispesl.it](http://www.ispesl.it)

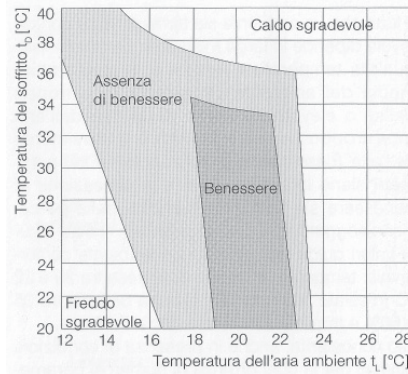


Emissione termica del corpo umano con differenti temperature dell'aria interna.

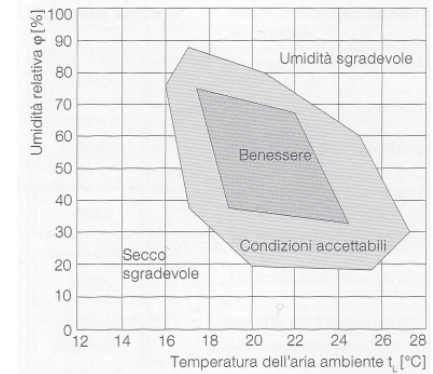
SOTTOCLASSE DI ESIGENZA – BENESSERE TERMOIGROMETRICO		
REQUISITI	VALORI DI RIFERIMENTO	INDICAZIONI
<b>Temperatura dell'aria:</b> valore ottimale che la temperatura dell'aria deve assumere all'interno degli ambienti affinché sia garantito il benessere termico. La normativa indica due range di temperatura differenti: uno per la stagione fredda e uno per quella calda.	inverno: 20 - 22 °C estate: 24 - 26°C	I valori definiti dalla normativa si riferiscono alla temperatura percepita dall'utente. Entro determinati limiti la temperatura delle superfici e quella dell'aria interna si possono reciprocamente compensare. Quanto più è ridotto lo scarto tra questi due valori di temperatura (in situazione ottimale non superiore a 3 K), tanto maggiore sarà il grado di comfort percepito dall'individuo. Un profilo termico eccessivamente asimmetrico, come quello che si viene a creare in locali con ampie superfici vetrate ma con uno scarso isolamento termico, porta ad una condizione di disagio. Poiché l'uomo non analizza l'ambiente in cui si trova in maniera oggettiva, ma ne riceve un'impressione complessiva mediante i suoi cinque sensi, anche se la temperatura media ambientale è soddisfacente, ma si trova vicino ad una superficie fredda (come una parete vetrata che affaccia sull'esterno) prova una sensazione di dis-comfort locale. Per evitare tali situazioni in fase di progettazione è necessario valutare non solo la temperatura interna ma anche la <b>temperatura operativa</b> cioè la media (pesata sulla velocità dell'aria) della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante. La temperatura operativa può essere definita come la temperatura uniforme di un ambiente virtuale in cui il complesso degli scambi termici tra il soggetto e l'ambiente virtuale è pari alla somma degli scambi termici per convezione e irraggiamento fra soggetto e ambiente reale.
<b>Umidità relativa:</b> Valore ottimale del contenuto di vapore acqueo nell'aria affinché sia garantito il benessere igro-termico degli ambienti.	inverno: 30% - 60% estate: 30% - 50%	A temperatura ambiente compresa tra 20 e 22°C si ha una sensazione di benessere quando l'umidità relativa dell'aria oscilla tra il 30% ed il 60%. In questa fascia di comfort, ad ogni aumento del 10% di umidità relativa corrisponde un aumento di temperatura percepita di 0,3K. Con oltre il 70% di umidità si presenta il rischio di formazione di condense e di muffe in corrispondenza delle aree fredde esterne che non dispongono di un adeguato isolamento termico. Un grado di umidità inferiore al 30% favorisce invece la formazione di pulviscolo; alcuni componenti edilizi possono caricarsi elettrostaticamente creando una situazione di dis-comfort locale, in particolare al contatto con pavimenti o parti metalliche.
<b>Velocità dell'aria:</b> valore ottimale della velocità dell'aria immessa nell'ambiente affinché l'individuo non abbia percezioni spiacevoli in termini di comfort ambientale e dei parametri ad esso collegati.	inverno: 0,1 - 0,2 m/s estate: 0,05 - 0,1 m/s	Nella norma EN ISO 7730:2006 - <i>Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere locale</i> i valori di riferimento relativi alla velocità dell'aria sono indicati in funzione del grado di turbolenza della corrente d'aria, dato che il mutare di direzione e di velocità della corrente d'aria può contribuire a rafforzare la percezione della stessa. Con temperature di 20°C, una velocità dell'aria superiore a 0,15 m/s determina una sensazione sgradevole. Quando la temperatura interna supera i 23°C è invece preferibile una maggiore velocità dell'aria che può contribuire ad abbassare l'eccessiva temperatura corporea. <sup>15</sup>



Condizione di benessere in relazione alla temperatura dell'aria e a quella del pavimento.



Condizione di benessere in relazione alla temperatura dell'aria e a quella del soffitto.



Condizione di benessere in relazione alla temperatura dell'aria e all'umidità relativa.

15 Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer, *Energie Atlas*, Birkhäuser, Munich, 2007 (tr.it George Frazzica, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008) pp. 55-60.

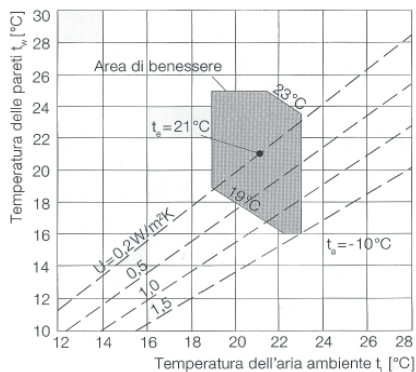
16 CR 1752 del CEN *Criteri strutturali degli spazi interni*, 1998.

17 CEN: *European Committee for Standardization*.

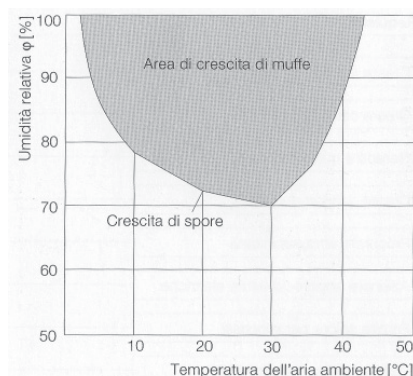
18 UNI EN ISO 7730:2006 *Ergonomia degli ambienti termici. Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere locale*.

19 PMV: *Predicted Mean Vote*.

20 PPD: *Predicted Percentage of Dissatisfied*.



Condizione di benessere in relazione alla temperatura dell'aria, alla temperatura media delle pareti e al valore della trasmittanza (U) dell'involucro.



Area di crescita di muffe.

A causa dei numerosi fattori di condizionamento e dei fattori soggettivi, anche in presenza di condizioni ambientali rispondenti ai valori definiti dalla normativa, non è possibile ottenere un livello di soddisfacimento pari al 100% degli utenti.

Il Rapporto CR 1752/1998<sup>16</sup> del CEN<sup>17</sup> definisce tre categorie (A,B,C) di qualità termica interna degli edifici. Mentre per gli spazi con un alto grado di aspettative, categoria A, sono previsti scarsi margini di oscillazione dei valori di riferimento ed una percentuale di utenti insoddisfatti minore del 6%, negli spazi di categoria C sono previsti margini maggiori e una percentuale di utenti insoddisfatti che può arrivare fino al 15%.

Al fine di valutare anche le variabili relative alla soggettività umana, nella norma ISO 7730:2006<sup>18</sup> la percezione termo-igrometrica viene espressa mediante i valori PMV<sup>19</sup> e PPD<sup>20</sup>. Il PMV è una funzione matematica che dipende da: vestiario, temperatura dell'aria, attività svolta, temperatura media radiante, velocità dell'aria ed umidità. Il valore del PMV rappresenta il voto medio espresso da un ampio campione di persone che si trovano nello stesso ambiente e definiscono la propria sensazione termica attraverso una scala psicofisica che va da un valore + 3 (molto caldo) fino a - 3 (molto freddo) in cui lo 0 corrisponde alla neutralità. Il *Predicted Mean Vote* è correlato sperimentalmente al *Predicted Percentage of Dissatisfied*: un parametro che esprime il numero di persone che sarebbero portate a lamentarsi delle condizioni climatiche riscontrate. Viene definito *soggetto insoddisfatto* quello che attribuisce all'ambiente in esame un valore del PMV pari a +/- 3 o +/- 2.

La norma ISO 7730:2006 indica che lo stato di benessere termico si ha per valori del PMV che oscillano tra - 0,5 e + 0,5, corrispondenti ad un valore del PPD del 10%. Dato che questo livello di soddisfacimento può essere ottenuto solo mediante l'utilizzo di sistemi meccanici per la regolazione delle condizioni ambientali interne, si prevede una nuova versione della direttiva che, in condizioni estive, ammetterà temperature più alte per gli ambienti ventilati naturalmente. Secondo lo standard ASHRAE 55<sup>21</sup>, infatti, la percentuale reale degli insoddisfatti in un ambiente non climatizzato può arrivare al 20%, restando comunque in una condizione di benessere termo-igrometrico.

Una recente ricerca<sup>22</sup> effettuata presso la Technische Universität

München ha dimostrato che, non solo la velocità dell'aria, ma anche le modalità di areazione possono influire in maniera determinante sul benessere termo-igrometrico. Mantenendo stabili gli altri fattori che influenzano il livello di comfort il grado di insoddisfazione degli utenti cresce con l'aumentare della climatizzazione interna: passando dal 20% in caso di sola ventilazione naturale, al 34% con parziale climatizzazione, per raggiungere il 54% con climatizzazione totale. Inoltre utilizzando esclusivamente un impianto di climatizzazione, senza dare all'utente la possibilità di aprire le finestre, aumenta di oltre 2,6 volte la quota di coloro che, insoddisfatti del clima interno, possono accusare la *sick building syndrom*.<sup>23</sup>

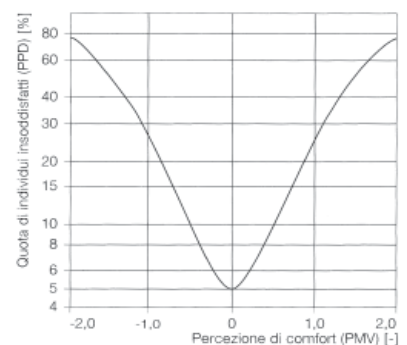
Negli ultimi anni, infatti, grazie alla domotica e alle tecnologie di controllo climatico sempre più all'avanguardia si è fatta strada l'idea che un edificio intelligente debba essere altamente automatizzato e che il controllo delle condizioni ambientali interne debba essere completamente delegato ad un sistema informatico limitando al minimo le possibilità di intervento dell'utente. Tali scelte però hanno portato alla realizzazione di ambienti a tenuta stagna, privi di un vero e proprio rapporto con l'esterno. *“Un edificio intelligente è quello che deriva da un gioco sapiente di vari fattori come forma, funzione, modalità di costruzione, sistema di involucro, soluzioni impiantistiche e che ha come scopo finale il raggiungimento del benessere dell'utente e la riduzione dei costi ambientali. Un edificio intelligente è quindi un edificio semplice, cioè semplice in fase di realizzazione, di dismissione e soprattutto in fase di gestione”* <sup>24</sup>. L'utente, infatti, deve essere in grado di gestire la situazione di comfort interno senza dover necessitare di conoscenze specialistiche.

L'automatizzazione della gestione energetica di un edificio, se da un lato può portare ad un risparmio di risorse attraverso un metodo di gestione efficiente, allo stesso tempo potrebbe aumentare il fabbisogno energetico senza che l'utente se ne accorga. Ci si rende conto infatti che una stanza è eccessivamente riscaldata molto più lentamente rispetto a quando lo è troppo poco o, nel caso in cui il sistema preveda la chiusura ermetica delle finestre, un livello di temperatura leggermente maggiore rispetto alla soglia di benessere viene ammortizzato mediante l'entrata in funzione di un sistema di condizionamento dell'aria anche quando basterebbe aprire la finestra per un periodo di tempo limitato. Da non sottovalutare inoltre che l'utente ha un grado di soddisfazione maggiore nel momento in cui può gestire personalmente ed indipendentemente la condizione ambientale dello spazio in cui vive.

Le sperimentazioni effettuate negli ultimi anni hanno inoltre dimostrato che la ventilazione naturale permette all'utente di tollerare una fascia di temperatura più ampia rendendo così possibile l'estensione dei range dei valori fissati dalle normative per i requisiti di benessere.<sup>25</sup>

Se come sosteneva Ficht *“L'architettura costituisce il terzo ambiente”*<sup>26</sup> che si frappone tra l'uomo e l'ambiente naturale e *“l'edificio ha il compito di proteggere l'uomo dalle sollecitazioni ambientali”*<sup>27</sup>, al fine di diminuire un utilizzo eccessivo e incontrollato delle fonti

- 21 L'ASHRAE Standard 55 (*Thermal environmental conditions for human occupancy*) è uno standard per la valutazione del comfort termico, sviluppato negli Stati Uniti nel 1992 - e successivamente aggiornato - che ha costituito la base per la messa a punto della norma EN ISO 7730:2006.
- 22 Diplomarbeit di Ruhna Hellwig, *Termische Behaglichkeit. Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäude aus Nutzersicht*, Monaco di Baviera, 2005.
- 23 Il termine *“Sick Building Syndrome”* (SBS) o *Sindrome dell'Edificio Malato*, viene usato per descrivere situazioni in cui gli occupanti di un edificio possano lamentare generici disturbi di salute, non riconducibili ad una malattia specifica o ad una causa ben precisa, avvertibili solo ed esclusivamente durante la permanenza all'interno.
- 24 Gerhard Hausladen, *Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können: ClimaDesign 3 + x*, in «Xia», 07-09/2005, p. 20.
- 25 Cfr. Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer, *Energie Atlas*, Birkhäuser, Munich, 2007 (tr. it. George Frazzica, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008) p. 58.
- 26 James Marston Fitch, *American Building 2: The Environmental Forces that shape it*, Houghton Mifflin, Boston, 1972 (tr. it. A cura di Girolamo Mancuso, *La progettazione ambientale. Analisi interdisciplinare dei sistemi di controllo dell'ambiente*, Franco Muzzio & C. editore, Padova, 1980), p. 23.
- 27 Ivi, p. 24.



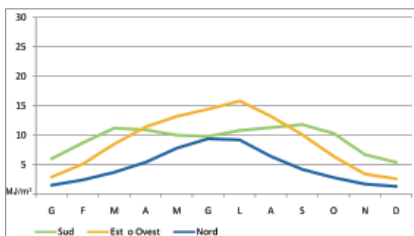
Percezione	Predicted Mean Vote (PMV)
Freddo	-3
Fresco	-2
(Leggermente) freddo sopportabile	-1
Neutro (confortevole)	0
(Leggermente) caldo sopportabile	1
Caldo	2
Molto caldo	3

Valore PPD in funzione del valore PMV e scala di valutazione.

	Estate (periodo di raffrescamento)	Inverno (periodo di riscaldamento)
<b>CR 1752 del CEN</b>		
Categoria A	24,5°C±1,0	22,0°C±1,0
Categoria B	24,5°C±1,5	22,0°C±2,0
Categoria C	24,5°C±2,5	22,0°C±3,0
<b>EN ISO 7730</b>	24,5°C±1,5	22,0°C±2,0

Valori previsti per le temperature operative in caso di attività sedentarie.

- 28 Thomas Herzog, *A house is not a car, una conversazione con Thomas Herzog*, in Massimo Perriccioli, Monica Rossi, *thomas herzog - reacting skin*, edizioni Kappa, 2005, Roma, p. 88.
- 29 Il nome *Dymaxion house* nasce dalla fusione dei termini *dynamics*, *maximum*, *ionix*.
- 30 Cfr. Buckminster Fuller, *Utopia or Oblivion: The Prospects for Humanity*, Bantam Books, New York, 1969.
- 31 Enciclopedia Treccani on-line. Definizione di Clima.
- 32 Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer, *Energie Atlas*, Birkhäuser, Munich, 2007 (tr.it George Frazzica, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008) p. 51.
- 33 S. Petrarca, F. Spinelli, E. Cogliani, M. Mancini, *Profilo Climatico dell'Italia*, Edizioni ENEA, Roma, 1999, 8 volumi.
- 34 Eurometeo: [www.eurometeo.com/italian](http://www.eurometeo.com/italian).
- 35 Società Italiana Meteorologia. [www.nimbus.it](http://www.nimbus.it)
- 36 IFA: *Istituto di Fisica dell'Atmosfera* del CNR.
- 37 *Test Reference Year*: anno tipo elaborato statisticamente dai dati climatici misurati costantemente per un periodo di almeno venti anni.
- 38 ENEA: *Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente*. Archivio climatico DBT: <http://clisun.casaccia.enea.it/Pagine/Profilo.htm>



Irradiazione solare globale su superfici verticali esposte a Sud, Est, Nord e Ovest. Località Milano.

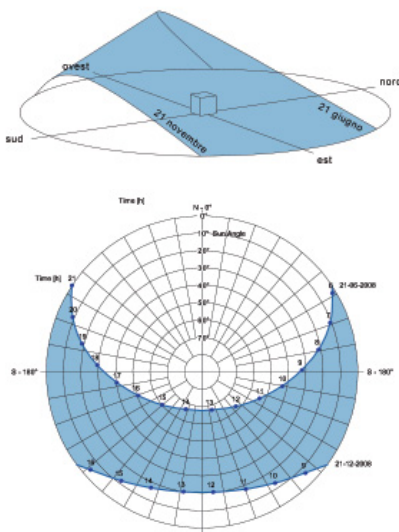


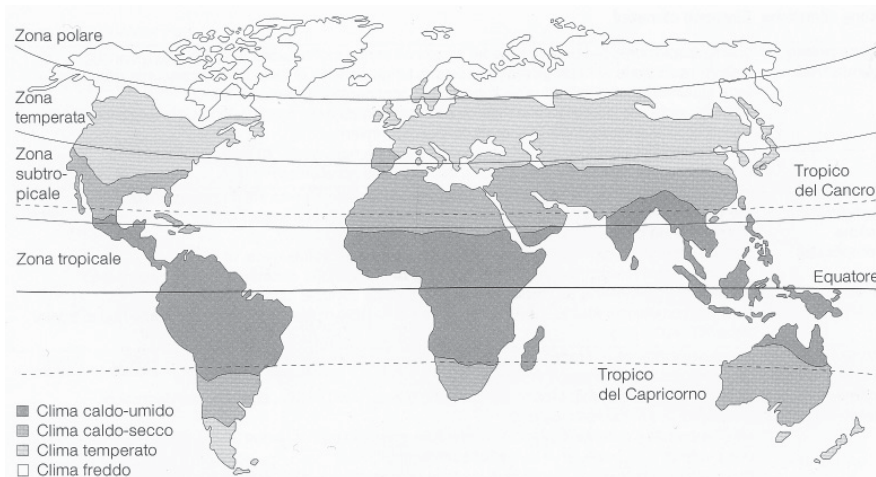
Diagramma solare. Località Milano.

energetiche non rinnovabili è necessario progettare edifici in cui “*le forze ambientali diventano una risorsa e non una forza contro cui lottare*”.<sup>28</sup>

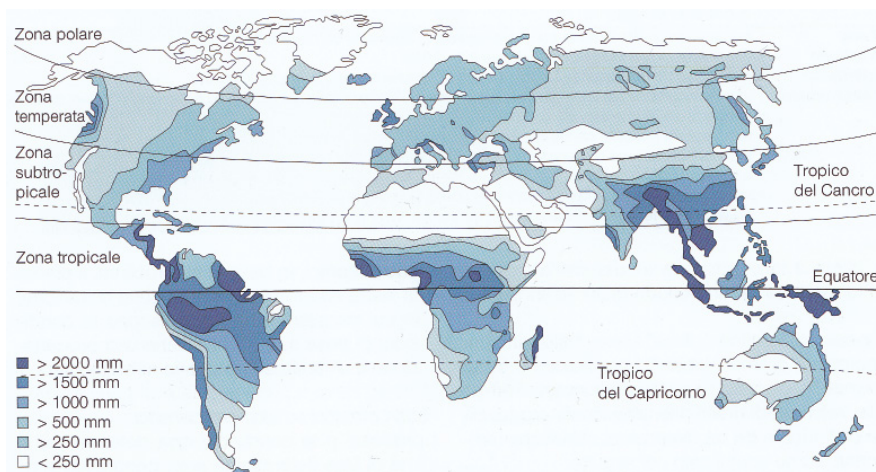
Già nel 1927 Buckminster Fuller proponeva la *Dymaxion house*<sup>29</sup> in cui le soluzioni tecniche elaborate miravano a raggiungere il massimo risultato con il minimo sforzo. “*Non cercate di combattere le forze ma usatele. Non cercate l'isolamento contro tutto; usate lo spostamento angolare per accumulare energie e portatele tutte insieme nella frequenza ed ampiezza più favorevoli al funzionamento sintropico del nostro pianeta nella rigenerazione cosmica. Perché usare energie per fermare energie? Sarebbe come far correre locomotive contro locomotive*”.<sup>30</sup>

Affinché un edificio risulti effettivamente efficiente da un punto di vista energetico è quindi necessario che il rapporto edificio-ambiente sia tale da limitare al massimo gli sprechi di risorse e che il processo progettuale sia basato, non solo su un'accurata valutazione dei requisiti funzionali e di benessere, ma anche su un'attenta analisi dell'ambiente in cui l'edificio va ad inserirsi, al fine di soddisfare le esigenze dell'utente con il minor dispendio di energia possibile. Di conseguenza la conoscenza approfondita del clima cioè del “*complesso delle condizioni meteorologiche che caratterizzano una regione o una località relativamente a lunghi periodi di tempo, e che sono determinate, o quanto meno influenzate, da fattori ambientali e astronomici come latitudine, altitudine e movimenti della terra*”<sup>31</sup>, costituisce una premessa imprescindibile per lo sviluppo di progetti ad alta efficienza energetica.

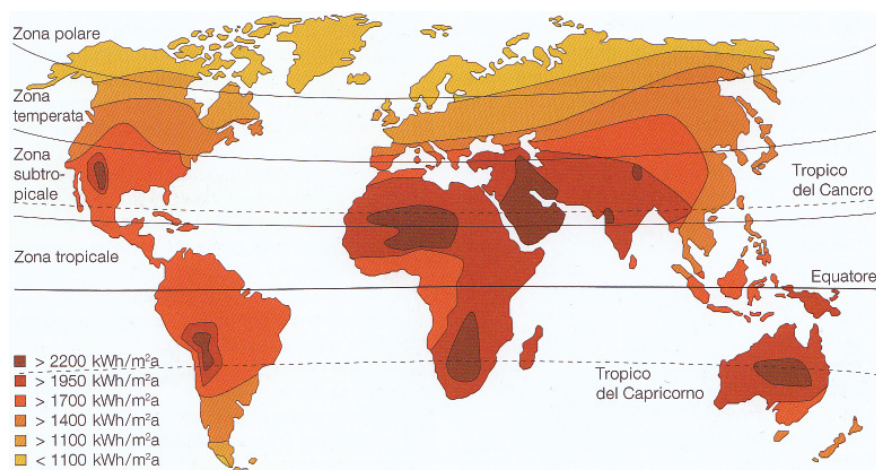
Il clima di una determinata regione è definito dai *fattori climatici* – “*intesi come i processi e le condizioni che determinano il clima in una specifica area geografica*” - e dai *dati climatici* - cioè “*le grandezze che si riferiscono a caratteristiche misurabili del sistema climatico*”.<sup>32</sup> Nell'analisi climatica di un'area di progetto è quindi necessario considerare gli andamenti dei parametri fisici che permettono di definire le condizioni atmosferiche. I dati climatici di gran parte del territorio italiano, intesi come valori medi elaborati su un arco di tempo di almeno venti o trenta anni, possono essere tratti dalla norma UNI 10349:1994 *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici-dati climatici*, dai dati climatici *De Giorgio*, dal *Profilo climatico d'Italia* curato dall'ENEA<sup>33</sup> e dai dati climatici europei raccolti da Eurometeo<sup>34</sup> e dalla Società Italiana Meteorologia<sup>35</sup>. La norma UNI 10349:1994 raccoglie dati che si basano su rilevamenti effettuati tra il 1960 ed il 1990 relativi ai capoluoghi di provincia e propone un metodo di calcolo per ottenere i dati climatici di tutte le località italiane, partendo da quelli del capoluogo di provincia più vicino. I dati climatici *De Giorgio*, raccolti nell'ambito del Progetto Finalizzato Energetica del 1979 dall'IFA<sup>36</sup>, propongono invece un *Test Reference Year*<sup>37</sup>, per 68 località italiane, calcolato utilizzando i dati raccolti dal 1951 al 1970 dalle stazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. Il *Profilo climatico d'Italia* raccoglie in otto volumi o sotto forma di file scaricabili dal sito dell'ENEA<sup>38</sup>, i valori medi delle principali grandezze



Zone climatiche della terra.



Distribuzione delle precipitazioni annuali.



Distribuzione dell'irradiazione solare annua.

- 39 ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)
- 40 NREL: National Renewable Energy Laboratory degli Stati Uniti d'America. [www.nrel.org](http://www.nrel.org)
- 41 NOAA: National Oceanic Atmospheric Administration. [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov)
- 42 Il software MeteoNorm, nella versione 6.0, contiene una banca dati che comprende i dati meteo di 7.756 stazioni di rilevamento dati meteo-climatici localizzate in tutto il mondo. Mediante gli algoritmi contenuti nel programma si possono generare valori orari relativi all'irraggiamento globale, alla temperatura e ad altri parametri meteo. [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com) o [www.valentin.de](http://www.valentin.de)

meteo-climatiche dei comuni italiani tratti dalle serie storiche dei dati rilevati.

Per quanto riguarda invece i dati a livello mondiale, degli strumenti particolarmente utili sono l'*Handbook of Fundamentals* redatto dall'ASHRAE<sup>39</sup>, i dati raccolti dal NREL<sup>40</sup> e dal NOAA<sup>41</sup>, nonché softwares come MeteoNorm<sup>42</sup> in grado di determinare i dati climatici di una località di cui si conoscono le coordinate geografiche.

43 Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer, *Energie Atlas*, Birkhäuser, Munich, 2007 (tr.it George Frazzica, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008), p. 51.

44 Adriano Paoella, *Abitare i luoghi. Insediamenti, tecnologia, paesaggio*, BFS edizioni, 2004, Pisa, p. 23.

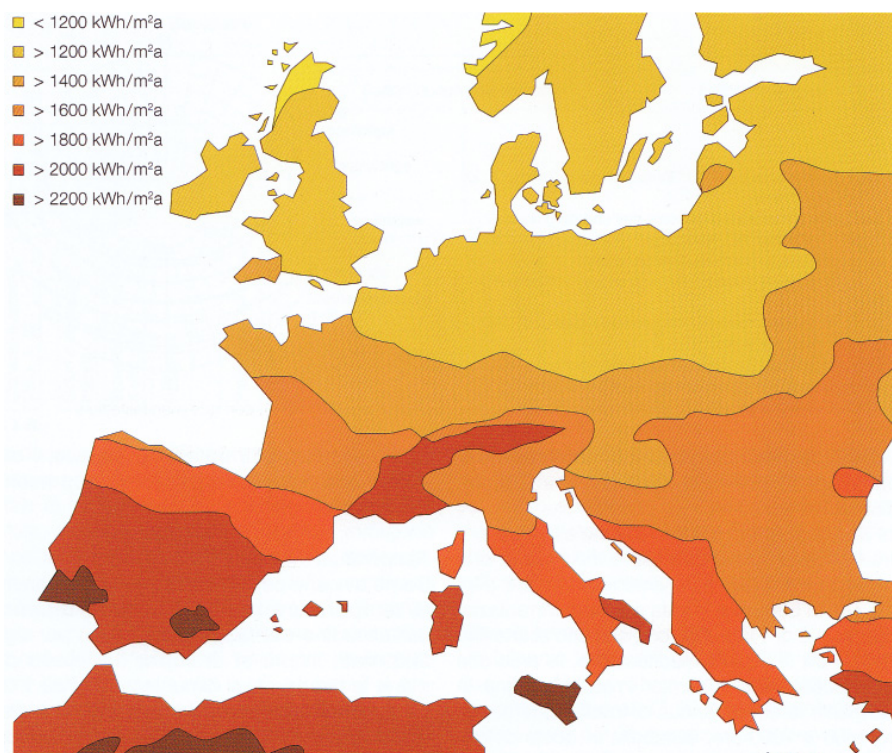
45 Cfr., *ivi* p. 27-28.

46 Gerhard Hausladen, *Definizione di ClimaDesign*, in *Brochures informativa sul Master in ClimaDesign*, 2007, p. 1.

Nel caso in cui l'analisi climatica sia finalizzata alla realizzazione di un edificio in un'area specifica non è sufficiente basarsi sui dati forniti dalle fonti precedentemente elencate, ma è necessario analizzare in maniera più specifica l'area, acquisendo informazioni dalle centraline di rilevamento dati meteo locali ed effettuando un'analisi microclimatica del sito specifico.

Il microclima *“descrive le condizioni meteorologiche dello stato atmosferico prossimo alla superficie e non oltre i 2 m di altezza di luoghi specifici e delle loro immediate vicinanze”*.<sup>43</sup> Nel microclima vanno inoltre considerate diverse variabili come la conformazione del terreno, la posizione su pendio, a valle o in pianura, la presenza di vegetazione e le condizioni d'ombra da essa determinate, nonché la presenza di edifici circostanti. *“Si deve inoltre considerare che l'ambiente in cui si inserisce l'azione umana non ha un equilibrio costante e inalterabile, né a evoluzione lineare, ma può subire modificazioni rapide in ragione degli effetti dell'azione stessa”*.<sup>44</sup>

Sulla base di queste conoscenze è possibile progettare *“edifici che si pongono l'obiettivo di dialogare con il contesto, e non di imporgli un segno conformatore, di utilizzare in modo ottimale le condizioni ambientali del sito e di ridurre il peso dell'intervento, mirando al miglioramento complessivo delle condizioni sia dell'utente che dell'ambiente, attraverso l'inibizione di fenomeni degenerativi prodotti dallo sviluppo incontrollato”*.<sup>45</sup> Con questo approccio olistico alla pianificazione si possono individuare soluzioni progettuali, tecniche e costruttive *“per edifici che con il minimo consumo di energia garantiscono il massimo del benessere”*<sup>46</sup> in cui i due rapporti edificio-ambiente ed edificio-uomo non vengono affrontati in maniera seriale, ma attraverso un processo sistemico multi-dimensionale in grado di portare all'elaborazione di un *“sistema unitario coordinato”*.



### 1.3 Edifici energeticamente efficienti nel Sud Europa: parametri progettali

*“Potremmo dire che il fine dell’architettura è il seguente: compito del costruire è realizzare uno strumento che consenta all’uomo di relazionarsi a tutte le influenze positive della natura e che lo protegga allo stesso tempo delle manifestazioni naturali negative di quel dato ambiente in cui la costruzione sorge. Se saremo d’accordo che questa sia la definizione generica più logica per l’architettura (e al momento non riesco a trovarne di migliori), allora bisogna pur dire che un solo tipo di edificio non può svolgere questo compito e che esso va differenziato proprio quanto la natura di cui fa parte. Una casa non può svolgere al cento per cento la sua funzione se è concepita in modo tipizzato come un’automobile. In tale modo dunque la standardizzazione architettonica non può essere dello stesso tipo della standardizzazione industriale, adatta in modo generico per l’appunto solo all’automobile”.*

Alvar Aalto, 1941<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Alvar Aalto, *La ricostruzione europea fa emergere i principali problemi architettonici del nostro tempo. Articolo pubblicato in «Arkkitehti» nel 1941, in Marcello Fagiolo (a cura di), Alvar Aalto idee di architettura. Scritti scelti 1921-1968, Zanichelli Editore, Bologna, 1987, p.77.*

Data la stretta correlazione tra le prestazioni energetiche di un edificio e la sua interazione con i fattori climatici locali, il cui controllo è allo stesso tempo vincolo e risorsa del progetto, risulta impossibile definire “l’edificio energeticamente efficiente tipo”, ma è necessario valutare le condizioni climatiche del caso specifico e definire soluzioni progettuali *ad hoc*.

In virtù della complessità che è alla base dell’interazione tra ambiente/edificio/uomo e alla necessità di combinare un consumo limitato delle risorse energetiche non rinnovabili al soddisfacimento delle esigenze di benessere dell’utente, le ricerche di settore hanno individuato dei parametri progettuali qualitativi che, interagendo tra loro, influenzano in maniera sostanziale l’efficienza energetica di un edificio come: il fattore di forma (S/V), l’orientamento dell’edificio rispetto ai punti cardinali e ai venti prevalenti, la distribuzione interna, le caratteristiche dell’involucro edilizio, le strategie di ventilazione e i sistemi impiantistici.

Tali parametri progettuali, ampiamente trattati dalla letteratura di settore, sono stati spesso analizzati solo in relazione ad edifici localizzati in climi freddi in cui limitare il fabbisogno energetico consiste essenzialmente nel ridurre le dispersioni termiche nel periodo invernale.

Dato il maggior grado di avanzamento dei paesi del centro Europa rispetto a quelli dell’Europa meridionale nel settore dell’efficienza energetica degli edifici, in Italia, come in altri paesi del Sud Europa, si è spesso verificata un’adozione acritica di normative, esempi



Esempi di architetture tradizionali di zone climatiche differenti.



Esempi di architetture tradizionali di zone climatiche differenti.

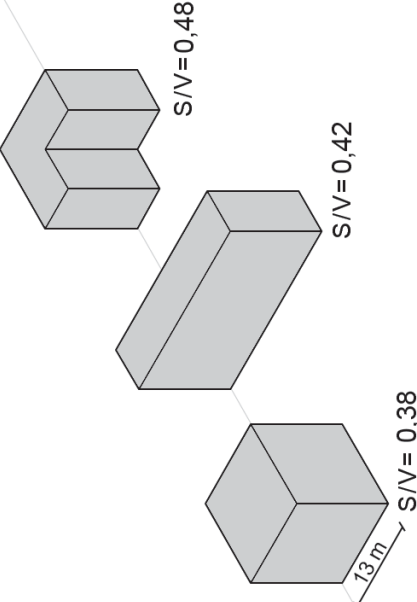
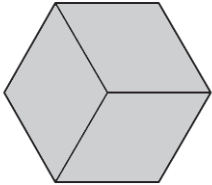
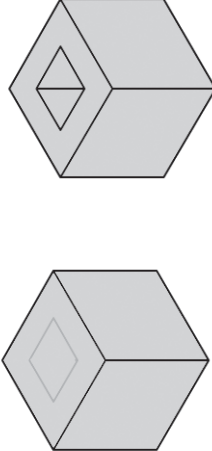
progettuali e soluzioni tecniche sviluppate in Germania, Austria o Svizzera.

La presa a modello di strategie di iper-isolamento adatte a climi freddi hanno fatto sì che molto spesso nel Sud Europa le architetture definite ad elevata efficienza energetica non risultino effettivamente tali. Alle nostre latitudini, infatti, grazie anche ai cambiamenti climatici in atto che si prevede determineranno un sostanziale innalzamento delle temperature, una parte non più trascurabile del dispendio energetico degli edifici consiste nell'utilizzo di climatizzatori estivi. L'aumento di tali sistemi, con la conseguente immissione di aria calda nelle aree urbane, determina inoltre un innalzamento della temperatura esterna e incrementa ulteriormente la necessità di dotarsi di impianti di raffrescamento innescando un circolo vizioso. Tale fabbisogno energetico può essere minimizzato attraverso una strategia progettuale appositamente pensata per il nostro clima in cui l'inerzia termica che comporta lo sfasamento e l'attenuazione nella trasmissione del calore tra interno ed esterno, il controllo dell'irraggiamento solare diretto, la ventilazione naturale e un'impiantistica leggera in grado di compensare i carichi termici di picco hanno costituito da sempre elementi fondamentali per un'architettura tradizionale a basso consumo energetico anche nel periodo estivo.

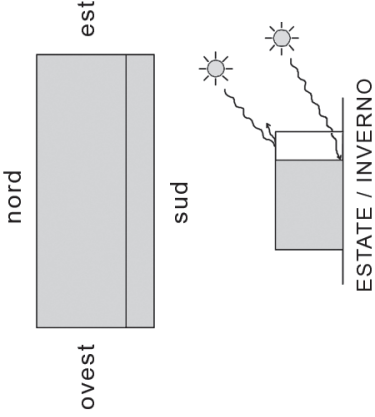
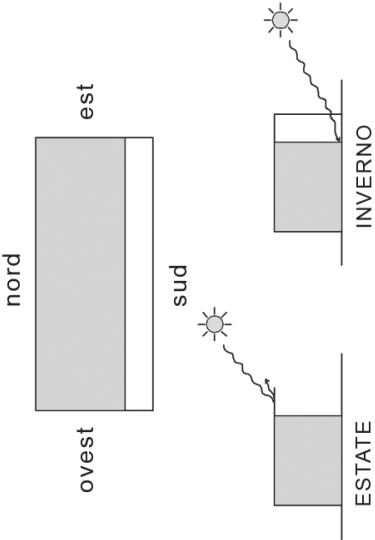
Con l'intento di definire delle strategie progettuali efficienti da un punto di vista energetico per edifici localizzati nel Sud Europa, si propone una "rilettura" dei parametri progettuali generalmente definiti per i climi freddi.

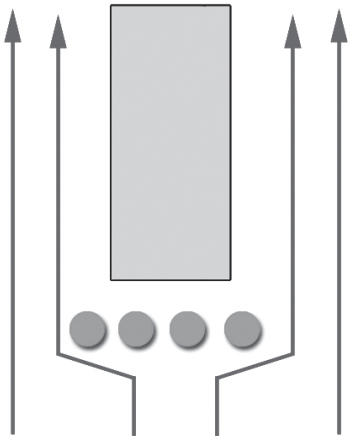
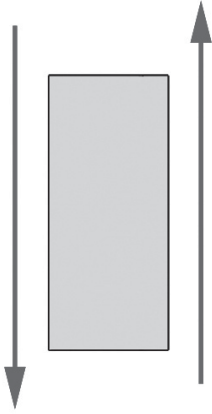




PARAMETRO PROGETTUALE	ZONE CLIMATICHE DELL'EUROPA CENTRALE	ZONE CLIMATICHE DEL SUD EUROPA
<p><b>Fattore di forma o compattezza</b></p>  <p>Il <i>fattore di forma</i> o <i>compattezza</i> di un edificio si calcola come il rapporto tra superficie disperdente dell'involucro (data dalla somma delle superfici delle chiusure verticali e delle chiusure orizzontali superiori ed inferiori) e volume complessivo dell'edificio (S/V). La forma dell'edificio è spesso vincolata dal contesto urbano o da indicazioni del regolamento edilizio ma, nel caso in cui non vi fossero vincoli, una progettazione consapevole della forma dell'edificio può contribuire a controllare il suo comportamento termico. Oltre alla <i>compattezza</i> le altre caratteristiche della forma dell'edificio che incidono in maniera sostanziale sulla sua efficienza energetica sono: <i>porosità</i> e <i>snellezza</i>.<sup>2</sup> La <i>porosità</i> è la proporzione tra volume pieno e volume vuoto dell'edificio dato dalla presenza di patii. Un edificio con un elevato grado di porosità risultata dotato di molte superfici di scambio con l'esterno. La <i>snellezza</i> è la proporzione dell'edificio rispetto al suo sviluppo in verticale. Un edificio snello, che ha un ridotto contatto con il terreno e una elevata esposizione agli agenti atmosferici, non è consigliabile dal punto di vista energetico ma, avendo un'occupazione del terreno ridotta, favorisce la compattezza urbana.<sup>3</sup></p>	 <p>INVERNO / ESTATE S/V = 0,38</p> <p>Nei climi freddi è auspicabile la realizzazione di edifici dotati di un'elevata compattezza. Una superficie ridotta esterna, infatti, minimizza notevolmente le dispersioni termiche.</p>	 <p>INVERNO S/V = 0,38</p> <p>ESTATE S/V = 0,65</p> <p>Nei climi caldi la soluzione più efficiente risulta un'elevata porosità che, nonostante comporti una maggiore difficoltà nell'isolamento delle pareti esterne, facilita il raffrescamento passivo dovuto alla ventilazione naturale. In edifici localizzati alle nostre latitudini la compattezza è vantaggiosa nel periodo invernale, mentre la porosità è particolarmente efficiente per limitare il fabbisogno energetico per il raffrescamento in estate. La soluzione ottimale sarebbe quindi prevedere un edificio ad assetto variabile in cui, con l'utilizzo di sistemi mobili, è possibile chiudere patii, gallerie e verande nel periodo invernale, che poi verranno opportunamente aperti in quello estivo.</p>

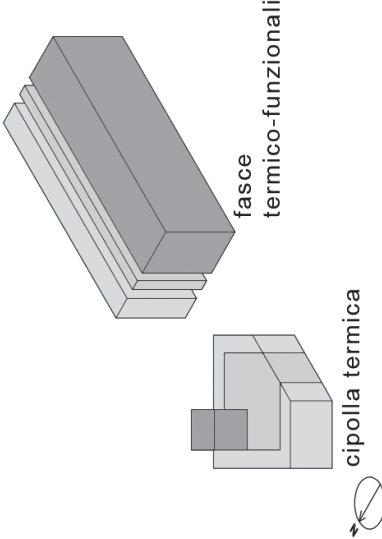
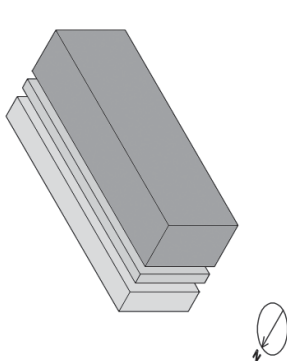
<sup>2</sup> Cfr. Rafael Serra Florensa, Melena Coch Roura, *Arquitectura y energia natural*, Edicions UPC, Catalunya, 1995 (tr. it. di G. Scudo e A. Rogora, *L'energia nel progetto di architettura*, Città Studi edizioni, Milano, 1997).  
<sup>3</sup> Cfr. Monica Lavagna, *Sostenibilità e risparmio energetico. Soluzioni tecniche per edifici eco-efficienti*, Libreria CLUP, Milano, 2005, p. 102.

PARAMETRO PROGETTUALE	ZONE CLIMATICHE DELL'EUROPA CENTRALE	ZONE CLIMATICHE DEL SUD EUROPA
<p><b>Orientamento dell'edificio rispetto ai punti cardinali</b></p> <p>L'orientamento dell'edificio incide notevolmente sui guadagni termici diretti dovuti all'irraggiamento solare.</p> <p>Nel calcolo delle dispersioni termiche per conduzione dell'involucro la norma UNI 7357:1974<sup>3</sup> e s.m.i. prevede una percentuale di miglioramento in base all'orientamento della superficie. La correzione per esposizione si basa sull'irraggiamento solare diretto, sul grado di umidità delle pareti e sulla diversa velocità e temperatura dei venti.</p> <p>Le percentuali di maggiorazione previste dalla normativa sono :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sud 0%</li> <li>Sud-Ovest 2-5%</li> <li>Ovest 5-10%</li> <li>Nord-Ovest 10-15%</li> <li>Nord 15-20%</li> <li>Nord-Est 15-20%</li> <li>Est 10-15%</li> <li>Sud-Est 5-10%</li> </ul>	 <p>Gli edifici solari dell'Europa centrale sono caratterizzati da un orientamento con l'asse principale disposto secondo la direzione est-ovest. Questo orientamento, particolarmente adatto a massimizzare il guadagno termico dovuto all'irraggiamento diretto, è generalmente combinato ad un prospetto nord fortemente isolato e dotato di piccole aperture e ad un prospetto sud caratterizzato da serre o da ampie superfici vetrate.</p>	 <p>in edifici con carichi termici interni elevati questo orientamento può determinare un eccessivo surriscaldamento nei mesi estivi.</p> <p>Negli edifici localizzati nel Sud Europa la massimizzazione delle superfici vetrate nel prospetto rivolto a sud può risultare non solo poco efficiente, ma in molti casi controproducente. Infatti, se l'orientamento lungo l'asse est-ovest può essere considerato una buona regola anche nei climi caldi, - in quanto minimizza le superfici esposte ad est e ad ovest che risultano difficilmente schermabili a causa dell'inclinazione dei raggi solari su questi fronti -, prevedere una superficie vetrata a sud, può limitare il fabbisogno energetico nel periodo invernale ma determinare un eccessivo aumento di quello per il raffrescamento estivo. Di conseguenza, nel caso in cui si realizzassero edifici dotati di serre esposte a sud, è necessario prevedere una rimozione totale delle superfici verticali vetrate nel periodo estivo. In questo modo, purché la copertura sia opaca, è possibile ottenere un elemento di schermatura solare della facciata. Nel caso di edifici adibiti ad ufficio, dotati quindi di notevoli carichi termici interni, in alcune recenti ricerche condotte presso la Technische Universität München è stato dimostrato che l'orientamento che comporta il minor fabbisogno energetico è quello verso nord.</p>



PARAMETRO PROGETTUALE	ZONE CLIMATICHE DELL'EUROPA CENTRALE	ZONE CLIMATICHE DEL SUD EUROPA
<p><b>Orientamento dell'edificio rispetto ai venti prevalenti</b></p> <p>La presenza o meno di un vento prevalente può influenzare notevolmente il fabbisogno energetico di un edificio. Una ricerca condotta in Germania<sup>4</sup> ha stabilito la percentuale di influenza dal vento e dalla presenza di alberature sul fabbisogno energetico di un edificio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zone con ristagno di aria fredda 125%,</li> <li>- zone ombreggiate e densamente alberate 110%,</li> <li>- zone di montagna 100%,</li> <li>- località pianeggianti protette dal vento 85%,</li> <li>- zone protette dal vento ed orientate a sud 60-70%.</li> </ul>	 <p style="text-align: center;">direzione dei venti</p> <p>Venti con una velocità media piuttosto sostenuta provocano nel corpo di fabbrica una corrispondente perdita di calore per trasmissione. Di conseguenza nelle zone climatiche fredde è preferibile scegliere siti riparati dal vento o, quando non fosse possibile, adottare misure protettive come barriere vegetali (siepi, alberature) o terrapieni.<sup>5</sup></p>	 <p style="text-align: center;">direzione dei venti</p> <p>L'orientamento dell'edificio parallelamente alla direzione principale dei venti prevalenti costituisce una strategia efficace di raffrescamento passivo. Il movimento d'aria sulla facciata contribuisce a diminuire la temperatura superficiale della facciata stessa e a limitare gli effetti dell'irraggiamento diretto. La presenza di aperture contrapposte posizionate ortogonalmente alla direzione dei venti prevalenti favorisce il raffrescamento passivo dovuto alla ventilazione naturale.</p>

5 Cfr. Pierre Robert Sabady, *Biologischer Sonnenhausbau. Die Kunst naturgerecht und energiesparend zu bauen* Ein Handbuch für Fachmann und Bauherr, Helion, Gilwice, 1980.

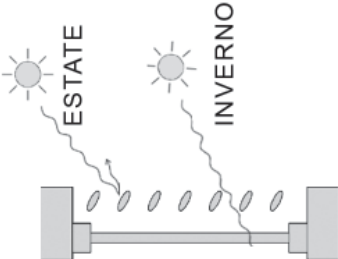
6 Cfr. Manfred Hegger, *Dall'utilizzo passivo ad un'architettura solare intelligente*, in Christian Schittich (a cura di), *Architettura Solare*, Birkhäuser, Basel, 2005, p.16.

PARAMETRO PROGETTUALE	ZONE CLIMATICHE DELL'EUROPA CENTRALE	ZONE CLIMATICHE DEL SUD EUROPA
<p><b>Distribuzione interna</b></p> <p>La zonizzazione termico-funzionale di un edificio si basa sulla premessa che gli ambienti presentano differenti esigenze termiche in relazione all'uso e al microclima interno.</p>	 <p>fasce termico-funzionali</p> <p>cipolla termica</p> <p>Nelle architetture solari dell'Europa centrale sono state messe a punto due strategie di zonizzazione interna principali: la <i>cipolla termica</i> e l'<i>organizzazione per fasce termico-funzionali</i>.</p> <p>Nella strategia della <i>cipolla termica</i> le stanze con un fabbisogno termico elevato sono poste al centro dell'edificio, mentre gli spazi di relazione sono spostati verso l'esterno.</p> <p>L'organizzazione per <i>fasce termico-funzionali</i>, che accomuna la maggior parte dell'edilizia residenziale energeticamente efficiente del centro Europa, è caratterizzata da fasce parallele, ciascuna delle quali contiene spazi con funzioni analoghe. Questa strategia viene generalmente applicata in edifici con la direzione prevalente lungo l'asse est-ovest in cui i locali che necessitano di un riscaldamento maggiore e che ospitano funzioni che comportano una lunga permanenza nello stesso ambiente sono orientati verso sud, mentre, nella fascia nord, sono concentrati i servizi, i locali di passaggio e tutti gli spazi con requisiti termici inferiori.</p>	 <p>fasce termico-funzionali</p> <p>L'applicazione della tipologia della cipolla termica in edifici del Sud Europa determinerebbe un eccessivo surriscaldamento degli ambienti interni, al contrario, l'organizzazione per fasce termico-funzionali può risultare efficiente anche in zone con estati calde. Collocare le funzioni che necessitano della stessa temperatura nella medesima fascia risulta efficiente indipendentemente da quali siano le temperature richieste.</p> <p>A differenza degli edifici realizzati in Europa centrale, in quelli del Sud Europa, in particolare se adibiti ad uffici (con elevati carichi termici), la fascia in cui la permanenza degli utenti è maggiore dovrebbe essere orientata verso nord, mentre nella fascia a sud possono essere collocate le zone di distribuzione.</p>

PARAMETRO PROGETTUALE	ZONE CLIMATICHE DELL'EUROPA CENTRALE	ZONE CLIMATICHE DEL SUD EUROPA
<p><b>Strategia di ventilazione</b></p> <p>La ventilazione sia naturale che forzata influisce in maniera sostanziale sulla temperatura interna degli edifici.</p>	<div data-bbox="400 1227 552 1485"> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ventilazione forzata</li> <li>- <i>Standard Passivhaus</i></li> </ul> <p>Gli edifici passivi realizzati in Europa centrale secondo lo standard <i>Passivhaus</i> affidano il soddisfacimento dei requisiti minimi di ventilazione a sistemi meccanici di trattamento dell'aria. Un'elevata tenuta all'aria, infatti, riduce notevolmente le dispersioni termiche.</p>	<div data-bbox="316 595 660 846"> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- finestre contrapposte</li> <li>- camini di ventilazione</li> <li>- ventilazione per differenza di pressione</li> </ul> <p>La ventilazione naturale costituisce una delle principali strategie per il raffrescamento passivo degli edifici. È infatti sufficiente lasciare aperte due aperture contrapposte, nella direzione del vento prevalente, per generare un movimento d'aria utile ad abbassare la temperatura interna. Nei climi caldi sono comunemente utilizzati dei camini di ventilazione che, grazie a differenze di pressione, consentono il ricambio d'aria - con il conseguente abbassamento della temperatura interna - attraverso aperture poste nella parte sommitale del camino. Nei climi caldi secchi è possibile combinare la strategia dei camini di ventilazione con l'utilizzo di acqua nebulizzata per raffrescare l'aria.</p>

PARAMETRO PROGETTUALE	ZONE CLIMATICHE DELL'EUROPA CENTRALE	ZONE CLIMATICHE DEL SUD EUROPA
<p><b>Caratteristiche dell'involucro edilizio</b></p> <p>Nel testo L'energia nel progetto di architettura di Serra Florensa e Coch Roura<sup>7</sup> vengono illustrate 10 caratteristiche che definiscono il comportamento energetico dell'involucro edilizio: <i>interramento, addossamento, pesantezza, isolamento, permeabilità, trasparenza, protezione dal sole, assetto variabile, rugosità e colore.</i></p> <p>Il D.Lgs. 192/2005 e s.m.i., invece, definisce tre requisiti energetici relativi all'involucro edilizio i cui valori limite variano in base alla zona climatica e all'anno di realizzazione dell'edificio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Trasmittanza termica delle strutture opache verticali;</li> <li>-Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate;</li> <li>- Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti;</li> </ul> <p>Per gli involucri di edifici realizzati in località con un valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale maggiore o uguale a 290 W/m<sup>2</sup> è indicato inoltre un valore di massa frontale di riferimento.</p>	<p>Involucro edilizio opaco</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- trasmittanza termica ridotta</li> <li>- isolamento termico a capotetto</li> </ul> <p>Nei climi freddi la principale caratteristica degli involucri edilizi opachi è una ridotta trasmittanza termica.</p>	<p>Involucro edilizio opaco</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- trasmittanza termica ridotta</li> <li>- isolamento termico a capotetto</li> <li>- colori chiari</li> <li>- trasmittanza termica ridotta</li> <li>- sfasamento ed attenuazione elevati</li> <li>- elevata inerzia termica</li> </ul> <p>Nei climi caldi, oltre alla trasmittanza termica, è l'inerzia termica ad assumere un ruolo di fondamentale importanza. Per evitare l'eccessivo surriscaldamento interno nei mesi estivi è infatti necessario che i picchi di temperatura esterni giungano all'interno dell'edificio con un tempo di sfasamento ed un'attenuazione sufficienti combinati ad un'opportuna strategia di ventilazione. Quest'effetto, generalmente garantito da involucri in muratura, può essere ottenuto anche mediante l'utilizzo di materiali innovativi dotati di "inerzia termica virtuale". Per quanto riguarda invece i materiali isolanti, i più adatti ai climi caldi sono quelli dotati, non solo di un ridotto coefficiente di conducibilità termica, ma anche di un'elevata densità che ne aumenta l'inerzia. Ad influenzare il comportamento termico di un involucro opaco contribuisce inoltre in maniera sostanziale la colorazione della superficie esterna. Tonalità scure favoriscono l'assorbimento della radiazione solare provocando un aumento della temperatura interna, mentre colori chiari, caratteristici degli edifici tradizionali delle zone a clima mediterraneo, respingendo la radiazione solare, evitano guadagni termici solari incontrollati.</p>

<sup>7</sup> Cfr. Rafael Serra Florensa, Melena Coch Roura, *Architettura y energia natural*, Edicions UPC, Catalunya, 1995 (tr. it. di Gianni Scudo e Alessandro Rogora, *L'energia nel progetto di architettura*, Città Studiedizioni, Milano, 1997).

PARAMETRO PROGETTUALE	ZONE CLIMATICHE DELL'EUROPA CENTRALE	ZONE CLIMATICHE DEL SUD EUROPA
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- giusto rapporto tra involucro opaco e trasparente</li> <li>- vetri basso emissivi o selettivi</li> <li>- sistemi di schermatura solare esterni</li> </ul>	<p>Involucro edilizio trasparente</p> <p>Nelle zone climatiche dell'Europa centrale le finestre orientate verso nord dovrebbero avere dimensioni ridotte per limitare le dispersioni termiche, mentre quelle rivolte a sud possono essere di dimensioni maggiori per favorire i guadagni termici diretti dovuti all'irraggiamento solare. Combinando un'ampia superficie vetrata esposta a sud con un elemento interno ad elevata inerzia termica è possibile ottenere una zona cuscinetto con funzione di serra solare. Sia nelle zone climatiche fredde che in quelle calde è opportuno utilizzare infissi dotati di bassi valori di trasmittanza termica e cristalli ad elevate prestazioni energetiche come vetri basso emissivi o selettivi. I vetri basso emissivi con un elevato valore di fattore solare, riducendo le dispersioni termiche e massimizzando il guadagno solare diretto, sono indicati per le zone climatiche della Mitteleuropa. Al contrario i vetri basso emissivi con un ridotto fattore solare o i vetri selettivi - ottenuti mediante deposizione catodica di un coating di metalli nobili riflettente nel campo dell'infrarosso e caratterizzati per l'elevata trasmissione luminosa, il limitato apporto energetico e i bassi valori di emissività spettrale - risultano particolarmente efficienti anche in zone a clima caldo. Una corretta progettazione prevede l'utilizzo di doppi vetri con un'intercapedine riempita d'aria o di gas inerti in cui il vetro selettivo può costituire sia la lastra interna che quella esterna. Nel primo caso sono migliori le prestazioni termiche, nel secondo si accentua la funzione di controllo solare. La presenza di una seconda lastra di vetro, oltre a limitare le dispersioni termiche nel periodo invernale, costituisce un ulteriore ostacolo al re-irraggiamento verso l'interno dell'energia termica da parte della lastra più esterna.</p>	<p>Involucro edilizio trasparente</p> <p>Anche negli edifici localizzati nel Sud Europa dimensioni ridotte delle superfici vetrate, in inverno riducono le eccessive dispersioni termiche e, in estate, contribuiscono notevolmente a ridurre i guadagni termici diretti. Aperture troppo piccole però, non garantendo un'illuminazione naturale sufficiente, potrebbero determinare un aumento del fabbisogno energetico dovuto all'illuminazione artificiale. Non è quindi possibile definire una regola generale nel dimensionamento dell'involucro trasparente, tranne la necessità di prevedere aperture contrapposte che favoriscono la ventilazione naturale e un sistema di schermatura solare appropriato. Affinché un sistema di schermatura risulti efficiente è necessario che sia posizionato esternamente rispetto alla superficie vetrata che, se irraggiata direttamente, diventa essa stessa un corpo radiante. Spesso in edifici alti non è possibile prevedere schermature esterne a causa di problematiche relative alla manutenzione o alla presenza di vento. In questo caso sarebbe auspicabile prevedere elementi di schermatura solare interni alla vetrocamera. Il sistema di schermatura più adatto varia anche in relazione all'orientamento della facciata sulla quale verrà posizionato. Sulla facciata rivolta a nord è possibile prevedere dei sistemi fissi, in quella a sud risultano particolarmente efficienti frangisole a lamelle orizzontali, meglio se mobili o selettivi. Nelle facciate est ed ovest, difficilmente schermabili nelle prime ore del mattino o poco prima del tramonto, possono essere invece utilizzati sistemi con lamelle verticali.</p>

PARAMETRO PROGETTUALE	ZONE CLIMATICHE DELL'EUROPA CENTRALE	ZONE CLIMATICHE DEL SUD EUROPA
<p><b>Sistemi meccanici</b></p> <p>Anche in edifici con un fabbisogno energetico ridotto è necessario utilizzare sistemi meccanici di climatizzazione interna. Per l'approvvigionamento energetico degli impianti è auspicabile utilizzare fonti rinnovabili ricavate dall'utilizzo di collettori solari, pannelli fotovoltaici o pompe di calore che sfruttano la temperatura naturale del terreno.</p>	<p>La messa in atto di politiche statali per l'incentivazione dell'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, ha fatto sì che, già dalla fine degli anni '70, in Germania venissero messi in opera i primi pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica ad uso domestico. Negli anni successivi hanno trovato applicazione nell'edilizia residenziale tedesca anche collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria e pompe di calore per il riscaldamento degli ambienti interni. Al fine di limitare l'eccessivo surriscaldamento nei mesi estivi degli edifici per uffici, negli ultimi anni sono stati messi a punto sistemi di attivazione degli elementi costruttivi massivi. Disponendo di acque di falda a temperatura costante di una cisterna interrata riempita con acqua piovana o acqua di mare mantenuta a temperatura costante è possibile raffrescare gli elementi massivi di un edificio (come ad esempio i solai) mediante dei tubi annegati nel massetto, all'interno dei quali viene fatta scorrere l'acqua a temperatura costante. Questo sistema può essere utilizzato anche per riscaldare gli elementi massivi in inverno quando la temperatura interna è inferiore rispetto a quella dell'acqua.</p>	<p>Negli edifici localizzati nel Sud Europa possono essere applicati gli stessi sistemi meccanici utilizzati nel centro Europa. Una tecnologia estremamente innovativa, che risulta particolarmente adatto per i climi caldi, è il <i>Solar Cooling</i>.  <i>Il Solar Cooling</i> consiste nell'utilizzo di collettori solari per raffrescare gli ambienti interni. Collegando i pannelli solari termici a degli appositi assorbitori, che utilizzano l'acqua calda come forma di energia, è infatti possibile ottenere un sistema di condizionamento dell'aria. Questa tecnologia, che sta dando ottimi risultati, ma che risulta ancora troppo costosa per un impiego largamente diffuso, riesce ad utilizzare l'irraggiamento solare proprio nei mesi più caldi quando si ha maggiormente bisogno di un sistema di raffrescamento con un conseguente notevole risparmio nel consumo di energia elettrica.</p>

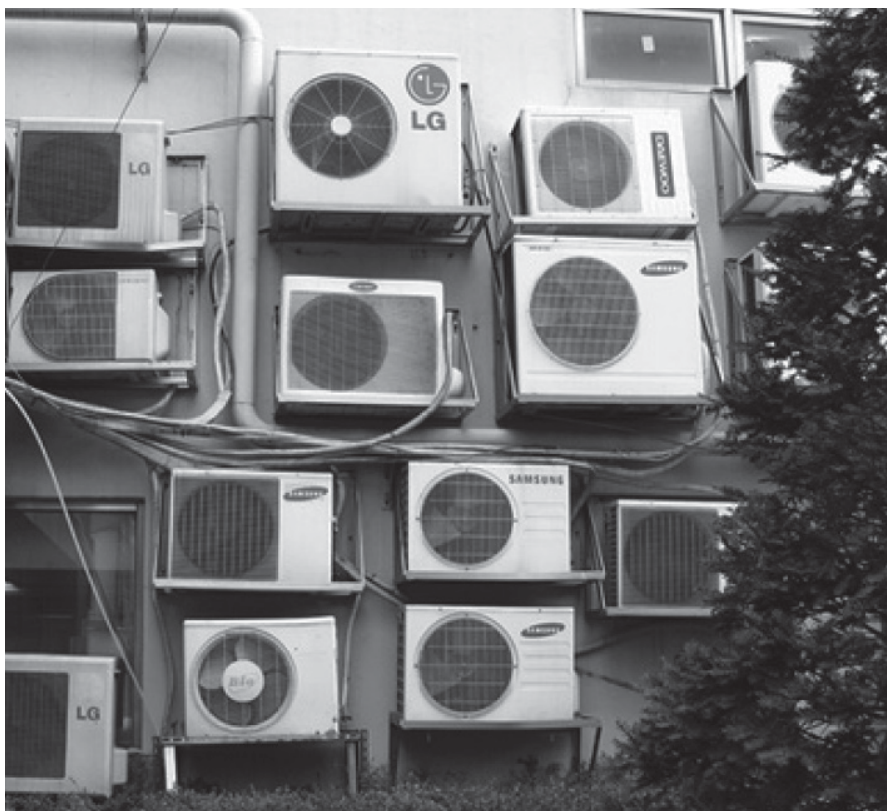


La rispondenza di un edificio alle caratteristiche individuate per il Sud Europa, non comporta necessariamente un elevato livello di efficienza energetica, ma è il “gioco sapiente”<sup>7</sup> - con cui l'architetto combina le scelte progettuali apportate alle diverse scale o durante le differenti fasi progettuali - ad influenzare in maniera sostanziale la qualità energetica dell'edificio.

*“Rivolgendo l'attenzione solo a questi principi, escludendo tutto il resto, non si andrebbe però molto lontano, perché bisogna tenere conto di volta in volta degli altri mezzi legati alla sostenibilità urbana, ai mezzi di trasporto e ad altre condizioni generali. Nel complesso, perciò, l'inosservanza di un criterio può essere opportunamente tollerata se è compensabile con altre misure ordinarie: per esempio l'ubicazione non ottimale dal punto di vista microclimatico può essere compensata con una migliore coibentazione, l'assenza di protezione dal vento con una migliore tenuta all'aria”*.<sup>8</sup>

La necessità impellente di individuare una strategia che freni l'aumento dei sistemi di condizionamento estivo dell'aria nei paesi del Sud Europa è stata puntualizzata anche della Direttiva Europea 2002/91/CE. *“Negli ultimi anni si osserva una crescente proliferazione degli impianti di condizionamento dell'aria nei paesi del sud dell'Europa. Ciò pone gravi problemi di carico massimo, che comportano un aumento del costo dell'energia elettrica e uno squilibrio del bilancio energetico di tali paesi. Dovrebbe essere accordata priorità alle strategie che contribuiscono a migliorare il rendimento termico degli edifici nel periodo estivo. Concretamente, occorrerebbe sviluppare maggiormente le tecniche di raffreddamento passivo, soprattutto quelle che contribuiscono a migliorare le condizioni climatiche interne e il microclima intorno agli edifici”*.<sup>9</sup>

- 7 Gerhard Hausladen, *Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können: KlimaDesign 3 + x*, in «Xia», 07-09/2005, p. 20.
- 8 Manfred Hegger, *Dall'utilizzo passivo ad un'architettura solare intelligente*, in Christian Schittich (a cura di), *Solares Bauen*, Birkhäuser, Basel, 2005 (tr. it. George Frazzica, *Architettura Solare*, Birkhäuser, Basel, 2005) p.10.
- 9 Direttiva europea del Parlamento Europeo e del Consiglio 2002/91/CE *sul rendimento energetico nell'edilizia*, Gazzetta ufficiale delle Comunità europee, del 4.1.2003, punto 9, pag. L1/65.



10 eERG: *end-use Efficiency Reserch Group*.

11 Tabella tratta da AA.VV., *Passivhaus per il sud Europa. Linee guida per la progettazione*, Rockwool, Milano, 2007, pp. 7-8.

A seguito dell'emanazione della direttiva sono stati finanziati dalla comunità europea numerosi progetti di ricerca finalizzati allo sviluppo di uno "Standard" per gli edifici energeticamente efficienti del Sud Europa.

Il progetto di ricerca europeo *Passiv-on*, coordinato da eERG<sup>10</sup> del Politecnico di Milano e cofinanziato da Rockwool, ha sviluppato un modello di Passivhaus, chiamato "*Standard Passivhaus esteso*" che, sulla base dello standard mitteleuropeo e con il supporto di verifiche sperimentali, intende combinare un elevato livello di comfort ambientale con un fabbisogno energetico ridotto in edifici localizzati nel Sud dell'Europa.

Lo standard Passivhaus originale, nato nel 1998, sulla base di due edifici passivi realizzati a Darmstadt da Wolfgang Feist e Bo Adamson, consiste in tre elementi fondamentali: un limite energetico per il riscaldamento, un requisito di qualità (comfort termico) ed un limite sul consumo di energia primaria per tutti gli usi finali (riscaldamento degli ambienti, elettrodomestici, illuminazione e acqua calda). Gli edifici rispondenti allo standard Passivhaus sono caratterizzati da un ottimo isolamento termico, ponti termici ridotti, finestre ben isolate, buona tenuta all'aria e un sistema di ventilazione con recupero di calore ad alta efficienza.

Nella seguente tabella sono messi a confronto lo Standard Passivhaus originale con lo "*Standard Passivhaus esteso*" sviluppato dal gruppo di ricerca italiano del progetto Passiv-On.<sup>11</sup>

CRITERI	Standard Passivhaus originale	Standard Passivhaus esteso
<b>Riscaldamento</b>	Domanda di energia utile netta per il riscaldamento ambientale non superiore ai <b>15 kWh per mq</b> di superficie netta abitabile.	Domanda di energia utile netta per il riscaldamento ambientale non superiore ai <b>15 kWh per mq</b> di superficie netta abitabile.
<b>Raffrescamento</b>	-	Domanda di energia sensibile utile per il riscaldamento ambientale non superiore ai <b>15 kWh per mq</b> di superficie netta abitabile.
<b>Energia primaria</b>	Domanda di energia primaria per tutti i servizi energetici inclusi riscaldamento, acqua calda sanitaria, elettricità per l'abitazione e gli ausiliari non superiore a <b>120 kWh per mq</b> di superficie netta abitabile.	Domanda di energia primaria per tutti i servizi energetici inclusi riscaldamento, acqua calda sanitaria, elettricità per l'abitazione e gli ausiliari non superiore a <b>120 kWh per mq</b> di superficie netta abitabile.
<b>Tenuta all'aria</b>	L'involucro edilizio dovrebbe presentare un risultato del test di pressurizzazione (a 50 Pa) non superiore a <b>0,6 h<sup>-1</sup></b> , secondo la Norma UNI EN 13829.	Se una buona qualità dell'aria ed un elevato 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) non superiore a <b>0,6 h<sup>-1</sup></b> , secondo la Norma UNI EN 13829. Per località con temperature di progetto invernali esterne superiori a =°C, un risultato del test di pressurizzazione pari a <b>1,0 h<sup>-1</sup></b> può essere considerato sufficiente.
<b>Comfort invernale</b>	In inverno la temperatura operativa nelle stanze può essere mantenuta sopra i <b>20°C</b> , entro i limiti energetici summenzionati.	In inverno la temperatura operativa nelle stanze può essere mantenuta sopra i <b>20°C</b> , entro i limiti energetici summenzionati.
<b>Comfort estivo</b>	-	Nelle stagioni calde ed umide la temperatura operativa deve rimanere nell'intervallo di comfort definito dalla norma EN 15251. Inoltre se viene utilizzato un sistema di raffrescamento attivo la temperatura operativa può essere mantenuta sotto i <b>26°C</b> .
<b>Verifica</b>	Tutti i valori di richiesta energetica sono calcolati secondo il <i>Passive House Planning Package</i> (PHPP) e si riferiscono alla superficie netta abitabile.	Tutti i valori di richiesta energetica sono calcolati secondo la versione aggiornata del <i>Passive House Planning Package</i> (PHPP 2007) e si riferiscono alla superficie netta abitabile.



Casa a basso consumo energetico, Jana, Portogallo.



Rafael Herrera Limones, *Casa unifamiliare a basso consumo energetico*, La Huelva, Spagna, 2006.

Per definire le caratteristiche ottimali di un edificio passivo localizzato nel Sud Europa il gruppo di lavoro italiano ha inoltre verificato le prestazioni termiche in uso di un edificio residenziale a schiera localizzato in tre città italiane (Milano, Roma, Palermo) con l'utilizzo di un software di simulazione termodinamica.

Le verifiche sperimentali hanno dimostrato che negli edifici localizzati nel Sud Europa dovrebbe essere previsto un elevato isolamento termico con spessori differenziati per clima ed elemento costruttivo. Rispetto agli edifici del Nord Europa, ad esempio, è necessario ridurre o eliminare l'isolamento del basamento in quanto, all'aumentare delle temperature e dei carichi termici interni, un eccessivo isolamento può determinare un effetto negativo limitando lo "scaricamento" del calore interno sul terreno. L'isolamento delle pareti, invece, ha sempre un effetto positivo in quanto, durante le ore calde estive, riduce i flussi di calore verso l'interno.

Negli edifici localizzati in climi temperati o caldi il livello di tenuta all'aria può essere leggermente inferiore agli standard del Nord Europa. In Italia, tranne alcune rarissime eccezioni, le masse d'aria entranti per infiltrazione hanno temperature miti che non incidono in maniera sostanziale sul comfort termico interno nel periodo invernale, mentre nei mesi caldi, combinate ad un'opportuna ventilazione naturale, favoriscono il raffrescamento passivo.

Le simulazioni termodinamiche hanno inoltre dimostrato che per limitare il fabbisogno energetico estivo è necessario prevedere elementi di schermatura solare fissi o mobili, capaci di intercettare completamente la radiazione solare diretta, e sistemi di ventilazione notturna naturale o ibrida al fine di ottimizzare la rimozione del calore ed incrementare il comfort termico locale.

Da un punto di vista normativo la Direttiva Europea 2002/91/CE è stata recepita in Italia con il D.lgs 192/2005 e il D.lgs 311/2006 che affrontano il problema del consumo energetico estivo fornendo delle indicazioni limitate e a volte poco chiare.

Il D.lgs 311/2006 indica che: *"il progettista, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti (...):*

- a) *valuta puntualmente e documenta l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, esterni o interni, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare;*
- b) *verifica in tutte le zone climatiche ad esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva,  $I_{m,s}$ , sia maggiore o uguale a  $290 \text{ W/m}^2$ , che il valore della massa superficiale  $M_s$ , delle pareti opache verticali, orizzontali o inclinate sia superiore a  $230 \text{ kg/m}^2$ ;*
- c) *utilizza al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio; nel caso che il ricorso a tale ventilazione non sia efficace, può prevedere l'impiego di sistemi di ventilazione meccanica (...).<sup>12</sup>*

<sup>12</sup> D.lgs. 311/2006 *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.* Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 26 del 1 febbraio 2007 - Supplemento ordinario n. 26/L, Allegato I, punto 9.



Atika, Casa dimostrativa per zone a clima mediterraneo progettata dalla ditta Velux in collaborazione con Centro Interuniversitario A.B.I.T.A. di Firenze, 2007.

13 UNI/TS 11300-1 del maggio 2008 *Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva.*

14 D.P.R. n. 412/1993 *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4 della legge 9 gennaio 1991, n. 10. (Versione revisionata a seguito del DPR 21/12/99 n.551).*

13 Definizione tratta dalla norma UNI/TS 11300-1 del maggio 2008 *Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva.*

15 Formula per ricavare il periodo durante il quale è necessario un apporto dell'impianto di climatizzazione per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura interna non superiore a quella di progetto:

$$\Theta_{e, \text{day}} > \Theta_{i, \text{set}, C} - (\Theta_{\text{gn}, \text{day}} / H * t_{\text{day}})$$

in cui:

$\Theta_{e, \text{day}}$  = temperatura esterna media giornaliera,

$\Theta_{i, \text{set}, C}$  = temperatura interna di regolazione per il raffrescamento,

$\Theta_{\text{gn}, \text{day}}$  = apporti interni e solari medi giornalieri,

$H$  = coefficiente globale di cambio termico dell'edificio, in W/K pari alla somma dei coefficienti globali di scambio termico per trasmissione e ventilazione, corretti per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno,

$t_{\text{day}}$  = durata del giorno.

Mario Cucinella Architects, *Sede della stazione provinciale di ARPA, Ferrara.* Il sistema di raffrescamento *ground cooling* utilizzato sfrutta le potenzialità termiche della massa del terreno. L'utilizzo di software di calcolo dinamici per la simulazione puntuale della ventilazione naturale interna ha permesso di verificare le prestazioni energetiche in uso dell'edificio durante l'intero anno solare.

A differenza dei valori limite dei *requisiti energetici* relativi al contenimento energetico per il riscaldamento, che sono stati definiti prendendo a modello le normative dei paesi nordeuropei, le indicazioni per il contenimento energetico per il raffrescamento non sono espresse sotto forma di *requisiti energetici* precisi. Non sono infatti definiti dei parametri o delle metodologie in base ai quali è possibile valutare l'“*efficacia dei sistemi schermanti*”, non sono illustrate le “*caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio*” e non è stato definito un “*indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva*”. L'unico parametro numerico menzionato è la massa frontale, cioè la massa espressa in kg per m<sup>2</sup> dell'involucro opaco.

La norma UNI/TS 11300-1: 2008<sup>13</sup> fornisce maggiori informazioni sulla ventilazione naturale, sugli apporti termici interni ed esterni e definisce una durata della stagione di climatizzazione estiva. Se già nel 1993 il D.P.R. n. 412<sup>14</sup> ha introdotto la classificazione dei comuni italiani in sei zone climatiche invernali in base al valore dei gradi giorno annuali e ha definito i periodi dell'anno in cui è possibile utilizzare l'impianto di riscaldamento in base alla zona climatica, la *stagione di raffrescamento* non è indicata con delle date precise neanche dalla recente norma UNI.

La *stagione di raffrescamento*, definita come “*il periodo durante il quale è necessario un apporto dell'impianto di climatizzazione per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura interna non superiore a quella di progetto*”<sup>15</sup>, è ricavabile con un algoritmo<sup>16</sup> che tiene conto della temperatura esterna media giornaliera, della temperatura interna di regolazione per il raffrescamento, degli apporti termici interni e solari medi giornalieri, del coefficiente globale di scambio termico e della durata del giorno.

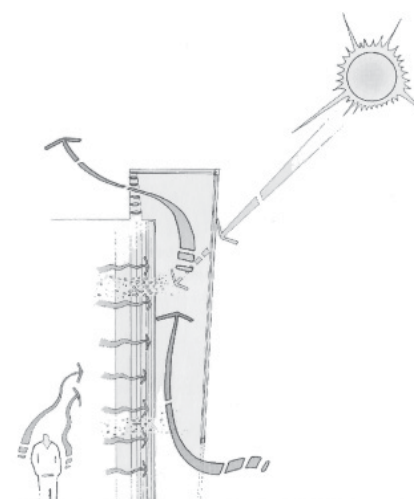
Tale valore non vincolante risulta utile per calcolare il periodo di utilizzo dell'impianto di climatizzazione estiva al fine di determinare il fabbisogno energetico di un edificio, ma di certo non contribuisce ad informare l'utente sul periodo dell'anno in cui è possibile utilizzare l'impianto di raffrescamento.



## 1.4 L'involucro edilizio come interfaccia dinamica: parametri prestazionali per il Sud Europa

*“Se intendiamo l'involucro come “pelle” dell'edificio, che protegge l'interno dagli agenti atmosferici ma che allo stesso tempo ne sfrutta in modo funzionale la potenza, allora possiamo pensare alla creazione di uno spazio protetto controllabile. In questo caso le condizioni ambientali esterne diventano una risorsa e non una forza contro cui lottare mentre l'involucro una “pelle reattiva” che migliora il benessere interno ed evoca molte possibilità di cambiamento”*

Thomas Herzog, 2005<sup>1</sup>



Esempio di edificio di involucro reattivo al variare delle condizioni ambientali esterne.

La necessità di creare un ambiente interno dotato di un buon livello di comfort ambientale, garantito non solo da sistemi di climatizzazione meccanica, ma mediante l'utilizzo passivo ed attivo degli agenti atmosferici e delle risorse energetiche rigenerabili, ha fatto sì che negli ultimi anni la ricerca scientifica indirizzasse la propria attenzione all'elemento separatore tra ambiente esterno ed ambiente interno: l'*involucro edilizio*.

L'utilizzo del termine involucro riferito all'architettura è piuttosto recente e nasce come evoluzione del concetto di chiusura che identificava, come unità distinte tra loro, i tamponamenti esterni verticali ed orizzontali.<sup>2</sup> Nel costruire contemporaneo l'involucro edilizio, che indica l'intero sistema di chiusura esterno dell'edificio, *“si libera del suo ruolo storico di barriera difensiva dagli agenti climatici e si configura come pelle, qualcosa che respira e che regola, nel senso più ampio della parola, le dinamiche di comunicazione con l'esterno nell'ottica di un organismo edilizio che, al pari di un essere animato, vive degli scambi, diretti o figurati, con il proprio contesto”*.<sup>3</sup>

L'attuale concezione dell'involucro edilizio trae origine dall'opera di Reyner Bahnam che già nel 1969<sup>4</sup> introduceva il concetto di *“ambiente ben temperato”* e riconosceva all'involucro un ruolo fondamentale nel determinare tale condizione. Analizzando la storia dell'architettura Bahnam individua tre principali *“modelli di controllo ambientale”*, a ciascuno dei quali può essere associata una tipologia di involucro edilizio con delle specifiche caratteristiche. Il primo modello è quello *conservativo* ed è caratterizzato da un tipo di controllo ambientale che utilizza grandi masse murarie con poche aperture per ridurre le dispersioni termiche nei climi freddi e, allo stesso tempo, per attenuare gli effetti di riscaldamento dovuti alla radiazione solare diretta nei climi (o periodi) caldi. Il secondo modello, definito come *selettivo*, è particolarmente adatto ai climi caldo-umidi ed è caratterizzato



Herzog + Partner, Soka-Bau edifici per uffici, Wiesbaden, Germania, 1994-2000.

- 1 Thomas Herzog, in Massimo Perriccioli, Monica Rossi, *thomas herzog - reacting skin*, edizioni Kappa, 2005, Roma, p. 1.
- 2 Cfr. Lucia Busa, *Architettura ed involucro*, in M. Antonietta Esposito (a cura di), *Materiali del I seminario Osdotta*, Firenze University Press, Firenze, 2006, p. 161.
- 3 Giorgio Peguiron, *Prefazione*, in Sergio Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2005, p. 9.
- 4 Reyner Bahnam, *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Architectural Press, London, 1969 (tr.it di Giovanni Morabito, *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza Roma-Bari, 1995).

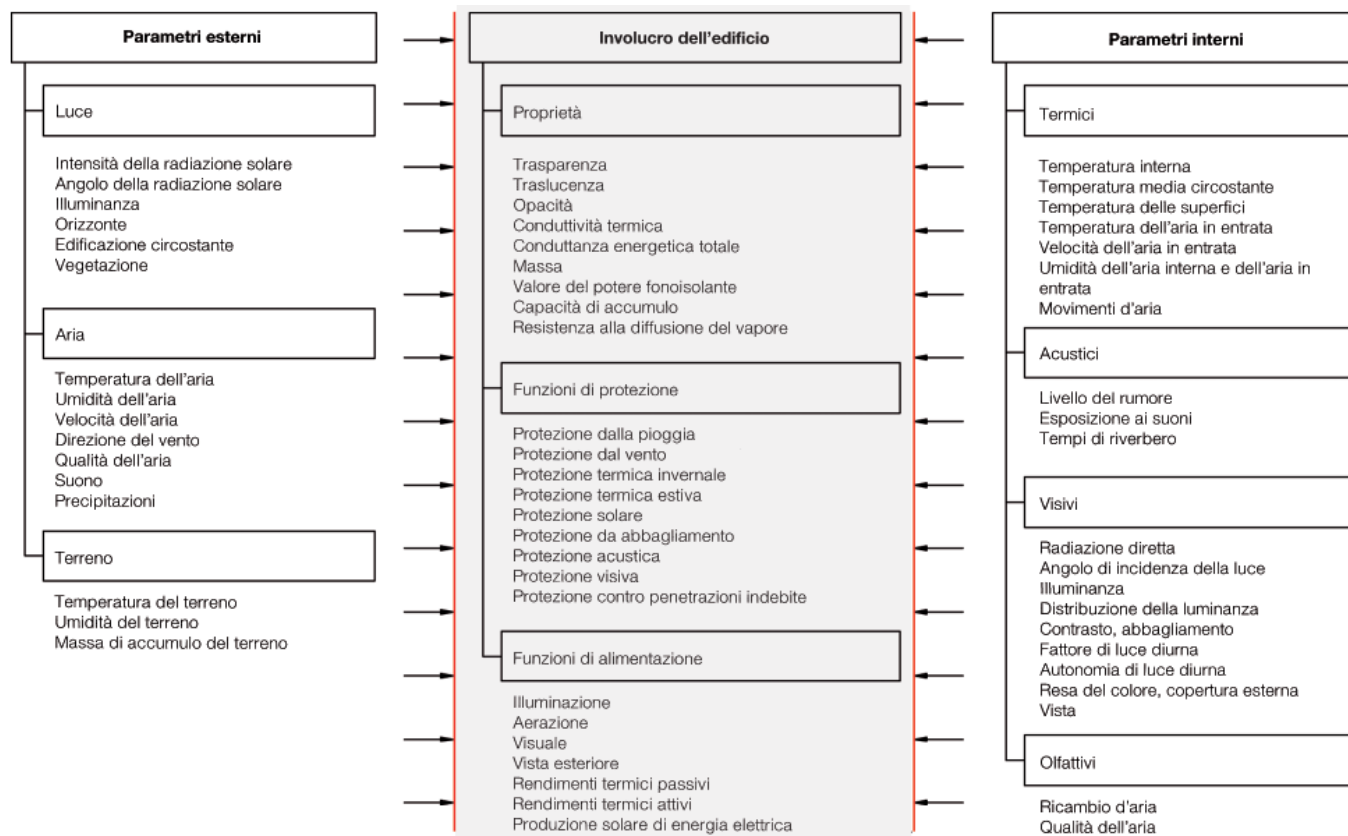
- 5 Ivi, p. 14.
- 6 Ivi, p. 13.  
 “La parola massiccio merita di essere sottolineata. Nella tradizione mediterranea, dalla quale discende direttamente la maggior parte dell'architettura occidentale, alla richiesta della società di rendere perennate il riparo – o almeno durevole – la risposta di solito è quella di renderlo massiccio”.
- 7 Ivi, 17.
- 8 Christian Schittich, *Involucro, pelle, materiale*, in Christian Schittich (a cura di) *Gebäudehüllen*, Birkhäuser, Basel, 2001 (tr. it. di Rossella Letizia Mombelli, *Involucri edilizi*, Birkhäuser, Basel, 2003), p. 9.
- 9 Fabrizio Tucci, *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Alinea editrice, Firenze, 2006, p. 31.
- 10 Cfr. Federico M. Butera, *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, 2007, p.125.
- 11 Cfr. Sergio Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2005.
- 12 Giorgio Peguiron, *Prefazione*, in Sergio Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2005, p. 9.
- 13 *Facciata climaticamente attiva* è il titolo di un libro che alla fine degli anni novanta risultò particolarmente innovativo per l'approccio olistico alla progettazione dei sistemi di involucri in grado di interagire con i fattori climatici sia interni che esterni. Gert Kähler, Matthias Schuler, Gerhard Hausladen, Helmut F.O. Müller, Eberhard Oesterle, Guy Battle, *Die klima-aktive Fassade*, Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden-Echterdingen, 1999.
- 14 Con “*parametri progettuali*” ci si riferisce in maniera specifica ai parametri che influenzano il comportamento energetico dell'edificio analizzati nel punto 1.3 di questa ricerca: fattore di forma, orientamento rispetto ai punti cardinali e ai venti prevalenti, distribuzione interna, caratteristiche dell'involucro edilizio e sistemi impiantistici.
- 15 Gert Kähler, Matthias Schuler, Gerhard Hausladen, Helmut F.O. Müller, Eberhard Oesterle, Guy Battle, *Die klima-aktive Fassade*, Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden-Echterdingen, 1999, p. 30.
- 16 Il *fabbisogno energetico* di un edificio viene definito nella norma UNI EN 832:2001-*Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento in edifici residenziali*, come il “*saldo tra i guadagni energetici ottenuti mediante apporti sia esterni che interni e le dispersioni termiche che avvengono per ventilazione e per trasmissione attraverso l'involucro*”.

da principi generali analoghi a quello precedente, ma “*adopera la struttura non solamente per conservare le condizioni ambientali desiderate, ma per far entrare dall'esterno queste condizioni*”.<sup>5</sup> A tale scopo possono essere previste grandi pareti trasparenti per l'illuminazione ed il riscaldamento passivo. Il terzo modello, quello *rigenerativo*, caratterizza gli edifici tipici della tradizione costruttiva americana privi di pareti “massicce”<sup>6</sup> in cui il controllo ambientale è affidato totalmente ai sistemi impiantistici, definiti appunto come “*installazioni rigenerative*”<sup>7</sup>, mentre l'involucro è inteso solo come una barriera in grado di limitare le interazioni tra interno ed esterno. Nella parte conclusiva del testo *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Bahnam pone le radici per una visione innovativa dell'involucro edilizio concepito non più solo come il “*biglietto da visita dell'architettura*”<sup>8</sup>, ma come un “*complesso sistema-filtro selettivo polivalente*”<sup>9</sup> che, oltre a separare due ambiti, è in grado di controllare e modulare le interazioni e gli scambi materiali ed immateriali tra interno ed esterno, reagendo in maniera flessibile alla variabilità delle condizioni ambientali, minimizzando le dispersioni termiche nel periodo invernale e limitando l'innalzamento della temperatura in quello estivo, con il conseguente miglioramento del comfort abitativo e della qualità di vita dell'utente.<sup>10</sup>

Lo sviluppo di tecnologie, sistemi e componenti per l'involucro edilizio in grado di assolvere queste molteplici funzioni ha costituito il campo di azione delle ricerche portate avanti, a partire dagli anni '70, dall'architetto tedesco Thomas Herzog. Tali sperimentazioni hanno portato alla messa a punto di sistemi di involucro edilizi ad elevata efficienza energetica costituiti da un “*insieme appropriatamente strutturato e integrato di materiali, componenti e sistemi*”<sup>11</sup>, in molti casi estremamente innovativi, in grado di trasformare, potenziare, ridurre e modulare i segnali termici, acustici e luminosi provenienti dall'esterno.

Un involucro edilizio può, infatti, essere considerato energeticamente efficiente se costituisce “*un'interfaccia dinamica*”, in continua e attiva interazione con i fattori climatici esterni, ed è in grado di attivare “*in maniera programmata ed ottimale, ed in base a condizioni specifiche, quello scambio metabolico di materia ed energia necessario a rispondere alle variazioni degli stimoli ambientali e alle necessità degli occupanti*”.<sup>12</sup>

Lo sviluppo di un sistema di involucro “*climaticamente attivo*”<sup>13</sup> deve quindi basarsi su una conoscenza specifica ed approfondita dei fattori climatici esterni, dei parametri che definiscono il livello di comfort ambientale interno e delle prestazioni energetiche dei materiali e dei componenti edili che costituiscono l'involucro stesso. Di conseguenza, data anche l'interazione con gli altri componenti e “*parametri progettuali*”<sup>14</sup> dell'edificio, la messa a punto di un sistema di involucro edilizio che risulti effettivamente efficiente necessita del contributo coordinato di competenze specialistiche differenti in grado di gestire la complessità dei numerosi fattori che ne influenzano il comportamento energetico.



La consapevolezza del ruolo di primaria importanza svolto dall'involucro edilizio nella determinazione della qualità abitativa e del *fabbisogno energetico di un edificio*<sup>16</sup> e l'emanazione delle recenti normative sul risparmio energetico hanno fatto sì che negli ultimi anni le industrie produttrici di materiali, sistemi e componenti per l'edilizia indirzassero le proprie ricerche allo sviluppo di involucri edilizi ad elevata efficienza energetica.

Il livello prestazionale dei sistemi di involucro immessi sul mercato viene valutato in base alla loro rispondenza ai *requisiti energetici* definiti dal D.Lgs 192/2005 e dal D.Lgs 311/2006.

Per quanto riguarda gli involucri edilizi opachi vengono identificati due requisiti energetici: la *trasmissione termica* (i cui valori limite variano in base alla zona climatica e all'anno di realizzazione dell'intervento edilizio) e la *massa superficiale*.

La *trasmissione termica* ( $U$ ) indica la quantità di calore che viene dispersa da un metro quadrato di involucro dell'edificio, per effetto di ogni grado Kelvin di differenza di temperatura, ed è definita dall'inverso della somma delle resistenze termiche ( $R$ ) degli strati che costituiscono la chiusura orizzontale, verticale o obliqua e delle resistenze superficiali dovute a conduzione ed irraggiamento. A bassi valori di trasmissione termica corrisponde una minore dispersione del calore e un migliore isolamento termico. La trasmissione del calore attraverso un corpo, e quindi anche attraverso un involucro edilizio, dipende dalla conduttività termica ( $\lambda$ ) del, o dei, materiali di cui è composto e - nel caso di sistemi di involucro stratificati - dallo spessore e dalla disposizione dei singoli strati, in particolare dalla posizione dello strato isolante rispetto agli altri.<sup>17</sup>

Quadro sinottico dei parametri ambientali esterni ed interni e delle proprietà e funzioni dell'involucro edilizio, tratta da Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer, *Energie Atlas*, Birkhäuser, Munich, 2007 (tr.it George Frazzica, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008), p.83.

<sup>17</sup> Il posizionamento del materiale isolante influenza in maniera sostanziale il comportamento energetico di un sistema di involucro opaco. L'isolante può essere infatti collocato, rispetto all'involucro, esternamente (a cappotto), in intercapedine, internamente o può essere distribuito in un elemento monolitico a bassa conducibilità termica. Se l'isolante viene collocato all'interno la massa dell'elemento di facciata viene estromessa come massa di accumulo, di conseguenza la risposta alle variazioni di temperatura esterna è più rapida; se viene collocato all'esterno la risposta alle variazioni di temperatura esterna è più lenta. Sempre più spesso nei casi di nuova costruzione si adottano soluzioni tecniche di isolamento termico a cappotto, mentre nei casi di retrofit energetico la collocazione dello strato isolante può essere determinata da vincoli progettuali o da necessità estetiche. La soluzione a cappotto però pone il problema della sua correttezza esecutiva e dell'adeguata protezione da parte del rivestimento esterno nei confronti del materiale isolante che, se viene a contatto con l'umidità, può perdere le sue caratteristiche coibenti. Collocare invece l'elemento isolante all'interno di una stratificazione, ossia in intercapedine, rende particolarmente delicati tutti i punti di discontinuità della chiusura. Tali discontinuità delle prestazioni termiche, causate da errori di progettazione o di esecuzione, infatti,

possono generare ponti termici cioè punti in cui l'esterno e l'interno sono separati da un elemento avente un'alta conducibilità termica in cui è possibile che si determinino fenomeni di condensa.

- 18 Roberta Cocci Grifoni, Simone Tascini, *L'intelligenza della pelle*, in «Costruire», n.305, ottobre 2008, p.90.
- 19 Il D.lgs 192/2005 definiva un valore di massa superficiale minimo (pari a 230 kg/m<sup>2</sup>) per le chiusure verticali, orizzontali o inclinate di edifici realizzati in località, appartenenti alle zone climatiche A,B,C,D con un'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, maggiore o uguale a 250 W/m<sup>2</sup>.  
Il successivo D.lgs 311/2006 ha aumentato il valore limite di irradianza a 290 W/m<sup>2</sup> e ha incluso anche la zona climatica E.



Esempi di edifici con tipologie di involucro differenti. Dall'alto verso il basso:  
Peter Kulka, Konstantin Pichler, *Casa del silenzio*, Meschede, Germania, 2001.  
Ebner Grömer, *Casa unifamiliare*, Seekirchen, Germania, 2003.  
Schaller + Sternagel, *Retrofit energetico di un'abitazione*, Costanza, Germania, 2003.  
Michael Volz, *Facciata sperimentale con isolanti sottovuoto*, Würzburg, Germania 1999.

### Valori limite della Trasmittanza termica (U) espressa in W/m<sup>2</sup>K tratti dal D.Lgs 311/2006

#### Strutture opache verticali

	1 gennaio 2006	1 gennaio 2008	1 gennaio 2010
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

#### Strutture opache orizzontali o inclinate di copertura

	1 gennaio 2006	1 gennaio 2008	1 gennaio 2010
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

#### Strutture opache orizzontali di pavimento verso locali non riscaldati o verso l'esterno

	1 gennaio 2006	1 gennaio 2008	1 gennaio 2010
A	0,80	0,74	0,65
B	0,60	0,55	0,49
C	0,55	0,49	0,42
D	0,46	0,41	0,36
E	0,43	0,38	0,33
F	0,41	0,36	0,32

*“Descrivere le prestazioni termiche dell'involucro edilizio utilizzando come indicatore un singolo parametro, la trasmittanza, risulta molto riduttivo, in quanto presuppone considerazioni energetiche in regime stazionario per le quali sono utilizzati dati climatici mediati su lunghi periodi. Si rischia di realizzare un involucro completamente slegato dal proprio contesto climatico, che non interagisce e dialoga con l'ambiente circostante, modulando intrinsecamente la complessità e l'imprevedibilità del clima”.*<sup>18</sup>

Per sopperire a tale mancanza e con l'intento di limitare gli effetti delle oscillazioni giornaliere delle temperature esterne e di ridurre il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva, come richiesto dalla Direttiva Europea 2002/91/CE per gli stati del Sud Europa, il D.lgs 192/2005, successivamente aggiornato dal D.Lgs 311/2006, ha introdotto il concetto di *massa superficiale* ( $M_s$ ) – intesa come “*massa per unità di superficie della parete opaca compresa la malta dei giunti, esclusi gli intonaci, espressa in kg/m<sup>2</sup>*” - e ha stabilito un valore minimo di 230 kg/m<sup>2</sup> per le chiusure verticali, orizzontali e inclinate di edifici realizzati in località con un'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, maggiore o uguale a 290 W/m<sup>2</sup>.<sup>19</sup>

Una massa elevata, tipica dei materiali ad alta densità e caratteristica



comune delle architetture tradizionali dell'area mediterranea migliora notevolmente le prestazioni energetiche dell'involucro edilizio conferendogli una funzione di "volano termico" e di elemento modulatore dei flussi di calore tra esterno ed interno con un conseguente risparmio energetico per la climatizzazione estiva.

Questa "capacità di un materiale di smorzare e sfasare l'onda termica", definita dalla Norma UNI EN ISO 13786:2008<sup>20</sup> come "inerzia termica", influenza in maniera sostanziale il comportamento energetico dinamico di un involucro edilizio e può essere quantificata attraverso due parametri prestazionali: lo sfasamento temporale  $\Delta t_f$  e il fattore di attenuazione  $f$  dell'onda termica.

Lo sfasamento è "l'intervallo di tempo con cui le variazioni di temperatura esterna si trasmettono all'interno"<sup>21</sup> cioè il ritardo temporale fra il massimo della temperatura superficiale esterna e il massimo di quella interna.

Nei mesi caldi involucri edilizi dotati di un elevato valore di sfasamento fanno sì che i picchi della temperatura esterna raggiungano la superficie interna dopo un periodo di circa 10-12 ore, cioè dopo il tramonto del sole, quando le temperature esterne sono diminuite ed è possibile raffrescare gli ambienti interni e l'involucro edilizio attraverso opportune strategie di ventilazione naturale.

In inverno, in particolare negli edifici abitati sia durante il giorno che durante la notte, una parete esterna dotata di elevata inerzia termica accumula calore (dovuto all'irraggiamento diretto o dai carichi termici interni) durante il giorno e lo restituisce nelle ore notturne quando gli impianti di riscaldamento sono spenti, con una conseguente mitigazione della temperatura interna nelle ore più fredde.<sup>22</sup>

L'attenuazione rappresenta, invece, lo smorzamento dell'ampiezza delle variazioni della temperatura superficiale interna rispetto a quella esterna e può essere espressa dal rapporto tra l'escursione termica giornaliera esterna e quella interna.

Un involucro edilizio dotato di una buona inerzia termica è quindi caratterizzato da valori elevati di sfasamento ed attenuazione nella trasmissione del calore.

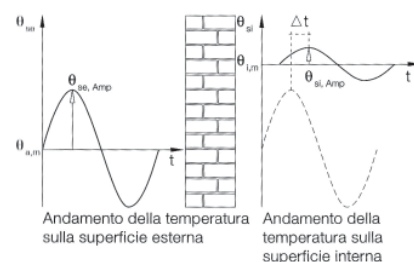
Poiché la valutazione di tali parametri comporta una complessa analisi del comportamento energetico dinamico dell'involucro edilizio in relazione al variare della temperatura esterna nel tempo, le normative italiane precedentemente citate non definiscono requisiti energetici dell'involucro edilizio relativi all'inerzia termica, ma si limitano ad imporre un valore minimo di massa per unità di superficie delle chiusure opache verticali, orizzontali ed inclinate per gli edifici localizzati in aree climatiche caratterizzate da una notevole irradianza.

Questo elevato valore di massa superficiale garantisce uno sfasamento ed un'attenuazione nella trasmissione del calore accettabili, ma impone l'utilizzo di una gamma ristretta di materiali e tecnologie, generalmente di tipo tradizionale, caratterizzati da una densità e da uno spessore tali da garantire il peso per metro quadro minimo previsto.

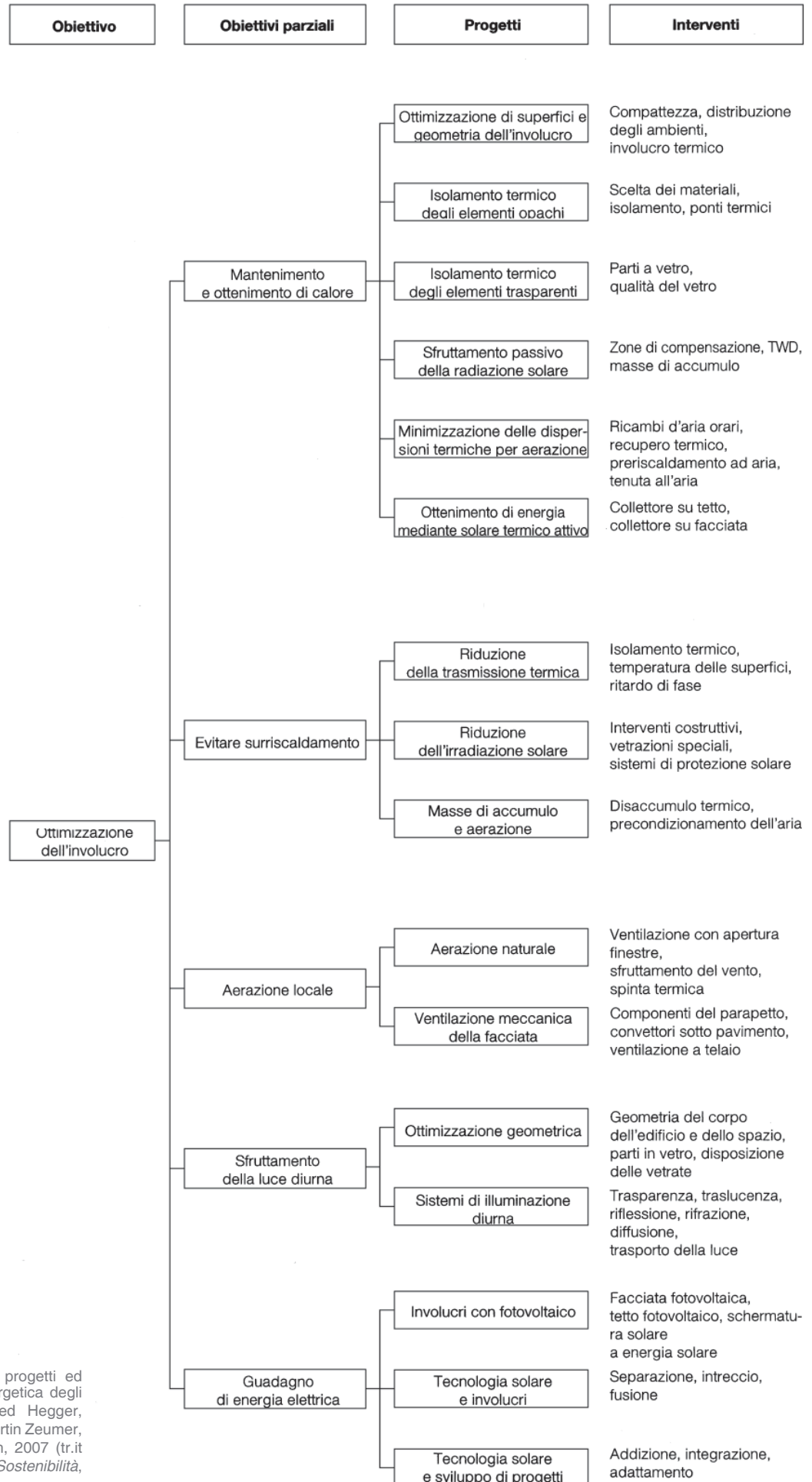
20 UNI EN ISO 13786:2008 *Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo.*

21 Definizione tratta dalla Norma UNI EN ISO 13786:2008.

22 Cfr. M. Chiara Torricelli, Romano Del Nord, Paolo Felli, *Materiali e tecnologie dell'architettura*, Editori Laterza, Bari-Roma, 2001, p.12-13.



Esempi di edifici con tipologie di involucro differenti. Dall'alto verso il basso:  
 Patrik Gartmann, *Casa unifamiliare*, Chur, Svizzera, 2003.  
 dd1 Architekten, *Casa unifamiliare*, Zweibrücken, Germania, 2006.  
 BMBW Architekten + Partner, *Centro di ricerche*, Bonn Germania, 2002.  
 Gatermann + Schossig, *Edificio amministrativo*, Düsseldorf, Germania, 2005.



Schematizzazione degli obiettivi, progetti ed interventi per l'ottimizzazione energetica degli involucri edilizi tratta da Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer, *Energie Atlas*, Birkhäuser, Munich, 2007 (tr.it George Frazzica, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008), p.85.

Data la tendenza ormai diffusa dell'architettura contemporanea a ridurre gli spessori degli involucri edilizi e ad utilizzare materiali, sistemi e componenti leggeri, assemblati a secco, facilmente reversibili e manutenibili, in cui le prestazioni energetiche dipendono dalle caratteristiche fisiche dei singoli strati che li compongono, non è sempre possibile garantire una massa superficiale rispondente al valore minimo definito dalla normativa.

Per rispondere a questa esigenza concreta, lo stesso D.lgs 192/2005 e s.m.i prevede che *“gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale delle pareti opache previsti alla lettera b), possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare. In tal caso deve essere prodotta una adeguata documentazione e certificazione delle tecnologie e dei materiali che ne attestino l'equivalenza con le predette disposizioni”*.<sup>23</sup>

Il Decreto Legislativo, però, non fornisce indicazioni relative all'“adeguata documentazione e certificazione” - necessaria a verificare l'“equivalenza degli effetti positivi” - e delega totalmente al singolo progettista la scelta di metodologie e strumenti atti ad effettuare tale verifica.

Valori indicativi del fattore di attenuazione e dello sfasamento, tabulati in funzione della tipologia di parete, della trasmittanza e della massa frontale, sono riportati nella Norma UNI 10375:1995<sup>24</sup> o sono ricavabili mediante un'equazione, contenuta nella norma UNI EN ISO 13786:2008, basata sui valori di densità, calore specifico, conduttanza termica, spessore e ordine degli strati di cui è composta la parete.

Tali metodologie di calcolo, sicuramente molto utili anche per sistemi leggeri, risultano però complesse e difficilmente applicabili per materiali e sistemi innovativi non tabulati all'interno della norma o con prestazioni energetiche specializzate la cui valutazione necessita di un'analisi del comportamento termo-igrometrico dinamico valutato in relazione alle variazioni delle condizioni ambientali esterne.

La progettazione di involucri edilizi leggeri assemblati a secco - che a differenza delle chiusure di tipo tradizionale non affidano le proprie prestazioni energetiche solo al peso e allo spessore elevato di un unico materiale omogeneo ad elevata densità - necessita, infatti, di una maggiore consapevolezza e una conoscenza approfondita del comportamento energetico dei materiali, dei sistemi e dei componenti utilizzati in quanto è possibile ottenere prestazioni energetiche elevate solo ottimizzando e specializzando gli strati che costituiscono il sistema di involucro edilizio. Una previsione errata, spessori o materiali non appropriati o giustapposti in maniera non corretta, però, possono influenzare negativamente non solo le prestazioni termo-igrometriche dell'involucro edilizio ma anche il fabbisogno energetico dell'intero edificio.

Di conseguenza se da un lato la normativa permette lo sviluppo di materiali innovativi ad elevate prestazioni energetiche, dall'altro - in

23 D.lgs. 311/2006 *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 26 del 1 febbraio 2007 - Supplemento ordinario n. 26/L, Allegato I, punto 9.

24 10375:1995 *Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti*.



Walter Unterrainer, *Case a schiera*, Batschuns, Austria, 1997. Involucro stratificato a secco con collettori piani in facciata.



Werner Buerle, *Casa bifamiliare*, Monaco, Germania, 1997.



Walter Unterrainer, *Casa unifamiliare*, Sattens, Austria, 2002.



Rolf Disch, *Solar Siedlung*, Friburgo, Germania, 2003.

- 25 Imperadori Marco (a cura di), *La progettazione con tecnologia stratificata a secco. Realizzazioni innovative. Linee guida e prodotti per una meccanica dell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 ore, Milano, 2006, p.XIII.
- 26 L'acronimo *S/R (Struttura-Rivestimento)* è stato coniato da Ettore Zambelli, Antonio Vanoncini e Marco Imperadori in *Costruzione stratificata a secco*, Maggioli, Rimini, 1998. Eric Dubosc in vari trattati e pubblicazioni introdusse in Francia il termine *Structure/Envelope*, che esprime letteralmente lo stesso concetto e accomuna il campo operativo e di ricerca delle esperienze transalpine di matrice inglese, austriaca, svizzera e tedesca. nei paesi di lingua tedesca i sistemi stratificati a secco sono identificati anche con il termine *Trockenbau*.
- 27 Imperadori Marco (a cura di), *La progettazione con tecnologia stratificata a secco. Realizzazioni innovative. Linee guida e prodotti per una meccanica dell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 ore, Milano, 2006, pp.XX-XXI.
- 28 Il *Best practice Sheet, Non-massive structures for buildings*, pubblicato nel marzo del 2007 dal *ProEcoPolyNet* affronta la problematica delle prestazioni energetiche degli involucri edilizi leggeri stratificati a secco.
- 29 *ProEcoPolyNet is a Network for the Promotion of RTD results in the field of Eco-building technologies, small Polygeneration and renewable heating and cooling technologies for buildings.* [www.proecopolynet.info](http://www.proecopolynet.info)
- 30 *ProEcoPolyNet, Best practice Sheet, Non-massive structures for buildings*, 2007, p. 1.
- 31 Il Protocollo ITACA Sintetico, sviluppato dal Comitato Tecnico del gruppo di lavoro interregionale in materia di Bioedilizia in collaborazione con SBE Italia e con il supporto tecnico scientifico di ITC CNR e dell'Università Politecnica delle Marche, permette di stimare il livello di qualità ambientale di un edificio in fase di progetto, misurandone la prestazione rispetto a 12 criteri e 8 sottocriteri suddivisi in 2 aree di valutazione: "consumo di risorse" e "carichi ambientali". [www.itaca.org/edilizia+sostenibile+proto+collo+itaca.asp](http://www.itaca.org/edilizia+sostenibile+proto+collo+itaca.asp)
- 32 Il criterio 1.3 "contenimento consumi energetici estivi" è suddiviso in due sottocriteri: 1.3.1 - controllo della radiazione solare" e 1.3.2 - inerzia termica.
- 33 Il protocollo Itaca prevede i seguenti pesi in base all'esposizione:  
verticale ovest: 0,25  
verticale est/sud 0,15  
verticale nord 0,05  
orizzontale 0,40.
- 34 Per coefficiente di sfasamento sono previsti punteggi positivi per valori superiori alle 8 ore e per il fattore di attenuazione per valori inferiori a 0,35. La corrispondenza tra valori e punteggio è riportata nelle tabelle a p.55.

virtù anche della complessità della verifica in un regime dinamico delle prestazioni energetiche - per il progettista, in particolare in interventi edilizi di piccole dimensioni e quindi dotati di un budget limitato, risulta praticamente impossibile utilizzare involucri innovativi e sfruttare a pieno le potenzialità delle tecnologie stratificate a secco.

Mentre nell'architettura diffusa la rispondenza alle normative sul contenimento energetico è stata messa in pratica essenzialmente con l'aumento degli spessori dei materiali isolanti e della massa degli elementi di tamponamento esterno, nella letteratura di settore e nelle sperimentazioni portate avanti negli ultimi anni da università e centri di ricerca si riscontra una tendenza allo sviluppo di tecnologie stratificate a secco in grado di combinare spessore e peso ridotti con elevate prestazioni energetiche.

*"Se in passato l'applicazione di sistemi costruttivi stratificati a secco su strutture leggere era relegata a settori di nicchia o specialistici, oggi l'estensione dei campi di applicazione di questa tecnica costruttiva e le varietà tipologica, funzionale ed estetica, ci consentono di comprendere tutte le potenzialità e di evidenziare i caratteri distintivi, i tratti paradigmatici che ci disvelano possibili chiavi d'azione verso un concreto, reale (quantificabile) approccio sostenibile".<sup>25</sup> "I dieci punti significativi del paradigma costruttivo, ergotecnico e gestionale dei S/R<sup>26</sup> sono: differenziazione e miglioramento prestazionale, ottimizzazione nella scelta dei materiali, costituzione di pacchetti tecnologici, indipendenza funzionale, definizione progettuale, assemblabilità e smontabilità, durabilità dinamica, funzionalità dinamica, impatto ambientale sostenibile, applicabilità di management avanzato. A questi è oggi possibile aggiungere alcuni corollari derivati da un'ulteriore analisi (...): verificabilità prestazionale, modellabilità ingegneristica e affidabilità; ottimizzazione delle procedure di cantiere e evoluzione ergotecnica; implementabilità tecnologica nel tempo e ciclicità di funzionamento; riduzione dell'entropia del sistema costruttivo e risparmio delle risorse".<sup>27</sup>*

La problematica della quantificazione e della valutazione delle prestazioni energetiche dinamiche degli involucri edilizi opachi leggeri costituisce un ambito di indagine comune a numerose ricerche internazionali. Ad esempio nel *Best practice Sheet, Non-massive structures for buildings*<sup>28</sup> del *ProEcoPolyNet*<sup>29</sup> del 2007 si afferma che il controllo ottimale del carico estivo, attualmente associato all'idea delle costruzioni "pesanti", come ad esempio i muri spessi di mattone o in calcestruzzo "può essere ugualmente ottenuto utilizzando pareti non-massive molto innovative, effettuando una corretta scelta dei materiali da costruzione (specialmente i materiali per l'isolamento termico) e una corretta distribuzione degli strati in ogni singola struttura".<sup>30</sup> Le tecnologie stratificate a secco, infatti, oltre a permettere una grande flessibilità e l'impiego di bio-materiali, sono in grado di contribuire in modo significativo al controllo delle condizioni ambientali interne degli edifici con una conseguente riduzione del fabbisogno termico e dell'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili.

Nello stesso documento del *ProEcoPolyNet* viene inoltre introdotto

l'“Energy Performance” cioè un coefficiente in grado di definire il livello delle prestazioni energetiche di un involucro stratificato a secco che dipende da tre parametri: la *trasmissione termica*, lo *sfasamento* e l'*attenuazione* della trasmissione del calore.

Anche nel Protocollo Itaca Sintetico<sup>31</sup> per gli edifici residenziali nel “*sottocriterio inerzia termica*” (appartenente al criterio “*contenimento consumi energetici estivi*”<sup>32</sup> dell'area di valutazione “*consumo di risorse*”) il coefficiente di sfasamento ed il fattore di attenuazione vengono definiti come “*indicatori di prestazione dell'esigenza di mantenere condizioni di comfort termico negli ambienti interni nel periodo estivo, evitando il surriscaldamento dell'aria*”. Secondo il Protocollo Itaca, che impone la rispondenza al requisito minimo di massa superficiale previsto dal D.Lgs 311/2006, i due “*indicatori di prestazione*” devono essere calcolati secondo il procedimento descritto dalla Norma UNI EN ISO 13786:2008 e pesati rispetto all'area delle superfici opache e alla loro esposizione rispetto ai punti cardinali.<sup>33</sup> Il livello di soddisfacimento di entrambi i parametri del sottocriterio inerzia termica è verificato in base ad una scala di valutazione.<sup>34</sup>

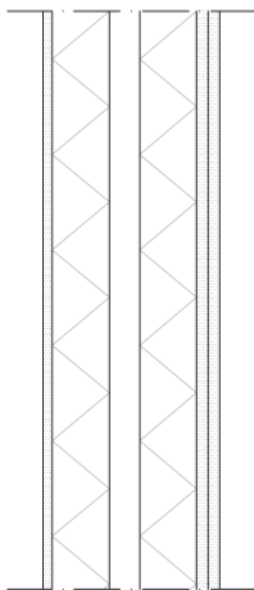
Anche in questo caso, però, la strategia di riferimento consigliata dal Protocollo Itaca è l'“*impiego di murature pesanti di involucro, caratterizzate da una elevata capacità termica e una bassa conduttività termica*”<sup>35</sup>, mentre non sono fornite indicazioni specifiche per involucri edilizi opachi leggeri.

35 Protocollo Itaca Sintetico per edifici residenziali, aggiornamento 2, aprile 2007, p. 15.

Esempi di pareti leggere stratificate a secco caratterizzate da un corretto comporamento inerziale tratti da ProEcoPolyNet, *Best practice Sheet, Non-massive structures for buildings*, 2007. Sezioni di dettaglio scala 1:10.

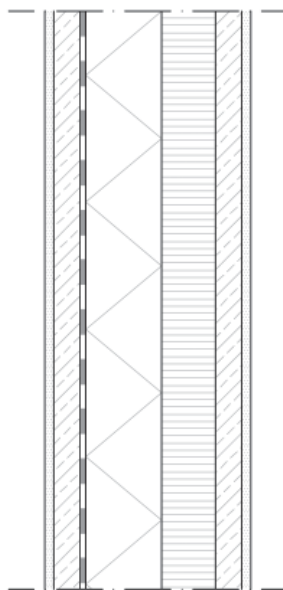
Nel sito web [www.proecopoly.net/info](http://www.proecopoly.net/info) sono riportate delle possibili variazioni della stratigrafia dei sistemi di involucro proposti. Le variazioni evidenziano che il coefficiente di sfasamento ed il fattore di attenuazione variano sostanzialmente in base al materiale e allo spessore del pannello isolante.

Trasmittanza termica: 0,351 W/m²K  
Coefficiente di sfasamento: 7h 36'  
Fattore di attenuazione: 0,472



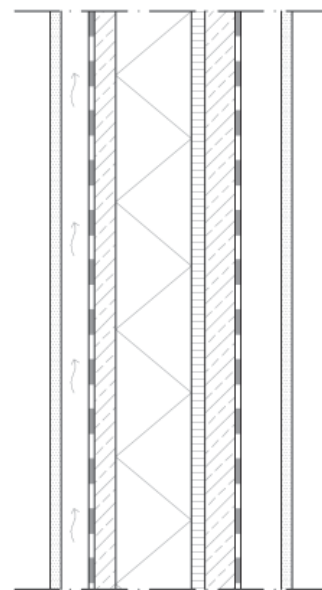
Lastra di rivestimento 1 cm  
Pannello isolante in lana di legno 7,5 cm  
Intercapedine d'aria 4 cm  
Pannello isolante in lana minerale 6 cm  
Pannello in cartongesso (2 lastre) 3 cm

Trasmittanza termica: 0,210 W/m²K  
Coefficiente di sfasamento: 14h 13'  
Fattore di attenuazione: 0,130



Intonaco 1,5 cm  
Pannello isolante in lana di legno 3,5 cm  
Guaina traspirante  
Pannello in legno 7 cm  
Pannello isolante in lana di legno 3,5 cm  
Intonaco 1 cm

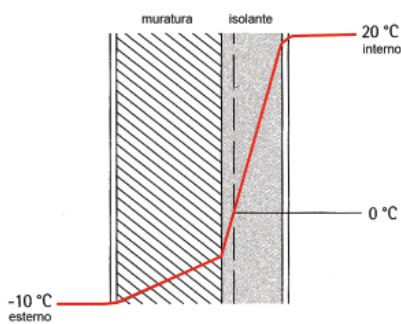
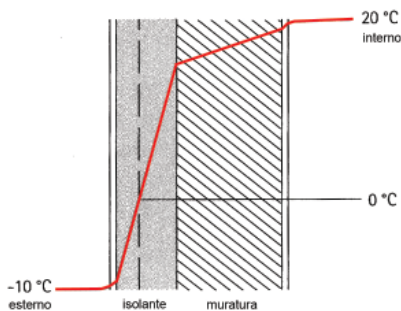
Trasmittanza termica: 0,172 W/m²K  
Coefficiente di sfasamento: 13h 23'  
Fattore di attenuazione: 0,142



Lastra in Fibrocemento 1,5 cm  
Intercapedine d'aria 3,5  
Guaina traspirante e riflettente  
Pannello in legno 3 cm  
Pannello isolante in lana minerale 10 cm  
Pannello in legno 4 cm  
Barriera a vapore riflettente  
Intercapedine d'aria 5,5  
Intonaco 1 cm

36 Con *parametri prestazionali statici* si fa riferimento a quei parametri la cui valutazione può essere effettuata in regime statico.

37 Con *parametri prestazionali dinamici* si fa riferimento a quei parametri la cui valutazione deve essere effettuata in regime dinamico.



Variazione delle prestazioni termiche di un involucro edilizio al variare della posizione dello strato di isolante termico.

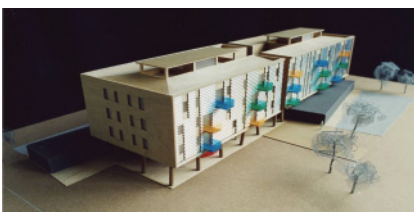
Se da un lato si riscontra un notevole interesse allo sviluppo di involucri edilizi opachi stratificati a secco in grado di combinare i vantaggi di questo tipo di tecnologia (come leggerezza, reversibilità, manutenibilità, ecc.) con un'elevata efficienza termica sia estiva che invernale (trasmissione termica ridotta e sfasamento ed attenuazione elevati), dall'altro la legislazione non fornisce gli strumenti adeguati per verificare l'inerzia termica degli involucri edilizi con una massa superficiale inferiore a 230 Kg/m<sup>2</sup>.

Con l'intento di rispondere ad un'esigenza reale e con la consapevolezza che la verifica dell'inerzia termica degli involucri edilizi leggeri necessita di una valutazione delle prestazioni energetiche esaminate in un regime dinamico e verificate al variare delle condizioni ambientali esterne, si intende sviluppare una procedura di sperimentazione applicativa in grado di verificare le prestazioni termo-igrometriche in uso di involucri edilizi opachi stratificati a secco.

La procedura che si intende mettere a punto si baserà sulle metodologie di sperimentazione e verifica utilizzate nei principali centri di ricerca europei per lo sviluppo di sistemi di involucro innovativi e prevederà l'utilizzo di un software di simulazione termodinamica con il quale è possibile valutare il comportamento termo-igrometrico dinamico di un involucro edilizio nell'arco di un anno.

Con l'obiettivo di verificare la possibile applicazione nel Sud Europa di involucri edilizi opachi stratificati a secco sviluppati nell'Europa centrale, verranno selezionati dei sistemi di involucro ad elevata efficienza energetica, caratterizzati da un alto grado di innovazione, e rispondenti ai *parametri prestazionali statici*<sup>36</sup> individuati, ma non ancora commercializzati in Italia.

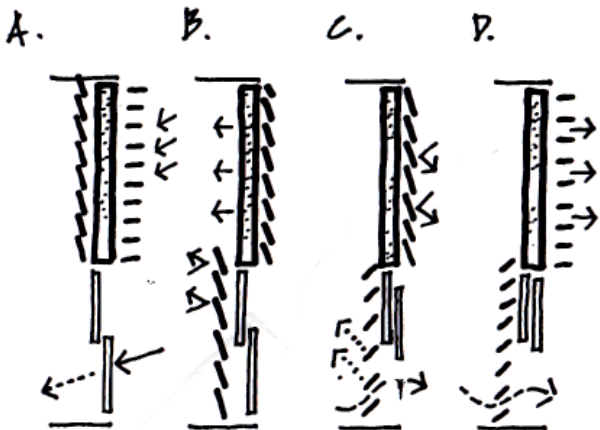
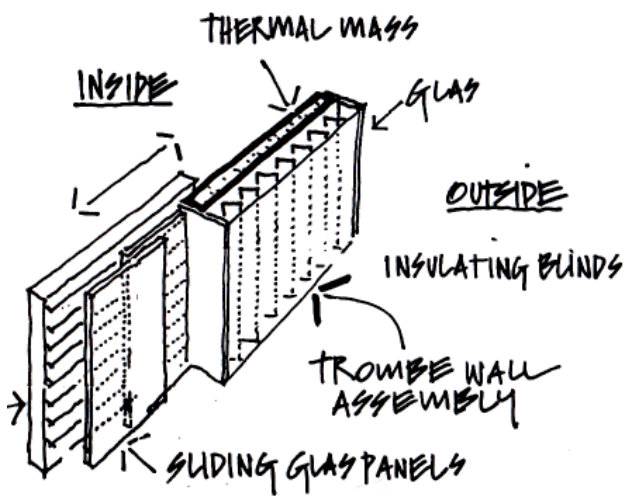
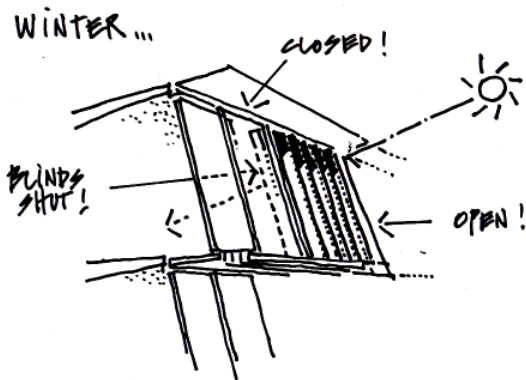
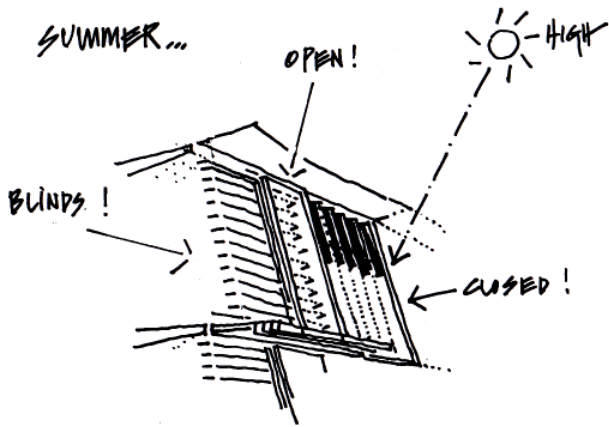
Le effettive prestazioni in uso relative ai *parametri prestazionali dinamici*<sup>37</sup> dei sistemi di involucro selezionati verranno verificate applicando la procedura di sperimentazione messa a punto.



Domenico Schiesari, *Edificio residenziale ad elevata efficienza energetica realizzato con tecnologie stratificate a secco*, Treviso, 2007.



<b>Energy performance</b>																			
Parametri prestazionali statici e dinamici necessari alla valutazione dell'efficienza energetica (estiva ed invernale) di involucri edilizi opachi.																			
<b>parametri prestazionali statici</b>	<b>TRASMITTANZA TERMICA</b>	<p><math>U</math> = Quantità di calore che viene dispersa da un metro quadrato di involucro dell'edificio, per effetto di ogni grado Kelvin di differenza di temperatura. Unità di misura: <math>W/m^2K</math></p>	<p>Valori massimi previsti dal D.Lgs 311/2006 per chiusure verticali opache, validi dal 1 gennaio 2010:</p> <table border="1"> <tr><td>A</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>B</td><td>0,48</td></tr> <tr><td>C</td><td>0,40</td></tr> <tr><td>D</td><td>0,36</td></tr> <tr><td>E</td><td>0,34</td></tr> <tr><td>F</td><td>0,33</td></tr> </table>	A	0,62	B	0,48	C	0,40	D	0,36	E	0,34	F	0,33				
	A	0,62																	
B	0,48																		
C	0,40																		
D	0,36																		
E	0,34																		
F	0,33																		
	<b>MASSA SUPERFICIALE</b>	<p><math>M_s</math> = Massa per unità di superficie della parete opaca compresa la malta dei giunti, esclusi gli intonaci. Unità di misura: <math>kg/m^2</math></p>	<p>Valore minimo previsto dal D.Lgs 311/2006 per in tutte le zone climatiche ad esclusione della F per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, <math>I_{m,s}</math>, sia maggiore o uguale a <math>290 W/m^2</math>: <math>230Kg/m^2</math></p>																
<b>parametri prestazionali dinamici</b>	<b>COEFFICIENTE DI SFASAMENTO</b>	<p><math>\Delta t_f</math> = Intervallo di tempo con cui le variazioni di temperatura esterna si trasmettono all'interno. Unità di misura: h</p>	<p>Valori e corrispondenti punteggi previsti dal sotto-criterio <i>inerzia termica</i> del Protocollo Itaca:</p> <table border="1"> <thead> <tr><th><math>\Delta t_f</math></th><th>punti</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>&lt; 8</td><td>-1</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>1</td></tr> <tr><td>10</td><td>2</td></tr> <tr><td>11</td><td>3</td></tr> <tr><td>12</td><td>4</td></tr> <tr><td>&gt; 12</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	$\Delta t_f$	punti	< 8	-1	8	0	9	1	10	2	11	3	12	4	> 12	5
	$\Delta t_f$	punti																	
< 8	-1																		
8	0																		
9	1																		
10	2																		
11	3																		
12	4																		
> 12	5																		
	<b>FATTORE DI ATTENUAZIONE</b>	<p><math>f</math> = Rapporto tra l'ampiezza delle variazioni della temperatura superficiale interna rispetto a quella esterna. Unità di misura: adimensionale</p>	<p>Valori e corrispondenti punteggi previsti dal sotto-criterio <i>inerzia termica</i> del Protocollo Itaca:</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>f</th><th>punti</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>&gt; 0,35</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0,35</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,25</td><td>1</td></tr> <tr><td>0,20</td><td>2</td></tr> <tr><td>0,17</td><td>3</td></tr> <tr><td>0,15</td><td>4</td></tr> <tr><td>&gt; 0,15</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	f	punti	> 0,35	-1	0,35	0	0,25	1	0,20	2	0,17	3	0,15	4	> 0,15	5
f	punti																		
> 0,35	-1																		
0,35	0																		
0,25	1																		
0,20	2																		
0,17	3																		
0,15	4																		
> 0,15	5																		



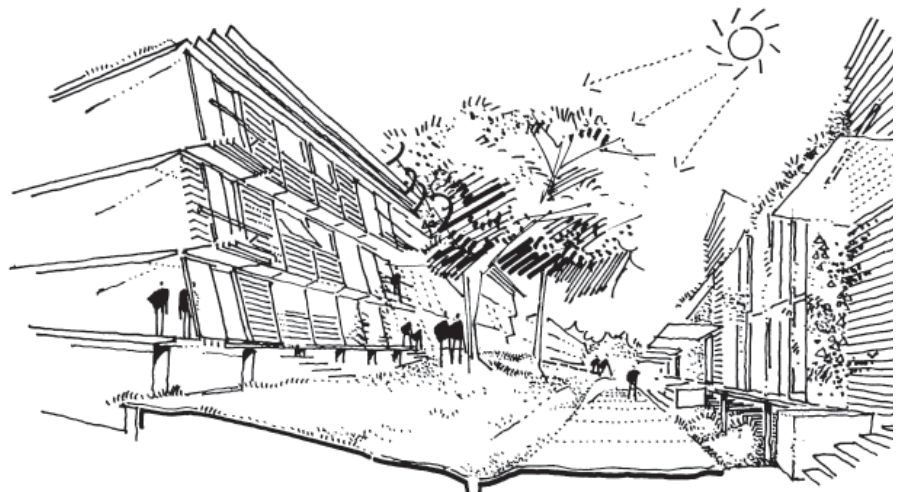


## Capitolo 2

---

Prodotti e sistemi di involucro edilizio innovativi  
sviluppati in Europa centrale.

Valutazione per una possibile applicazione nel Sud Europa.





## Capitolo 2

### Prodotti e sistemi di involucro edilizio innovativi sviluppati in Europa centrale. Valutazioni per una possibile applicazione nel Sud Europa.

#### 2.1 Metodologie e strumenti per la valutazione delle prestazioni energetiche in uso di sistemi di involucro edilizio innovativi: le *test-rooms*

Il recepimento da parte degli stati membri della CEE della Direttiva Europea 2002/91/CE “*Energy performance of buildings*” - che ha reso necessaria la rispondenza dei valori di trasmittanza termica degli involucri edilizi a quelli indicati dalle normative nazionali - la sempre maggiore complessità dei sistemi di facciata e la necessità di combinare spessori ridotti ad elevate prestazioni energetiche hanno fatto sì che numerosi centri di ricerca europei, che si occupano dello sviluppo di involucri edilizi innovativi, abbiano previsto una fase di monitoraggio delle prestazioni energetiche in uso dei sistemi e dei componenti di facciata sviluppati. Tale verifica non ha il solo scopo di certificare la rispondenza ai *parametri prestazionali statici*<sup>1</sup> definiti dalla normativa, ma si propone di valutare le prestazioni energetiche in uso, monitorate in un regime dinamico, dei sistemi di involucro oggetto di esame prima della loro immissione sul mercato o la loro messa in opera in edifici di grandi dimensioni.

La valutazione preventiva delle prestazioni degli involucri edilizi e del loro variare in relazione alle condizioni ambientali esterne costituisce, infatti, un passaggio ineludibile nella progettazione e messa in produzione di sistemi e componenti di facciata in particolare per quelli stratificati a secco, le cui elevate prestazioni energetiche

<sup>1</sup> Con *parametri prestazionali statici* si fa riferimento a quei parametri per la valutazione del comportamento energetico di un sistema o componente edilizio, la cui valutazione può essere effettuata in regime statico. Tale denominazione nasce in contrapposizione a quella di *parametri prestazionali dinamici*, cioè quei parametri che necessitano di una valutazione in uso in regime dinamico.



Test-room VERU (Versuchseinrichtung für Energetische und Raumklimatische Untersuchungen) dell'Istituto di Fisica dell'edificio del Fraunhofer Institut, Holzkirchen, Germania.  
Monitoraggio delle prestazioni in uso di due facciate realizzate con vetri dalle prestazioni termiche differenti.

non sono affidate a massa superficiale o spessore elevati, ma alle caratteristiche prestazionali di materiali altamente specializzati. Con la consapevolezza che non è solo l'involucro edilizio a influenzare le condizioni climatiche interne, ma è dalla sua interazione con gli altri elementi costruttivi, con gli spazi retrostanti e con i sistemi attivi e passivi di riscaldamento o raffrescamento che si determina il comportamento energetico di un edificio, si è reso opportuno verificare e valutare le tipologie di facciata e di copertura non come elementi a sè stanti, bensì come parti di un sistema più complesso costituito dall'intero edificio. A tale scopo numerosi centri di ricerca, università e alcune tra le più importanti industrie produttrici di sistemi di involucro innovativi si sono dotate di *edifici-test*, caratterizzati da una grande flessibilità in pianta e in alzato, in cui sono inseriti prototipi in scala, le cui prestazioni in uso vengono monitorate per un periodo di tempo prestabilito.

La particolarità di tali *test-rooms* è che, oltre ai parametri tradizionali quali stabilità, resistenza alle sollecitazioni esterne di tipo ordinario e straordinario, durabilità ecc., vengono monitorati e valutati, in relazione alle condizioni climatiche esterne, anche le prestazioni energetiche dinamiche dell'elemento oggetto di analisi ed il livello di comfort ambientale dello spazio interno.

Le *test-rooms* sono generalmente fornite di una stazione di rilevamento dei dati climatici esterni e di una serie di sensori posti all'interno e sulle superfici dell'involucro (interna ed esterna) in grado di rilevare i valori dei parametri che influenzano il livello di comfort ambientale quali: temperatura, umidità, velocità del vento, irraggiamento ecc.



Test-room VERU (Versuchseinrichtung für Energetische und Raumklimatische Untersuchungen) dell'Istituto di Fisica dell'edificio del Fraunhofer Insitut, Holzkirchen, Germania.

Esempio di test-rooms per la valutazione delle prestazioni termoigrometriche e visive di sistemi di facciata in scala 1:1.

Le test-rooms più avanzate sono inoltre dotate di un sistema automatizzato in grado di simulare la presenza di persone e di apparecchiature (intese come carichi termici), di regolare i sistemi di ombreggiamento mobili e di variare la strategia di ventilazione o di climatizzazione in base ai parametri misurati, al fine di mantenere costante il livello di comfort ambientale interno.

Le test-rooms per la valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio appartengono generalmente a due tipologie differenti: nella prima l'edificio test, realizzato in scala 1:1, coincide con quello oggetto di analisi e le prestazioni energetiche monitorate sono quelle derivanti dall'interazione tra la test-room e l'ambiente esterno; mentre la seconda tipologia comprende laborototi atti a ricreare le condizioni ambientali esterne, mentre l'edificio oggetto di analisi è costituito da un modello in scala ridotta inserito al suo interno.

La prima tipologia di test-room costituisce uno strumento valido per il monitoraggio delle prestazioni termo-igrometriche in opera di materiali, sistemi e componenti; la seconda, invece, viene utilizzata per valutare il comportamento energetico di un edificio in relazione alla propria forma ed è maggiormente indicata per l'analisi del comfort visivo interno.

I parametri che influenzano il livello di benessere termo-igrometrico, infatti, devono necessariamente essere valutati in scala reale, mentre, per quelli relativi al benessere visivo, è sufficiente effettuare test anche in scala ridotta.

Un esempio di test-rooms per la valutazione del livello di benessere visivo interno è il *cielo artificiale*: un ambiente in cui è possibile ricreare,



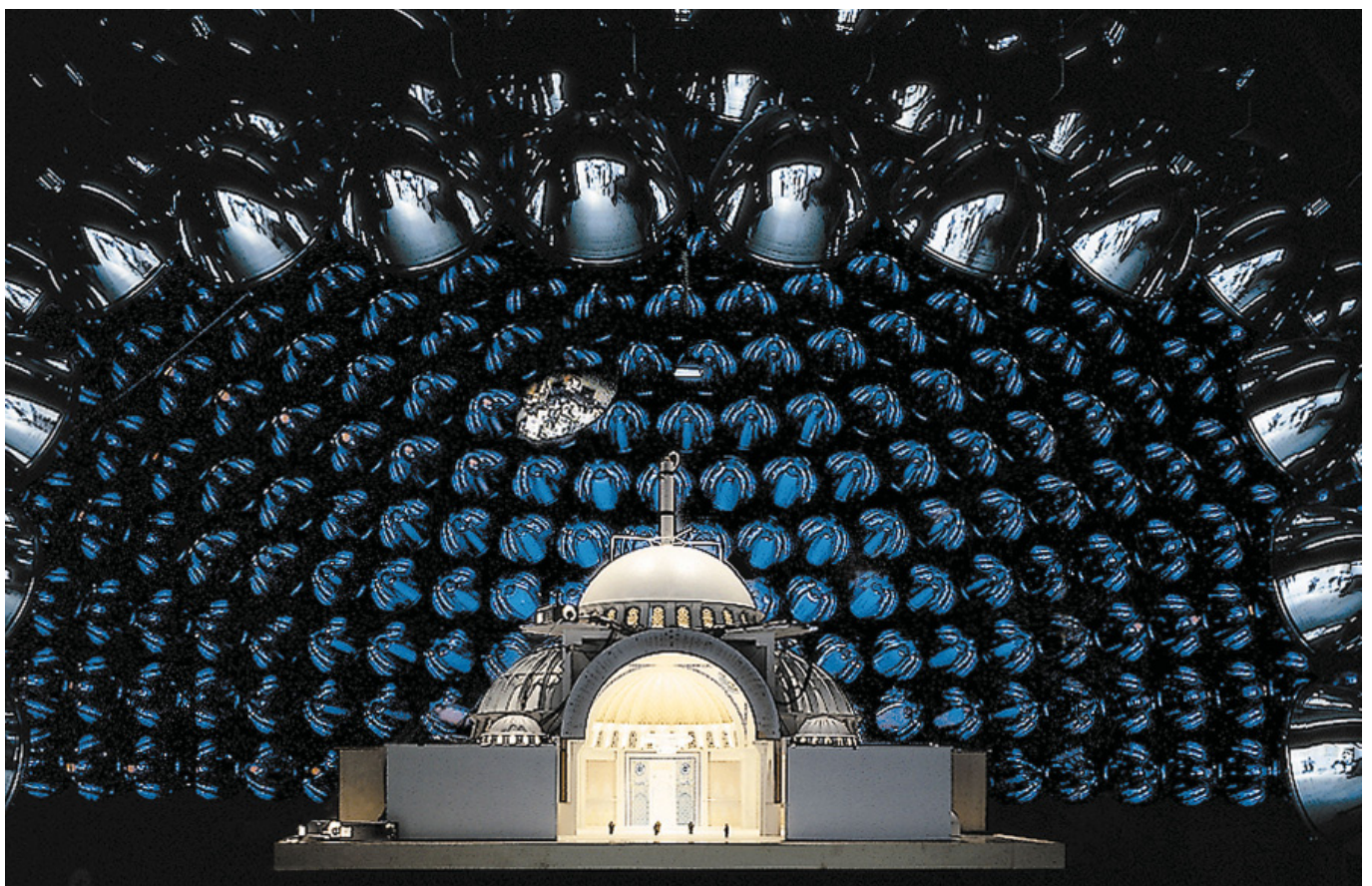
Nuovo cielo artificiale del Lichtlabor Bartenbach, Innsbrück, Austria.



Cielo artificiale della Technische Universität München, Germania. Esercitazioni durante il Modulo Licht del Master KlimaDesign.

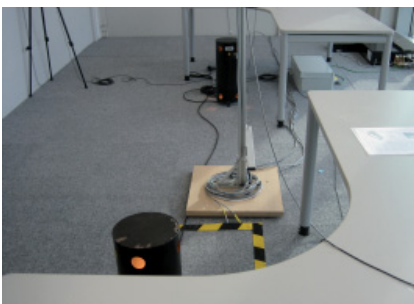
Cielo artificiale del Lichtlabor Bartenbach, Innsbrück, Austria.

Esempio di test-rooms per la valutazione del livello di benessere visivo interno in cui vengono utilizzati modelli di edifici realizzati in scala ridotta.





Solar station della Technische Universität München, Germania.



In alto e nella pagina accanto: viste interne della Test-room VERU (Versuchseinrichtung für Energetische und Raumklimatische Untersuchungen) dell'Istituto di Fisica dell'edificio del Fraunhofer Insitut, Holzkirchen, Germania.

con un buon livello di approssimazione, le condizioni luminose di un luogo specifico della terra (definito in base alle coordinate geografiche) in un giorno ed ora prestabiliti (in base all'inclinazione dei raggi solari e all'intensità luminosa). La possibilità di creare artificialmente le condizioni ambientali esterne riduce notevolmente la durata dei test. Nelle test-rooms per la valutazione del comportamento termo-igrometrico di un involucro edilizio, invece, il periodo di monitoraggio ha generalmente una durata di un anno - o comprende almeno una stagione calda ed una fredda -, al fine di verificare il comportamento energetico del sistema di involucro in relazione a tutte le possibili condizioni ambientali esterne.

Con l'intento di acquisire le conoscenze necessarie alla messa a punto di una procedura sperimentale applicativa per la valutazione delle prestazioni energetiche in uso di sistemi di involucro edilizio leggeri, sono state esaminate le metodologie e le procedure di sperimentazione delle principali test-rooms europee - appartenenti ad università, centri di ricerca e ditte produttrici di sistemi di facciata innovativi -, che si occupano del monitoraggio in un regime dinamico e della valutazione delle prestazioni termo-igrometriche di involucri edilizi.

A tale scopo è stato elaborato un breve questionario volto ad indagare le caratteristiche dimensionali e spaziali degli edifici test, le procedure e gli strumenti di monitoraggio, archiviazione e valutazione dei dati, i sistemi ed i componenti oggetti di indagine, nonché i rapporti con i finanziatori delle ricerche. Il questionario ha costituito la base per un'intervista ad un referente di ciascuna delle test-rooms analizzate, svolta durante un sopralluogo diretto.

Le informazioni raccolte - rielaborate ed inserite nelle seguenti schede - hanno messo in evidenza come i monitoraggi, generalmente effettuati su componenti o sistemi in scala reale, siano preceduti non solo da una fase istruttoria in cui viene messa a punto una procedura di sperimentazione che definisce parametri da misurare, metodologie e durata, ma anche da una fase di modellazione e simulazione.

Prima di monitorare le prestazioni energetiche in uso di un involucro edilizio si provvede a verificare il suo comportamento energetico con il supporto di un *software* di simulazione termodinamica. Solo nel caso in cui le simulazioni abbiano dato un risultato positivo viene realizzato il modello in scala reale e applicato nella test-room.

Nelle seguenti schede, oltre ad informazioni di carattere generale sulle metodologie adottate, sono stati raccolti dati relativi ai *software* utilizzati nella fase di simulazione al fine di acquisire le conoscenze necessarie alla scelta dello strumento più adatto per la sperimentazione applicativa che verrà messa a punto nel terzo capitolo di questo lavoro di ricerca.

**INFORMAZIONI DI CARATTERE GENERALE:**

- **Tipo di istituzione:** centro di ricerca / università / industria
- **Istituzione o Ditta**
- **Luogo**
- **Progettisti**
- **Anno di realizzazione**
- **Referente per l'intervista**
- **Recapiti**

QUESTIONARIO proposto ai referenti delle test-rooms analizzate:

**1. Informazioni sull'istituzione o ditta di appartenenza** - Quali sono le principali attività svolte dall'istituzione o ditta di appartenenza?

**2. Dimensioni e caratteristiche** - Quali sono le dimensioni e le principali caratteristiche dell'edificio-test?

**3. Orientamento rispetto ai punti cardinali** - La test-room ha un orientamento fisso o variabile rispetto ai punti cardinali, quale e perchè?

**4. Sistemi e componenti oggetto di analisi** - Quali parti dell'edificio vengono testate e quali sono i principali sistemi e componenti oggetto di analisi?

**5. Scala degli elementi testati** - In che scala sono i sistemi e i componenti che vengono testati? In che modo la scala dei sistemi e i componenti testati influenza i risultati dei monitoraggi?

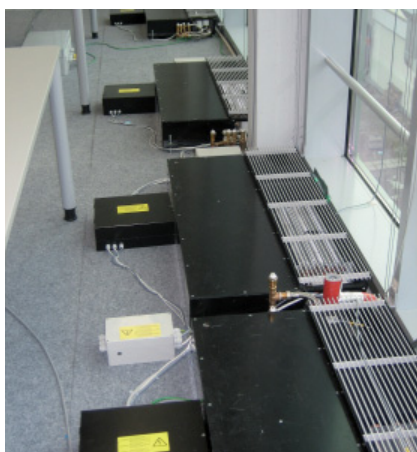
**6. Durata di un ciclo di test** - Qual è la durata di un ciclo di test e perchè?

**7. Parametri e metodologie** - Quali parametri vengono misurati? In che modo?

**8. Documentazione delle misurazioni e software utilizzati** - In che modo vengono documentate ed archiviate le misurazioni? Quali sono i sistemi ed i softwares utilizzati sia nella fase precedente ai monitoraggi che nella fase di archiviazioni dei dati?

**9. Committenti, finanziatori e cooperazione con centri di ricerca, università e industrie** - Chi sono i principali committenti o finanziatori delle ricerche? Come avviene la cooperazione tra centri di ricerca, università e industrie?

**10. Materiali e sistemi di involucro testati recentemente** - Quali sono i materiali o i sistemi di facciata testati negli ultimi anni?



Viste interne della Test-room VERU (Versuchseinrichtung für Energetische und Raumklimatische Untersuchungen) dell'Istituto di Fisica dell'edificio del Fraunhofer Insitut, Holzkirchen, Germania.

**Test-room: VERU****Istituzione o Ditta:** Fraunhofer Gesellschaft - IPB (Istituto di Fisica dell'edificio)**Luogo:** Valley, Germania**Progettisti:** Fraunhofer Gesellschaft - IPB**Anno di realizzazione:** ottobre 2002 – giugno 2003**Referenti per l'intervista:** Herbert Sinnesbichler, Ingo Heusler**Recapiti:**

Fraunhofer Institut für Bauphysik,  
 Fraunhoferstraße 10  
 83626 Valley, Germania  
 www.ibp.fhg.de  
 sinnesbichler@hoki.ibp.fhg.de

**1. Informazioni sull'istituzione o ditta di appartenenza**

Con la consapevolezza che il comportamento energetico degli edifici è il risultato dell'interazione di molteplici componenti, che spesso possono avere effetti contrastanti e concorrenziali tra di loro, l'Istituto IPB di Holzkirchen (Istituto di Fisica dell'edificio Fraunhofer, Sezione di Tecnica del Calore) ha realizzato un'installazione per valutazioni energetiche e climatico-spaziali in grado di analizzare differenti tipologie di facciata. Presso il VERU (Versuchseinrichtung für Energetische und Raumklimatische Untersuchungen - installazione per valutazioni energetiche e climatico-spaziali) sono svolte - in differenti situazioni climatiche e mediante l'utilizzo delle più avanzate strumentazioni tecniche - analisi integrate su molteplici sistemi di facciata e sulle condizioni termiche degli ambienti ad essi retrostanti. I risultati ottenuti sono poi valutati nell'ambito del comportamento energetico generale dell'intero edificio.

**2. Dimensioni e caratteristiche della test-room**

La test-room è costituita da un edificio di tre piani con struttura in cemento armato. La pianta, di 12 x 12 m, è organizzata per fasce funzionali. La fascia a nord di 12 x 4 m contiene i collegamenti verticali e gli impianti tecnici, mentre la fascia verso sud di 12 x 8 m costituisce la *zona-test*. La modularità dell'intero edificio e la facile reversibilità dei tamponamenti permettono di modificare la sua configurazione in base alle esigenze delle analisi da svolgere. Lo spazio interno può essere suddiviso in ambienti di differenti dimensioni, fino ad un massimo di 6 per piano. I solai, realizzati con elementi prefabbricati, possono essere rimossi e creare ambienti a doppia altezza, mentre i sistemi di tamponamento esterno e di ombreggiamento delle facciate sud, est ed ovest possono essere sostituiti grazie a sistemi di fissaggio a secco facilmente rimovibili e la copertura, costituita da elementi estraibili, può essere sostituita o integrata con moduli trasparenti

al fine di valutare il comportamento climatico degli ambienti illuminati zenitalmente.

**3. Orientamento rispetto ai punti cardinali**

L'edificio ha un orientamento fisso: le facciate sono orientate verso i quattro punti cardinali. Le facciate sud, est ed ovest costituiscono la zona monitorata e vengono sostituite in base agli elementi da testare; la facciata nord, invece, è posta dietro l'area tecnica ed è fissa.

**4. Sistemi e componenti oggetto di analisi**

La test-room è stata realizzata con il fine di monitorare e valutare il comportamento energetico di sistemi di facciata e di schermatura solare sia di tipo innovativo che tradizionale e di migliorarne le prestazioni in

relazione al benessere climatico degli spazi ad essi retrostanti. Oltre alla valutazione delle prestazioni standard, prestabilite dalle normative vigenti, il VERU finalizza la sua attività di ricerca allo sviluppo di *konzepts energetici* innovativi per edifici con requisiti fisico-tecnici particolarmente complessi. A tale scopo vengono utilizzati sistemi di analisi e di valutazione appositamente elaborati per il singolo progetto o sistema di facciata.

**5. Scala degli elementi testati**

Sulla struttura portante in cemento armato vengono fissati moduli di facciata in scala 1:1.

**6. Durata di un ciclo di test**

Almeno di un anno (un periodo invernale e uno estivo).





centro di ricerca



### 7. Parametri e metodologie

Il VERU è dotato di una serie di strumenti di rilevamento e di misurazione in grado di valutare parametri relativi al benessere termico, visivo, acustico, igienico e alla qualità dell'aria all'interno degli ambienti.

Per lo svolgimento di tali valutazioni il VERU è dotato di: installazioni per l'illuminazione artificiale, un impianto di riscaldamento dell'acqua centralizzato con caldaia a gas, un sistema di riscaldamento autonomo per ciascuno degli ambienti, fonti di calore interne regolabili attraverso un timer, un sistema di raffreddamento centralizzato, una rete per l'acqua fredda, scambiatori per la ventilazione forzata impostabili in maniera autonoma per ciascun ambiente, componenti costruttivi rimovibili e sostituibili e un impianto di controllo e di regolazione centralizzato gestito dall'innovativo software *SPS*.

### 8. Documentazione delle misurazioni e software utilizzati

Per le misurazioni viene utilizzato un software chiamato *IMEDAS*, sviluppato dallo stesso Istituto Fraunhofer. Una delle principali peculiarità di tale sistema è la capacità di controllare a distanza i processi di rilevamento che avvengono all'interno o all'esterno dell'edificio test. Mediante un normalissimo collegamento internet, infatti, si ha la possibilità di visualizzare in tempo reale i dati rilevati. Tale caratteristica risulta estremamente utile per presentare ad una conferenza o ad un cliente le attività svolte presso il VERU o per lavorare a distanza con differenti partners. Le simulazioni termodinamiche preventive vengono generalmente effettuate con il software *Tmsys*.

### 9. Committenti, finanziatori e cooperazione con centri di ricerca, università e industrie

Le attività di ricerca svolte presso il VERU sono generalmente finanziate da industrie produttrici di sistemi di facciata, di schermature solari o di impianti tecnici. Le industrie si rivolgono al Fraunhofer-IPB per il testaggio, la valutazione e l'eventuale miglioramento dei

propri prodotti prima di immetterli sul mercato. Il centro è comunque a disposizione di privati e svolge anche ricerche co-finanziate da enti pubblici regionali, nazionali o internazionali.

### 10. Materiali e sistemi di involucro testati recentemente

Il VERU ha appena concluso un progetto di ricerca chiamato *EnEff06: "Messa a punto di sistemi di valutazione delle tecnologie e dei metodi di stima per l'incremento dell'efficienza energetica totale degli edifici"*. Tale progetto, finanziato da differenti industrie, associazioni di categoria e dal Ministero Tedesco dell'Economia e del Lavoro, è stato iniziato nell'estate del 2004 e si è concluso a metà 2007.

Le conoscenze acquisite tramite questo programma di ricerca costituiranno un *background* di riferimento per l'applicazione del nuovo "*Energieeinsparverordnung*" (Ordinamento per il risparmio energetico) in vigore in Germania dal 2006. La ricerca ha messo in evidenza la necessità di affrontare il problema del risparmio energetico degli edifici nella sua globalità e complessità, non concentrandosi solo sugli elementi di facciata, ma prendendo in considerazione la complessa interazione tra la facciata e gli altri elementi che determinano le condizioni di benessere interno quali: il sistema di riscaldamento, la ventilazione, la climatizzazione e l'illuminazione artificiale. Nella ricerca vengono prese in considerazione le condizioni limite indicate nella normativa DIN V 18599 e valutate in relazione ai dati conoscitivi ottenuti mediante le prove di misurazione e, nel caso in cui sia necessario, vengono fatti dei piccoli aggiustamenti alla norma.

Un altro obiettivo della ricerca è stato quello di elaborare differenti *concepts* che prendano in considerazione la complessa interazione che avviene tra i molteplici elementi che contribuiscono al comportamento energetico degli edifici e di creare una sorta di banca dati di possibili soluzioni tipo che dovrebbero costituire uno strumento utile per sensibilizzare gli operatori del settore, in particolare i

progettisti, alle problematiche relative al risparmio energetico. Le misurazioni effettuate sull'edificio di prova hanno avuto anche la finalità di valutare se i sistemi di calcolo proposti dalla nuova normativa sull'efficienza energetica siano poi riscontrati nella realtà. Per lo svolgimento di tale ricerca l'edificio-test VERU è stato riorganizzato come un edificio per uffici dotato di tre differenti tipologie di facciata e organizzato in 12 ambienti differenti tra loro per dimensioni e caratteristiche, divisi da pareti con costruzione leggera dotate di isolamento termico ed acustico. La facciata ad ovest è dotata di grandi vetrate a nastro con differenti elementi di schermatura solare, la facciata est è caratterizzata da piccole aperture di varie dimensioni, mentre la facciata sud ha una fascia centrale di finestre schermate esternamente da sistemi di tendaggi differenti. Le vetrate, dotate di sistemi di schermatura solare sia esterni che interni, sono realizzate con vari tipi di vetro, più o meno isolante o dotato di differenti film per la schermatura solare. Alcune stanze sono raffreddate mediante un tetto ventilato integrato, altre sono dotate di propri impianti di climatizzazione, alcune si avvalgono del sistema centralizzato, altre vengono ventilate naturalmente mediante camere d'aria nella facciata, mentre in alcune si cerca di utilizzare un sistema di raffrescamento passivo al fine di evitare l'utilizzo di impianti di climatizzazione nel periodo estivo. Con il supporto dei sensori per la misurazione, le 12 test-rooms vengono monitorate costantemente e i dati relativi al loro comportamento climatico (illuminazione naturale, temperatura, dispersioni termiche, umidità, ecc.) vengono archiviati in un sistema centralizzato e successivamente valutati in relazione alla norma DIN V 18599 sul contenimento energetico degli edifici.



**Test-room: TOPLAB****Istituzione o Ditta:** Fraunhofer - ISE (Institut für Solare Energiesysteme)**Luogo:** Friburgo, Germania**Progettisti:** Fraunhofer Gesellschaft - ISE**Anno di realizzazione:** a partire dal 1981, tuttora in evoluzione**Referente per l'intervista:** Tilmann Kuhn**Recapiti:**

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstrasse 2

79110 Friburgo, Germania

www.ise.fraunhofer.de

tilmann.kuhn@ise.fraunhofer.de

**1. Informazioni sull'istituzione o ditta di appartenenza**

Il Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE di Friburgo, con i suoi 500 dipendenti, è uno dei principali tra i 60 Istituti Fraunhofer presenti in Germania.

La Sezione Edifici e Impianti - sottosezione facciate e finestre - offre a progettisti e pianificatori la possibilità di testare e verificare in modo accurato e dettagliato componenti e materiali edili innovativi.

Il centro è dotato di appositi laboratori, tra cui il TOPLAB (Thermisch Optisches Prüflabor - Laboratorio per misurazioni termiche ed ottiche) che si occupa di testare componenti edili trasparenti ed opachi e sistemi di schermatura solare e di verificare il livello di day-lighting degli ambienti interni.

**2. Dimensioni e caratteristiche della test-room**

Il laboratorio TOPLAB è contenuto nell'edificio principale del Centro di ricerca di Friburgo ed è articolato in differenti ambienti tra cui il laboratorio per i test calorimetrici e per la valutazione della trasmittanza termica, costituito da uno spazio circolare con un'altezza di 8 m, all'interno del quale è contenuto un simulatore solare.

Il laboratorio per la valutazione del day-lighting, invece, è costituito da 2 container identici, posti sulla copertura dell'edificio.

**3. Orientamento rispetto ai punti cardinali**

Gli ambienti che costituiscono il laboratorio per le analisi termico-ottico, in cui vengono riprodotte artificialmente le condizioni

climatiche richieste, ha un orientamento fisso, mentre le due stanze per la misurazione dell'illuminazione diurna (day-lighting) possono essere ruotate e orientate a piacimento in base al tipo di analisi effettuate.

**4. Sistemi e componenti oggetto di analisi**

Nel TOPLAB vengono testati e certificati, secondo la ISO 9001/2000, sistemi di facciata trasparenti e sistemi di schermatura solare in base alle loro prestazioni termiche ed ottiche. Nei 2 container posti sulla copertura dell'edificio vengono invece effettuate analisi comparative dell'illuminazione naturale (day-lighting) in differenti sistemi di facciata. Dal 2006 il TOPLAB ha ottenuto la certificazione DAP (Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen) in base alla Norma europea DIN



centro di ricerca

EN 17025.

### 5. Scala degli elementi testati

Gli elementi testati sono generalmente in scala 1:1.

### 6. Durata di un ciclo di test

La durata del ciclo di test varia in base all'elemento e ai parametri da testare, dal numero delle prove e dalle esigenze del laboratorio. Generalmente per quanto riguarda le prove spettrometriche la durata è di 1-2 settimane, per quelle calorimetriche di 2-4 settimane, mentre le valutazioni del day-lighting possono durare anche mesi

### 7. Parametri e metodologie

Poiché la direttiva DIN EN 41 non risulta esaustiva per quanto riguarda le misurazioni e le valutazioni delle prestazioni di superfici vetrate e di sistemi di facciata con funzionalità complessa, il Fraunhofer ISE ha sviluppato dei propri procedimenti di analisi e valutazione con i quali è possibile caratterizzare esattamente gli effetti energetici e tecnico-luminosi.

Le apparecchiature presenti nel TOPLAB sono in grado di misurare su superfici maggiori di un metro quadro una serie di prestazioni e proprietà tra cui:

- diffusività luminosa;
- trasmittanza termica;
- schermatura, riflessione e rifrazione solare;
- ventilazione naturale;
- proprietà variabili nel tempo come fotocromia, termocromia ed elettrocromia;
- coefficiente di trasmissione solare delle

superfici vetrate, cioè la percentuale di energia introdotta in un locale attraverso il vetro, in rapporto all'energia solare incidente.

Nelle due stanze identiche per la misurazione dell'illuminazione diurna vengono svolte le seguenti analisi:

- valutazione delle proprietà di schermatura solare;
- valutazione del grado di utilità e di gradimento dell'elemento da testare;
- confronto del day-lighting in due stanze identiche in cui sono montati sistemi di facciata differenti.

### 8. Documentazione delle misurazioni e software utilizzati

I dati vengono rilevati con strumenti di misurazione elettronici e successivamente rielaborati mediante programmi dati in dotazione insieme allo strumento di rilevamento o programmi sviluppati direttamente dall'ISE, precedentemente validati nell'ambito di valutazioni incrociate con partners nazionali ed internazionali.

### 9. Committenti, finanziatori e cooperazione con centri di ricerca, università e industrie

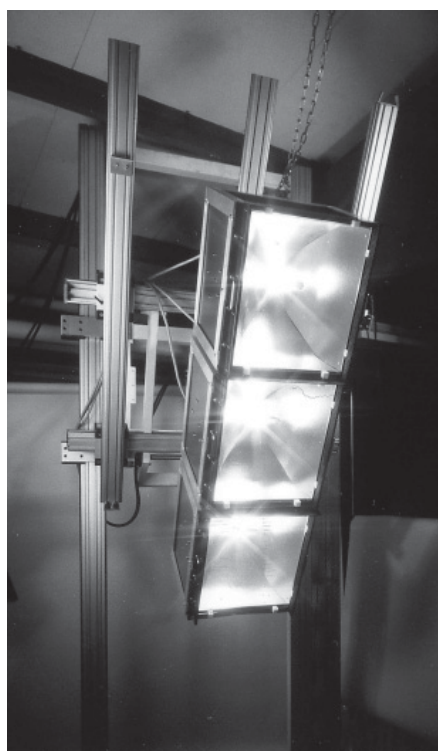
L'Istituto Fraunhofer ISE svolge ricerche per industrie, enti pubblici e privati e partecipa, in collaborazione con altri centri di ricerca, università o industrie a ricerche regionali, nazionali ed internazionali.

### 10. Materiali e sistemi di involucro testati recentemente



Negli ultimi anni sono stati testati sistemi complessi di schermatura solare, facciate vetrate, membrane con un alto coefficiente di riflessione solare, elementi di copertura con collettori solari integrati, lamelle di schermatura solare, elementi costruttivi contenenti moduli fotovoltaici e componenti edilizi con PCM (materiali a cambiamento di fase).

Tra gli edifici realizzati i cui componenti sono stati precedentemente testati presso il TOPLAB vi sono l'edificio Galileo a Francoforte sul Meno, la torre GALAXY della Commerzbank a Vienna, la torre della Fiera di Basilea, l'aeroporto di Francoforte sul Meno e l'edificio West 4 a Monaco di Baviera.



Strumenti di misurazione	Parametri misurati	Dimensione degli elementi misurati
Spettrometro con Sfera di Ulbricht (Diametro 220 mm)	Spettro di trasmissione e di riflessione (250 – 3200 nm)	26 mm x 26 mm x 0,1 mm fino a 800 mm x 1200 mm, spessore fino a 40 mm
Calorimetro	g (coefficiente di trasmissione solare delle superfici vetrate) di componenti edili trasparenti e di elementi di schermatura solare	800 mm x 800 mm fino a 1000 mm x 1000 mm negli elementi vetrati
Strumento di misurazione a piastre	U (trasmittanza termica) in base alla DIN EN 674	800 mm x 800 mm, spessore fino a 100 mm
Sfera di Ulbricht (Diametro 620 mm)	Angoli di trasmissione e riflessione della luce	Da 100 mm x 100 mm fino a 1400 mm x 1000 mm. Per la trasmissione spessore fino a 200 mm. Per la riflessione spessore fino a 50 mm.
Goniometro laser	Ripartizione angolare di raggi laser trasmessi e riflessi	Da 10 mm x 50 mm a 400 mm x 400 mm; spessore fino a 50 mm

**Test-room: CENER****Istituzione o Ditta:** CENER (Centro Nazionale per le Energie Rinnovabili)**Luogo:** Sarriguren, Navarra, Spagna**Progettisti:** Luis Miguel César e Ruiz-Larrea**Anno di realizzazione:** 2003**Referente per l'intervista:** Fiorella Tortora**Recapiti:**

CENER

Ciudad de la Innovacion

31621 Sarriguen (Navarra), Spagna

www.cener.com

info@cener.com

**1. Informazioni sull'istituzione o ditta di appartenenza**

Le attività svolte dal CENER riguardano lo sviluppo di processi di generazione di energia ottenuti mediante l'utilizzo di risorse rinnovabili quali: l'identificazione delle risorse, lo sviluppo di tecnologie per il loro approvvigionamento, la valutazione dei rischi legati alle tecnologie utilizzate, lo studio della fattibilità tecnico-economica del progetto, la certificazione ed omologazione del prodotto in base alla normativa vigente e lo sviluppo di sistemi costruttivi e di involucro edilizio.

**2. Dimensioni e caratteristiche della test-room**

Il centro di ricerca è composto da un edificio amministrativo organizzato su due piani da cui, mediante un corridoio, si può accedere ai cinque dipartimenti che costituiscono il CENER. Ciascuno di essi occupa un'area di 100mq e si sviluppa su due livelli: un piano terra adibito ad uffici ed un piano interrato dove sono collocati i laboratori sperimentali.

**3. Orientamento rispetto ai punti cardinali**

Secondo gli assi cartesiani.

**4. Sistemi e componenti oggetto di analisi**

L'area Tecnica del CENER si articola in cinque sezioni:

- *Energia solare e fotovoltaico* in cui vengono sviluppati, realizzati e testati sistemi fotovoltaici innovativi. I test effettuati non riguardano solo le prestazioni tecniche nel periodo di utilizzo, ma in tutto il ciclo di vita del prodotto.
- *Energia eolica* in cui sistemi eolici vengono sviluppati e testati in relazione alla loro potenza, alle loro caratteristiche meccaniche, all'impatto acustico e alle prestazioni energetiche. I sistemi vengono verificati mediante la realizzazione ed il monitoraggio di elementi in scala.
- *Biomassa* in cui vengono sviluppati sistemi di utilizzo delle biomasse, partendo da studi di fattibilità e da una valutazione comparata dei gas utilizzabili per tali processi, fino alla

prototipazione di sistemi innovativi per la produzione di biocombustibili.

- *Architettura bioclimatica e solare termico* in cui viene studiato il comportamento energetico degli edifici in relazione a sistemi, sia attivi che passivi, che comportano il risparmio energetico e l'approvvigionamento di energia termica.
- *Elettronica e sistemi di accumulazione di energia* in cui vengono sviluppati sistemi innovativi di approvvigionamento e accumulo di energie rinnovabili.

**5. Scala degli elementi testati**

In differenti scale, generalmente 1:1.

**6. Durata di un ciclo di test**

Varia in base alla dimensione dell'elemento realizzato: 2 settimane, 2 mesi, 2 anni.

**7. Parametri e metodologie**

Il dipartimento di Architettura Bioclimatica del CENER è dotato di una serie di strumenti di supporto alla corretta valutazione energetica degli edifici che permettono di valutare:

- il fabbisogno energetico degli edifici (attraverso il monitoraggio di modelli in scala o mediante software di simulazione);
- l'energia necessaria per la messa in opera dei materiali da costruzione;
- il rendimento degli impianti.

**8. Documentazione delle misurazioni e software utilizzati**

Gli strumenti di simulazione utilizzati si suddividono in due categorie:

1. Programmi di simulazione dinamiche in cui partendo dai dati climatici relativi al lotto, dalle caratteristiche dell'involucro dell'edificio e dalla sua distribuzione interna, si realizza una simulazione delle condizioni termiche sia interne che esterne, del soleggiamento, della radiazione solare incidente, della ventilazione, dei sistemi d'impianto applicati e della propagazione dell'onda sonora. Si studia poi l'interazione tra i vari elementi del sistema mediante la definizione e la risoluzione di equazioni dinamiche in grado



## centro di ricerca

di descrivere la trasmissione del calore e dei flussi d'aria ed esso relativi. In questo caso i software utilizzati sono: *Trnsys*, *Energy Plus*, *Doe* ed *Ecotect*.

2. Un altro sistema di simulazione consiste nell'utilizzo di programmi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) come *Fluent* che permettono di verificare la velocità, la pressione e la temperatura dei fluidi in movimento all'interno dell'edificio sia in caso di ventilazione naturale che forzata.

In conclusione con questi programmi di simulazione avanzata si può prevedere, già nella fase progettuale e con un'elevata precisione, quale sarà il fabbisogno energetico di un edificio in modo da poter intervenire preventivamente nell'ottimizzazione del suo comportamento termico.

### 9. Committenti, finanziatori e cooperazione con centri di ricerca, università e industrie

Il committente ed i finanziamenti variano in relazione al tipo di progetto: studi di architettura, industrie o istituzioni pubbliche .

### 10. Materiali e sistemi di involucro testati recentemente

Tra i progetti svolti negli ultimi anni dal CENER è particolarmente interessante la realizzazione e il monitoraggio di un camino di ventilazione. L'obiettivo del progetto è sviluppare e successivamente ottimizzare un camino solare convettivo in grado di svolgere una funzione di climatizzazione e ventilazione passiva in edifici ad uso abitativo. Il progetto, iniziato nel maggio 2004, si è articolato in cinque fasi. Nella prima fase sono stati sviluppati dei modelli matematici in grado di valutare la radiazione solare esterna e i fenomeni di conduzione, convezione ed irraggiamento all'interno del camino. Tali informazioni hanno costituito la base per la realizzazione di simulazioni fluidodinamiche computerizzate. Nella seconda fase, a partire dal settembre 2005, è stato realizzato un modello costituito da un container di 4,8 x 2,4 m con un'altezza di 2,60 m e con un camino solare di 5,20 m. Nel novembre 2005 il modello è stato messo in opera in prossimità dei laboratori del CENER e da quel momento viene monitorato mediante un sistema computerizzato. I parametri valutati in questa terza fase, in funzione della radiazione solare, della forza e della direzione del vento sono: la temperatura, la pressione e la velocità di movimento dell'aria. Tali valori sono rilevati sia in diversi punti all'interno del container, che nel camino solare. Nella quarta fase i dati, raccolti e catalogati mediante un sistema di archiviazione dati computerizzata, verranno analizzati al fine di ri-progettare e realizzare un camino solare con prestazioni migliorate che sia anche facilmente adattabile a molteplici tipologie edilizie e climi.



## Test-room: EDIFICIO SPERIMENTALE E OUTDOOR TEST-CELL

**Istituzione o Ditta:** ITC-CNR

**Luogo:** San Giuliano Milanese, Italia

**Progettisti:** ITC-CNR con la consulenza di collaboratori esterni

**Anno di realizzazione:** a partire dagli anni '80, tuttora in evoluzione

**Referenti per l'intervista:** Italo Meroni, Roberto Lollini

### Recapiti:

ITC-CNR

via Lombardia n. 49

20098 San Giuliano Milanese (MI), Italia

www.itc.cnr.it

italo.meroni@itc.cnr.it, roberto.lollini@itc.cnr.it



### 1. Informazioni sull'istituzione o ditta di appartenenza

ITC-CNR (Istituto per le Tecnologie della Costruzione del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Reparto Fisica delle Costruzioni) costituisce una concreta testimonianza dell'impegno istituzionale del CNR per la ricerca e la sperimentazione nel settore delle costruzioni. L'attività dell'ITC è costituita da ricerche e servizi ad alto contenuto scientifico e tecnologico svolte con organismi e reti tecnico-scientifiche nazionali ed internazionali.

Le attività del reparto di Fisica delle Costruzioni dell'ITC sono finalizzate al duplice obiettivo della messa a punto di metodologie di verifica del comportamento fisico-tecnico dell'edificio e dei suoi subsistemi e componenti e all'ottenimento, attraverso sperimentazioni originali, di informazioni sul livello prestazionale degli aspetti analizzati. Tale finalità è perseguita attraverso sperimentazioni condotte, sia in opera che in laboratorio, nelle varie aree della fisica delle costruzioni. Particolare attenzione è rivolta alle problematiche ambientali e a tal fine numerose sono le iniziative intraprese tra le quali lo studio e la sperimentazione di tecnologie per lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili (FER), lo sviluppo di

metodi di valutazione della qualità energetica degli edifici, la definizione e l'applicazione di criteri di valutazione e certificazione della sostenibilità ambientale.

### 2. Dimensioni e caratteristiche della test-room

L'ITC-CNR è dotato delle seguenti test-rooms ed attrezzature:

- *Edificio sperimentale multipiano* - per la valutazione delle prestazioni, su scala reale e nelle reali condizioni di funzionamento, di sistemi e componenti di involucro edilizio e di impianti tecnologici innovativi.
- *Outdoor test cell* - per la valutazione delle prestazioni, nelle reali condizioni di funzionamento, di tecnologie di involucro innovative, verticali, orizzontali ed inclinate in particolare a gestione solare.
- *Camere calde con anello di guardia* - per la misurazione della trasmittanza termica di componenti tradizionali e la valutazione prestazionale di sistemi innovativi anche complessi, quali: elementi multistrato, facciate, finestre, profili di serramenti (EN ISO 8990, UNI EN ISO 12567-1, EN 12412-2).
- *Piastra calda con anello di guardia* (ISO

8302) e *termoflussimetro* (ISO 8301) - per la misurazione della conduttività termica e della resistenza termica di materiali isolanti (UNI EN 12667, UNI EN 12664, UNI EN 12939).

- *Camere termoigrometriche* - per la valutazione delle prestazioni di sistemi di isolamento applicabili all'esterno dell'edificio attraverso l'esecuzione di cicli caldo-freddo e caldo-pioggia (ETAG 004).

L'ITC-CNR dispone inoltre di sistemi di monitoraggio, sia wireless che tradizionali, utilizzati per la misurazione in opera dei parametri microclimatici caratteristici per la valutazione della qualità ambientale degli spazi abitati, delle condizioni di funzionamento dell'edificio nel suo complesso e delle prestazioni degli impianti in esso contenuti (caldaie, dispositivi di regolazione, unità terminali di riscaldamento e raffrescamento). L'istituto dispone inoltre di termografi all'infrarosso utilizzati per l'analisi in opera delle irregolarità termiche dell'edificio, quali ponti termici, delaminazioni, infiltrazioni, ecc. L'attività di ricerca è supportata dall'utilizzo di modelli matematici e specifici strumenti per la valutazione e certificazione delle prestazioni energetiche degli edifici oltre che di componenti



centro di ricerca



e sub-sistemi (modelli dinamici, agli elementi finiti e quasi-statici o a bilancio) e per la verifica del livello di sostenibilità ambientale delle costruzioni (GBTtool e semplificazioni derivate).

### 3. Orientamento rispetto ai punti cardinali

Relativamente alle facility esterne gli assetti sperimentali sono ad orientamento fisso con esposizione sud per le *test-cell* ed in tutti i punti cardinali per l'edificio multipiano.

### 4. Sistemi e componenti oggetto di analisi

Impianti di climatizzazione innovativi e materiali, sistemi e componenti di involucro.

### 5. Scala degli elementi testati

I componenti per l'involucro sono realizzati in piccole porzioni a scala reale rappresentative dell'intera facciata, mentre i componenti dell'impianto vengono inseriti in un contesto reale adeguatamente strumentato e monitorato.

### 6. Durata di un ciclo di test

Da un giorno (se le prestazioni che si intendono valutare sono indipendenti dai carichi ambientali e dalle dinamiche del

sistema edificio-impianto) a qualche mese (se si intende valutare gli effetti di sistemi di involucro e di impianto in termini di consumi stagionali e di comfort termo-igrometrico indotto).

### 7. Parametri e metodologie

Tutti i parametri ambientali, energetici e di comfort termo-igrometrico (PPD e PMV), acustico, illuminotecnica, con specifici sistemi: stazioni meteo, sistemi di monitoraggio wireless e via cavo in grado di misurare tutte le grandezze caratteristiche dei sistemi di involucro e degli impianti in esame e gli indicatori di comfort secondo la normativa tecnica vigente.

### 8. Documentazione delle misurazioni e software utilizzati

Le misurazioni vengono documentate attraverso specifici report tecnici, che riportano i principali risultati delle sperimentazioni e i dati grezzi acquisiti attraverso sistemi di gestione, che utilizzano Software specificatamente sviluppati (internamente o da parte di soggetti terzi in funzione di precise specifiche ITC) e commerciali, quali *Labview*, *Winlog* e *Olimpo* di *Micros*. Le simulazioni termodinamiche

preventive vengono invece effettuate con i software *Design Bilder* e *Energy Plus*.

### 9. Committenti, finanziatori e cooperazione con centri di ricerca, università e industrie

I committenti sono diversi: Commissione Europea, Ministeri, Regioni, Amministrazioni locali, imprese del settore. Le attività sono finanziate dai committenti stessi ed in alcuni casi con un cofinanziamento del CNR. La cooperazione tra industrie e centri di ricerca nazionali ed internazionali avviene attraverso la stipula di specifici accordi, contratti, convenzioni o incarichi.

### 10. Materiali e sistemi di involucro testati recentemente

Materiali isolanti di origine chimica e naturale, sistemi di isolamento esterno degli edifici (cappotti), serramenti, facciate tradizionali e dinamiche, (passive, attive o ibride), coperture e moduli di copertura dinamici, sistemi di involucro a controllo attivo del rumore, dispositivi di controllo e regolazione automatica degli impianti tecnologici ai fini del risparmio energetico e della massimizzazione del comfort, sistemi di cogenerazione e sistemi di produzione del calore innovativi.



## Test-room: LABORATORIO DELLE ENERGIE RINNOVABILI

**Istituzione o Ditta:** Dipartimento di Energetica - UNIVPM

**Luogo:** Ancona, Italia

**Progettisti:** Paolo Principi, Costanzo di Perna

**Anno di realizzazione:** 2002

**Referenti per l'intervista:** Paolo Pincipi, Roberto Fioretti

### Recapiti:

Università Politecnico delle Marche - Dipartimento di Energetica  
P.zza Roma 22,  
60121 Ancona, Italia  
www.energetica.univpm.it  
r.fioretti@univpm.it



### 1. Informazioni sull'istituzione o ditta di appartenenza

Il Dipartimento di Energetica della Facoltà di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche svolge attività di ricerca scientifica, didattica universitaria ed attività per conto terzi nelle aree di energetica, macchine, termodinamica e termocinetica applicate, fluidodinamica, impianti industriali e civili, acustica applicata ed illuminotecnica, bioingegneria e biotecnologie agrarie, sistemi naturali di riciclaggio e depurazione, anche nell'ambito di collaborazioni, contratti e convenzioni con CNR., ENEA, CEE, enti

pubblici ed aziende private.

I docenti e lo staff tecnico svolgono attività di consulenza nei seguenti campi: test di materiali, pianificazione energetica, protezione dell'ambiente, ingegneria meccanica, ingegneria termica, impianti meccanici e termofluidodinamica.

### 2. Dimensioni e caratteristiche della test-room

Il Dipartimento di Energetica è dotato di una camera ventilata (con dimensioni in pianta di 4,40 x 3,30 m e un'altezza di 2,70 m) e di un'area verde, esterna alla facoltà, per il

monitoraggio di elementi in scala reale.

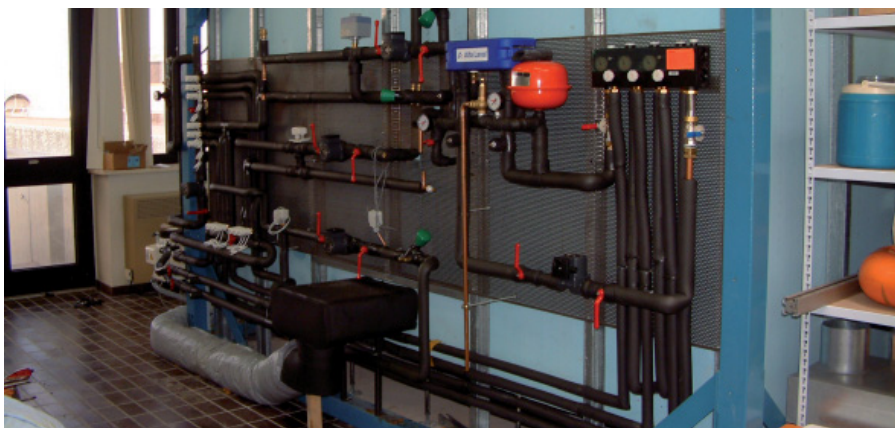
Nel terreno di 5000 mq, situato nella Zona Baraccola di Ancona, sono presenti: un lago solare con il relativo edificio per la desalinazione, 6 box per la sperimentazione di chiusure verticali esterne, 2 box con sistemi radianti a pavimento contenenti PCM (materiali a cambiamento di fase) e 1 edificio per la sperimentazione di tetti ventilati.

### 3. Orientamento rispetto ai punti cardinali

La camera ventilata, contenuta all'interno del dipartimento, è un ambiente introverso che serve a creare condizioni climatiche







prestabilite. Il suo orientamento, quindi, non influenza in alcun modo i test che vengono svolti all'interno. I box per il testaggio di elementi in scala reale, invece, sono orientati in modo che le quattro facciate siano rivolte verso i punti cardinali. Le facciate-test sono rivolte verso sud.

#### 4. Sistemi e componenti oggetto di analisi

Nella camera ventilata vengono testati: diffusori, dislocatori, bocchette per la ventilazione, pannelli radianti e sistemi di facciata. Nei box in scala reale viene analizzato e monitorato il comportamento di componenti edilizi quali sistemi di facciata, di pavimentazione e di copertura.

#### 5. Scala degli elementi testati

Nella camera ventilata vengono testati elementi in scala ridotta, mentre i sistemi monitorati nei box hanno dimensioni reali.

#### 6. Durata di un ciclo di test

Nella camera ventilata, grazie alla possibilità di creare condizioni climatiche prestabilite, è possibile effettuare dei test di breve durata, mentre i box sono sottoposti ad un monitoraggio continuo durante tutto l'arco dell'anno.

#### 7. Parametri e metodologie

I parametri monitorati e valutati sono: temperature superficiali, interstiziali e dell'aria, flussi termici attraverso l'involucro, velocità dell'aria e consumi dell'impianto di climatizzazione.

Nell'area dei box vengono monitorati anche i parametri climatici esterni quali: radiazione globale e diretta, velocità e direzione del vento, temperatura e umidità dell'aria, precipitazioni e illuminazione. I parametri interni sono misurati attraverso l'utilizzo di: termoresistenze, termocoppie, flussometri, contatori di energia, anemometri a filo o sfera calda. Per i parametri esterni invece vi è una centralina climatica dotata di: eliofanometro, radiometro, anemometro a coppe, termometro con sonda PT100 schermata, igrometro capacitivo e misuratore di precipitazione.

#### 8. Documentazione delle misurazioni e software utilizzati

Le misurazioni e le analisi svolte nella camera ventilata sono gestite mediante dei Software quali: *LabView* e *WorkBench*. I differenti strumenti utilizzati, sia nella camera ventilata che nei box, sono spesso dotati di un proprio Software come ad esempio *Delogger* per *Dataaker*. I dati rilevati vengono poi elaborati in *Microsoft Excel*, mentre il database è gestito con *Microsoft Access*. Le simulazioni termodinamiche preventive vengono effettuate con *Trnsys* ed *Energy Plus*.

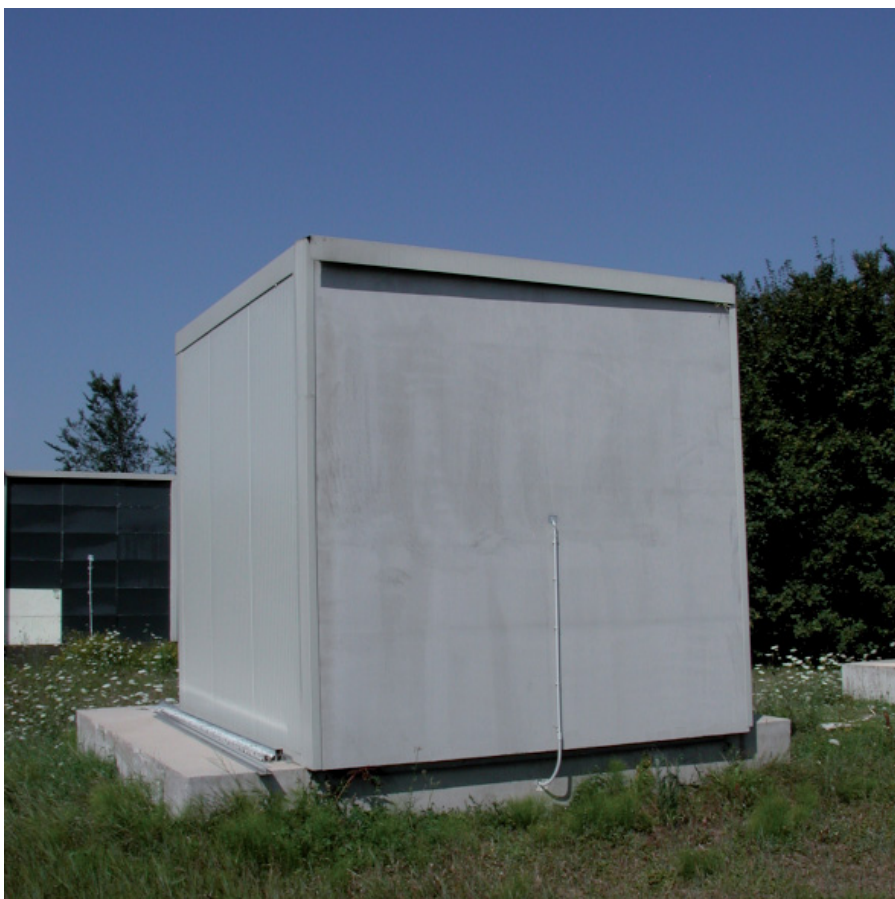
#### 9. Committenti, finanziatori e cooperazione con centri di ricerca, università e industrie

Le attività svolte dal Dipartimento di Energetica

si inseriscono generalmente in progetti di ricerca finanziati da enti regionali, nazionali e internazionali, ma possono anche essere svolte nell'ambito di collaborazioni con centri di ricerca o aziende private.

#### 10. Materiali e sistemi di involucro testati recentemente

Tra le ricerche svolte dal Dipartimento di Energetica negli ultimi anni sono di particolare interesse quelle riguardanti il monitoraggio e il miglioramento delle prestazioni di sistemi edilizi come partizioni orizzontali e verticali esterne contenenti materiali a cambiamento di fase di diversa natura quali: sali idrati e paraffine con differenti temperatura di fusione (24,32,36,48°C).



## Test-room: SOLARSTATION

**Istituzione o Ditta:** Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik - TUM

**Luogo:** Monaco di Baviera, Germania

**Progettisti:** Thomas Herzog, Daniel Westenberger

**Anno di realizzazione:** 2000

**Referente per l'intervista:** prof. Thomas Herzog

### Recapiti:

Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik - TUM  
Arcisstrasse 22,  
80333 München, Germania  
www.tum.de  
hausladen@lrz.tu-muenchen.de



### 1. Informazioni sull'istituzione o ditta di appartenenza

Con la consapevolezza che la costruzione, il mantenimento e la dismissione degli edifici costituiscono il 50% del fabbisogno d'energia primaria mondiale, il Lehrstuhl für Gebäudetechnologie della Technische Universität di Monaco ha indirizzato il suo campo di ricerca nell'ambito del risparmio energetico ottenuto mediante l'utilizzo di fonti rinnovabili di energia e di materiali edili riciclabili. Riconoscendo all'involucro edilizio un ruolo di centrale importanza per il contenimento energetico, si è deciso di realizzare una *Stazione Solare* in cui testare sistemi e componenti di facciata al fine di monitorarne e migliorarne le prestazioni.

Dall'ottobre del 2006 a seguito della chiusura del Lehrstuhl für Gebäudetechnologie la Solarstation è rimasta inattiva per alcuni anni e dalla metà del 2008 viene utilizzata da alcuni dottorandi del Lehrstuhl für Bauklimatik und

Haustechnik per testare sistemi innovativi di schermatura solare.

### 2. Dimensioni e caratteristiche della test-room

La stazione solare è costituita da una costruzione temporanea realizzata sulla terrazza nord dell'edificio principale della TUM. Tale localizzazione è stata mutuata non solo dalla vicinanza ai laboratori della facoltà, ma in particolar modo dall'esigenza di evitare l'ombreggiamento dei box di testaggio da parte di edifici o della vegetazione. La stazione è costituita da una piattaforma sorretta da una struttura a traliccio in acciaio, su cui poggiano 3 box per le misurazioni. La piattaforma è schermata dal vento da una rete in acciaio inox, che ha anche una funzione di balaustra e fornisce alla stazione la sua caratteristica forma ellissoidale visibile dall'adiacente Alte Pinakothek. I box di monitoraggio sono realizzati con una struttura

leggera coibentata che permette di sostituire facilmente l'involucro delle facciate orientate verso sud in modo da poter sviluppare e testare diversi sistemi e componenti. Sotto la piattaforma è stato posizionato un container in legno per la preparazione e la registrazione degli esperimenti.

### 3. Orientamento rispetto ai punti cardinali

Le facciate-test dei tre box di monitoraggio sono orientate verso sud.

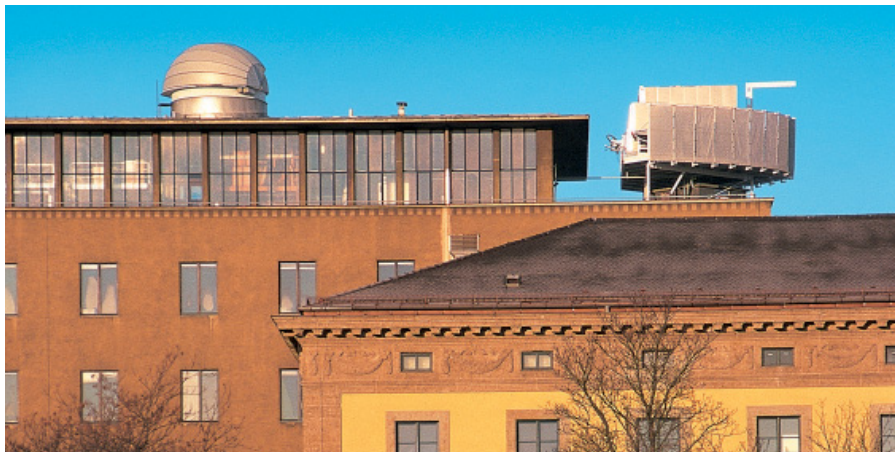
### 4. Sistemi e componenti oggetto di analisi

Nella Solarstation sono testati sistemi e componenti di facciata, le cui prestazioni energetiche sono valutate in relazione alle condizioni di benessere degli ambienti retrostanti.

### 5. Scala degli elementi testati

Gli esperimenti svolti presso la stazione solare sono di tipo termico ed ottico. Al contrario





degli esperimenti termici che devono essere svolti in una cellula volumetrica in scala reale, negli esperimenti ottici è possibile effettuare delle misurazioni quantitative su modelli in scala. Di conseguenza il box centrale per le analisi termiche è costituito da un ambiente dalle dimensioni di uno spazio lavorativo per una persona in scala 1:1 (3,50 x 3,60 m e un'altezza di 2,70 m), mentre i due box laterali per le indagini ottiche (in grado di ruotare orizzontalmente e di variare quindi la loro posizione rispetto agli assi cardinali) riprendono le proporzioni del box principale ma sono in scala 1:2,5. Tale dimensione, motivata da esigenze di spazio, permette comunque di mantenere una relazione volumetrica tra il box maggiore e i due minori.

#### 6. Durata di un ciclo di test

La durata di un ciclo di test varia in base all'elemento da testare e al tipo di indagine richiesta. Si tratta comunque di un arco

temporale compreso tra un paio di mesi ed un anno.

#### 7. Parametri e metodologie

Sulla piattaforma vengono raccolti, con specifiche direzioni di misurazione, una serie di dati climatici quali: temperatura, radiazione solare, intensità di illuminazione, forza e direzione del vento. Contemporaneamente nei box di monitoraggio vengono svolte una serie di simulazioni termiche ed ottiche al fine di verificare i dati ottenuti teoricamente. I risultati delle simulazioni vengono a loro volta convalidati da analisi pratiche.

#### 8. Documentazione delle misurazioni e software utilizzati

I valori misurati sono raccolti automaticamente da un sistema informatico di archiviazione dati contenuto nel container in legno sotto la piattaforma. Le simulazioni sono realizzate con i Software *Trnsys*, *Radiance* e *Ida*.

#### 9. Committenti, finanziatori e cooperazione con centri di ricerca, università e industrie

Le attività svolte presso la stazione solare sono finanziate con fondi elargiti da enti regionali, nazionali o internazionali nell'ambito di specifici progetti di ricerca. Tali attività, curate generalmente da dottorandi e ricercatori, sono spesso svolte in collaborazione con altre università, centri di ricerca e industrie produttrici di sistemi e componenti per facciate.

#### 10. Materiali e sistemi di involucro testati recentemente

Il Lehrstuhl für Gebäudetechnologie in collaborazione con l'ISE e lo ZAE-Bayern ha condotto una serie di ricerche nell'ambito dell'uso della luce diurna, degli isolanti traslucidi e sotto vuoto, delle membrane pluristrato, dei materiali rigenerabili e dei serbatoi termici con particolare interesse allo loro applicazione in edifici realizzati con tecnologie leggere.



## Test-room: QUATERNARIO CAMPUS

**Istituzione o Ditta:** Permasteelisa Group

**Luogo:** S. Vendemiano (TV), Italia

**Progettisti:** Permasteelisa Group

**Anno di realizzazione:** 1999 10 test-rooms, 2005 Banco Prova.

**Referenti per l'intervista:** Giampiero Manara, G. Mantese

### Recapiti:

Permasteelisa Research & Engineering

31029 Vittorio Veneto (TV), Italia

www.permasteelisa.it

g.manara@permasteelisa.com, g.mantese@permasteelisa.com

### 1. Informazioni sull'istituzione o ditta di appartenenza

Permasteelisa Group è un'impresa leader nello sviluppo, nella progettazione e nella realizzazione di facciate a doppia pelle e impianti di climatizzazione. Test rooms e Banchi Prova a grandezza naturale per il monitoraggio del consumo energetico, delle condizioni ambientali interne e per la verifica della rispondenza alle sollecitazioni degli agenti esterni, costituiscono ormai da parecchi anni parte integrante del sistema produttivo delle facciate Permasteelisa che, oltre a valutare i propri prodotti in fase progettuale con simulazioni sperimentali teoriche, prima di metterli in produzione, ne verifica le prestazioni reali, sia da un punto di vista energetico che strutturale.

### 2. Dimensioni e caratteristiche della test-room

Permasteelisa è dotata di 10 test-rooms in grandezza naturale, per il monitoraggio delle condizioni ambientali e del consumo energetico, e di 2 Banchi Prova per verifiche statiche e dinamiche della resistenza alle sollecitazioni esterne.

Le test-rooms per prove energetiche sono organizzate in 5 settori ognuno dei quali è costituito da 2 test-rooms:

#### - Active Wall

Test-room 01. Facciata vetrata a doppia pelle, ventilata meccanicamente con aria di ripresa, tende a rullo con funzione di pelle interna, travi dinamiche nel controsoffitto e pannello radiante a pavimento.

Test-room 08. Facciata vetrata a doppia pelle, ventilata meccanicamente con aria di ripresa, tende veneziane nell'intercapedine, travi dinamiche nel controsoffitto e pannello radiante a pavimento.

#### - Interactive Wall

Test-room 02. Facciata vetrata a doppia pelle, cavità ventilata meccanicamente con aria esterna, micro-ventilatori, tende veneziane nella cavità, celle fotovoltaiche integrate nella zona marcapiano e soffitto radiante.

Test-room 09. Facciata vetrata a doppia pelle, cavità ventilata meccanicamente con aria esterna, micro-ventilatori, tende veneziane nella cavità, celle fotovoltaiche integrate nella zona marcapiano e travi dinamiche incorporate nel controsoffitto.

#### - Shading Wall

Test-room 03. Facciata vetrata a doppia pelle e fan-coil a pavimento nel perimetro, cavità ventilata naturalmente, flaps per il controllo della ventilazione basato sulla temperatura, protezioni solari nella cavità (veneziane + alette con celle fotovoltaiche), scambiatori di calore locali in facciata, e pavimento radiante.

Test-room 10. Facciata vetrata a doppia pelle e fan-coil a pavimento nel perimetro, cavità ventilata naturalmente, flaps per il controllo della ventilazione basato sulla temperatura, protezioni solari nella cavità (tende a rullo), scambiatori di calore locali in facciata e pavimento radiante.

#### - Bioclimatic Wall

Test-room 04. Facciata con doppia vetrocamera, tende a rullo esterne, balcone con piante per schermatura dai carichi solari e pareti radianti.

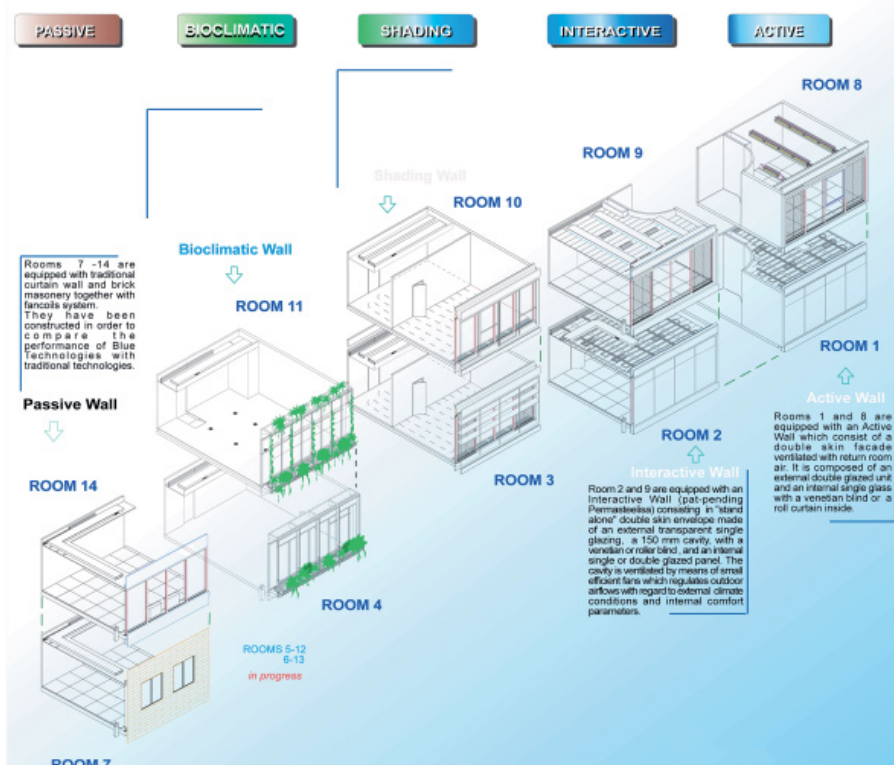
Test-room 11. Facciata con vetrocamera ad alte prestazioni, tende veneziane esterne con lamine larghe, balcone con piante per schermatura dai carichi solari, contropavimento con ventilazione a dislocamento e soffitto radiante con microtubi.

#### - Passive

Test-room 07. Facciata in muratura di



### AXONOMETRIC VIEW OF THE QUATERNARIO CAMPUS 10 experimental lab rooms completed



industria



mattoni, finestre con vetratura ad alta prestazione, tende veneziane interne e fan-coils sotto le finestre.

Test-room 14. Facciata tradizionale completamente vetrata, controllo della radiazione solare tramite una schermatura interna avvolgibile, unità di ventilazione tradizionale a quattro tubi nella zona perimetrale.

Le test-room 07 e 14 sono state costruite per comparare facciate avanzate con tecnologie tradizionali.

### 3. Orientamento rispetto ai punti cardinali

Le test-rooms per il monitoraggio energetico-ambientale hanno la facciata-test orientata verso sud-sudest.

### 4. Sistemi e componenti oggetto di analisi

Sistemi di facciate a doppia pelle per lo più vetrate e impianti di climatizzazione progettati e sviluppati dalla Permasteelisa, ma non ancora messi in produzione.

### 5. Scala degli elementi testati

Facciate in scala 1:1.

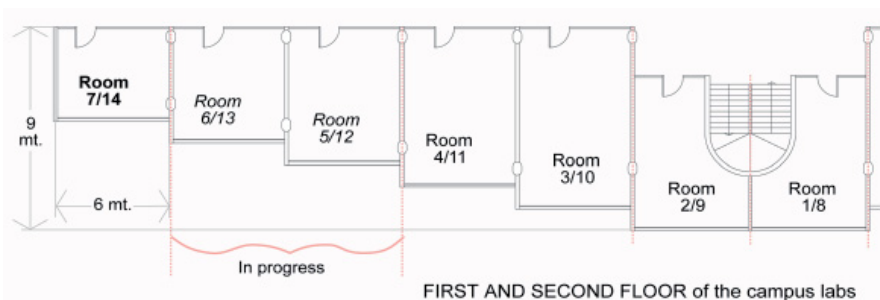
### 6. Durata di un ciclo di test

Le test-rooms per le analisi energetico-ambientali sono costantemente monitorate dal momento della loro costruzione.

### 7. Parametri e metodologie

Nelle test-rooms per il monitoraggio energetico-ambientale i parametri misurati internamente sono: la temperatura dell'aria (in 9 punti), le temperature di facciata (a 3 differenti altezze), le temperature nelle cavità (a 3 differenti altezze), l'umidità relativa, la radiazione solare trasmessa, la portata d'aria in ingresso e in uscita e la relativa temperatura, la portata d'acqua ingresso/uscita e le relative temperature.

I parametri misurati esternamente sono: l'irraggiamento solare totale sulla verticale, l'irraggiamento ad onda lunga sulla verticale, l'illuminamento sull'orizzontale, la temperatura a bulbo secco, l'umidità relativa e la velocità e



direzione del vento.

### 8. Documentazione delle misurazioni e software utilizzati

Dal giugno 2001 nelle test-rooms per il monitoraggio energetico-ambientale sono generati automaticamente dal sistema informatico dei reports settimanale sul consumo di energia. In questo modo si ha un monitoraggio in tempo reale delle performances delle differenti facciate. Tali report settimanali assommano dati meteorologici su cadenza oraria, come irradiazione solare, temperatura a bulbo secco esterna, umidità relativa e consumo energetico di ogni test room e li comparano alle performances delle facciate. (A tale scopo è necessaria una normalizzazione del consumo energetico in relazione alle

dimensioni delle test-rooms e alle condizioni ambientali). Le misurazioni hanno anche lo scopo di validare i modelli energetici elaborati in maniera teorica in precedenza al fine di studiare parametri e soluzioni alternative.

### 9. Committenti, finanziatori e cooperazione con centri di ricerca, università e industrie

Trattandosi di un'industria la ricerca è finalizzata al miglioramento prestazionale dei prodotti prima della loro immissione sul mercato, di conseguenza la ricerca è autofinanziata.

### 10. Materiali e sistemi di involucro testati recentemente

Alcuni esempi di sistemi di facciata prodotti sono pubblicati in [www.permasteelisa.it](http://www.permasteelisa.it).





## 2.2 Prodotti per l'involucro edilizio ad elevate prestazioni energetiche sviluppati in Europa centrale: VIP, TIM e PCM

I paesi europei leader nello sviluppo di tecnologie per l'edilizia ad alta efficienza energetica sono la Germania, l'Austria e la Svizzera. Un clima particolarmente rigido nei mesi invernali, che accomuna questi paesi e rende la riduzione delle dispersioni termiche un requisito imprescindibile nella progettazione degli edifici, combinato ad agevolazioni fiscali per coloro che utilizzano fonti rinnovabili di energia e a campagne di sensibilizzazione portate avanti da decenni dalla pubblica amministrazione, ha fatto sì che questi stati dell'Europa centrale risultino all'avanguardia nello sviluppo e nella sperimentazione di prodotti ad alta efficienza energetica per l'involucro edilizio.

Un'altra caratteristica che accomuna questi paesi è una tradizione costruttiva che, a differenza di quella mediterranea, non è legata ad un'architettura massiva in pietra dall'elevata inerzia termica, ma ad un sistema strutturale puntiforme assemblato a secco, spesso in legno, in cui il comfort ambientale interno è affidato alle prestazioni termiche di tamponamenti leggeri. Di conseguenza le ricerche - svolte da università, centri di ricerca ed industrie dell'Europa centrale, su materiali e prodotti per l'edilizia - hanno indirizzato il loro campo di azione allo sviluppo di sistemi di involucro in grado di combinare spessore e peso ridotti ad elevate prestazioni termo-igrometriche, acustiche e visive.

Un contributo fondamentale allo sviluppo di sistemi di involucro innovativi è stato dato dal trasferimento al settore dell'edilizia di materiali e prodotti altamente specializzati provenienti da altri campi di applicazione come l'industria chimica e frigorifera, l'aeronautica e l'ingegneria aerospaziale. Negli ultimi anni, infatti, alcune industrie - che non operano direttamente nel campo dell'edilizia, ma che hanno sviluppato materiali e prodotti innovativi ad alte prestazioni energetiche, progettati per mantenere invariate tali prestazioni in condizioni climatiche estreme - hanno ipotizzato l'applicazione dei loro materiali e prodotti nel campo dell'edilizia. A tal fine le stesse industrie produttrici hanno indetto concorsi di idee rivolti ad architetti o hanno svolto delle ricerche in collaborazione con facoltà di architettura e centri di ricerca, con l'obiettivo di sviluppare sistemi di involucro innovativi in cui fossero integrati i materiali ed i prodotti ad alte prestazioni da esse commercializzati.

Dalle ricerche e dai concorsi promossi sono nate delle fruttuose collaborazioni tra industrie e centri di ricerca, tra specialisti nella chimica dei materiali e progettisti, che hanno portato allo sviluppo di sistemi di involucro edilizio innovativi dotati non solo di un livello di efficienza energetica ampiamente superiore a quello degli involucri edilizi comunemente utilizzati, ma anche di un'elevata qualità architettonica e cura del dettaglio tecnologico.

I sistemi sviluppati, prima di essere commercializzati, sono stati sottoposti a numerosi test di durabilità e ad accurati monitoraggi svolti nelle test-rooms dei principali centri di ricerca dell'Europa centrale su prototipi in scala 1:1.

Con i dati ottenuti dalle misurazioni è stato possibile valutare, in un regime dinamico, quale fosse il contributo dell'involucro al raggiungimento della condizione di comfort ambientale nello spazio interno della test-room. In base ai risultati dei monitoraggi sono state effettuate delle modifiche ai sistemi analizzati al fine di ottimizzarne le prestazioni energetiche, fino alla messa a punto dei prodotti definitivi che sono stati commercializzati negli ultimi anni dalle stesse industrie promotrici dei concorsi e delle ricerche.

Tra i numerosi materiali, prodotti e sistemi innovativi per l'involucro edilizio innovativi, sviluppati con il supporto di tecnologie provenienti da altri settori e commercializzati negli ultimi anni nei paesi dell'Europa centrale, ve ne sono alcuni - dotati di prestazioni termo-igrometriche elevate - che si ipotizza possano risultare energeticamente efficienti anche nel Sud Europa in quanto rispondenti ai parametri prestazionali, sia statici che dinamici, necessari al raggiungimento della condizione di comfort ambientale.

Tali sistemi di involucro infatti, non solo sono stati ottimizzati per garantire un comfort climatico interno limitando l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili nel periodo invernale, ma nella loro valutazione e nel monitoraggio nelle test-rooms è stato preso in considerazione anche il loro funzionamento energetico nei mesi estivi.

Per determinare quali tra i sistemi di involucro edilizio innovativi, sviluppati in Europa centrale e non ancora commercializzati nel Sud Europa, potrebbero risultare energeticamente efficienti anche in questa zona climatica, è stata effettuata una selezione in base alle *energy performances* precedentemente definite.

Dall'analisi delle caratteristiche tecniche e delle prestazioni energetiche indicate nelle schede prodotto e con il supporto di informazioni suppletive, ottenute mediante colloqui diretti con le industrie produttrici, sono stati selezionati i prodotti innovativi per l'involucro edilizio in grado di combinare spessore e peso ridotti, possibilità di assemblaggio a secco, qualità tecnica, reversibilità ad una trasmittanza termica ridotta, a valori di sfasamento ed attenuazione nella trasmissione del calore elevati e (nel caso in cui tali informazioni fossero reperibili) ad una sufficiente efficacia ecologica.



La selezione così effettuata ha portato all'individuazione di tre categorie di prodotti, che si ipotizza possano essere applicati con successo in edifici energeticamente efficienti localizzati nel Sud Europa:

#### - VIP (Vacuum Insulation Panels)

Pannelli isolanti sotto vuoto dotati di una conducibilità termica fino a dieci volte inferiore rispetto a quella dei materiali isolanti normalmente utilizzati in edilizia.



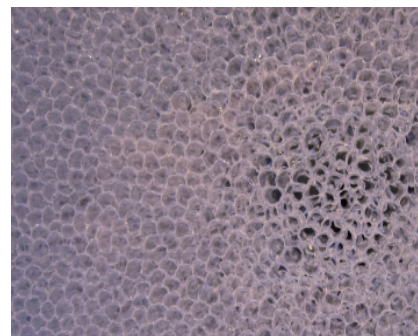
Pannello isolante sottovuoto. Fonte: Variotec.

#### - TIM (Transparent Insulation Materials)

Materiali isolanti trasparenti o traslucenti utilizzati per la realizzazione di involucri edilizi traslucenti o opachi.

Combinati a vetrate ad elevate prestazioni termiche e infissi di ultima generazione, sono in grado di fornire agli ambienti interni un'illuminazione diffusa a largo spettro limitando le elevate dispersioni termiche che generalmente caratterizzano gli involucri vetrati.

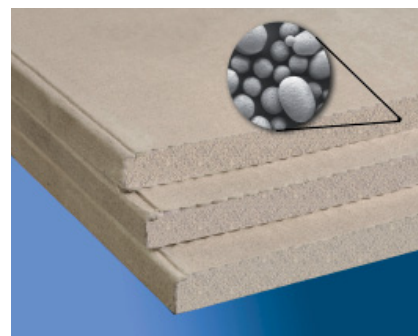
Addossati esternamente ad involucri edilizi opachi, nonostante il loro spessore ridotto, ne aumentano notevolmente la resistenza termica e l'inerzia termica.



Isolante traslucente capillare.

#### - PCM (Phase Changing Materials)

Materiali a cambiamento di fase in grado di assorbire elevate quantità di energia termica senza aumentare la propria temperatura e di restituirla all'esterno nel tempo, conseguentemente ad un abbassamento della temperatura ambientale. I PCM sono dotati di un'elevata inerzia termica, indipendente dallo spessore dell'involucro.



Pannello in cartongesso con capsule contenenti materiali a cambiamento di fase. Fonte: BASF.

Le tre categorie di prodotti per l'involucro edilizio selezionate verranno presentate analizzandone la provenienza, le applicazioni nel settore dell'edilizia, le sperimentazioni in corso, le potenzialità e le criticità.

La parte didascalica sarà inoltre corredata da schede prodotto in cui verranno analizzate le prestazioni tecnologiche ed energetiche di tutti i prodotti per l'involucro edilizio, appartenenti alle categorie VIP, TIM e PCM, attualmente disponibili nel mercato europeo.

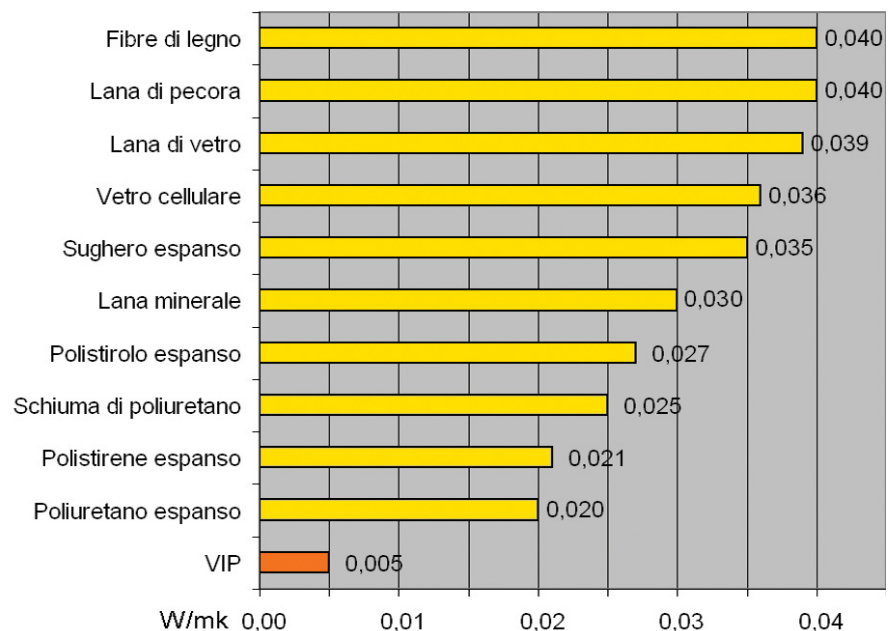
## VIP - Vacuum Insulation Panels. Potenzialità e limiti per un'applicazione in edilizia

A seguito dell'emanazione dei recenti decreti attuativi nazionali, che hanno stabilito dei valori limite di trasmittanza termica degli involucri edilizi differenziati in relazione alla zona climatica di appartenenza, si è riscontrato un incremento della ricerca e della produzione nel settore dei materiali isolanti.

Un notevole aumento del livello prestazionale degli isolanti termici è stato ottenuto grazie all'applicazione in edilizia di un prodotto proveniente dall'industria frigorifera: i VIP (Vacuum Insulation Panels). L'innovazione in grado di fornire ai VIP delle prestazioni di resistenza termica molto più elevate rispetto a quelle degli isolanti tradizionali consiste nell'utilizzo della tecnologia del sottovuoto. L'aspirazione dell'aria, infatti, determina una diminuzione della conducibilità termica ad 1/10 rispetto a quella che lo stesso materiale avrebbe in condizioni normali.

Se gli isolanti tradizionali affidano la riduzione della trasmittanza termica alla scarsa conducibilità del materiale ( $0,040 \div 0,020$  W/mK) e a quella dell'aria ferma ( $0,021 \div 0,026$  W/mK), che si trova tra una molecola e l'altra all'interno di materiali molto porosi, la creazione del sottovuoto, invece, determina una drastica riduzione delle molecole d'aria e l'impossibilità di urtarsi da parte di quelle che compongono il materiale isolante, limitando notevolmente i fenomeni di trasmissione di energia termica.

L'idea di aspirare l'aria, al fine di creare uno spazio vuoto in cui i fenomeni di trasferimento del calore venissero quasi del tutto annullati, trae le sue origini da un recipiente in vetro argentato a doppia parete ad intercapedine vuota con funzione di isolante termico per contenere liquidi molto freddi, inventato nel 1890 dal chimico e fisico inglese James Dewar. Nel 1904 l'azienda tedesca Thermos ha prodotto e commercializzato i primi recipienti cilindrici sotto vuoto spinto, costituiti



da un'intelaiatura in acciaio inossidabile e una boccetta interna in vetro in grado di sostenere la pressione necessaria all'aspirazione dell'aria pari a  $10\text{t/m}^2$ . La prima applicazione nel campo dell'industria frigorifera si ebbe nel 1971 quando la ditta tedesca Linde AG riuscì a produrre pannelli sottovuoto bidimensionali non più dotati di un supporto in vetro e acciaio bensì inseriti all'interno di "buste" composte da numerosi strati di plastica rivestiti con una lamina metallica e sottoposti ad una pressione di 1 mbar.

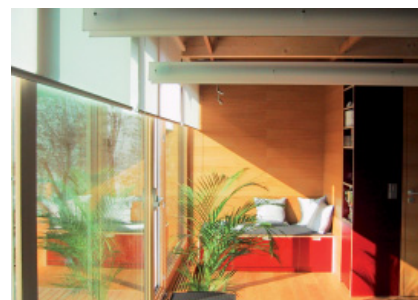
#### *Applicazione dei VIP nel settore dell'edilizia*

L'applicazione dei pannelli isolanti sottovuoto nel settore dell'edilizia è stata ipotizzata per la prima volta alla fine degli anni '90.

In virtù di questo trasferimento tecnologico sono stati intrapresi degli studi su materiali portanti a bassa conducibilità termica in grado di essere sottoposti ad un'elevata pressione per costituire il "nucleo" del pannello e su plastiche e metalli estremamente flessibili e resistenti per la realizzazione dell'"involucro" dal quale viene aspirata l'aria attraverso una valvola al fine di creare il sottovuoto.

Le ricerche effettuate hanno portato alla conclusione che i materiali del nucleo devono essere caratterizzati da un'elevata porosità come ad esempio vetroresina trattata termicamente e successivamente pressata, gomma piuma, polistirolo, poliuretano o polveri siliciche pressate. Altro fattore influente sulle prestazioni del pannello è la grandezza dei pori che compongono il materiale del nucleo: questa deve essere inferiore a 100 nanometri in quanto la sua dimensione risulta essere proporzionale alla pressione in grado di eliminare la conducibilità termica gassosa.

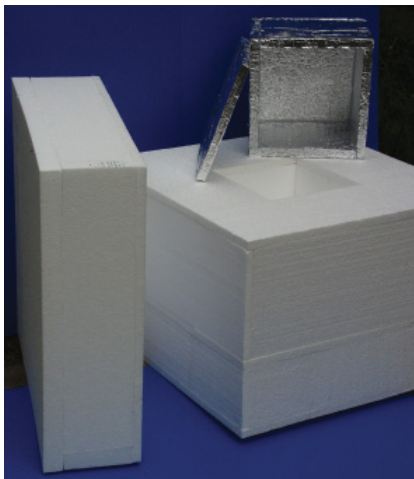
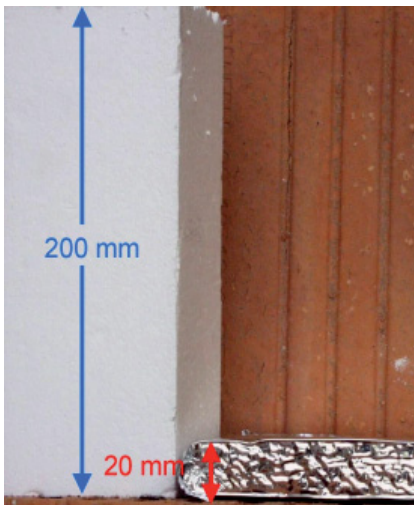
Per quanto riguarda l'involucro del pannello sottovuoto sono stati ottenuti dei risultati soddisfacenti con più strati di plastica rivestiti con acciaio inossidabile o fogli di alluminio. La resistenza del materiale d'involucro è estremamente importante in quanto la sua lacerazione e la conseguente perdita del sottovuoto ridurrebbe le prestazioni



Manuela Skorka, Satellit - modulo abitativo prefabbricato realizzato con pannelli VIP.



- 1 ZAE Bayern: *Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.*
- 2 IBP: *Institut für Bauphysik del Fraunhofer Institut.*



Comparazione di un blocco in polistirolo con un pannello sottovuoto con lo stesso coefficiente di isolamento.

Comparazione di un recipiente in polistirolo con uno in pannelli isolanti sottovuoto avente lo stesso coefficiente di isolamento e la stessa capacità interna.

Foto: Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern, Würzburg, Germania.

dell'isolante fino a 2-3 volte. A tale scopo i pannelli VIP sono spesso provvisti di un rivestimento protettivo esterno realizzato con lana di vetro, schiuma o pannelli di poliuretano.

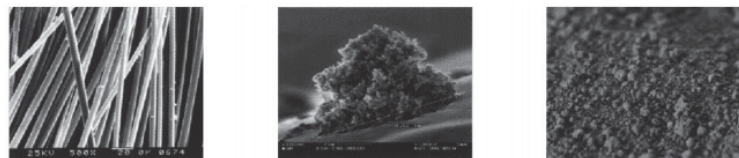
Nell'ultimo decennio alcuni centri di ricerca tedeschi e svizzeri hanno sperimentato e testato la tecnologia dei VIP, con l'intento di verificare una loro possibile applicazione nel settore dell'edilizia. I maggiori risultati sono stati ottenuti dallo ZAE Bayern<sup>1</sup>, di Würzburg con le ricerche coordinate dal prof. Ulrich Heinemann e dall'IBP<sup>2</sup> nelle sue sedi di Holzkirchen e Stoccarda con le sperimentazioni condotte dal gruppo di lavoro del prof. Klaus Sedlbauer.

Tali ricerche hanno portato alla realizzazione di pannelli isolanti, con un nucleo composto da polvere pressata di biossido di silicio  $\text{SiO}_2$  ed

un involucro in plastica ed alluminio, sottoposti ad una pressione di 100 mbar e privati dell'aria mediante una valvola. I pannelli ottenuti con questo procedimento hanno uno spessore di 1 o 2 cm e sono dotati di una conducibilità termica, compresa tra 0,002 e 0,008 W/mK.

Ricerche portate avanti dalla Porexterm Dämmstoffe GmbH di Kempten Germania, hanno dimostrato che l'utilizzo di una miscela di polveri siliciche per la realizzazione del nucleo del pannello in sostituzione del biossido di silicio è in grado di aumentare ulteriormente le prestazioni termiche e la durabilità del pannello isolante sottovuoto. Le polveri siliciche sperimentate sono composte da un'alta percentuale di biossido di silicio pirogeno combinato a fibre di cellulosa e carburo di silicio, che funge da agente opacizzante. Il biossido di silicio pirogeno, che rappresenta l'elemento innovativo di questo procedimento, è ottenuto sottoponendo a calore e pressione idrogeno  $\text{H}_2$  e tetracloruro di silicio  $\text{SiCl}_4$ . La conseguente reazione chimica fonde gli elementi di base creando una miscela omogenea. Tale composizione chimica del nucleo del pannello combinata all'aspirazione dell'aria che crea la condizione di sottovuoto, determina una considerevole diminuzione della conducibilità termica e una riduzione dei fenomeni di conduzione, convezione ed irraggiamento, che garantisce una conducibilità termica pari a 0,002 W/mK.

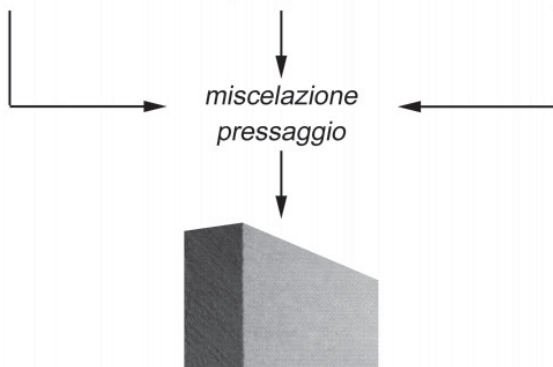
Meccanica di trasmissione del calore:	
CONDUZIONE	Le polveri siliciche che compongono il nucleo dei pannelli VIP sono composte da particelle sferiche molto piccole e dure. Questo tipo di struttura permette movimenti molecolari estremamente ridotti che non favoriscono la trasmissione del calore.
CONVEZIONE	Il processo di aspirazione riduce drasticamente la presenza di molecole d'aria abbassando le probabilità di collisione e limitando l'energia di movimento e la conseguente trasmissione di energia termica.
IRRAGGIAMENTO	La composizione delle polveri siliciche che costituiscono il nucleo dei VIP non favorisce il passaggio dei raggi infrarossi. In particolare il carbonato di silicio funziona da specchio e riflette i raggi IR nella direzione di provenienza.



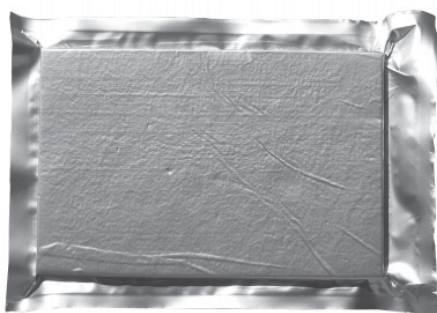
*fibre di cellulosa*

*biossido di silicio  
pirogeno*

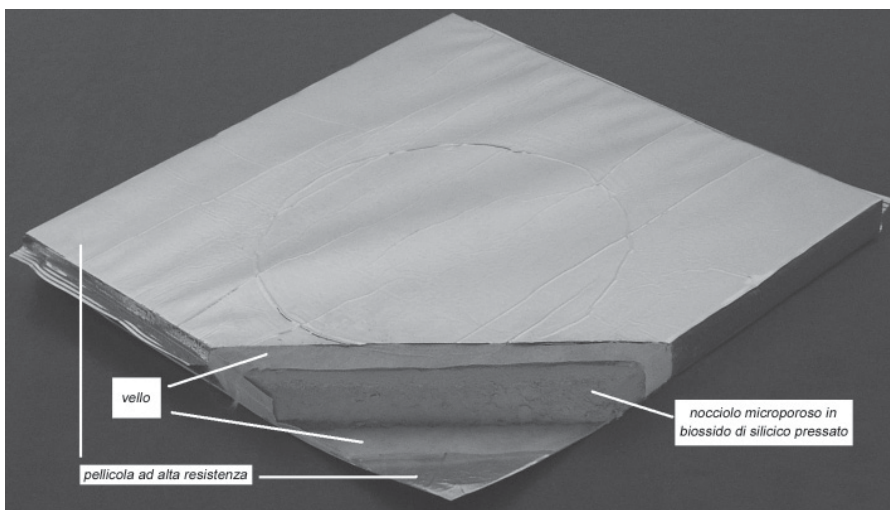
*carburo di silicio*



*taglio - riduzione in pannelli - eventuale asciugatura  
avvolgimento con pellicola ad alta resistenza - aspirazione dell'aria  
attraverso una valvola - taglio della pellicola di rivestimento*

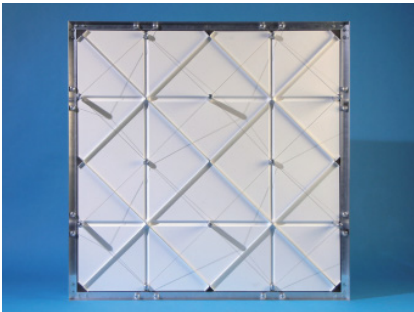
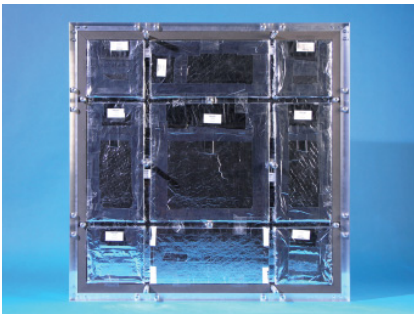
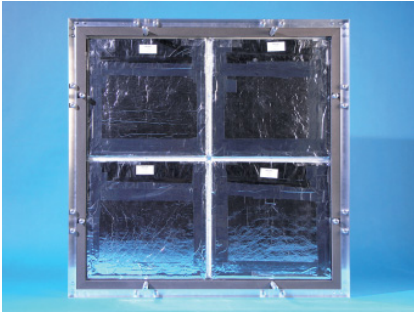


*pannello VIP*



In alto: processo di produzione di pannelli VIP con nucleo in polveri siliciche. Elaborato da documentazione Variotec Sandwichelemente GmbH & Co. KG, Neumarkt, Germania.

A lato: sezione di un pannello VIP  
Fonte: Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern, Würzburg, Germania.



Sistema di facciata sospesa sviluppata nell'ambito della tesi di dottorato di Jan Cremers, TUM, Germania.

Differenti tipologie di sistemi isolanti sotto vuoto opachi e trasparenti. Fonte: Dr. Jan Cremers, München.

### Le sperimentazioni in corso

Sperimentazioni sull'applicazione degli isolanti sotto vuoto in edilizia sono portate avanti, oltre che dalle ditte produttrici di VIP, anche da alcune università tedesche come quelle di Rostock, Stoccarda e Monaco di Baviera.

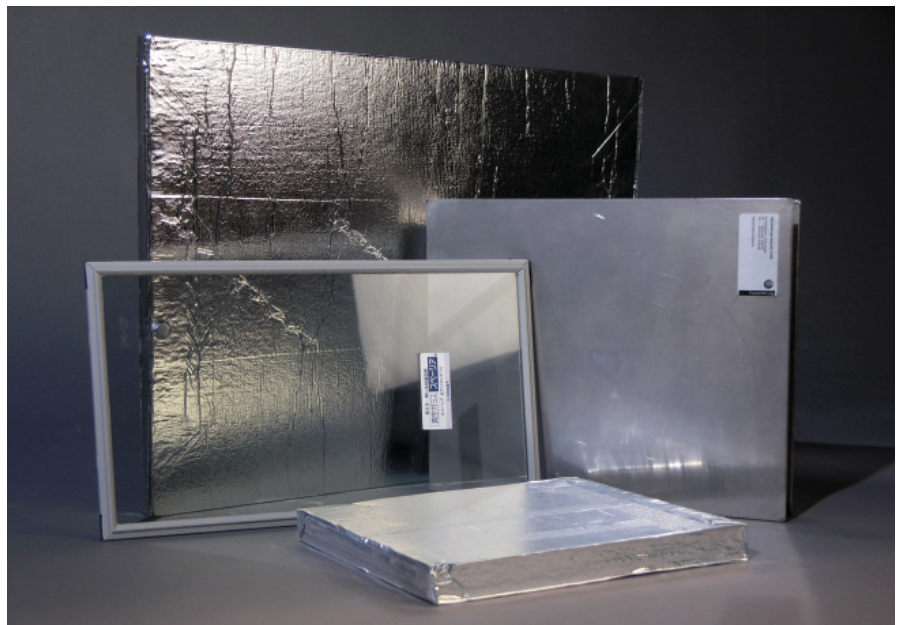
Estremamente interessante è l'approccio della ricerca svolta da Jan Cremers in ambito di una tesi di dottorato dal titolo *"Possibilità di integrazione di sistemi isolanti sottovuoto negli involucri edilizi: aspetti tecnologici, fisico-tecnici ed architettonici"* sviluppata presso la Technische Universität di Monaco di Baviera (TUM) nel Dipartimento di Tecnologia degli Edifici del professor Thomas Herzog e conclusasi nel gennaio 2006.

La particolarità di questo lavoro è che non ipotizza un'applicazione dei VIP come rivestimento a cappotto in edifici preesistenti o all'interno di pareti stratificate, ma - dopo aver classificato i sistemi opachi, traslucidi e trasparenti di isolamento sotto vuoto conosciuti, o ancora in fase di sviluppo ed averne valutato le caratteristiche - mette a punto un sistema inedito di involucro edilizio appositamente concepito per l'integrazione dei VIP.

Il sistema sviluppato è una facciata sospesa, proposta in tre differenti tipologie, costituita da due strati di pannelli isolanti sottovuoto, sfalsati l'uno rispetto all'altro del 50%:

- Tipologia 1: due strati di VIP quadrati, inseriti in un pannello stratificato, vengono collegati ad una struttura di supporto (presente su uno o su entrambi i lati della parete) costituita da cavi orizzontali, verticali e diagonali, paralleli alla giacitura dei pannelli.

- Tipologia 2: i due strati di VIP quadrati sono ruotati di 45° e stabilizzati mediante una piegatura dell'involucro dei pannelli. Sono previsti degli elementi di protezione dei VIP e i cavi che sostengono



la struttura sono inclinati rispetto alla giacitura dei pannelli grazie a dei distanziatori posti tra la parete ed il tenditore.

-Tipologia 3: la stabilizzazione non è data da una struttura a cavi ma da membrane agganciate da entrambi i lati. Tale soluzione riprende le sperimentazioni presentate da Frei Otto all'Interbau di Berlino del 1957.

Un modello di 1 x 1 m della seconda tipologia è stato realizzato presso i laboratori della TUM utilizzando VIP di 50 x 50 cm con uno spessore di 15 mm forniti dalla ditta Porextherm.

Dato il particolare interesse suscitato dalle prime applicazioni dei VIP nel settore dell'edilizia, sono state svolte - nel luglio 2003 a Rostock (Germania), nel giugno 2005 a Wismar (Germania), nel settembre 2005 a Dübendorf (Svizzera) e nel settembre 2007 a Würzburg (Germania) - delle giornate di studio sui VIP con interessanti contributi sia da parte del mondo della ricerca che di quello dell'industria.

La ricerca sull'applicazione degli isolanti sotto vuoto nel settore delle costruzioni, inizialmente limitata solo alla Germania e alla Svizzera, si sta estendendo anche ad altri paesi europei. Nell'edizione del 2005 del Batimat (Salon International de la Construction) il pannello di riempimento per facciata Ecosta dotato di un'anima in isolante sottovuoto ha ottenuto la medaglia d'argento per l'innovazione, oltre ad una menzione speciale per l'efficienza energetica. Il progetto Ecosta nasce dalla collaborazione tra l' ADEME<sup>3</sup> (coordinatrice del progetto), il CSTB<sup>4</sup> (che ha svolto le prove tecniche in laboratorio), e la ditta Isosta che si è occupata della realizzazione dei prototipi e della produzione del pannello isolante con nucleo in silicio pirogeno e involucro in alluminio e polietilene, che verrà introdotto a breve sul mercato.

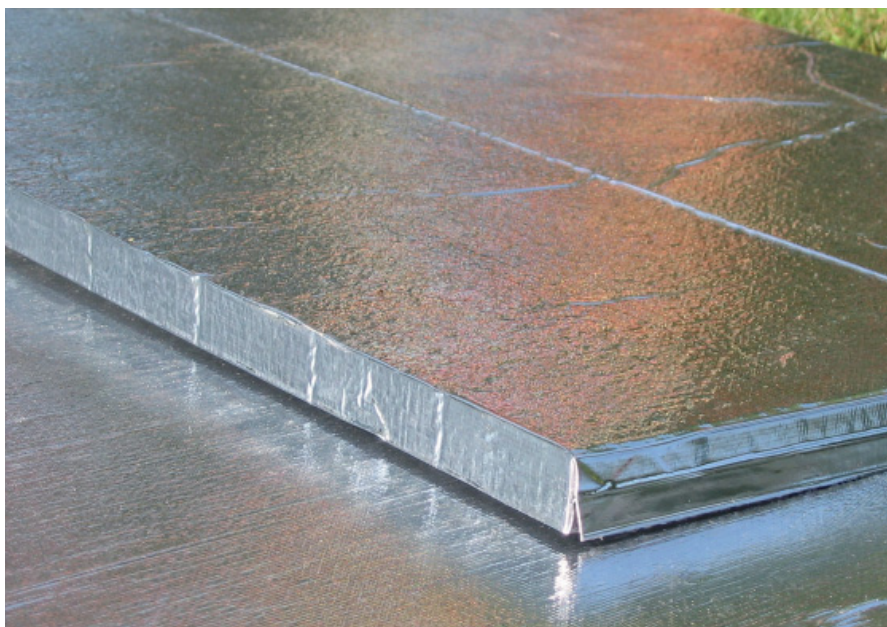
- 3 ADEME: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.
- 4 CSTB: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.



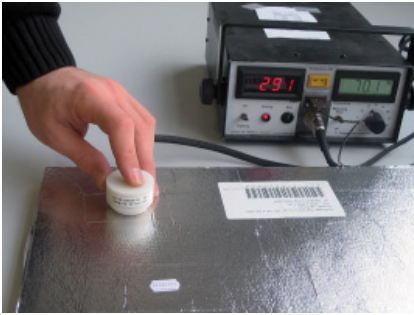
Applicazione dei pannelli VIP nella realizzazione di un solaio e una parete esterna. Fonte:Va-q-tec, Würzburg, Germania.

A sinistra, pannello isolante sottovuoto. Fonte:Va-q-tec, Würzburg, Germania.

A destra, pannello isolante sottovuoto irrigidito. Fonte: Variotec, Neumarkt, Germania.



### Potenzialità e limiti dell'applicazione dei VIP in edilizia



Verifica della condizione di sottovuoto di un pannello VIP. Fonte: Va-q-tec, Würzburg, Germania.

La ridotta conducibilità termica, combinata ad uno spessore limitato, tipica dei VIP, costituisce un requisito di rilevante importanza per l'utilizzo dei pannelli isolanti sottovuoto nel settore dell'edilizia.

I VIP sono dotati di buone potenzialità per una loro eventuale applicazione nel Sud Europa in quanto i monitoraggi svolti su prototipi di facciate in scala 1:1 hanno dimostrato che, non solo i pannelli isolanti sottovuoto sono particolarmente efficienti nella limitazione delle dispersioni termiche nel periodo invernale, ma che, essendo dotati di buone capacità di termoregolazione, contribuiscono a ridurre il surriscaldamento degli ambienti interni nel periodo estivo.



Il problema principale nel trasferimento della tecnologia dei VIP dal settore dei frigoriferi a quello dell'edilizia è la durabilità del prodotto. In un box frigorifero è sufficiente che le prestazioni di isolamento termico restino inalterate per un periodo di dieci anni, mentre nella produzione edilizia i tempi sono molto più estesi. I test svolti negli ultimi cinque anni dallo ZAE Bayern hanno dimostrato che la durata delle prestazioni è fortemente influenzata dal tipo di materiale utilizzato per il nucleo del pannello.

Le prestazioni isolanti di VIP con nucleo in polveri siliciche, a differenza di quelli con nucleo in poliuretano o materiali fibrosi, restano inalterate per parecchie decadi: un lasso di tempo adatto ad un materiale da impiegare nel settore delle costruzioni.



Applicazione dei pannelli VIP nella realizzazione di un solaio. Fonte: Va-q-tec, Würzburg, Germania.

Al fine di verificare il livello prestazionale di isolamento termico dei VIP e il mantenimento di tali valori nel tempo, la ditta tedesca Lambdasave ha brevettato una valvola integrata nella pellicola di rivestimento del pannello che, collegata ad un normale misuratore di pressione, permette la verifica della condizione di sottovuoto del pannello stesso.

#### POTENZIALITA' PER L'APPLICAZIONE DEI VIP IN EDILIZIA

##### **Conducibilità termica ridotta.**

I VIP sono dotati di una conducibilità termica pari a circa 1/10 di quella degli isolanti comunemente utilizzati nel settore delle costruzioni.

##### **Spessore limitato.**

I VIP garantiscono la stessa trasmittanza termica di un pannello isolante tradizionale con uno spessore 10 volte maggiore.

##### **Capacità di termoregolazione.**

L'utilizzo di VIP nell'involucro edilizio contribuisce a limitare i fenomeni di surriscaldamento degli ambienti interni nel periodo estivo.



LIMITI PER L'APPLICAZIONE DEI VIP IN EDILIZIA	POSSIBILI STRATEGIE DI INTERVENTO
<p><b>Fragilità della pellicola di rivestimento.</b> La lacerazione dell'involucro esterno dei VIP e la conseguente perdita della condizione del sottovuoto determina un notevole aumento della loro conducibilità termica. Questa, infatti, dato lo spessore ridotto dei pannelli, assumerebbe dei valori paragonabili, se non superiori, a quelli degli isolanti tradizionali.</p>	<p><b>Inserimento dei VIP all'interno di pannelli sandwich.</b> Per limitare la possibilità di lacerazione dell'involucro esterno dei VIP durante il trasporto o la messa in opera, alcune imprese produttrici, oltre a verificare con particolari sensori l'ermeticità di ogni singolo pannello, ha messo in produzione sistemi di involucro stratificato contenenti al loro interno VIP annegati in uno strato di isolante, come la schiuma di poliuretano, che viene spruzzata allo stato liquido e che poi raffreddandosi solidifica.</p>
<p><b>Impossibilità di tagliare i VIP.</b> Tagliando i VIP si alterano irrimediabilmente le loro prestazioni termiche. L'impossibilità di modificare in opera le dimensioni dei pannelli isolanti sottovuoto rende la loro applicazione in edilizia più complessa rispetto a quella dei pannelli isolanti di tipo tradizionale.</p>	<p><b>Progettazione modulare.</b> Inserendo i VIP all'interno di pannelli sandwich, realizzati su misura secondo dimensioni stabilite in fase di progettazione, non è necessario tagliare i pannelli isolanti.</p>
<p><b>Durabilità delle prestazioni.</b> Trattandosi di una tecnologia innovativa immessa sul mercato da pochi anni non si hanno riscontri reali sulla durabilità della condizione di sottovuoto dei pannelli e quindi del mantenimento nel tempo delle prestazioni termiche iniziali.</p>	<p><b>Test di durabilità.</b> I test svolti negli ultimi sei anni dallo ZAE Bayern di Würzburg hanno dimostrato che la durata delle prestazioni dei VIP dipende dal tipo di materiale utilizzato per il nucleo. Le prestazioni isolanti dei VIP con nucleo in polveri siliciche, a differenza di quelle con nucleo in poliuretano o in materiali fibrosi, restano inalterate per molte decadi.</p>
<p><b>Impossibilità di rimozione del pannello che ha perso la capacità di garantire le prestazioni richieste.</b> Utilizzando i VIP come un isolante tradizionale si rischia di non poter rimuovere facilmente un pannello nell'eventualità che risulti danneggiato o che perda nel tempo le proprie prestazioni termiche iniziali.</p>	<p><b>Inserimento dei VIP in sistemi di facciata assemblati a secco e facilmente removibili.</b> Al fine di ovviare al problema della rimozione di un pannello mal funzionante alcune ditte produttrici hanno progettato dei sistemi di facciata assemblati a secco con involucri facilmente reversibili, appositamente pensati per l'utilizzo dei VIP, in cui è garantita l'ispezionabilità e la possibilità di sostituire gli strati interni.</p>
<p><b>Impatto ambientale.</b> Il nucleo dei VIP, essendo costituito principalmente da silicio, è caratterizzato da una scarsa riciclabilità e da un elevato impatto ambientale.</p>	<p><b>LCA ancora in fase di valutazione.</b> Trattandosi di una tecnologia innovativa, da poco sul mercato, l'analisi del ciclo di vita dei VIP è ancora in corso. Allo stato attuale però non si intravedono ancora delle soluzioni per una diminuzione dell'impatto ambientale che la produzione dei pannelli provoca, ad eccezione della sostituzione del materiale che costituisce il nucleo con uno più facilmente riciclabile.</p>
<p><b>Costo elevato.</b> I pannelli isolanti sotto vuoto hanno un costo maggiore rispetto a quello degli isolanti tradizionali.</p>	<p><b>La spesa viene ammortizzata dall'aumento della superficie calpestabile.</b> Alcune aziende tedesche produttrici di VIP hanno svolto un'analisi costi-benefici con la quale hanno dimostrato che per ottenere un edificio passivo (in cui il fabbisogno termico utile annuo per il riscaldamento sia inferiore a 15 kWh/m<sup>2</sup>) con una coibentazione tradizionale occorre un isolante termico spesso 300 mm, mentre con un pannello VIP sono sufficienti 40 mm. Questa riduzione di spessore nelle pareti comporta un aumento della superficie calpestabile, che in un appartamento di 100 m<sup>2</sup> può essere quantificato in circa 11 m<sup>2</sup> (un'intera stanza in più). In un edificio per uffici di tre piani con una superficie di 340 m<sup>2</sup> il guadagno di spazio sarebbe addirittura di 76 m<sup>2</sup>.</p>



Isolante trasparente a struttura capillare.

### **TIM - Transparent Insulation Materials. Potenzialità e limiti per un'applicazione in edilizia**

L'esigenza di combinare una buona illuminazione naturale diffusa ad un'elevata capacità di isolamento termico ha fatto sì che, all'inizio degli anni ottanta, la ricerca sui nuovi materiali per l'edilizia affrontasse il tema degli isolanti trasparenti: una tipologia piuttosto eterogenea di materiali prodotti generalmente da industrie chimiche e utilizzati per lo più nel settore dell'ingegneria aerospaziale.

I TIM (Transparent Insulation Materials) devono il proprio nome alla caratteristica di presentare proprietà termiche del tutto paragonabili a quelle dei materiali isolanti opachi, pur conservando un alto valore di trasmittanza luminosa.

La realizzazione di involucri edilizi in grado di combinare tali caratteristiche, generalmente incompatibili tra loro, ha determinato un concetto del tutto innovativo di conservazione e guadagno energetico. L'impiego di isolanti trasparenti negli involucri edilizi vetrati favorisce l'illuminazione naturale, evita i fenomeni di abbagliamento e garantisce un buon livello di isolamento termico con una conseguente riduzione del fabbisogno energetico primario e dell'utilizzo di energia elettrica per l'illuminazione. I TIM, infatti, in quanto materiali isolanti riducono i flussi energetici tra interno ed esterno e viceversa, mentre, come materiali trasparenti, aumentano le caratteristiche visive degli spazi interni diffondendo la luce naturale incidente sia diretta che diffusa. Il risultato è l'innalzamento del comfort termico e visivo interno e la riduzione dell'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili.

Negli involucri edilizi opachi, invece, l'utilizzo di TIM come rivestimento a cappotto e schermati esternamente da una superficie vetrata, aumenta notevolmente i guadagni termici diretti e l'inerzia termica dell'involucro.

La messa in commercio di vetri ed infissi ad alte prestazioni, l'ottimizzazione della produzione dei TIM con il conseguente



Immagine ingrandita di un pannello isolante trasparente a struttura capillare. Fonte: Okalux, Marktheidenfeld, Germania.

abbassamento dei prezzi, lo sviluppo di nuovi materiali isolanti trasparenti o traslucidi con prestazioni termiche sempre più elevate, nonché una sensibilità sempre maggiore alle problematiche relative al risparmio energetico e al comfort ambientale interno hanno fatto sì che negli ultimi anni la tecnologia dei TIM, che verso la fine degli anni '90 era stata lasciata un po' da parte, sia tornata estremamente attuale e che alcune industrie produttrici di materiali edili, in collaborazione con i maggiori centri di ricerca e sviluppo europei, si stiano occupando nuovamente dello sviluppo di sistemi di involucro innovativi ad alte prestazioni – sia opachi che trasparenti - contenenti TIM.

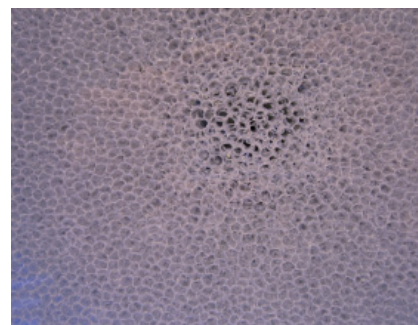
#### *Applicazione dei TIM nel settore dell'edilizia – involucri edilizi traslucidi*

I TIM, brevettati per la prima volta in Germania dalla ditta Okalux con il nome di TWD - Transluzente Warmedämmung (isolante termico traslucido), sono costituiti generalmente da materiali plastici o vetri, trasparenti nel visibile e nel vicino infrarosso, ma opachi nel lontano infrarosso, realizzati con una particolare struttura capillare o a nido d'ape (*honeycomb*). Nel primo caso le celle hanno un diametro compreso tra 1 e 2 mm, mentre nel secondo si hanno dimensioni fino a qualche centimetro.

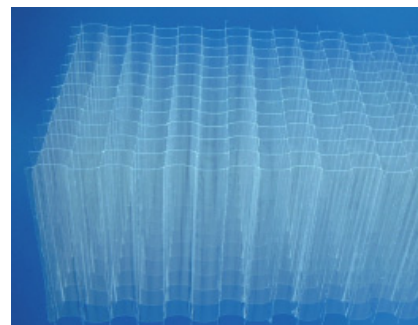
La composizione materica riduce gli scambi termici radiativi, mentre la particolare struttura geometrica blocca i moti convettivi dell'aria. Il risultato è un sistema in grado di limitare le trasmissioni termiche dovute a convezione ed irraggiamento, ma dotato di un'elevata trasparenza.

Sia nel caso di TIM a struttura capillare che honeycomb i pannelli isolanti trasparenti sono applicati negli involucri architettonici in modo che la microstruttura sia perpendicolare alla facciata e quindi parallela alla direzione dell'energia solare radiante. In questo modo, nel caso ideale di assenza di assorbimento e di diffusione dell'energia solare, tutta la radiazione incidente raggiunge l'altra estremità del componente indipendentemente dal numero di successive riflessioni e trasmissioni. In una situazione ideale quindi, lo spessore dello strato di TIM non è influente sulle proprietà ottiche, ma contribuisce a migliorare notevolmente le prestazioni termiche. Nella realtà si verificano fenomeni di assorbimento, anche se minimi, che fanno sì che i TIM non risultino effettivamente trasparenti, bensì traslucidi: hanno cioè un'elevata permeabilità all'irraggiamento solare, ma non permettono una visione degli ambienti esterni. Tale caratteristica impedisce l'utilizzo dei TIM in sostituzione delle normali finestre, ma ne consente l'applicazione anche in larga scala in edifici in cui si necessita di un'illuminazione uniforme diffusa, priva di fenomeni di abbagliamento e in grado di raggiungere una profondità elevata all'interno del corpo di fabbrica, senza comportare però le elevate dispersioni termiche tipiche delle pareti vetrate.

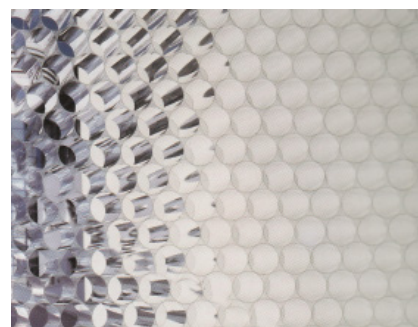
Per quanto riguarda invece le prestazioni termiche, un TIM capillare in polycarbonato con celle del diametro di 3 mm ed uno spessore di 50 mm, incapsulato tra due vetri chiari da 4 mm separati da un



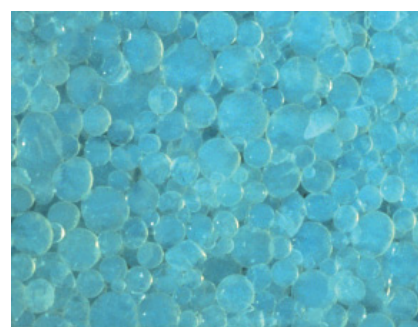
Isolante trasparente a struttura capillare contenuto tra due lastre di vetro.



Isolante trasparente a struttura honeycomb. Fonte:Wacotech.



Helioran.



Aerogel.



Nanogel.



Facciata realizzata con la tecnologia degli U-Glas contenente l'isolante trasparente TIMaxGL in tubi di vetro. Fonte: Wacotech.

distanziatore in alluminio e da una guarnizione in Polisobutilene, ha una trasmittanza pari a  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Se lo spessore del TIM capillare fosse di 100 mm invece la trasmittanza sarebbe di  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tali prestazioni termiche, già estremamente elevate, possono essere notevolmente migliorate mediante l'utilizzo di vetri basso emissivi o infissi ad alte prestazioni, dall'inserimento di gas nobili nell'intercapedine contenente TIM o mediante la creazione della condizione di sottovuoto.

Data l'elevata fragilità dei TIM il loro inserimento in sistemi di facciata vetrata non può essere effettuato in cantiere, ma è necessaria una realizzazione industriale in cui venga garantita l'ermeticità del sistema.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati e commercializzati una serie di sistemi di facciata vetrata contenenti nella camera d'aria materiali isolanti trasparenti sotto forma di TIM capillare in acrilico (come il sistema Kapilux-twd prodotto dalla ditta tedesca Okalux), sotto forma di TIM honeycomb in acrilico (come il pannello Okapane anch'esso della Okalux) o sotto forma di tubi di vetro (come l'Helioran commercializzato dalla ditta tedesca Schott-Rohrglas).

Quest'ultimo sistema è costituito da vetri ad alte prestazioni termiche con spessore di 5 mm nella cui camera d'aria, contenete gas nobile, sono posti dei tubi di vetro con diametro di 10 mm e lunghezza di 80 mm.

I TIM trovano inoltre un'applicazione particolarmente riuscita nelle facciate realizzate con la tecnologia degli U-Glas. L'inserimento del pannello isolante trasparente, sia a struttura capillare che honeycomb, tra due profili ad U in vetro sigillati determina un notevole aumento delle prestazioni ed è particolarmente indicato per edifici di grandi dimensioni come ad esempio palestre.

Una delle problematiche dei TIM, infatti, è che vi sono dei limiti dimensionali nella produzione dei pannelli e che ad un aumento delle dimensioni corrisponde un aumento esponenziale del prezzo. Con la struttura degli U-Glas quindi è possibile realizzare ampie facciate vetrate con TIM di dimensioni ridotte, con un conseguente abbattimento dei costi anche grazie alla riduzione dell'utilizzo degli



MWP Architekten, *Laboratori dell'Autorità per lo Sviluppo della città e l'Ambiente della Repubblica Federale Tedesca*, Amburgo, Germania, 2005.

970 m<sup>2</sup> di facciata sono stati realizzati con U-Glas e isolanti trasparenti TIMaxGL in tubi di vetro. Fonte: Wacotech.

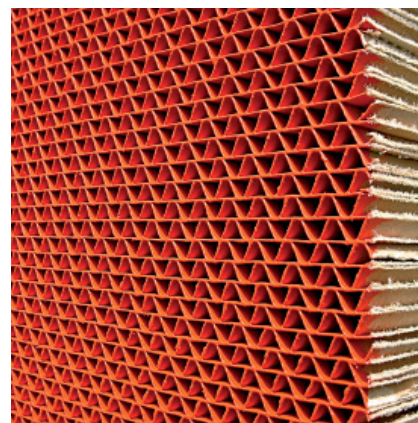
infissi.

Da alcuni anni la Gap-Solar, una ditta produttrice di materiali edili austriaca, ha brevettato e messo in commercio un isolante in cellulosa con struttura alveolare. Nonostante il materiale di base non sia trasparente, ponendolo tra due lastre di vetro costituisce un sistema di facciata traslucente con caratteristiche e prestazioni molto simili a quelli delle facciate contenenti TIM. Il vantaggio, oltre all'abbattimento dei costi, è costituito dall'utilizzo di una materia prima totalmente riciclata e riciclabile.

Un'altra interessante novità nel settore degli isolanti traslucenti è costituita dagli *aerogel*: dei materiali costituiti per il 95-98% da aria e dal restante 2-5% da particelle di diossido di silicio (silice). Tale scarsissima densità, pari ad appena  $3 \text{ kg/m}^3$  fa sì che gli aerogel risultino i materiali più leggeri che siano mai stati prodotti. Anche le caratteristiche termiche di tali materiali risultano particolarmente interessanti in quanto la loro trasmittanza termica è compresa tra 0,1 e 0,2  $\text{W/m}^2\text{K}$ , cioè pari a quella dei migliori isolanti termici opachi.

Gli aerogel traggono la loro origine da esperimenti svolti nel 1931 dal chimico americano Samuel Kristler che tentò di disidratare un gel di silice contenente acqua senza farlo restringere nel corso del processo. L'obiettivo era quello di sostituire il liquido contenuto all'interno del gel con aria senza che avvenisse il collasso della struttura microcellulare in silicio. Ciò fu reso possibile grazie allo sviluppo del procedimento *supercritical drying* (essiccamento supercritico) che si ottiene mantenendo il liquido contenuto nel gel di silice ad una pressione costantemente maggiore della pressione del vapore ed aumentando contemporaneamente la temperatura. Ad una determinata temperatura critica il liquido si trasforma in gas senza che le due fasi siano mai presenti contemporaneamente. In questo modo fu possibile produrre un materiale con una composizione chimica molto simile a quella del vetro ma estremamente più leggero e con delle caratteristiche termiche sorprendenti grazie all'elevata percentuale di aria in esso contenuta.

Dopo le scoperte di Kristler, che riuscì a produrre aerogel non solo con il silicio, ma anche con alluminio, cromo e stagno, le ricerche sugli



Isolante alveolare in cellulosa Solarwabe.  
Fonte: Gap-solar.



Architekturbüro Guetg, *edificio scolastico*, Sulgenbach, Svizzera, 2005. Esempio di facciata modulare con struttura portante in legno in cui agli elementi vetrati si alternano pannelli isolanti trasparenti TIMMaxGL in tubi di vetro. Fonte: Wacotech.



Thomas Herzog, *Casa unifamiliare con atelier*, München, Germania, 1994.

aerogel furono abbandonate a causa dei costi elevati di produzione di questi materiali. Solo negli anni '70, grazie anche allo sviluppo di un processo produttivo meno costoso, gli aerogel sono tornati argomento di indagine scientifica per una loro applicazione nel campo dell'ingegneria aerospaziale.

L'estrema fragilità e la sensibilità all'umidità di tali materiali ha fatto sì che, solo negli ultimi anni - a seguito della messa in commercio di infissi estremamente impermeabili ed ermetici, di vetri ad alte prestazioni e di camere d'aria sottovuoto - sia stata ipotizzata la possibilità di utilizzare gli aerogel di silice come isolanti tralucenti nella realizzazione di involucri architettonici ad alte prestazioni termiche e visive.

In edilizia possono essere utilizzati due forme differenti di aerogel: monolitici e granulari.

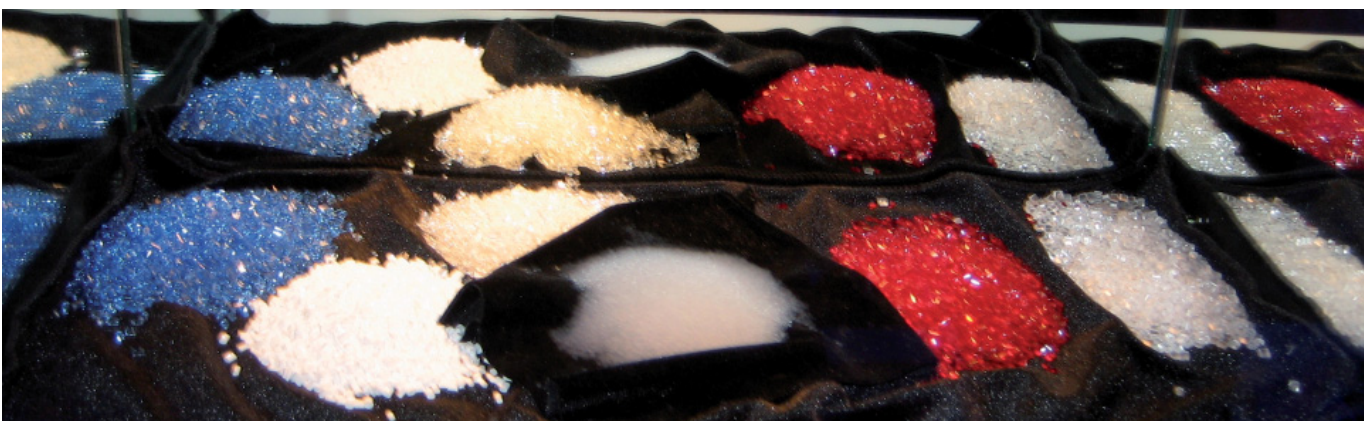
Gli aerogel monolitici sono costituiti da lastre di spessore compreso tra 8 e 20 mm, hanno una densità tra 3 e 500 kg/m<sup>3</sup> e, seppur presentando una colorazione gialla o bluastra (in relazione ad uno sfondo rispettivamente bianco o nero), possono essere utilizzati in sostituzione delle tradizionali finestre in vetro ma, al contrario di quest'ultime, garantiscono una trasmittanza estremamente ridotta (circa 0,85 W/m<sup>2</sup>K), paragonabile a quella di sistemi di facciata opachi.

Tale applicazione però è ancora in fase sperimentale a causa dell'eccessivo costo dell'aerogel monolitico e delle dimensioni ridotte dei pannelli. Attualmente sono disponibili sul mercato pannelli con dimensioni massime di 60 x 60 cm e uno spessore di 3 cm.

Gli aerogel granulari, utilizzati in edilizia già dalla seconda metà degli anni '90, sono invece costituiti da sfere con diametro variabile compreso tra gli 8 e i 12 mm. Riempiendo con i granuli di aerogel l'intercapedine di una vetrocamera si ottengono delle prestazioni termiche estremamente elevate, ma si perde la visibilità dell'esterno. La composizione in granuli di dimensioni ridotte dà una maggiore libertà nel formato dei sistemi di involucro rispetto a quelli realizzati con aerogel monolitico. In questo caso infatti la dimensione del modulo di facciata non dipende dalle tecnologie di produzione dell'aerogel, ma da quelle del vetro.

L'ultima novità in questo settore è il Nanogel: un aerogel granulare dalle prestazioni estremamente elevate grazie alle dimensioni ridotte

Differenti tipo di aerogel e nanogel utilizzabili per la realizzazione di involucri edilizi. BAU 2007 - Stand Okalux.



dei granuli che lo compongono.

Il Nanogel, commercializzato dalla compagnia tedesca Cabot Corporation e applicato in un sistema di facciata vetrato prodotto dalla ditta Okalux e presentato in esclusiva al BAU 2007, è composto da particelle sferiche con diametro compreso tra 0,5 e 4 mm, un indice di porosità del 90% ed una densità di  $90 \div 100 \text{ kg/m}^3$ . Un sistema di facciata contenente nanogel, con spessore di 64 mm ha una trasmissione termica sorprendentemente bassa, pari a  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

*Applicazione dei TIM nel settore dell'edilizia – involucri edilizi opachi*

Gli isolanti trasparenti hanno trovato una loro efficace applicazione anche come "riscaldamento solare" delle pareti opache.

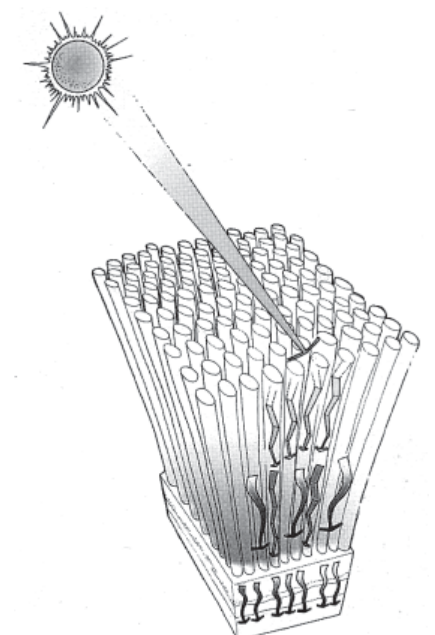
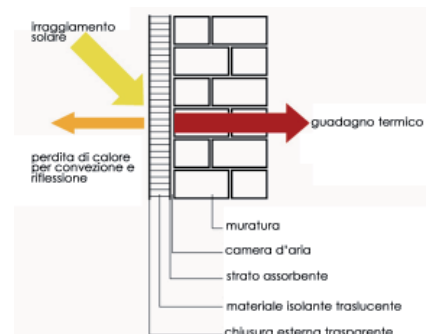
Tale utilizzo trae la sua origine da scoperte e sperimentazioni provenienti non dal settore dell'architettura o della chimica dei materiali, bensì da quello della biologia e della zoologia.

Nel corso degli anni ottanta alcuni studi condotti sugli orsi polari hanno portato alla conclusione che tali animali sono in grado di sopportare temperature fino a  $-70^\circ\text{C}$  grazie alle particolari caratteristiche della loro pelliccia.

Il pelo dell'orso bianco, infatti, non è pieno, bensì cavo, ed è in grado di captare ed incanalare la radiazione solare dal punto più esterno fino alla cute. Quest'ultima, al contrario di quanto si potrebbe immaginare, è dotata di una colorazione estremamente scura ed è quindi in grado di assorbire efficacemente l'energia termica trasmessa dalla pelliccia. In questo trasferimento di energia - dall'estremità esterna del pelo fino alla cute - i raggi solari captati si riflettono sulle pareti cave generando una serie di impercettibili micro-vibrazioni del pelo stesso, producendo energia cinetica che contribuisce ulteriormente



Steven Holl, *Ampliamento del Nelson Atkins Museum*, Manchester, USA, 2007. Fonte: Okalux.



Schematizzazione del funzionamento della pelliccia dell'orso polare come elemento captatore di energia termica.

Thomas Herzog, *Ostello per la gioventù*, Windberg, Germania, 1987-1991.



Applicazione dei TIM in un involucro edilizio opaco. Fonte: Ernst Schweizer AG, Hedingen, Germania.

al riscaldamento della massa dell'animale.

In virtù dello stesso principio che permette agli orsi polari di ottenere un elevato guadagno termico anche a temperature estremamente basse e con poca illuminazione solare, l'utilizzo di TIM (protetti esternamente da una lastra di vetro) come rivestimento di pareti massive di colore scuro, limita le dispersioni termiche e facilita l'accumulo dell'energia solare.

I materiali isolanti tradizionali sfruttano la scarsa conducibilità termica dell'aria immobile diminuendo i flussi di calore tra interno ed esterno, senza però agire in maniera selettiva: il calore non passa più facilmente in una direzione piuttosto che nell'altra.

Un sistema di involucro opaco contenente TIM chiamato "*parete solare*", invece, oltre a garantire un buon effetto isolante, grazie al suo alto contenuto di aria e al fatto che è in grado di suddividere l'aria in piccoli sub-volumi, è dotato di un alto valore di permeabilità alla radiazione solare che fa sì che la radiazione stessa riesca a penetrare nell'involucro edilizio fino alla superficie massiva interna ma, grazie alla presenza della superficie vetrata esterna, limita la dispersione dell'energia nella direzione inversa.

Gli isolanti tradizionali, inoltre, riducono le dispersioni termiche ma, a differenza degli involucri edilizi opachi realizzati con i TIM, non comportano un guadagno energetico diretto ottenuto dalla captazione dell'energia solare. Il calore proveniente dal sole, catturato dalla parete solare durante il giorno, grazie alla capacità dei TIM di captare l'energia solare incidente sia diretta che diffusa, viene assorbito, immagazzinato e rilasciato lentamente agli spazi interni durante la notte con un conseguente guadagno energetico proprio nelle ore più fredde.

L'utilizzo di questo sistema di involucro ha trovato la sua prima

Thomas Herzog, *Casa bifamiliare*, Pullach, Germania, 1986-1989.





applicazione sperimentale in una casa bifamiliare realizzata tra il 1986 e il 1989 a Pullach nei pressi di Monaco di Baviera su progetto di Thomas Herzog. La facciata rivolta verso sud è stata realizzata alternando una facciata vetrata di tipo tradizionale ad un sistema di parete solare appositamente sviluppato per questo progetto. La parete solare è costituita da un sistema stratificato, sigillato da un telaio metallico - composto da un pannello isolante trasparente posto tra due lastre di vetro – e addossato a pannelli prefabbricati in calcestruzzo verniciati di nero verso l'esterno. L'utilizzo di tale tecnologia innovativa di involucro è stato combinato ad una serie di scelte progettuali che hanno aumentato l'efficienza del sistema passivo di accumulo del calore. La realizzazione di un corpo di fabbrica lungo e stretto orientato lungo l'asse est-ovest, in cui gli spazi abitativi affacciano sia a nord che a sud fa sì che tutti gli ambienti interni siano riscaldati dal sistema di parete solare.

L'edificio, dalla struttura portante in legno lamellare, è inoltre caratterizzato da una sezione trasversale che ripropone quella di una barca: il corpo di fabbrica si allarga proporzionalmente di circa un metro salendo di piano. Questa scelta è dovuta a motivi di illuminazione e riscaldamento naturale: le parti aggettanti sono realizzate in modo tale che in estate il sole alto sull'orizzonte non riesca a penetrare all'interno dell'edificio, scaldandolo eccessivamente; in inverno, i raggi solari molto inclinati riescono invece ad illuminare e riscaldare la casa in tutta la sua profondità. Tale soluzione progettuale fa sì che le potenzialità della parete solare vengano sfruttate solo nel periodo invernale, mentre i sistemi di ombreggiatura evitano fastidiosi fenomeni di surriscaldamento nei mesi caldi.

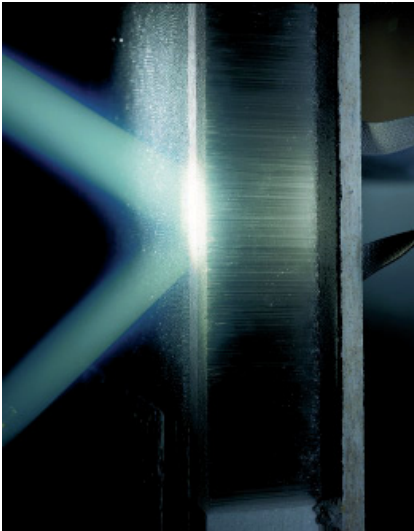
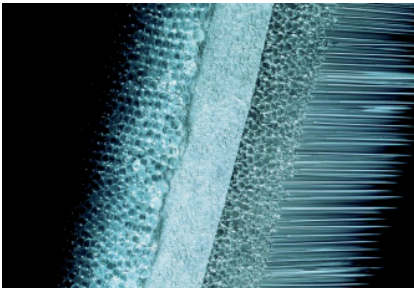
Nonostante l'applicazione dei TIM come materiali isolanti nella realizzazione di involucri edilizi opachi sia oggetto di sperimentazione fin dalla fine degli anni 80, l'utilizzo di tale tecnologia sta iniziando a diffondersi solo negli ultimi anni. La produzione di vetri basso emissivi e di infissi ad alte prestazioni, nonché l'entrata in vigore di normative sul controllo energetico degli edifici, non solo in quelli di nuova edificazione, ma anche nelle ristrutturazioni, ha fatto sì che l'utilizzo dei TIM in facciate opache abbia trovato la sua principale applicazione in interventi di *retrofit energetico*.

La riqualificazione dell'edilizia degli anni '60 e '70, realizzata spesso con elementi strutturali e di rivestimento in calcestruzzo e dotata di uno scarso livello di isolamento termico, trova nei TIM uno strumento ottimale per il miglioramento della qualità abitativa e del comportamento energetico dell'intero edificio.

L'applicazione di pannelli TIM, addossato ad un involucro edilizio preesistente, può essere realizzata velocemente ed intervenendo solo sulla parte esterna dell'edificio senza creare disagio agli utenti. La leggerezza del sistema applicato fa sì che non si necessiti di una struttura portante particolarmente resistente, mentre l'involucro in calcestruzzo preesistente garantisce l'inerzia termica necessaria affinché la parete solare sia in grado di captare, accumulare e trasmettere energia termica.



Thomas Herzog, Casa bifamiliare, Pullach, Germania, 1986-1989.



Sistema di involucro Sto Solar. Fonte Sto AG, Stühlingen, Germania



Esempio di intonaco con TIM a confronto con un intonaco di tipo tradizionale.

Prototipo di una lamella in policarbonato contenete aerogel granulare. Fonte: Jan Cremers.

A destra: Tabella con le condizioni di adattabilità per l'applicazione di TIM come isolamento termico negli interventi di *retrofit energetico*. Tabella tratta da: Silvia Brunoro, "Efficienza energetica delle facciate – Standard, requisiti, esempi per l'adeguamento e la riqualificazione architettonica", Maggioli Editore, Rimini, 2007, p. 194.

Per l'applicazione di TIM come isolante termico e captatore di energia solare nelle pareti opache, oltre ai sistemi di involucro vetrato contenenti TIM nell'intercapedine, è stato commercializzato dalla ditta tedesca Sto AG un sistema appositamente sviluppato per le pareti opache chiamato Sto Solar.

Tale sistema è costituito da un pannello isolante tralucente a struttura capillare la cui parte interna è spalmata di colla nera che funge da elemento assorbente, mentre esternamente è rivestito da una pellicola in feltro e da un intonaco contenente particelle di vetro che, grazie a fenomeni di riflessione luminosa, aumentano la captazione dell'energia solare.

La particolarità di tale sistema è che non necessita di una lastra di vetro esterna e può quindi essere utilizzato in interventi di ristrutturazione energetica senza risultare invasivo, in quanto la finitura esterna è simile a quella di un intonaco tradizionale.

Nelle pareti opache i TIM vengono inoltre utilizzati per migliorare le prestazioni dei collettori solari. Fissando un materiale isolante trasparente alla parete posteriore di un collettore solare piano ben isolato, infatti, si possono raggiungere temperature operative considerevoli (100÷150°C) che determinano un notevole miglioramento del rendimento del collettore stesso. Tale applicazione è possibile solo con collettori solari di nuova generazione in cui i tubi capillari siano particolarmente resistenti alle alte temperature.

CRITERIO	ADATTABILITA' DELL'INTERVENTO		
	ALTA	MEDIA	BASSA
<b>Contesto</b>	Area aperta, località con elevate radiazioni solari, basse temperature (climi montani, alte latitudini)	Località con radiazione solare limitata	Località con bassa radiazione solare (climi ad alta percentuale di cielo coperto)
<b>Orientamento sulla facciata</b>	Sud, sud-ovest, sud-est	Est, ovest	Nord, nord-est, nord-ovest
<b>Ombreggiamento da elementi circostanti (edifici vicini, vegetazione)</b>	Nessun ombreggiamento	Medio ombreggiamento	Ombreggiamento significativo
<b>Ombreggiamento da elementi dell'edificio (balconi copertura)</b>	Nessun ombreggiamento	Medio ombreggiamento	Ombreggiamento significativo
<b>Forma dell'edificio</b>	Compatta	Mediamente complessa	Articolata
<b>Parti di facciata opache</b>	Ampie superfici opache con poche aperture	Superfici con medie aperture	Superfici ampiamente vetrate
<b>Struttura della facciata</b>	Disposizione regolare delle aperture	Qualche irregolarità	Disposizione irregolare delle aperture
<b>Livello di isolamento</b>	Nessun isolamento esistente	Presenza di isolamento (2-4 cm)	Presenza di isolamento (< 4 cm)
<b>Capacità di accumulo della parete esistente</b>	Materiali ad alta densità: calcestruzzo, pietra, ecc.	Materiali a media densità: mattone, calcestruzzo cellulare	Materiali a bassa densità: facciate leggere, legno
<b>Uso di energia solare</b>	Bassi consumi interni	Medi consumi interni	Elevati consumi interni
<b>Protezione al fuoco</b>	Edificio a pochi piani	Edificio a 3-4 piani	Edificio alto

### Sperimentazioni in corso

Negli ultimi anni i più importanti centri di ricerca europei in collaborazione con università e ditte produttrici di materiali isolanti trasparenti o traslucenti hanno indirizzato le loro ricerche allo sviluppo di prodotti per l'edilizia ad alte prestazioni termiche e visive contenenti TIM. Alcune ricerche europee stanno mettendo a punto infissi ad alte prestazioni termiche appositamente pensati per ospitare vetrocamere contenenti aerogel. Spesso infatti, nei sistemi di involucro vetrato con TIM, è proprio l'infisso a creare i ponti termici.

Altre ricerche invece si occupano di sviluppare prodotti contenenti TIM per la realizzazione di sistemi di involucro edilizio innovativi e ad alte prestazioni, tra queste ve ne sono alcune, in atto o appena terminate, che risultano estremamente interessanti:

- La SolarNext AG/Hightex Group D-Rimsting ha sviluppato un sistema di copertura costituito da "cuscini" realizzati con fogli di EFTE, sorretti e mantenuti tesi da una sottostruttura metallica, che al loro interno contengono aerogel granulare. Tale sistema di copertura, oltre a garantire un buon livello di isolamento termico, è in grado di fornire un'illuminazione naturale zenitale eliminando i fenomeni di abbagliamento.

- Una finestra di dimensioni 60 x 60 cm contenente aerogel monolitico con uno spessore di 15 mm con prestazioni termiche e visive sorprendenti ( $g = 73\%$  e  $U = 0,66 \text{ Wm}^2\text{K}$ ) è stata sviluppata nel progetto di ricerca europeo *HILIT Aerogel Window*<sup>5</sup> condotto dalla collaborazione di università, centri di ricerca e ditte produttrici di materiali edili quali: la Technical University of Denmark, l'Ecole des Mines de Paris, il Centre d'Énergétique, il Produit Chimiques Auxiliaires et de Synthésés, l'Airglass AB, il NTNU - Department of materials and technology, il CSTB, il Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, l'Université Claude Bernard Lyon 1, il LACE e l'Air Liquide Glas AB.

- La tesi di dottorato svolta da Jan Cremers presso la Technische Universität di Monaco di Baviera nel Dipartimento di Tecnologia degli Edifici del professor Thomas Herzog, conclusasi nel gennaio 2006, ha verificato, attraverso una serie di simulazioni, la possibilità di utilizzare sistemi sottovuoto contenenti aerogel per la realizzazione di elementi provvisori di protezione termica e visiva. Il risultato è consistito nella messa a punto di un sistema di lamelle larghe 31 cm e spesse 3,5 cm con rivestimento esterno e struttura alveolare interna in policarbonato con intercapedini sottovuoto contenenti aerogel in granuli prodotto dalla ditta Cabot.

Tra le sperimentazioni riguardanti l'applicazione dei TIM in facciate opache è particolarmente interessante una ricerca condotta dallo ZAE – Bayern in collaborazione con le ditte Bayosan e Knauf, coordinata da Helmut Weinläder, conclusasi nel 2007. Tale ricerca ha sviluppato un sistema di facciata modulare opaco contenente isolanti trasparenti capillari. La particolarità di questo sistema è che l'isolante trasparente, posizionato davanti ad una parete opaca ad elevata inerzia termica, non ha la struttura capillare orizzontale, bensì inclinata di circa 45°

5 HILIT Aerogel Window: *Highly Insulating and Light Transmitting Aerogel Glazing for Window.*



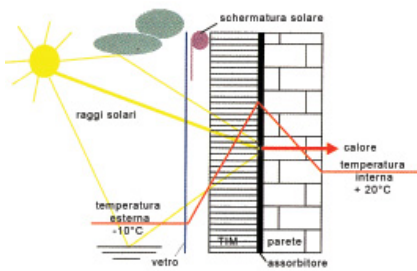
Prototipo di una copertura pneumatica contenente aerogel granulare. Fonte: Jan Cremers - SolarNext AG/Hightex Group, D-Rimsting.



Prototipo di una finestra contenente aerogel monolitico sviluppata nel progetto europeo HILIT. Fonte: K.I. Jensen, J. M. Schulz



Prototipo di una lamella in policarbonato contenente aerogel granulare. Fonte: Jan Cremers



Esempio di involucro edilizio opaco con TIM con sistema di schermatura solare mobile.



Porzione di un pannello in TIM a cannelle orientate per schermare la radiazione solare nelle ore più calde e favorire l'ingresso della luce quando il sole è più basso sull'orizzonte.

verso l'alto rispetto al terreno. Tale inclinazione fa sì che i raggi solari invernali, inclinati sull'orizzonte, riescano a raggiungere la parete massiva retrostante e a riscaldarla determinando fenomeni di guadagno termico rilevanti. In estate, invece, l'inclinazione della struttura capillare contribuisce alla riflessione verso l'esterno dei raggi solari. In questo modo solo parte dell'energia solare radiante riesce a raggiungere la parete retrostante evitando fenomeni di eccessivo surriscaldamento degli spazi interni.

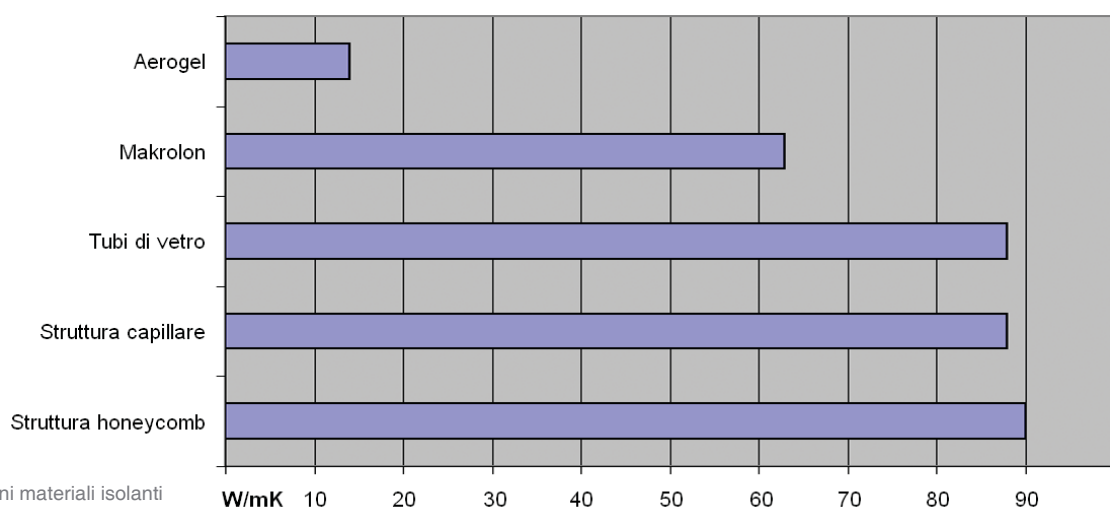
### *Potenzialità e limiti dell'applicazione dei TIM in edilizia*

La ridotta trasmittanza termica, combinata ad un'elevata permeabilità luminosa, rende l'utilizzo dei TIM particolarmente vantaggioso come isolamento termico sia negli involucri edilizi opachi che in quelli trasparenti.

Poiché però il livello prestazionale dei TIM può essere influenzato da una serie di fattori come il contesto, l'orientamento della facciata nella quale viene utilizzato e la presenza di elementi di ombreggiamento è necessario valutare preventivamente questi parametri.

Nonostante le prime sperimentazioni di integrazione degli isolanti traslucidi in involucri edilizi risalgano a più di 20 anni fa, i TIM sono stati utilizzati nel settore dell'edilizia solo in zone a clima rigido in cui la problematica fondamentale è quella di ridurre le dispersioni termiche nel periodo invernale e non quella di limitare il surriscaldamento nel periodo estivo.

L'applicazione dei materiali isolanti traslucidi, in particolare in involucri edilizi traslucidi, in zone a clima mediterraneo può risultare estremamente utile per l'utilizzo dell'illuminazione naturale evitando fenomeni di abbagliamento ma, nonostante le capacità isolanti di questi materiali, non è sufficiente a limitare un eccessivo surriscaldamento nel periodo estivo. E' necessario quindi, soprattutto nelle facciate esposte a sud, prevedere un sistema di schermatura solare.



Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti traslucidi.

<b>POTENZIALITA'</b> PER L'APPLICAZIONE DEI TIM IN EDILIZIA - involucri edilizi traslucenti
<p><b>Elevato isolamento termico.</b> L'elevato livello di isolamento termico dei TIM determina una diminuzione delle dispersioni termiche ed un aumento del guadagno termico passivo.</p>
<p><b>Elevato isolamento acustico.</b> Gli involucri edilizi con TIM sono dotati di un buon livello di isolamento acustico.</p>
<p><b>Elevata permeabilità all'irraggiamento solare – riduzione dell'utilizzo di illuminazione artificiale.</b> L'utilizzo di un involucro edilizio traslucente contenente TIM migliora notevolmente la distribuzione dell'irraggiamento solare anche nelle zone più profonde degli ambienti interni, con la conseguente riduzione della domanda di illuminazione artificiale.</p>
<p><b>Riduzione dei fenomeni di abbagliamento.</b> Il filtraggio della luce naturale attraverso il materiale isolante trasparente determina un'illuminazione diffusa degli spazi interni, riducendo notevolmente i fenomeni di abbagliamento.</p>

<b>LIMITI</b> PER L'APPLICAZIONE DEI TIM IN EDILIZIA involucri edilizi traslucenti	<b>POSSIBILI STRATEGIE DI INTERVENTO</b>
<p><b>I TIM sono traslucenti non trasparenti.</b> Nonostante i TIM siano dotati di un'elevata permeabilità all'irraggiamento solare essi sono traslucenti e non trasparenti cioè non consentono una visione diretta tra ambiente esterno ed interno e viceversa.</p>	<p><b>Utilizzo dei TIM non in sostituzione delle finestre.</b> I TIM non sono stati concepiti per sostituire le finestre, ma per realizzare grandi superfici traslucenti in grado di fornire un'illuminazione naturale diretta, limitando le dispersioni termiche.</p>
<p><b>Fragilità e sensibilità all'umidità degli aerogel.</b></p>	<p><b>Utilizzo di infissi e vetri ad alte prestazioni.</b> L'utilizzo di infissi e vetri ad alte prestazioni o di camere d'aria sottovuoto permette l'utilizzo degli aerogel nella realizzazione di facciate vetrate evitando gli inconvenienti dovuti alla loro fragilità e sensibilità all'umidità.</p>
<p><b>Appiattimento nella visione degli spazi interni.</b> Utilizzando sistemi di involucro vetriati contenenti TIM i contrasti tra le zone d'ombra e quelle di luce vengono mediati creando un appiattimento nella visione degli spazi interni .</p>	<p><b>L'illuminazione naturale raggiunge anche le zone più profonde degli spazi interni.</b></p>
<p><b>Costo elevato.</b> Gran parte dei TIM hanno un costo piuttosto elevato.</p>	<p><b>La spesa viene ammortizzata dal risparmio energetico.</b> La spesa viene ammortizzata dal risparmio energetico ottenuto dalla riduzione delle dispersioni termiche. Nel caso delle facciate traslucenti vi è anche una riduzione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale.</p>

<b>POTENZIALITA'</b> PER L'APPLICAZIONE DEI TIM IN EDILIZIA- involucri edilizi opachi
<p><b>Elevato isolamento termico.</b> L'elevato livello di isolamento termico dei TIM determina una diminuzione delle dispersioni termiche ed un aumento del guadagno termico passivo.</p>
<p><b>Elevato isolamento acustico.</b> Gli involucri edilizi con TIM, sia opachi che trasparenti, sono dotati di un buon livello di isolamento acustico.</p>

<b>LIMITI</b> PER L'APPLICAZIONE DEI TIM IN EDILIZIA involucri edilizi opachi	<b>POSSIBILI STRATEGIE DI INTERVENTO</b>
<p><b>Eccessivo surriscaldamento nel periodo estivo.</b> L'irraggiamento solare diretto potrebbe determinare, in particolare nei mesi estivi, un eccessivo surriscaldamento dell'involucro e degli ambienti interni.</p>	<p><b>Utilizzo di un efficace sistema di schermatura solare.</b> L'utilizzo di un sistema di schermatura in grado di limitare o impedire l'irraggiamento diretto dell'involucro edilizio con TIM limita il surriscaldamento nei mesi estivi.</p>

## PCM - Phase Changing Materials. Potenzialità e limiti per un'applicazione in edilizia

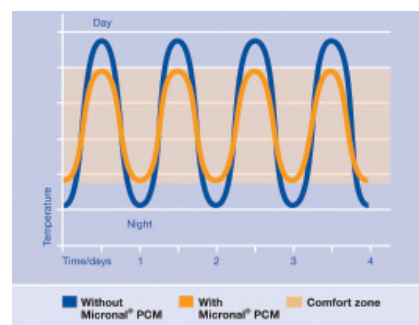
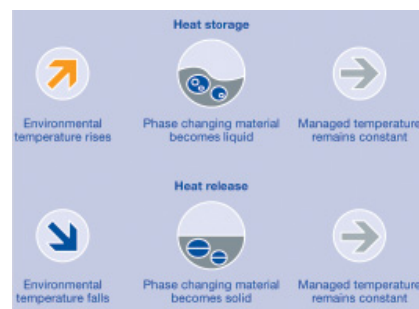
Una delle prestazioni fondamentali di un involucro edilizio in grado di garantire un elevato livello di comfort ambientale interno nei mesi estivi, senza ricorrere all'utilizzo di sistemi meccanici di raffrescamento, è un'elevata inerzia termica. Come si è precedentemente puntualizzato, tale peculiarità, comune alle architetture tradizionali in pietra tipiche delle zone a clima mediterraneo, non è sempre presente negli edifici di più recente realizzazione che spesso non sono in grado di garantire un'attenuazione ed uno sfasamento temporale sufficienti nella trasmissione del calore tra esterno ed interno.

Un'interessante sperimentazione, svolta nei paesi dell'Europa centrale e negli Stati Uniti, finalizzata all'aumento dell'inerzia termica dei materiali, rimanendo però in spessori e pesi contenuti, è costituita dall'utilizzo di materiali a cambiamento di fase o PCM (*Phase Changing Materials*) come elemento base nella composizione di materiali da costruzione.

I PCM, a differenza dei normali materiali edili, sono in grado di assorbire elevate quantità di energia termica e restituirla all'esterno, con uno sfasamento temporale, senza aumentare la propria temperatura. Tale caratteristica, normalmente comune ai materiali ad alta densità come pietra, mattoni, calcestruzzo ed acqua, è presente nei PCM grazie alla loro capacità di cambiare di fase. Raggiunta la temperatura di fusione infatti, un materiale per passare da uno stato all'altro - ad esempio da solido a liquido - necessita di accumulare energia termica che gli permetta di rompere i legami chimici.

In questo modo l'energia fornita, chiamata *calore latente*, determina il cambiamento di fase senza che la temperatura del materiale stesso aumenti (accumulo). Nel caso in cui la temperatura scenda al di sotto del punto di fusione il materiale a cambiamento di fase si risolidifica cedendo all'ambiente esterno l'energia termica accumulata precedentemente (rilascio).

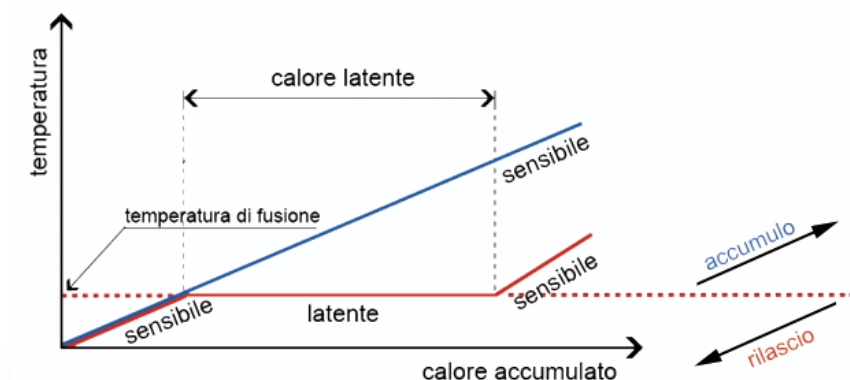
Di conseguenza un componente edilizio contenente PCM, a contatto con un ambiente soggetto a significative variazioni di temperatura, svolge un'azione di *termoregolazione*, cioè mantiene la propria temperatura entro un campo ottimale prefissato coincidente con il



Comportamento termico dei materiali a cambiamento di fase. Fonte: BASF.



Confronto tra le capacità di accumulo di calore di materiali differenti. Fonte: BASF.



A lato: calore accumulato di un materiale all'aumentare della temperatura. In blu i materiali tradizionali, in rosso i PCM.  
**Calore sensibile:** energia termica che, somministrata ad un corpo, determina l'aumento della sua temperatura.  
**Calore latente:** energia termica che, somministrata o sottratta ad un corpo, ne determina il cambiamento di fase mantenendo la sua temperatura costante (temperatura di fusione).

6 BMWA: *Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit* cioè il Ministero Tedesco per l'Economia ed il Lavoro.

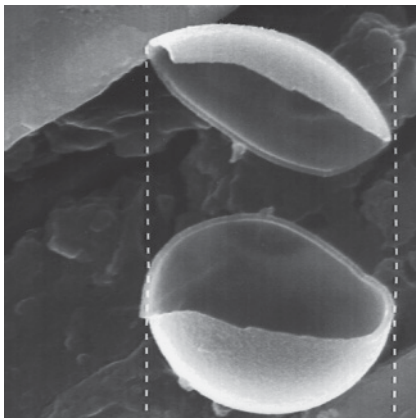


Immagine al microscopio di una microcapsula micronal®. Fonte: BASF.

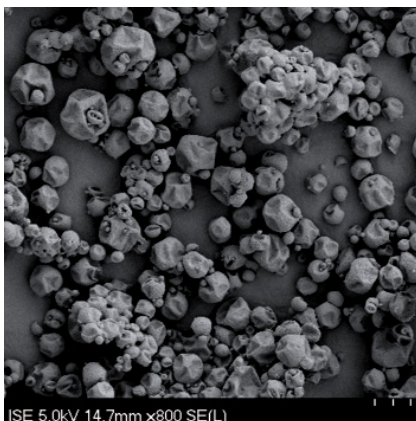


Immagine al microscopio di Microcapsule contenenti PCM. Fonte: ISE.

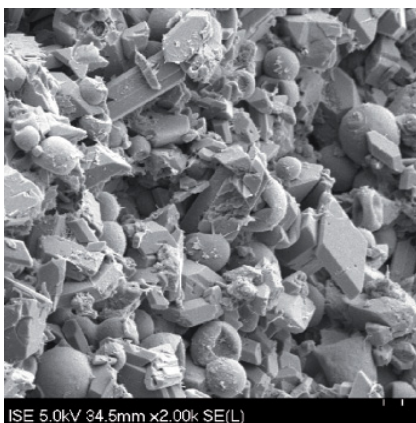


Immagine al microscopio di intonaco con microcapsule contenenti PCM. Fonte: ISE.

suo punto di fusione.

Tale caratteristica, a differenza dei materiali lapidei - per i quali è la quantità di massa ad assumere un ruolo determinante nel funzionamento del sistema - è, nei materiali a cambiamento di fase, indipendente dallo spessore e permette quindi il raggiungimento di buoni livelli di conservazione termica con un impiego minimo di massa.

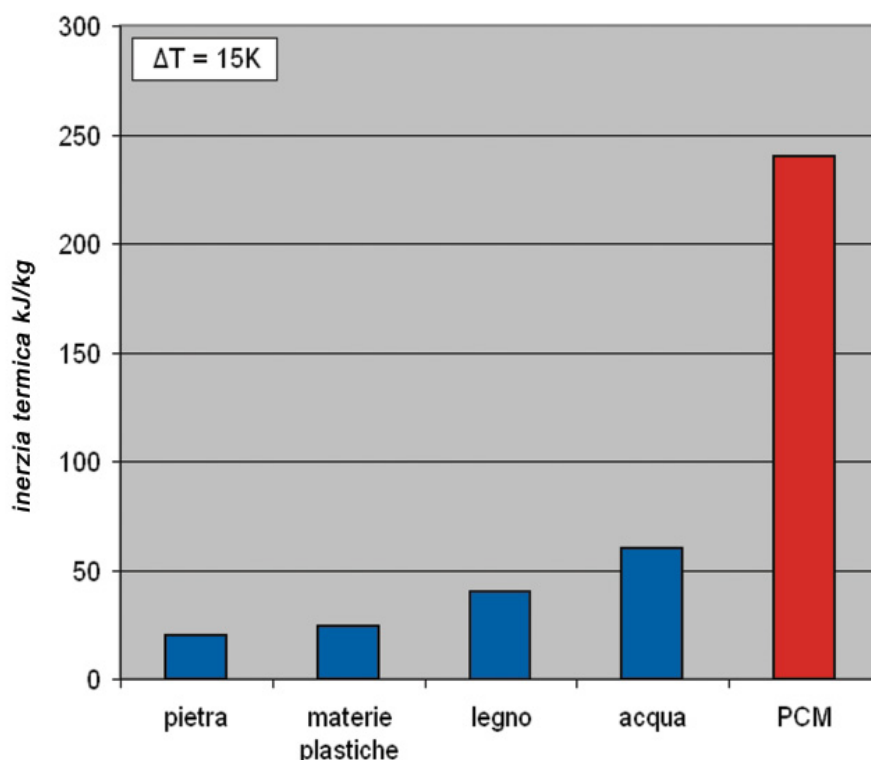
#### *Applicazione dei PCM nel settore dell'edilizia*

I PCM, inizialmente sviluppati dalla NASA per la realizzazione delle tute degli astronauti e per isolare i delicati strumenti elettronici dei satelliti esposti a condizioni ambientali estreme, con elevate e frequenti variazioni di temperatura, stanno trovando da alcuni anni applicazione anche nel settore dell'edilizia.

Un'interessante ricerca, finalizzata alla realizzazione di questo trasferimento tecnologico è il Progetto *Innovative PCM Tecnologie*, cofinanziato dal BMWA<sup>6</sup> e svolto in Germania dal 1999 al 2004 dallo ZAE Bayern in collaborazione con alcune tra le più prestigiose università tedesche, centri di ricerca, industrie chimiche e ditte produttrici di materiali, componenti e sistemi per l'edilizia.

Tale progetto, conclusosi con la conferenza *"Accumulo di energia termica (caldo e freddo) con i materiali a cambiamento di fase - Materiali, Utilizzo, Campi di Applicazione"* tenutasi a Garching (Germania) nel marzo del 2004, ha portato alla produzione di materie prime in PCM da utilizzare nel campo edile ed allo sviluppo e successiva uscita sul mercato di materiali da costruzione contenenti materiali a cambiamento di fase.

Tra le molteplici sostanze presenti in natura, in grado di cambiare di fase al modificarsi delle condizioni termiche esterne, sono stati



A destra: confronto dell'inerzia termica di differenti materiali da costruzione.



selezionate dalle industrie chimiche Merck e BASF quelle che rispondono ad una serie di requisiti quali: temperatura di fusione simile a quella di benessere termico interno di un edificio, entalpia, inerzia termica, stabilità nella variazione di stato e nel tempo, temperatura di congelamento, corrosività, aspetti ecologici, tossicità, prezzo e reperibilità. I materiali meglio rispondenti a tali parametri sono risultati la cera di paraffina, i sali idrati anorganici e una serie di soluzioni saline.

Al fine di utilizzare la cera di paraffina nella composizione di materiali edili, mantenendo la sua capacità di cambiare di fase per un numero elevato di cicli, senza che si creassero legami chimici con gli altri materiali, è stato necessario inserirla in microcapsule di diametro 2-20µm in polimetilmetacrilato, una sostanza trasparente dall'elevata resistenza in grado di essere lavorata con spessori ridottissimi.

Queste capsule, messe in commercio sotto forma di polvere secca o di dispersione acquosa prodotte dalla ditta tedesca BASF, costituiscono l'elemento base per la produzione di materiali edili.

Risultati positivi sono stati ottenuti nell'integrazione di capsule contenenti PCM in pannelli in cartongesso o in legno, intonaci, sistemi di facciata vetrati o in plexiglas, isolanti termici, impianti di riscaldamento e di raffrescamento passivo, collettori solari e scambiatori di calore.

Nell'ambito della ricerca *Innovative PCM Technologie* sono stati sviluppati, testati e monitorati in test-rooms e successivamente messi in commercio, in un arco di tempo relativamente breve, numerosi prodotti contenenti materiali a cambiamento di fase.

I prodotti e sistemi di involucro edilizio sviluppati sono stati già applicati con successo nella realizzazione di edifici ad elevata efficienza energetica localizzati in Europa centrale.

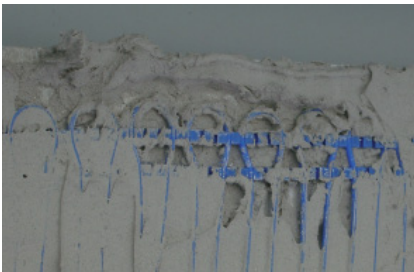


Dietrich Schwarz, *Appartamenti per anziani*, Domat/Ems, Svizzera, 2004. Fonte: Glassx.





Box-test della Velux Italia per la sperimentazione di finestre con un *blanket* contenete PCM. Colognola ai Colli, Italia. Fonte: Velux Italia.



In alto: Intonaco contenete in Pcm integrato con un sistema di raffreddamento con tubi capillari testato presso l'Istituto Fraunhofer Ise di Friburgo, Germania.

A destra: container-test per la valutazione delle prestazioni energetiche in uso di involucri edilizi leggeri conteneti PCM. Fonte: ISE, Friburgo.

### Le sperimentazioni in corso

Tra le numerose ricerche in atto sull'applicazione dei PCM in edilizia è particolarmente interessante la sperimentazione di involucri leggeri, con intonaco interno contenente PCM, sviluppata presso l'Istituto Fraunhofer ISE di Friburgo.

Al fine di valutare le effettive prestazioni in opera dell'intonaco contenente PCM, sono state realizzate due stanze identiche, con lo stesso orientamento e lo stesso sistema di involucro, differenziate solo dal fatto che in una delle due era presente una percentuale di PCM (pari a circa il 20%) nell'intonaco interno.

I test svolti sulla facciata nell'arco di un anno hanno dimostrato come nei periodi estivi la presenza di PCM riducesse notevolmente l'aumentare della temperatura superficiale dell'involucro e conseguentemente anche quella dei locali interni. Il calore solare infatti, si propaga non solo per irraggiamento diretto, ma anche per conduzione e convezione. Quindi, al fine di limitare l'aumento della temperatura degli ambienti interni, non è sufficiente schermare i raggi solari, evitando che penetrino all'interno, ma è necessario che il corpo schermante non si surriscaldi, altrimenti contribuirebbe esso stesso all'aumentare della temperatura interna attraverso fenomeni di convezione.

Nei periodi particolarmente caldi protratti nel tempo i PCM non riescono a risolidificarsi durante la notte perdendo la loro funzione di termoregolazione. Per risolvere questo problema l'ISE di Friburgo sta sperimentando la possibilità di integrare nell'intonaco contenente PCM dei tubi capillari per il raffreddamento. I primi test effettuati in una Test-room realizzata con questa tecnologia sta dando risultati positivi.

La ditta tedesca Warema sta invece sviluppando dei sistemi di schermatura solare (quali tende, brise-soleil e veneziane) contenenti PCM. Tali prodotti, che saranno presto immessi sul mercato, sono in grado di schermare i raggi solari senza aumentare la propria temperatura, con la conseguente riduzione del surriscaldamento degli ambienti interni dovuto sia all'irraggiamento diretto che ai fenomeni di convezione termica. I test effettuati sui prodotti di schermatura solare sviluppati dalla Warema hanno dimostrato una diminuzione dell'irraggiamento solare diretto con una riduzione della temperatura



interna di 6°C, uno sfasamento del riscaldamento interno rispetto all'esterno di 3 ore ed una riduzione del riscaldamento interno per convezione pari a 2°C.

Interessanti ricerche sull'applicazione dei PCM in edilizia sono portate avanti anche in Italia in particolare dal gruppo di lavoro del prof. Paolo Principi, Massimo Lemma e Roberto Fioretti del Dipartimento di Energetica dell'Università Politecnica delle Marche di Ancona. la sperimentazione consiste nel monitoraggio delle prestazioni energetiche in uso di sistemi di involucro e solai contenenti PCM sia sotto forma di intonaco che di membrane bugnate.

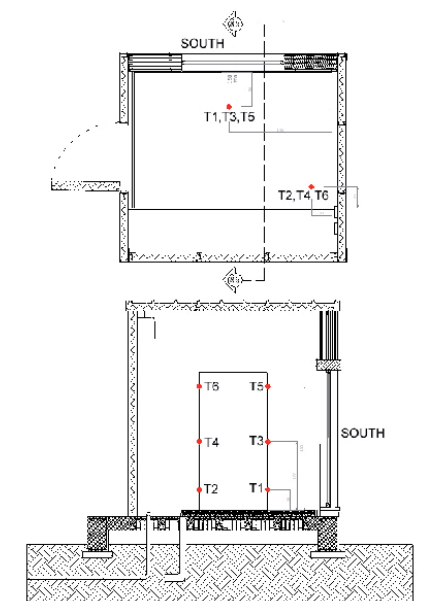
Le verifiche finora effettuate hanno dato risultati estremamente positivi in particolare per quanto riguarda la riduzione del fabbisogno energetico estivo.

La ditta Velux Italia in collaborazione con Brianza Plastica e con il gruppo di lavoro del prof. Marco Imperadori del Politecnico di Milano, ha realizzato presso la sua sede di Colognola ai Colli (VR) un box di prova in cui sono state applicate delle finestre contenenti PCM. Il box, totalmente rivestito con pannelli isolanti, è organizzato in due ambienti identici della dimensione di 1,52 x 3,55 m ed un'altezza minima di 2,45 m sul lato sud e di 2,53 m sul lato nord. Sulla copertura sono state montate due finestre per tetti Velux (1,40 x 1,34 m) inclinate di circa 15 gradi rispetto al piano orizzontale. Su una delle due aperture è stato applicato internamente un *blanket* contenete PCM di tipo *Climsel16* (con temperatura di fusione di 16 gradi), prodotto dalla ditta svedese Climator. All'esterno e all'interno dell'ambiente di prova e sono stati posizionati dei sensori per rilevare la temperatura. I dati raccolti mostrano come il sistema funzioni in maniera più marcata vicino allo strato di PCM, diminuendo di intensità mano a mano che ci si sposta verso l'ambiente interno. Il *blanket* di PCM emette un flusso di calore verso l'interno dell'edificio nelle ore in cui l'ambiente esterno si raffredda. I monitoraggi effettuati hanno evidenziato come questo fenomeno si intensifichi nelle giornate con elevati picchi massimi delle temperature e con l'avvicinarsi dei mesi più freddi.

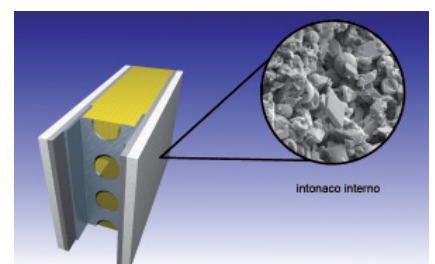
Il primo edificio realizzato in Italia in cui è stato utilizzato un intonaco contenente PCM è la Casa3LitriRoma ad Ostia Antica.

Il progetto, nato dalla collaborazione di importanti aziende di fama internazionale impegnate nello sviluppo di materiali edili innovativi, è inserito all'interno del programma *European Solar Building Exhibition* promosso dalla Commissione Europea e finalizzato alla realizzazione, diffusione e marketing di edifici che si avvalgono di sistemi attivi e passivi per il risparmio energetico e utilizzano fonti rinnovabili di energia.

Le tre prestazioni termiche delle unità abitative saranno monitorate per almeno due anni al fine di verificare l'effettivo funzionamento energetico dei materiali innovativi utilizzati, secondo gli standard preposti.



Box per la valutazione delle prestazioni energetiche in uso di contenenti PCM. Università politecnica delle Marche, Ancona, Italia.



Schema della facciata leggera con intonaco interno con microcapsule PCM testato presso l'Istituto Fraunhofer ISE di Friburgo. Fonte: ISE

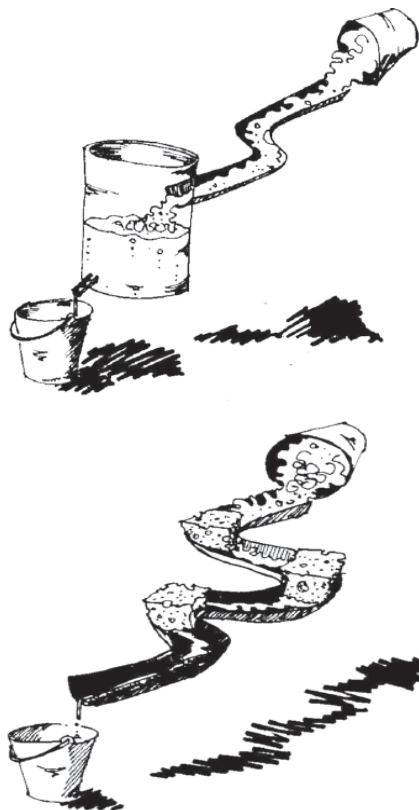
Differenza tra inerzia termica reale e inerzia termica virtuale, tratto da:

Roberta Cocci Grifoni, Simone Tascini, *L'intelligenza della pelle*, in «Costruire», n.305, ottobre 2008, p.92-94.

“Immaginiamo di versare dell'acqua in piccolo canale. La velocità con cui scorrerà dalla parte più alta a quella più bassa del canale dipenderà dal materiale con cui è fatto il canale che genererà un attrito al passaggio dell'acqua (analogo della conducibilità termica), dalla pendenza (differenza di temperatura) e dalla lunghezza del canale (spessore dello strato da attraversare). Ora se percorrendo il canale l'acqua incontrasse delle spugne lungo il percorso verrebbe assorbita dalla spugna più o meno fino alla saturazione. Intrisa una spugna l'acqua proseguirebbe con la stessa accelerazione di prima. Il risultato finale sarebbe che l'acqua arriverebbe in fondo al percorso con un tempo più lungo (si aggiungerebbe il tempo necessario alla saturazione della spugna) e, certamente, ne arriverebbe di meno. Se strizzassimo le spugne, alla fine tutta l'acqua avrebbe raggiunto il punto finale, ma più lentamente e con il massimo di flusso d'acqua (momento i cui tutte le spugne vengono strizzate) lontano dal momento il cui tutta l'acqua viene versata nel canale.

Un altro modo di ottenere lo stesso effetto sarebbe di far passare il canale attraverso un serbatoio di capacità superiore al volume d'acqua versato. L'acqua si accumulerebbe nel serbatoio che, attraverso un canale più piccolo del canale in ingresso, lascerebbe fuoriuscire un flusso d'acqua minore.

Se il flusso d'acqua fosse un flusso termico il serbatoio costituirebbe l'inerzia termica del sistema. Mentre le spugne rappresenterebbero un'inerzia termica virtuale! Parliamo di inerzia virtuale perché le spugne non appartengono al sistema condotto ma sono un artificio per far sì che l'effetto finale sia analogo a quello del serbatoio. L'inerzia termica virtuale agisce sull'energia entrante “dirottandola” o accumulandola altrove rispetto al sistema per poterla rilasciare in un secondo momento”.



Dietrich Schwarz, *Marché International Support Office, Kemptal, Svizzera, 2007*. Questo progetto ha vinto il Premio per l'architettura solare svizzero 2007. Fonte: Glassx.

### *Potenzialità e limiti per una possibile applicazione dei PCM in edilizia*

Le sperimentazioni svolte, oltre a mettere in evidenza gli effetti positivi dell'utilizzo dei PCM in edilizia, che permettono un notevole aumento dell'inerzia termica anche nelle strutture leggere e stanno dando dei risultati promettenti nella realizzazione di impianti, hanno però rivelato dei limiti ancora non del tutto superati.

I problemi principali sono costituiti dalla scelta della temperatura di fusione ottimale in grado di garantire il benessere interno in uno spazio abitabile, dalla facile infiammabilità della paraffina che può essere utilizzata solo in una quantità ridotta (al massimo il 20%) e dalla difficoltà a “scaricare termicamente” il materiale nei periodi particolarmente caldi protratti nel tempo. I PCM infatti, sono in grado esclusivamente di accumulare e rilasciare energia termica, ma non di eliminarla o di assorbirla. In particolare nei climi molto caldi è necessario combinare l'uso dei PCM con un sistema per il raffrescamento notturno o, in alternativa, con uno scambiatore di calore per il recupero dell'energia termica in eccesso.

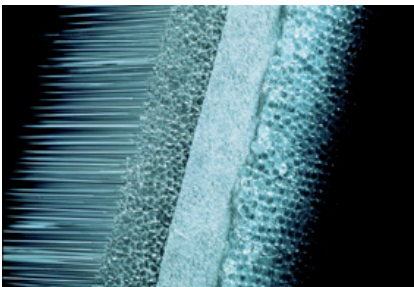
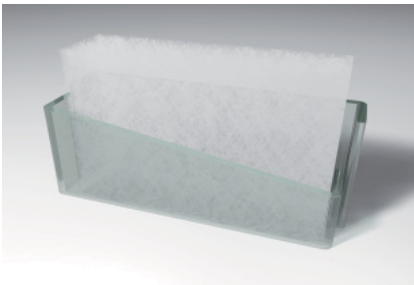
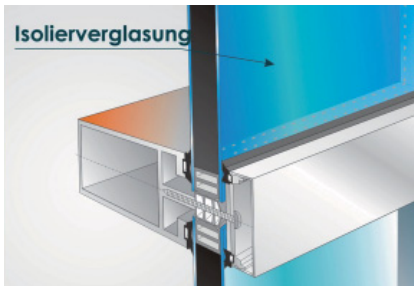
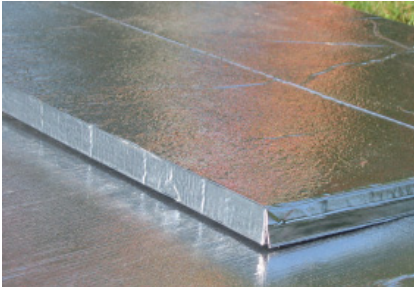
Per ovviare a tali problematiche la ditta tedesca Rubitherm sta sperimentando l'utilizzo, come materia prima, di sali idrati (meno infiammabili della paraffina) al fine di poter utilizzare una percentuale maggiore di PCM con il conseguente aumento dell'inerzia termica, rimanendo però nei limiti di infiammabilità consentiti dalle normative sui materiali da costruzione.

Per quanto riguarda i fenomeni di accumulo eccessivo di energia termica dei PCM nel periodo estivo l'ISE di Friburgo, con una ricerca coordinata da Peter Schossig, sta testando un sistema di intonaco interno integrato con tubi capillari per il raffrescamento. Con tale tecnologia è stata realizzata una stanza test (che ha già dato risultati positivi relativamente al problema dell'infiammabilità) il cui comportamento termico verrà monitorato per un anno, mentre la sua stabilità nei processi di scioglimento e risolidificazione dei PCM verrà testata per almeno 10.000 cicli.



<b>POTENZIALITA'</b> <b>PER L'APPLICAZIONE DEI PCM IN EDILIZIA</b>
<p><b>Elevata inerzia termica.</b> I PCM, in virtù della loro capacità di cambiare di fase, sono in grado di aumentare notevolmente l'inerzia termica dei componenti edili in cui sono integrati.</p>
<p><b>Peso ridotto.</b> A differenza dei materiali lapidei, i materiali a cambiamento di fase sono dotati di caratteristiche di termoregolazione indipendenti dalla propria massa. I sistemi di involucro edilizio contenenti PCM garantiscono uno smorzamento ed uno sfasamento temporale nella trasmissione del calore nonostante siano dotati di una ridotta massa frontale.</p>
<p><b>Riciclabilità della materia prima.</b> L'utilizzo di paraffina o di sali idrati come materia prima fa sì che i PCM siano dotati di un buon livello di riciclabilità.</p>
<p><b>Possibilità di scegliere la temperatura di fusione.</b> Sul mercato sono disponibili materiali a cambiamento di fase con temperature di fusione differenti. Al fine di garantire il benessere termico degli ambienti interni è possibile selezionare il PCM dotato della temperatura di fusione più adatta alla zona climatica o all'ambiente specifico in cui verrà utilizzato.</p>

<b>LIMITI</b> <b>PER L'APPLICAZIONE DEI PCM IN EDILIZIA</b>	<b>POSSIBILI STRATEGIE DI INTERVENTO</b>
<p><b>Possibile surriscaldamento nel periodo estivo.</b> Poiché i PCM sono in grado esclusivamente di accumulare e rilasciare energia termica, ma non di eliminarla o di assorbirla, nel caso in cui la temperatura notturna non scenda sotto quella di fusione il materiale a cambiamento di fase perde le sue proprietà di termoregolazione.</p>	<p><b>“Scaricamento termico” dei PCM mediante sistemi di raffrescamento.</b> Nei periodi particolarmente caldi protratti nel tempo è possibile “scaricare termicamente” i PCM con sistemi per il raffrescamento notturno (attivi o passivi) o, in alternativa, con uno scambiatore di calore per il recupero dell'energia termica in eccesso. A questo proposito l'ISE di Friburgo sta sperimentando la possibilità di integrare nell'intonaco contenente PCM dei tubi capillari per il raffrescamento.</p>
<p><b>Difficoltà nella scelta della temperatura di fusione.</b> Poiché ciascun PCM ha un unico intervallo di temperature in cui è in grado di cambiare di fase è necessario selezionare quello più adatto alla situazione specifica. Se la variazione della temperatura ambientale tra il giorno e la notte non comprende la temperatura di fusione del PCM, non è possibile sfruttare le caratteristiche di termoregolazione dei materiali a cambiamento di fase.</p>	<p><b>Analisi accurata del clima e dei parametri ambientali esterni.</b> Essendo disponibili sul mercato PCM con temperature di fusione differenti, a seguito di un'accurata analisi climatica dell'area in cui verrà utilizzato il componente edile contenente PCM, è possibile scegliere quello con la temperatura di fusione più appropriata al caso specifico.</p>
<p><b>Elevata infiammabilità della paraffina.</b> Data l'infiammabilità della paraffina essa può essere utilizzata solo in quantità ridotta (al massimo il 20%). I prodotti per l'edilizia contenenti PCM attualmente in commercio sono classificati per la resistenza al fuoco nelle categorie B2 (normalmente infiammabile) o B1 (difficilmente infiammabile). Tale caratteristica ne impedisce l'utilizzo nelle strutture pubbliche.</p>	<p><b>Utilizzo dei sali idrati (meno infiammabili della paraffina).</b> Per limitare l'infiammabilità dei PCM la ditta tedesca Rubitherm sta sperimentando l'utilizzo come materia prima di sali idrati al fine di poter utilizzare una percentuale maggiore di PCM con il conseguente aumento dell'inerzia termica, rimanendo però nei limiti di infiammabilità consentiti dalle normative sui materiali da costruzione.</p>
<p><b>Durabilità non ancora certificata.</b> Trattandosi di un materiale innovativo non è stata ancora certificata la sua durabilità o meglio la durata nel tempo della proprietà di cambiare di fase.</p>	<p><b>Test in corso.</b> L'ISE di Friburgo sta svolgendo dei test sui PCM in cui la loro stabilità verrà testata per almeno 10.000 cicli.</p>
<p><b>Costo elevato.</b> I prodotti per l'edilizia contenenti PCM hanno un costo maggiore rispetto ai sistemi e componenti comunemente utilizzati.</p>	<p><b>La spesa viene ammortizzata dal risparmio energetico.</b> Le caratteristiche di termoregolazione dei PCM combinate ad uno spessore ridotto garantiscono dei vantaggi quali l'aumento della superficie calpestabile a parità di prestazioni, rispetto ad un materiale da costruzione di tipo tradizionale, e un risparmio nell'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili.</p>



## Schede prodotto

Le seguenti schede analizzano le prestazioni tecnologiche ed energetiche di prodotti appartenenti alle categorie di VIP, TIM e PCM.

Tale raccolta risulta, allo stato attuale, esaustiva dei prodotti disponibili sul mercato europeo per l'involucro edilizio - realizzato con tecnologie assemblate a secco - appartenenti alle tre categorie selezionate. Nel caso in cui più aziende abbiano commercializzato prodotti con caratteristiche prestazionali simili, è stato analizzato quello con brevetto precedente.

Al momento della stesura di questo capitolo quasi la totalità dei prodotti presentati non è ancora disponibile sul mercato italiano nonostante parte delle ditte produttrici abbiano una filiale nel nostro paese.

La schede, oltre a fornire un quadro completo dei prodotti attualmente disponibili sul mercato europeo, intendono costituire un utile strumento di comparazione di prodotti commercializzati da ditte produttrici differenti. Generalmente, infatti, le schede prodotto fornite dalle aziende, oltre a risultare poco chiare e incomplete, sono di difficile comparazione in quanto contengono caratteristiche, parametri di valutazione o unità di misura differenti tra loro.

Con la stretta collaborazione con le industrie produttrici è stata messa a punto una scheda - contenente informazioni su dati dimensionali, caratteristiche tecniche e prestazioni energetiche - unica per ciascuna categoria di prodotto.

Tale catalogazione vuole costituire la base conoscitiva indispensabile per la selezione di tre sistemi di involucro innovativi stratificati a secco - contenenti VIP, TIM o PCM e non ancora applicati nel Sud Europa - che costituiranno l'oggetto della sperimentazione applicativa messa a punto nel terzo capitolo di questo lavoro di ricerca.

Le schede prodotto sono organizzate nelle alle seguenti sezioni:

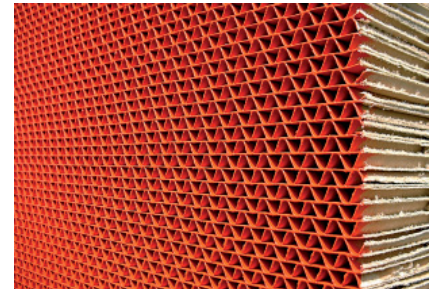
### VIP - Vacuum Insulation Panels

#### *- Pannelli isolanti sottovuoto.*

In questa sezione sono raccolte le schede prodotto di VIP con composizione del nucleo differente. Il materiale che costituisce il nucleo del pannello, oltre a determinare il valore della conducibilità termica, influenza sostanzialmente la durabilità del pannello stesso. Tra i materiali utilizzati (ad es. poliuretano, polveri siliciche e materiali fibrosi) ve ne sono alcuni che garantiscono una capacità isolante elevata, ma sono in grado di mantenerla tale solo per un periodo di tempo limitato, non risultando adatti per applicazioni nel settore dell'edilizia.

*- Prodotti e componenti per l'involucro edilizio con VIP.*

In questa sezione sono raccolte le schede prodotto di componenti per l'involucro edilizio contenenti pannelli isolanti sottovuoto. Data la particolare fragilità dei VIP, molte ditte produttrici non hanno messo in commercio i singoli pannelli sottovuoto, ma li hanno inglobati all'interno di sistemi di facciata stratificati o di pannelli sandwich. In questo modo si riduce notevolmente il rischio di lacerazione della pellicola di rivestimento che comporterebbe un'alterazione irrimediabile delle prestazioni termiche del pannello.



### **TIM - Transparent Insulation Materials**

*- Prodotti e componenti per l'involucro edilizio con TIM.*

In questa sezione sono raccolte le schede prodotto di componenti per l'involucro edilizio contenenti isolanti traslucenti. A causa della particolare consistenza e della elevata fragilità dei TIM, essi generalmente non sono commercializzati singolarmente, ma già integrati in componenti per l'involucro edilizio.

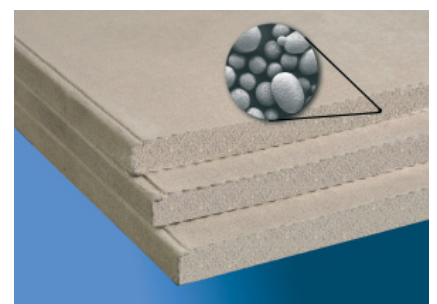


### **PCM - Phase Changing Materials**

*- Prodotti e componenti per l'involucro edilizio con PCM.*

Questa sezione costituisce una raccolta eterogenea di prodotti per l'involucro edilizio contenenti PCM. Date le molteplici forme in cui sono prodotti i materiali a cambiamento di fase, essi possono essere integrati in componenti edilizi molto diversi tra loro come intonaci, pannelli, buste ecc. In questa sezione sono raccolti i prodotti contenenti PCM che possono essere utilizzati nella realizzazione di involucri edilizi stratificati a secco.

Data l'eterogeneità dei prodotti selezionati è risultato impossibile definire una scheda prodotto unitaria. Si è quindi cercato di fornire le indicazioni dimensionali e tecnologiche più interessanti ed appropriate per il prodotto specifico, mentre, per quanto riguarda le prestazioni energetiche, sono stati utilizzati parametri di valutazione comuni.





SCHEDA PRODOTTO\_01

**va-Q-pur®**

**Descrizione:** pannello isolante sotto vuoto con nucleo in poliuretano.

**Possibili utilizzi:** possedendo una durabilità limitata è maggiormente adatto più alla realizzazione di box isolanti piuttosto che all'applicazione in edilizia.

**Conduttività termica:** 0,007÷0,009 W/mK

**Trasmittanza:** 0,27 W/mqK per pannelli con uno spessore di 30mm.

**Composizione:** nucleo in schiuma di poliuretano con pellicola di rivestimento a triplostrato (dall'interno verso l'esterno: PE 40 µm, alluminio 6 µm, PET 60µm).

**Finitura esterna:** pellicola argentata.

**Spessori:** 30mm spessore standard, su richiesta possono essere realizzati altri spessori.

**Formati:** 950mm x 550mm formato standard, su richiesta possono essere realizzati altri formati.

**Peso:** 52 Kg/mc nucleo.

**Prezzo indicativo:** varia in base alla grandezza dei pori del poliuretano, dello spessore e delle dimensioni del pannello, non vi sono prezzi standard, variano in base alla quantità ordinata.

**Ditta produttrice:**

va\_Q-tec AG,  
Karl-Ferdinand-Braun-St. 7  
97080 Würzburg  
Germania  
tel. 0049/(0)931/359420  
fax. 0049/(0)931/359420  
www.va-q-tec.de  
info@ va-q-tec.de

SCHEDA PRODOTTO\_02

**va-Q-mic®**

**Descrizione:** pannello isolante sotto vuoto con nucleo in materiali fibrosi.

**Possibili utilizzi:** possedendo una durabilità limitata è maggiormente adatto più alla realizzazione di box isolanti piuttosto che all'applicazione in edilizia.

**Conduttività termica:** 0,0028÷0,0035 W/mK.

**Trasmittanza:** 0,25 W/mqK per pannelli con uno spessore di 15mm.

**Composizione:** nucleo in materiali fibrosi con pellicola di rivestimento a triplostrato (dall'interno verso l'esterno: PE 40 µm,

alluminio 6 µm, PET 60µm).

**Finitura esterna:** pellicola argentata.

**Spessori:** 7mm, 13mm, 20mm.

**Formati:** formati standard: 1000mm x 600mm, 1000mm x 1000mm, formati standard, su richiesta possono essere realizzati altri formati.

**Peso:** nucleo circa 220Kg/mc.

**Prezzo indicativo:** varia in base alle caratteristiche del materiale del nucleo, dello spessore e delle dimensioni del pannello, non vi sono prezzi standard, variano in base al tipo di ordine.

**Ditta produttrice:**

va\_Q-tec AG,  
Karl-Ferdinand-Braun-St. 7  
97080 Würzburg  
Germania  
tel. 0049/(0)931/359420  
fax. 0049/(0)931/359420  
www.va-q-tec.de  
info@ va-q-tec.de

SCHEDA PRODOTTO\_03

**va-Q-vip®**

**Descrizione:** pannello isolante sotto vuoto con nucleo in polveri siliciche pressate composte per la maggior parte da biossido di silicio.

**Possibili utilizzi:** garantendo una durabilità di almeno 50 anni è particolarmente adatto per l'applicazione in edilizia.

**Conduttività termica:** 0,0042 W/mK.

**Trasmittanza:** 0,25 W/mqK per pannelli con uno spessore di 20mm.

**Composizione:**

- nucleo in polveri pressate (biossido di silicio SiO<sub>2</sub> 80%, carburo di silicio SiC 15%, altre polveri 5%)

- pellicola di rivestimento a triplostrato (dall'interno verso l'esterno: PE 40 µm, alluminio 0,04 µm, PET 60µm).

**Finitura esterna:** pellicola argentata.

**Spessori:** 5mm, 10mm, 15mm, 25mm, 30mm, 40mm.

**Formati:** formati standard: 1000mm x 500mm, 1000mm x 600mm, formato massimo 1200mm x 1000mm.

**Peso:** 170÷190Kg/mc nucleo.

**Prezzo indicativo:** circa 100 €/mq  
60€ + IVA a pannello di dimensioni 1000 mm x 600 mm x 20 mm

**Ditta produttrice:**

va\_Q-tec AG,  
Karl-Ferdinand-Braun-St. 7  
97080 Würzburg  
Germania  
tel. 0049/(0)931/359420  
fax. 0049/(0)931/359420  
www.va-q-tec.de  
info@ va-q-tec.de



### Vakupaneel®

**Descrizione:** sistema di facciata opaca in vetro contenente isolante sottovuoto con nucleo in polvere di biossido di silicio.

**Possibili utilizzi:** facciate in vetro a bassa re emissività.

**Montaggio:** il pannello VIP viene posto tra due lastre di vetro a bassa emissività e montato all'interno di un normale infisso per doppi vetri.

**Conduttività termica dell'isolante VIP:** 0,004 W/mK.

**Trasmittanza:** 0,15 ÷ 0,29 W/mqK.

**Composizione:** pannello VIP con nucleo in polvere silicica posto tra due lastre di vetro a bassa emissività. Il pannello VIP può essere rivestito anche con altri materiali tra cui: ceramica, pannelli stratificati, lamiera di alluminio, acciaio, acciaio inossidabile, ottone e rame.

**Spessori:** lo spessore minimo è di 16 mm.

**Formati:** minimo 200 x 200 mm; massimo varia in base al materiale di rivestimento. Con vetri a bassa emissività il formato massimo è 2150 x 4500 mm.

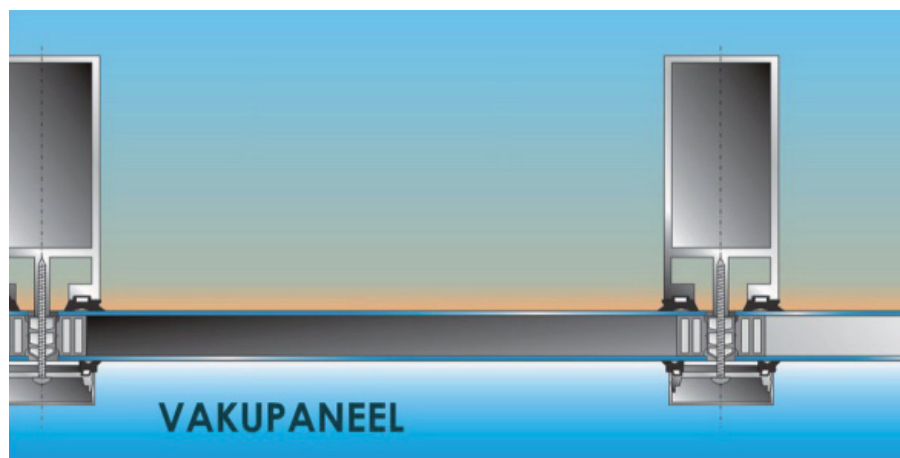
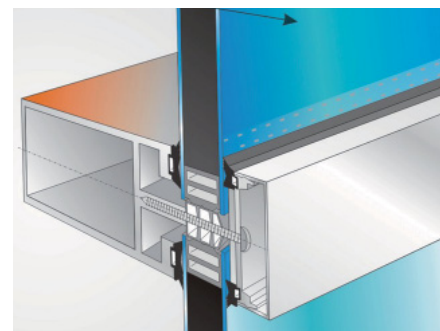
**Peso:** varia in base al tipo di rivestimento.

**Prezzo indicativo:** varia in base alla tipologia della facciata, alla grandezza dei pannelli e al numero dei pezzi ordinati.

**Caratteristiche particolari:** è possibile farsi realizzare pannelli ad hoc scegliendo la capacità isolante, lo spessore del VIP e il tipo

di rivestimento esterno ed interno. Questo tipo di pannello VIP può essere utilizzato anche nella coibentazione di porte.

**Ditta produttrice:**  
BOETKER Metall + Glas,  
Meenheit 53  
28816 Stuhr  
Germania  
Tel. 0049/(0)421/576570  
Fax. 0049/(0)421/5765777  
www.boetker.de  
info@boetker.de



### tempsafe® elements

**Descrizione:** pannello sandwich contenente isolante sottovuoto con nucleo in polvere di biossido di silicio

**Possibili utilizzi:** rivestimento per facciate con struttura a montanti e traversi o con struttura portante in legno, isolamento di solai, di tetti giardino e tetti calpestabili, riempimento isolante di porte esterne.

**Montaggio:** varia in base al tipo di costruzione scelto. In tempsafe® - 30 e 40 vi è la possibilità di alloggiare dei tubi per il raffreddamento nell'intercapedine tra due pannelli.

**Conduttività termica dell'isolante VIP:** 0,004 W/mK.

**Trasmittanza:** 0,40 W/mqK per uno spessore di 10 mm; 0,10 W/mqK per uno spessore di 40 mm.

**Composizione:** pannello isolante sotto vuoto rivestito in lamiera in acciaio inossidabile.

**Rivestimento esterno:** lamiera in acciaio inossidabile con numerose colorazioni e finiture esterne. Il pannello può essere rivestito con lamiera di alluminio, vetro e altri materiali a scelta.

**Spessori:** spessori possibili del nucleo: 10-15-20-30-40 mm; spessore della lamiera in acciaio 0,5÷3 mm.

**Formati:** minimo 1000x1000 mm, massimo 3000x8000 mm.

**Peso:** varia in base alla composizione del pannello e dipende essenzialmente dal

rivestimento in acciaio. Un mq di lamiera in acciaio con lo spessore di 1mm pesa 8kg. Un pannello sandwich pesa all'incirca 200kg/mc in cui il pannello isolante influisce solo per il 10% del peso.

**Prezzo indicativo al mq:** varia in base al materiale di rivestimento, allo spessore dell'isolante e alla trasmittanza richiesta. Ad esempio un pannello con uno spessore di 20mm di nucleo isolante e 0,8 mm di pellicola di rivestimento ha un prezzo di circa 150€/mq.

**Caratteristiche particolari:** su richiesta è possibile avere dei pannelli forati o con forme particolari. I fori possono essere circolari o

rettangolari con una lunghezza minima del lato di 250mm, mentre i bordi del pannello possono essere tagliati sia ortogonalmente che trasversalmente. Il pannello è garantito per un periodo di almeno 35 anni.

**Ditta produttrice:**  
Labdasave GmbH  
Am Duckeldamm  
26725 Emdem  
Germania  
tel. 0049/(0)4921/976800  
fax. 0049/(0)4921/976899  
www.lambdasave.com  
info@lambdasave.com



SCHEDA PRODOTTO\_06

**Klimapaneel®**

**Descrizione:** pannello sandwich per parete contenente pannelli isolanti sotto vuoto Vakupaneel® ed un sistema di riscaldamento e raffreddamento integrato.

**Possibili utilizzi:** tamponamento di pareti esterne ed interne.

**Montaggio:** il pannello viene montato all'interno di un normale infisso per doppi vetri.

**Conducibilità termica dell'isolante VIP:** 0,004 W/mK.

**Trasmittanza:** 0,23 W/mqK.

**Composizione:** il pannello VIP e la camera d'aria per l'alloggiamento del sistema di riscaldamento e raffreddamento sono rivestiti con un carter esterno realizzabile in differenti materiali.

**Rivestimento esterno:** vetro a bassa emissività, ceramica, pannelli stratificati, lamiera di alluminio, acciaio, acciaio inossidabile, ottone e rame.

**Spessori:** variano in base al tipo di rivestimento. L'intercapedine interna contenente il VIP e il sistema di riscaldamento e raffreddamento ha uno spessore di 90 mm.

**Formati:** min. 345mm larghezza e 420mm altezza, max. 120mm in larghezza e 1145mm altezza. È possibile eventualmente invertire le misure della larghezza e dell'altezza.

**Peso:** varia in base al tipo di rivestimento.

**Prezzo indicativo al mq:** varia in base alla

tipologia della facciata, alla grandezza dei pannelli e al numero dei pezzi ordinati.

**Caratteristiche particolari:** è possibile farsi realizzare pannelli sandwich ad hoc scegliendo la capacità isolante, lo spessore del VIP e il tipo di rivestimento interno ed esterno.

**Ditta produttrice:**

BOETKER Metall + Glas,

Meenheit 53

28816 Stuhr

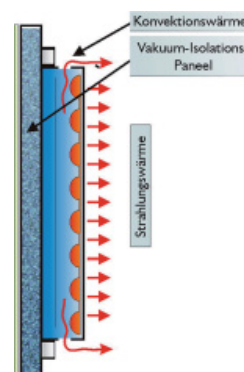
Germania

Tel. 0049/(0)421/576570

Fax. 0049/(0)421/5765777

www.boetker.de

info@boetker.de



SCHEDA PRODOTTO\_07

**Qasa**

**Descrizione:** pannello sandwich contenente isolante sottovuoto con nucleo in polveri siliciche.

**Possibili utilizzi:** coibentazione di facciate, coperture e solai in legno o cemento armato.

**Montaggio:** viene inserito all'interno della parete della copertura o del solaio stratificato come un normale isolante.

**Conducibilità termica dell'isolante VIP:** 0,004W/mK.

**Trasmittanza:** circa 0,11÷0,12 W/mqK per una parete, un tetto o un solaio stratificato in cemento armato o legno.

**Composizione:** il pannello isolante sottovuoto (40mm), composto da polveri miscelate e pressate rivestite da una pellicola in metallo o film multistrato in alluminio, è affogato nella schiuma di poliuretano (5 mm) e rivestito con una pellicola di alluminio (0,6mm) e da 2 pannelli rigidi in poliuretano.

**Rivestimento esterno:** pannello rigido in poliuretano.

**Spessori:** 10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm, 35mm, 40mm, 45mm, 50mm.

**Formati:** max. 1250x3000mm.

**Peso:** 150÷300 kg/m³.

**Prezzo indicativo:** i prezzi variano in base alle dimensioni del pannello e alla quantità ordinata. Per 1mq di pannello di grandi dimensioni con uno spessore di 10mm il prezzo è di 125,25€; con uno spessore di 25mm, 152,20€; con uno

spessore di 50mm, 204,95€.

**Caratteristiche particolari:** per l'utilizzo di Qasa nelle pareti in cemento armato è stato brevettato un apposito elemento che collega i pannelli isolanti tra di loro e li fissa ai pannelli prefabbricati.

**Ditta produttrice:**

VARIOTEC

Sandwichelemente GmbH & Co. KG

Weißmarterstraße 3 - 5

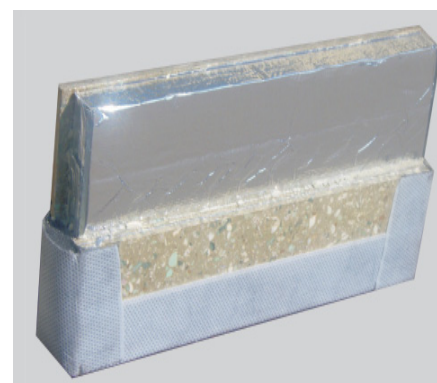
92318 Neumarkt

Germania

Tel. 0049/(0)9181/69460

www.variotec.de

vip@variotec.de



**TIMax GL**

**Descrizione:** TIMax\_GL è un pannello isolante traslucido in tubi di vetro sviluppato appositamente per il miglioramento delle prestazioni termiche e visive dei sistemi di facciata realizzati con la tecnologia degli U-Glas. L'inserimento di questo pannello tra due profili vetrati ad U, oltre a ridurre notevolmente la trasmittanza termica della facciata, costituisce una efficace schermatura solare nel periodo estivo. Le dimensioni sono tali che i pannelli possono essere integrati negli U-Glas in commercio riempiendo totalmente l'intercapedine tra i due profili.

**Spessore:** 33 mm e 53 mm

**Dimensioni:** La larghezza per entrambi gli spessori può essere 210 mm, 240 mm, 310 mm. I pannelli con spessore 53 mm possono essere larghi anche 480 mm.

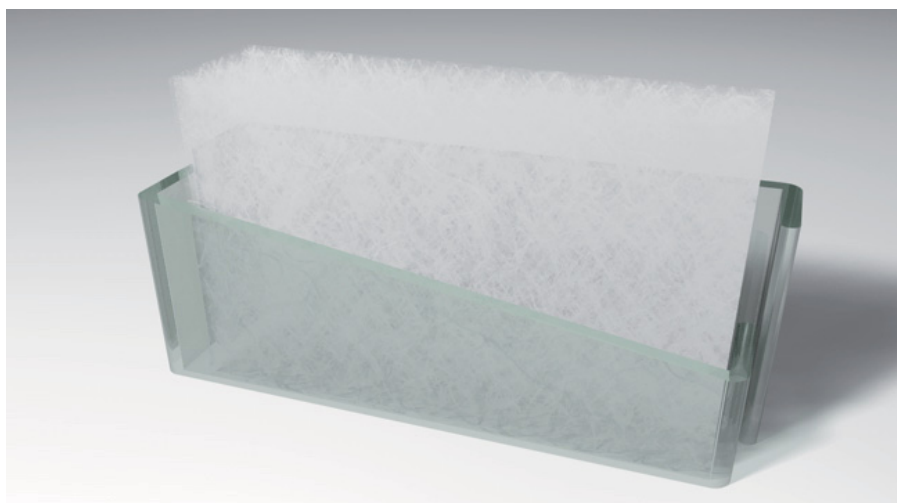
L'altezza può essere definita dall'acquirente in base al progetto da realizzare.

**Ditta produttrice:**

WACOTECH GmbH & Co. KG  
Gewerbepark Brake  
Querstraße 7  
33729 Bielefeld-Brake  
Germania  
tel. 0049/(0)521/9620080  
www.wacotech.de  
info@wacotech.de

**Dati tecnici:**

	pannelli 33 mm in vetri ad U 40	pannelli 53 mm in vetri ad U 60
<b>U</b>	1,50 W/m²K	1,36 W/m²K
<b>g diretta</b>	44%	43%
<b>g diffusa</b>	35%	34%
<b>† diretta</b>	50%	48%
<b>† diffusa</b>	38%	36%



**OKAPANE**

**Descrizione:** I pannelli isolanti traslucidi in acrilico (PMMA) a struttura honeycomb Okapane trovano la loro principale applicazione nelle facciate realizzate con la tecnologia degli U-Glas. L'inserimento del pannello tra i due profili ad U in vetro accoppiati e sigillati con il silicone, determina un notevole aumento delle prestazioni termiche della facciata, garantisce un'illuminazione naturale diffusa ed omogenea degli ambienti interni limitando i fenomeni di abbagliamento e rende il sistema di facciata

semi-trasparente. Al fine di aumentare ulteriormente le prestazioni è possibile inserire una pellicola riflettente nella cavità dell'U-Glas interno. Le dimensioni sono tali che i pannelli possono essere integrati negli U-Glas in commercio lasciando un'intercapedine d'aria tra i due profili.

**Spessore:** 12 mm, 16 mm, 24 mm, 32 mm, 40 mm

**Dimensioni:** La larghezza per entrambi gli spessori può essere 196 mm, 200 mm, 226

mm, 230 mm, 295 mm, 299 mm, 466 mm. L'altezza può essere definita dall'acquirente in base al progetto da realizzare.

**Ditta produttrice:**

OKALUX GmbH  
Am Jöspershecklein 1  
97828 Marktheidenfeld-Altfield  
Germania  
tel. 0049/(0)9391/9000  
www.okalux.de  
info@okalux.de

**Dati tecnici:**

	TIM 12 mm aria 44 mm	TIM 16 mm aria 40 mm	TIM 24 mm aria 32 mm	TIM 32 mm aria 24 mm	TIM 40 mm aria 16 mm	TIM 2*16mm aria 27 mm
<b>U</b>	2,0 W/m²K	1,8 W/m²K	1,6 W/m²K	1,5 W/m²K	1,4 W/m²K	1,4 W/m²K
<b>g</b>	39%	39%	38%	38%	38%	32%
<b>† diretta</b>	38%	38%	38%	38%	38%	29%

Con l'inserimento di una pellicola riflettente nella parte interna.

	TIM 12 mm aria 44 mm	TIM 16 mm aria 40 mm	TIM 24 mm aria 32 mm	TIM 32 mm aria 24 mm	TIM 40 mm aria 16 mm
<b>U</b>	1,6 W/m²K	1,5 W/m²K	1,3 W/m²K	1,3 W/m²K	1,2 W/m²K
<b>g</b>	37%	37%	36%	36%	36%
<b>† diretta</b>	35%	35%	35%	35%	35%



SCHEDA PRODOTTO\_10

**KAPILUX-TWD**

**Descrizione:** Kapilux-TWD è un sistema di facciata costituito da due lastre di vetro isolante nella cui intercapedine è inserito un pannello TIM di colorazione bianca a struttura capillare in acrilico (PMMA). Le elevate prestazioni termiche di Kapilux-TWD sono ulteriormente migliorate dall'inserimento di gas nobile nell'intercapedine e da un infisso in alluminio sigillato ermeticamente.

Tale sistema può essere utilizzato sia come parete traslucente, che come "elemento captatore" in una facciata solare opaca.

**Spessore:** 25 mm

**Dimensioni:** dimensione minima 1000 x 1000 mm, dimensione massima 2000 x 2000 mm. I pannelli con una dimensione maggiore di 1300 mm sono suddivisi ed irrobustiti da un profilo a T in alluminio.

**Ditta produttrice:**

OKALUX GmbH  
Am Jöspershecklein 1  
97828 Markttheidenfeld-Altfield  
Germania  
tel. 0049/(0)9391/9000  
www.okalux.de  
info@okalux.de



**Dati tecnici:**

	Pannello KAPILUX-TWD
<b>U</b>	0,70 W/m <sup>2</sup> K
<b>g</b>	37%
<b>† diretta</b>	35%

**Sto Solar**

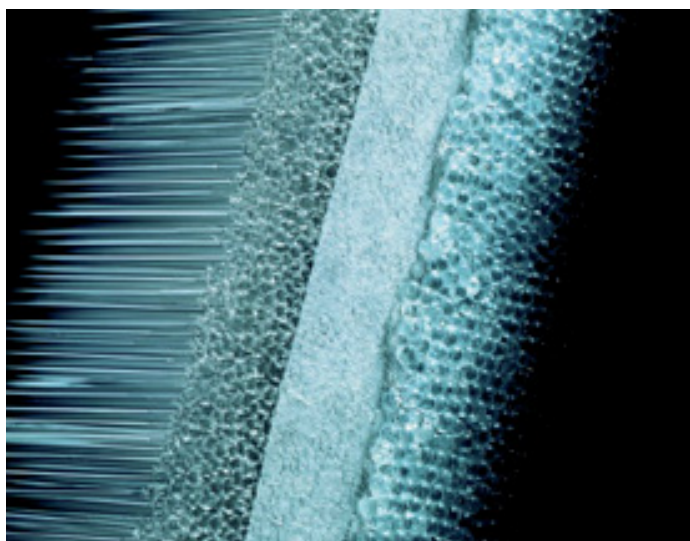
**Descrizione:** Sto Solar è un sistema di isolamento traslucente per le facciate opache massive. I pannelli Sto Solar sono costituiti da un isolante traslucente a struttura capillare la cui parte interna è spalmata di colla nera che funge da elemento assorbente mentre esternamente sono rivestiti da una pellicola in feltro e da un intonaco contenente particelle di vetro che, grazie a fenomeni di riflessione luminosa, aumentano la captazione dell'energia solare.

**Spessore:** 85 mm, 105 mm, 125 mm, 145 mm

**Dimensioni:** le dimensioni dei pannelli possono variare in base alle esigenze progettuali.

**Ditta produttrice:**

Sto AG  
PM Wärmedämm-Verbundsysteme  
Ehrenbachstraße 1  
79780 Stühlingen  
Germania  
tel. 0049/(0)7744/571455  
www.sto.de  
m.zwenger@sto.eu.com



SCHEDA PRODOTTO\_11

**Dati tecnici:**

	pannelli 85 mm	pannelli 105 mm	pannelli 125 mm	pannelli 145 mm
<b>U</b>	1.21 W/m <sup>2</sup> K	1.03 W/m <sup>2</sup> K	0.90 W/m <sup>2</sup> K	0.85 W/m <sup>2</sup> K
<b>g</b>	60%	60%	60%	59%
<b>† diretta</b>	41%	41%	40%	40%

SCHEDA PRODOTTO\_12

**Gap – effektpanell**

**Descrizione:** Il sistema di facciata traslucente effektpanell è il primo ad essere realizzato con un isolante alveolare in cellulosa chiamato solarwabe. Il sistema stratificato di facciata è costituito da: vetro isolante esterno 6 mm, intercapedine contenente l'isolante alveolare in cellulosa 16 mm, un secondo vetro isolante 4-6 mm, una seconda intercapedine con argon 10-16 mm e un vetro di chiusura interno 4-6 mm. Effektpanell, che ha un peso tra i 38 e i 50 kg al mq, viene fornito con un sistema di infissi in alluminio che può essere ancorato ad una struttura in montanti e traversi sottostante.

**Spessore:** 40 - 50 mm

**Dimensioni:** dimensione massima con vetri da 6 mm 1240 x 3000 mm, dimensione massima con vetri da 4 mm 1000 x 2400 mm.

**Ditta produttrice:**

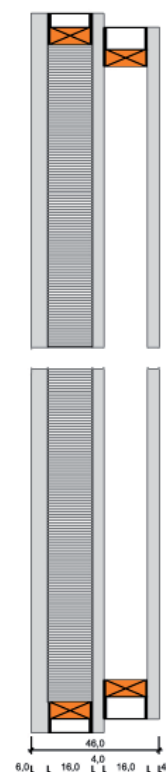
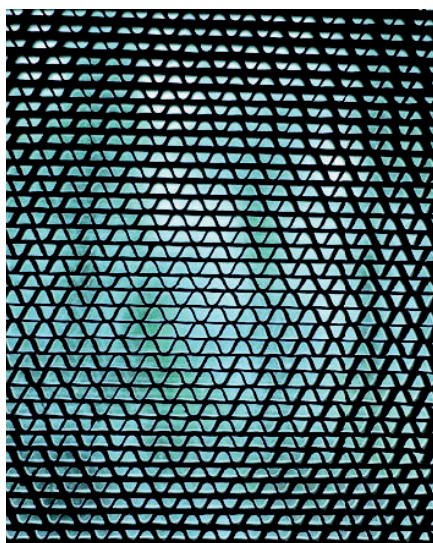
gap-solar GmbH  
 Technologiepark 17  
 4120 Perg  
 Austria  
 tel. 0043/7262/577500  
 www.gap-solar.at  
 office@gap-solar.at

gap-solution GmbH  
 Welsersstraße 37  
 4060 Leonding  
 Austria  
 tel 0043/70/6810300

www.gap-solution.at  
 office@gap-solution.at

**Dati tecnici:**

	Pannello KAPILUX-TWD
<b>U</b>	0,92 W/m <sup>2</sup> K
<b>g diffusa</b>	0,11
<b>g diretta</b>	0,28



**Gap – effektpanell**

**Descrizione:** Fassadenpanell II è un sistema di facciata opaco con un isolante traslucente alveolare in cellulosa integrato. La facciata è costituita da un vetro esterno basso emissivo 6 mm, una camera d'aria 27 mm, l'isolante alveolare in cellulosa 30 mm e due strati in legno PAVATEX-ISOLAIR 35 mm.

La facciata può essere fissata ad una sottostruttura di montanti e traversi mediante degli elementi in alluminio che permettono la combinazione con il sistema effektpanell.

**Spessore:** 98 mm

**Dimensioni:** dimensione minima 350 x 350 mm, dimensione massima 1250 x 3050 mm.

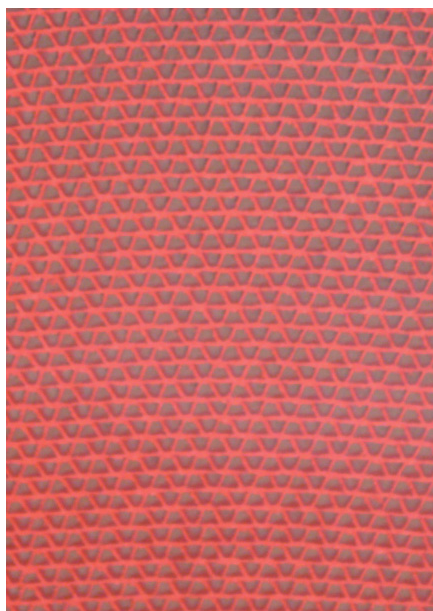
**Ditta produttrice:**

gap-solar GmbH  
 Technologiepark 17  
 4120 Perg  
 Austria  
 tel. 0043/7262/577500  
 www.gap-solar.at  
 office@gap-solar.at

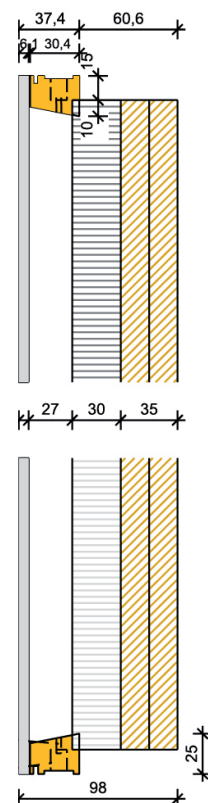
gap-solution GmbH  
 Welsersstraße 37  
 4060 Leonding  
 Austria  
 tel 0043/70/6810300  
 www.gap-solution.at  
 office@gap-solution.at

**Dati tecnici:**

	nero	grigio chiaro
<b>U</b>	0,74 W/m <sup>2</sup> K	0,74 W/m <sup>2</sup> K
<b>g diffusa</b>	0,10	0,08
<b>g diretta</b>	0,15	0,13



SCHEDA PRODOTTO\_13



## OKAGEL

**Descrizione:** Okagel è un sistema di facciata vetrata traslucente di nuova generazione prodotto dalla ditta Okalux e costituito da una vetrocamera con lastre di vetro basso emissivo con uno spessore di 6 mm nella cui camera d'aria sottovuoto sono inseriti granuli di Nanogel prodotti dalla ditta Cabot. Il prodotto fornito è un elemento vetrato stratificato dotato di un infisso in alluminio.

Le dimensioni estremamente ridotte delle particelle sferiche che compongono il nanogel e la conseguente micro-parcellizzazione dell'aria limitano i fenomeni di trasmissione di calore per conduzione e convezione fornendo al sistema di facciata delle prestazioni termiche estremamente elevate, paragonabili a quelle di una facciata opaca. Il Nanogel è un aerogel granulato composto da particelle sferiche con diametro compreso tra 0,5 e 4 mm, costituito per il 97% da acido silicico modificato e per

il 3% da acqua, con un indice di porosità del 90% e una densità di 90 – 100 kg/mc.

**Spessore:** 42 mm = (6 + 30 + 6), 72 mm = (6 + 60 + 6)

**Dimensioni:** dimensione massima 1000 x 2000 mm

**Dati tecnici:**

U: 0,5 W/m<sup>2</sup>K (sistema di facciata vetrato con Nanogel 30 mm)

U: 0,3 W/m<sup>2</sup>K (sistema di facciata vetrato con Nanogel 60 mm)

**Ditta produttrice:**

OKALUX GmbH  
Am Jöspershecklein 1  
97828 Marktheidenfeld-Altfield  
Germania  
tel. 0049/(0)9391/9000  
www.okalux.de  
info@okalux.de



**Dati tecnici relativi al nanogel:**

	13 mm	25 mm	31 mm	38 mm	50 mm	64 mm
<b>U</b>	1,4 W/m <sup>2</sup> K	0,7 W/m <sup>2</sup> K	0,57 W/m <sup>2</sup> K	0,47 W/m <sup>2</sup> K	0,35 W/m <sup>2</sup> K	0,28 W/m <sup>2</sup> K
<b>g</b>	73 %	52 %	43 %	39 %	26 %	21 %
<b>†</b>	73	53 %	45 %	39 %	28 %	21 %

**micronal**

**Descrizione:** microcapsule e soluzione acquosa contenente PCM.

**Possibili utilizzi:** materia prima per la composizione di materiali da costruzione (intonaci, gessi, pannelli di rivestimento, ecc.).

**Composizione:** microcapsule di diametro 2-20 µm in polimetilmetacrilato contenenti cera di paraffina.

Temperatura di fusione 23°C o 26°C in base al tipo.

**Comportamento termico:** funge da termoregolatore ammortizzando i picchi di temperatura. Quando l'ambiente raggiunge una temperatura superiore al punto di fusione del PCM, la cera contenuta all'interno delle capsule cambia di fase acquisendo il calore esterno senza che la sua temperatura aumenti. Analogamente all'abbassamento della temperatura la cera si risolidifica cedendo calore all'ambiente circostante.

**Capacità termica specifica:** 110 kJ/kg della polvere (in base alla ISO 11357-3), ca. 46 kJ/kg sciogliendo il principio attivo nell'acqua con una percentuale del 42%.

**Versioni sul mercato:** è disponibile come dispersione acquosa e come polvere secca

- DS 5000 X

fluida, temperatura di fusione del nucleo 26°C

- DS 5007 X

fluida, temperatura di fusione del nucleo 23°C

- DS 5001 X

polvere, temperatura di fusione del nucleo 26°C

- DS 5008 X

polvere, temperatura di fusione del nucleo 23°C

**Caratteristiche particolari:** i PCM sono micro-incapsulati al fine di aumentare la loro capacità di cambiamento di fase

**Ditta produttrice:**

BASF AG

tel. 0049 621 600

fax. 0049 621 6042525

www.basf.com, info@basf.com

www.micronal.de

**Distribuzione in Italia:**

BASF-Italia

www.basf-italia.it

numero verde 0080022766257



**DELTA-PCMs**

**Descrizione:** PCM sotto forma di pannelli o contenuti all'interno di buste in alluminio, sfere in plastica o membrane bugnate.

**Possibili utilizzi:** materia prima per la composizione di materiali da costruzione.

**Composizione:** sali idrati.

**Temperatura di fusione:** tra i 22°C e i 28°C.

**Comportamento termico:** funge da termoregolatore ammortizzando i picchi di temperatura e mantenendo la temperatura interna di un edificio stabile a 25°C anche nei periodi più caldi dell'anno.

**Capacità termica specifica:** 5700 kJ nel pannello 20 mm di spessore.

**Versioni sul mercato:** buste in alluminio, pannelli, sfere e membrane bugnate.

**Caratteristiche particolari:** un pannello di 2 cm ha la stessa capacità termica di 24 cm di cemento, 36 cm di muratura in mattoni, 38 cm di legno massello, 226 cm di un sistema di facciata in costruzione leggera.

**Ditta produttrice:**

Dörken GmbH

Wetterstrasse 58

58313 Herdecke

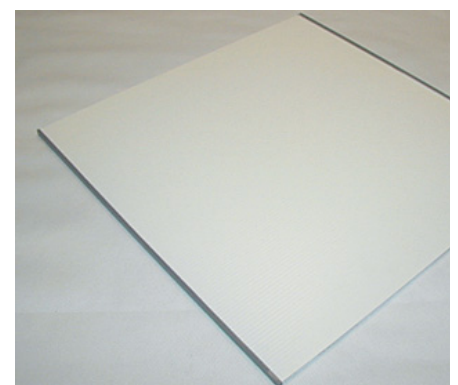
Germania

tel. 0049 2330 630

fax 0049 2330 63355

www.doerken.de,

bvf@doerken.de



SCHEDA PRODOTTO\_17

**SmartBoardTM**

**Descrizione:** pannello in cartongesso contenente PCM.

**Possibili utilizzi:** rivestimento interno di pareti esterne.

**PCM contenuti:** microcapsule micronal® in polimetilmetacrilato, di diametro 2-20 µm, contenenti cera di paraffina.

**Temperatura di fusione del PCM:** 23°C o 26°C in base al pannello.

**Composizione:** pannello in cartongesso contenete microcapsule micronal®. Un pannello di 1 mq spesso 15 mm contiene 3kg di microcapsule.

**Capacità termica latente nell'intervallo di attivazione:** circa 330 kJ/m2.

**Capacità termica specifica:** ca.1,20 kJ/kgK.

**Conduttività termica:** 0,18 W (mk)

**Dimensione del pannello:** 1250 x 2000 mm.

**Spessore:** 15 mm.

**Peso:** 11,5 kg/m2.

**Resistenza alla compressione:** 1,5 Nmm2 (in base alla norma DIN 18180).

**Resistenza al fuoco:** B1 (difficilmente infiammabile).

**Versioni sul mercato:**

- SmartBoardTM 23: temperatura di fusione del PCM 23°C
- SmartBoardTM 26: temperatura di fusione del PCM 26°C

**Caratteristiche particolari:** grazie al contenuto di PCM un pannello SmartBoard

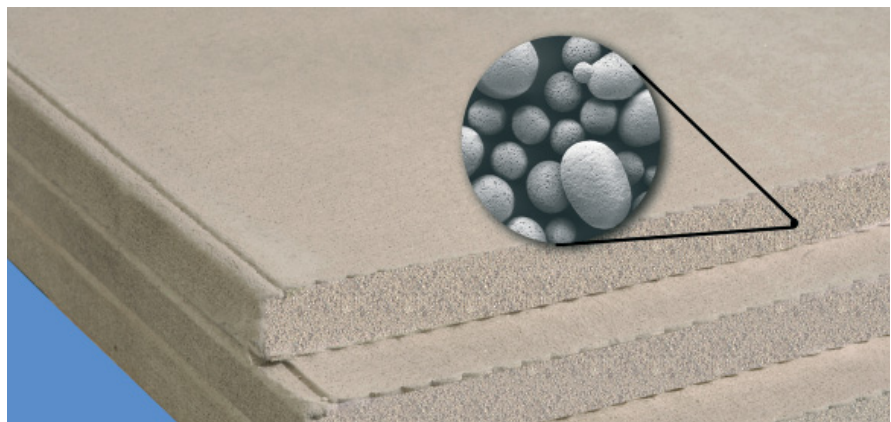
con uno spessore di 1,5 cm ha la stessa capacità di accumulo di calore di una parete in cemento di 9 cm o di un muro in laterizio di 12 cm.

**Ditta produttrice:**

BASF AG  
tel. 0049 621 600  
fax. 0049 621 6042525  
www.basf.com , info@basf.com

**Distribuzione in Italia:**

BASF-Italia  
www.basf-italia.it  
numero verde 0080022766257



**delta-cool**

**Descrizione:** buste in alluminio contenenti PCM.

**Possibili utilizzi:** può essere integrato in sistemi di coperture leggere.

**PCM contenuti:** sali idrati.

**Temperatura di fusione del PCM:** 22-29°C varia in base al modello.

**Composizione:** sali idrati in buste di alluminio.

**Capacità termica specifica:** 2,7 kJ/kgK da solido, 2,2 kJ/kgK da liquido.

**Dimensione della busta:** 300 x 600 mm.

**Spessore:** dipende dalla fase in cui si trova il materiale.

**Peso:** dipende dalla fase in cui si trova il materiale.

**Densità:** 1,6 kg/l da solido, 1,5 kg/l da liquido. Resistenza al fuoco: B1 (difficilmente infiammabile).

**Versioni sul mercato:**

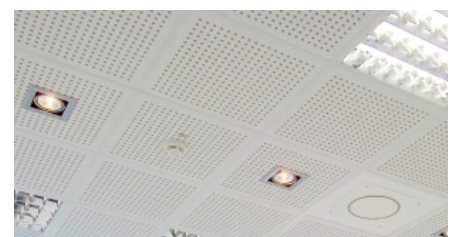
- delta-cool 24 temperatura di fusione 24°C
- delta-cool 29 temperatura di fusione 29°C

**Caratteristiche particolari:** Un litro di delta-cool 24 è in grado di assorbire la stessa quantità di energia di 10 litri di acqua. Questo materiale atossico, totalmente riciclabile e difficilmente infiammabile è garantito per più di 10000 cicli di cambiamento di fase, pari a circa 25 anni.

**Ditta produttrice:**

Dörken GmbH

Wetterstrasse 58  
58313 Herdecke  
Germania  
tel. 0049 2330 630  
fax 0049 2330 63355  
www.doerken.de  
bvf@doerken.de



SCHEDA PRODOTTO\_18



### maxit clima

**Descrizione:** intonaco per interni a base di gesso ad applicazione meccanica.

**Possibili utilizzi:** intonaco di fondo o finitura liscia che funge da stabilizzatore termico da applicare su soffitti e pareti. Idoneo per cucine e bagni secondo la DIN 18550.

**PCM contenuti:** microcapsule micronal® in polimetilmetacrilato, di diametro 2-20 µm, contenenti cera di paraffina.

**Temperatura di fusione del PCM:** tra i 22°C e i 26°C.

**Composizione:** PCM (20%), gesso, inerti minerali e additivi per facilitarne la lavorazione.

Capacità termica latente nell'intervallo di attivazione: 18 kJ/kg (temperatura compresa tra i 22°C e i 26°C).

**Resistenza alla compressione:** >1,5 Nmm<sup>2</sup>.

**Spessore dell'applicazione:** circa 15 mm.

**Fabbisogno d'acqua:** 64%.

**Resistenza al fuoco:** classe B2 (normalmente infiammabile), utilizzando una vernice isolante può raggiungere la classe B1 (difficilmente infiammabile).

**Supporti:** muratura di qualsiasi tipo, portaintonaco e lastre in cartongesso, particolarmente indicato per supporti leggeri con ridotta capacità di accumulo termico come pareti in cartongesso, mattoni forati e calcestruzzo cellulare.

**Fornitura:** sacchi di carta da 30kg su pedane

da 35 sacchi = 1,050t.

**Versioni sul mercato:** maxit clima 26 – temperatura di fusione 26°C.

**Caratteristiche particolari:** Grazie al contenuto di PCM l'intonaco maxit clima è in grado di assorbire, durante la fase di fusione, circa 4,5 volte in più del calore di un normale intonaco. Uno spessore di 1,5 cm trattato con maxit clima ha la stessa massa termica di una parete di 8,1 cm in Cls., di 13,4 cm di cartongesso e di 28,8 cm di laterizio alleggerito.

**Ditta produttrice:**  
maxit italia s.r.l.  
viale F. Kennedy 21  
24066 Pedrengo (BG)  
Italia  
tel. 035 662524  
fax 035 655821  
www.maxit-italia.it,  
adriano.fumagalli@maxit-italia.it



### GLASSXcrystal

**Descrizione:** sistema di facciata pluristrato in vetro contenete pannelli PCM.

**Possibili utilizzi:** facciate vetrate traslucenti.

**PCM contenuti:** pannello PCM in sali idrati spesso 24 mm prodotto dalla Dörken.

**Temperatura di fusione del PCM:** tra i 26°C e i 28°C.

**Composizione:** vetro di sicurezza esterno 6 mm, camera d'aria con pannelli frangisole e gas nobile 20 mm, vetro di sicurezza basso emissivo 6 mm, intercapedine con gas nobile 10 mm, vetro di sicurezza basso emissivo 6 mm, intercapedine con pannelli a cambiamento di fase 24 mm, vetro di sicurezza che può essere serigrafato con materiale ceramico in base alle particolari esigenze

**Capacità termica specifica:** 1185 Wh/m<sup>2</sup>.

**Conducibilità termica:** 0,48 W/m<sup>2</sup>K.

**Dimensioni:** spessore 78 mm, altezza max. 2800 mm, larghezza max. 1500 mm, superficie max. 4,2 m<sup>2</sup>.

**Spessore:** 78 mm

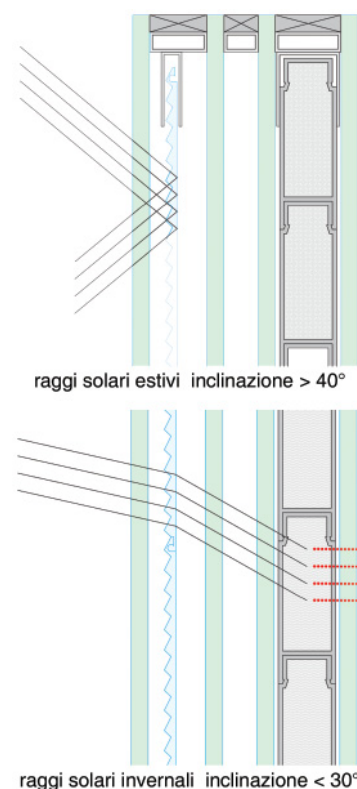
**Peso:** 90 Kg/m<sup>2</sup>

**Versioni sul mercato:** è possibile avere un elemento di facciata con qualsiasi dimensione purché contenute all'interno di quelle massime.

**Caratteristiche particolari:** Questo sistema di facciata vetrata, contenente al suo interno un isolante trasparente e un sistema frangisole selettivo, può essere montato al posto di un

normale infisso mantenendo uno spessore estremamente ridotto. I raggi solari estivi con un'inclinazione maggiore di 40° vengono totalmente rifratti dall'elemento frangisole, mentre quelli invernali con un'inclinazione minore di 35° penetrano all'interno del sistema di facciata colpendo direttamente i pannelli PCM.

**Ditta produttrice:**  
GlassX AG  
Technoparkstrasse 1  
8005 Zürich  
Svizzera  
tel. 0041 44 4451740  
fax 0041 44 4451749  
www.glassx.ch  
info@glassx.ch





## 2.3 Sistemi di involucro edilizio stratificati a secco contenenti prodotti innovativi sperimentati in edifici dell'Europa centrale. Analisi prestazionale per una possibile applicazione nel Sud Europa

*“Ogni edificio è un unico sistema termodinamico.*

*Questo è un fatto che viene spesso ignorato, mentre vengono invece considerati i singoli sottosistemi o elementi senza connessione con l'intero oggetto costruito. Le doppie facciate non sono in sé né giuste né sbagliate. Dipende dalle esigenze e dal contesto spaziale costruttivo.”*

Thomas Herzog, 2002<sup>1</sup>

I prodotti per l'involucro edilizio contenenti *Vacuum Insulation Panels*, *Transparent Insulation Materials* e *Phase Changing Materials* sono stati utilizzati con successo in edifici sperimentali ad elevata efficienza energetica, realizzati in Europa centrale.

Con l'intento di verificare la possibile applicazione in zone climatiche del Sud Europa di sistemi di involucro edilizio opachi, stratificati a secco e contenenti i prodotti innovativi precedentemente analizzati, sono stati selezionati tre edifici sperimentali, di recente costruzione, caratterizzati da un fabbisogno energetico ridotto e dall'impiego di involucri edilizi leggeri con VIP, TIM o PCM.

Con la consapevolezza che nella valutazione delle prestazioni energetiche di un sistema di involucro edilizio non è possibile considerarlo come un elemento a sé stante, ma è necessario esaminarlo in relazione agli altri parametri progettuali che determinano il comportamento termodinamico dell'intero edificio, si è messa a punto una scheda di valutazione delle prestazioni tecnologiche ed energetiche degli edifici selezionati, con la quale si intende analizzare in maniera sistemica tutti gli elementi progettuali e le soluzioni tecnico-costruttive che influenzano il funzionamento energetico dell'edificio, dando particolare rilievo alle prestazioni termo-igrometriche dell'involucro edilizio.

I tre edifici scelti come casi studio - in ognuno dei quali è stato applicato un prodotto innovativo per l'involucro appartenente ripetutamente alle categorie di VIP, TIM e PCM - sono stati selezionati in base alla rispondenza ai seguenti criteri:

- Elevato livello di innovazione;
- Involucro edilizio stratificato a secco in grado di combinare peso e spessore contenuti con elevate prestazioni energetiche (trasmissione termica ridotta ed elevata inerzia termica);
- Integrazione, nell'involucro edilizio opaco stratificato a secco, di un prodotto innovativo appartenente alla categoria di VIP, TIM o PCM,



Martin Forstner, *Casa unifamiliare*, Neumarkt, Germania, 2004.



Zill + Lippe, *Retrofit energetico di edificio per uffici*, Erfurt, Germania, 2002.



Allmann, Wappner, Sappner, *Haus der Gegenwart*, München, Germania, 2005.

<sup>1</sup> Thomas Herzog, *Thomas Herzog pioniere dell'architettura solare. Intervista di Francesca Sartogo*, in «AR» n. 44, 2002, p. 12.



Martin Forstner, *Casa unifamiliare*, Neumarkt, Germania, 2004. Viste esterne ed interne.

applicato per la prima volta in edilizia in questo edificio;

- Fabbisogno energetico ridotto dovuto, non solo all'utilizzo di sistemi di involucro innovativi ad elevate prestazioni, ma anche a scelte progettuali consapevoli relative all'orientamento rispetto ai punti cardinali e ai venti prevalenti, all'organizzazione degli spazi interni, al rapporto involucro trasparente e involucro opaco, alla strategia di ventilazione naturale e ai sistemi di regolazione della temperatura interna, sia attivi che passivi;

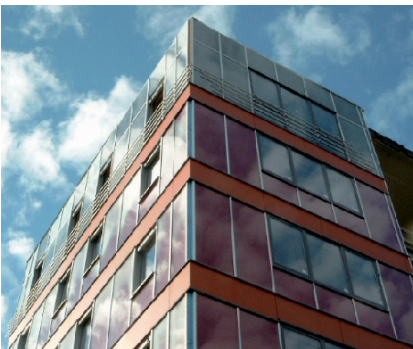
- Fabbisogno energetico per il riscaldamento ed il raffrescamento minore di 15 kWh/m<sup>2</sup> all'anno, certificato non solo mediante l'attestato di *Passivhaus*, ma anche dal monitoraggio continuo, per almeno due anni, del livello di comfort ambientale interno, valutato in relazione ai consumi energetici proveniente da fonti non rinnovabili.

La scheda messa a punto per l'analisi dei tre casi studio selezionati è caratterizzata da un taglio ben definito in relazione agli aspetti tecnologico-costruttivi ed energetico-ambientali ed è organizzata in quattro sezioni precedute dai dati identificativi del caso studio e seguiti dai riferimenti bibliografici.

I dati identificativi oltre a indicare la tipologia costruttiva il progettista, il luogo e l'anno di realizzazione, forniscono importanti indicazioni sia sui dati geografici e climatici dell'area in cui è stato realizzato l'intervento edilizio, che sul fabbisogno energetico dell'edificio certificato dall'Istituto *Passivhaus* di Darmstadt.

La prima sezione della scheda definisce le caratteristiche generali dell'opera, attraverso:

- una *descrizione sintetica* in cui, oltre ai dati tipologici e morfologici, vengono illustrate le fasi precedenti alla realizzazione, come, ad esempio, un eventuale concorso o le specifiche esigenze del committente che hanno motivato le scelte progettuali;
- una descrizione dei principali *dati dimensionali* significativi, quali ingombro massimo della costruzione, altezza, volume e superficie del lotto;
- una descrizione dei principali *dati strutturali*: tipologia strutturale e materiali utilizzati.



Zill + Lippe, *Retrofit energetico di edificio per uffici*, Erfurt, Germania, 2002. Viste esterne ed interne.

La seconda sezione è dedicata agli aspetti architettonico-ambientali ed è tesa ad evidenziare sia le relazioni esistenti tra il manufatto e il contesto ambientale, che le caratteristiche dell'edificio che influenzano sostanzialmente il suo comportamento energetico. Questa sezione è articolata in:

- *rapporto con il contesto*, in cui vengono evidenziate le relazioni urbane ed ambientali che il manufatto architettonico instaura con il contesto in cui si viene ad inserire;
- *fattore di forma*: cioè il rapporto tra superficie disperdente dell'involucro (data dalla somma delle superfici delle chiusure verticali e delle chiusure orizzontali superiori ed inferiori) e volume

complessivo dell'edificio (S/V);

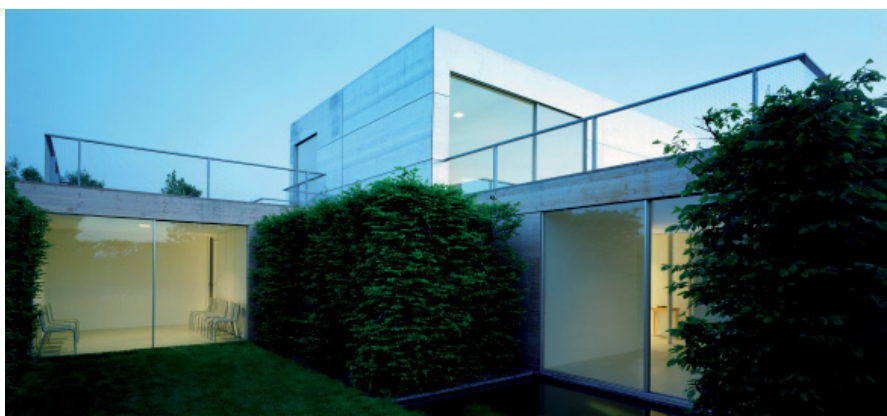
- *orientamento dell'edificio* rispetto ai punti cardinali e ai venti prevalenti, con l'intento di indagare le strategie di riscaldamento e raffrescamento passivo adottate al fine di limitare il fabbisogno energetico globale;
- *distribuzione termico-funzionale degli ambienti interni* al fine di evidenziare le strategie di organizzazione spaziale interna in relazione alle esigenze termiche specifiche degli ambienti che svolgono funzioni differenti;
- *concept energetico*, cioè l'insieme delle scelte formali e tecnico-costruttive che hanno influenzato il fabbisogno energetico dell'edificio, dando particolare rilievo alle relazioni che si instaurano tra le scelte progettuali effettuate alle differenti scale.

La terza sezione vede la scomposizione del sistema tecnologico e la descrizione dei singoli componenti secondo gli aspetti dimensionali e il valore di posizione rispetto al sistema-edificio.

Il sistema tecnologico è stato strumentalmente sintetizzato in: struttura portante, sistema di involucro, partizioni interne, collegamenti verticali e sistema impiantistico.

La quarta sezione costituisce un approfondimento degli aspetti tecnologici, costruttivi ed energetici dell'involucro stratificato a secco con *Vacuum Insulation Panels*, *Transparent Insulation Materials* o *Phase Changing Materials*.

Oltre a informazioni relative alla stratificazione e ai materiali utilizzati, viene dato particolare rilievo alle prestazioni energetiche statiche del sistema di involucro edilizio. Pertanto viene verificata la rispondenza della massa superficiale e della trasmittanza termica a valori minimi definiti dal D.Leg. 311/2006 per il 2010 e, con il supporto del software *Therm 6*, vengono analizzate le modalità di trasferimento del calore tra ambiente esterno ed interno (e viceversa) attraverso i diversi strati che compongono l'involucro edilizio. Nel caso in cui i valori di trasmittanza termica rilevati risultassero rispondenti alla normativa, ma la massa superficiale fosse inferiore a quella minima, si provvederà alla messa a punto di una procedura per la valutazione delle prestazioni energetiche dinamiche e del comportamento energetico in uso dei sistemi di involucro edilizio leggeri.



#### SCHEDA tipo :

##### Dati identificativi del caso studio:

*Caso studio:*  
*Progettista:*  
*Anno di realizzazione:*  
*Ubicazione:*  
*Latitudine:*  
*Altitudine:*  
*Zona climatica:*  
*Fabbisogno energetico annuo:*

#### 1. CARATTERISTICHE GENERALI

*Descrizione sintetica:*  
*Dati dimensionali:*

#### 2. ASPETTI

##### ARCHITETTONICO-AMBIENTALI

*Fattore di forma:*  
*Orientamento dell'edificio:*  
*Distribuzione termico-funzionale degli ambienti interni:*  
*Concept energetico:*

#### 3. ASPETTI SISTEMICI scomposizione del sistema tecnologico

*Struttura portante:*  
*Sistema di involucro:*  
*Partizioni interne:*  
*Collegamenti verticali:*  
*Sistema impiantistico:*

#### 4. ASPETTI INNOVATIVI DEL SISTEMA DI INVOLUCRO

*Dati tecnici:*  
*Dati prestazionali:*  
*Dati produttivi:*

#### Riferimenti bibliografici



Allmann, Wappner, Sappner, *Haus der Gegenwart*, München, Germania, 2005. Viste esterne ed interne.

## Caso studio: **casa unifamiliare**

**Progettista:** Martin Forstner

**Anno di realizzazione:** inizio pianificazione 2002, fine cantiere 2004

**Ubicazione:** Neumarkt in der Oberpfalz, Germania

**Latitudine:** 42° 29'

**Longitudine:**

**Altitudine:** 550 m s.l.m.

**Zona climatica:** Clima continentale

**Fabbisogno energetico annuo:** 14,03 kWh/m<sup>2</sup>a



## CASO STUDIO\_02

Caso studio: Retrofit energetico di un edificio per uffici

Progettista: Zill + Lippe

Anno di realizzazione: 2002

Ubicazione: Erfurt, Germania

Latitudine: 50° 59'

Altitudine: 269 m s.l.m.

Zona climatica: Clima continentale

Fabbisogno energetico annuo < 15 kWh/m<sup>2</sup>a



## CASO STUDIO\_03

Caso studio: Haus der gegenwart (casa della contemporaneità)

Progettista: Allmann Wappner Sappner

Anno di realizzazione: 2002-2004

Ubicazione: Monaco di Baviera, Germania

Latitudine: 48°08' N

Altitudine: 520 m s.l.m.

Zona climatica: Clima continentale

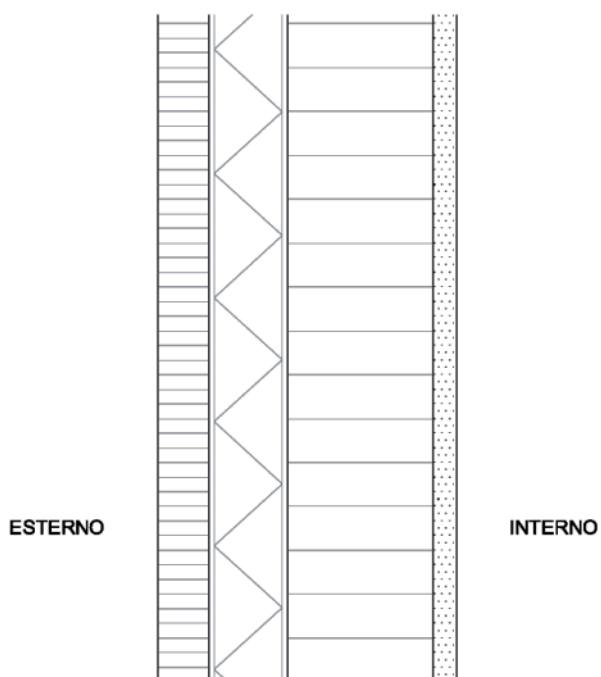
Fabbisogno energetico annuo < 15 kWh/m<sup>2</sup>a







### Sistema di involucro tipo 1 con VIP (Vacuum Insulation Panels):



Sezione scala 1:5

	s m	$\lambda$ W/mK	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	C W/m <sup>2</sup> K	R m <sup>2</sup> K/W	c J/kgK
he					0,043	
pannello in legno compensato impiallacciato: tipo Kerto	0,033	0,130	450		0,254	1610
pannello sandwich: pannello isolante sottovuoto (40 mm) affogato nella schiuma di poliuretano (5 mm) e rivestito con due pannelli rigidi in poliuretano (6 mm)	0,051	0,010	200		5,100	1050
pannello massivo in legno lamellare a strati incrociati (KLH)	0,094	0,130	500		0,723	1610
pannello in cartongesso	0,015	0,350	1200		0,043	1010
hi					0,123	

R (resistenza termica):

8,33 m<sup>2</sup>K/W

**Spessore :**

0,193 m = **19,3 cm**

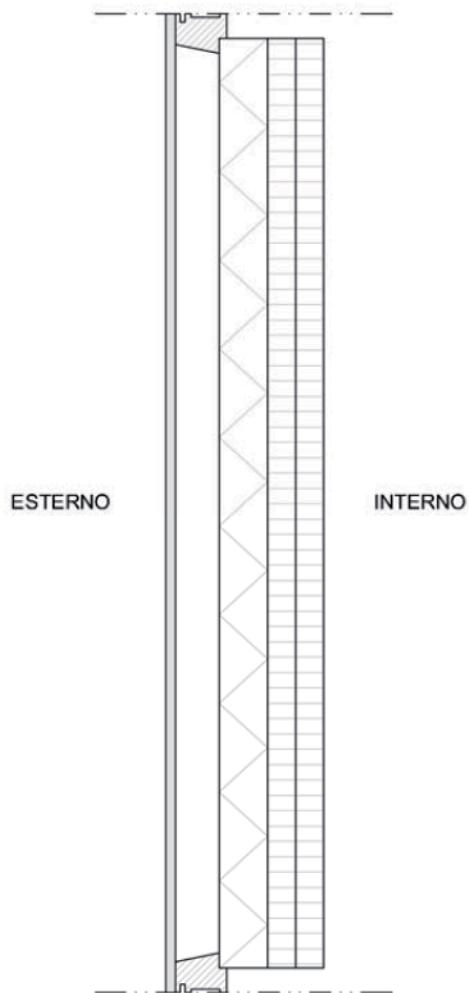
**Massa frontale:**

**90 kg/m<sup>2</sup>**

**Trasmittanza termica:**

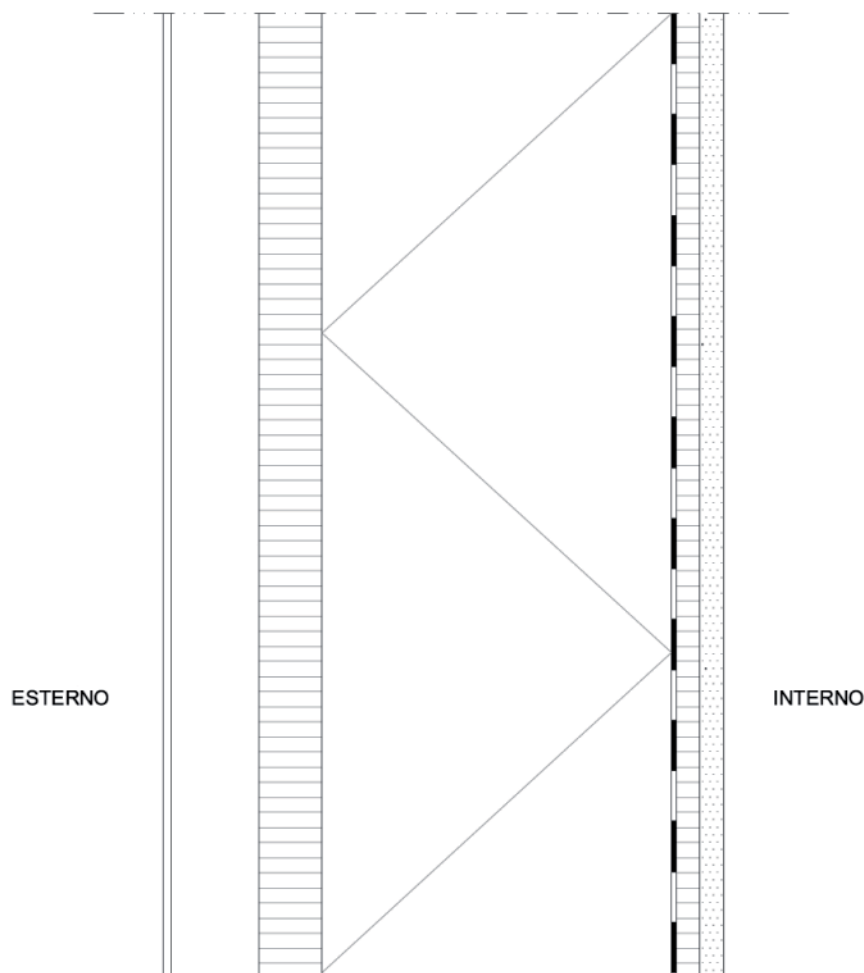
**0,120 W/ m<sup>2</sup>K**

**Sistema di involucro tipo 2 con TIM ():**



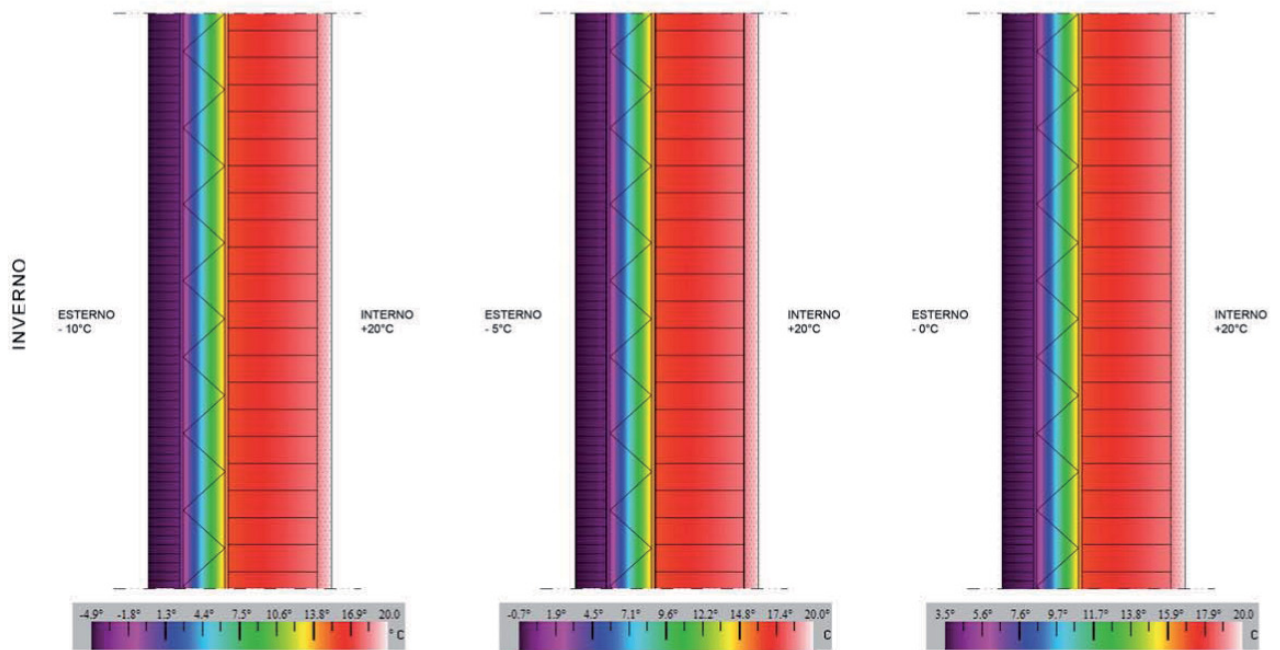
	s m	$\lambda$ W/mK	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	C W/m <sup>2</sup> K	R m <sup>2</sup> K/W	c J/kgK
he					0,043	
Vetro basso emissivo	0,006	1,000	250		0,006	2500
Camera d'aria	0,027				0,180	
Isolante traslucente in cellulosa alveolare	0,030	0,080	96		0,375	2340
2 Pannelli in legno Pavatex-Isolair	0,036	0,016	240		2,250	2100
hi					0,123	

R (resistenza termica): 2,977 m<sup>2</sup>K/W  
**Spessore :** 0,098 m = **9,8 cm**  
**Massa frontale:** **16 kg/m<sup>2</sup>**  
**Trasmittanza termica:** **0,33 W/ m<sup>2</sup>K**

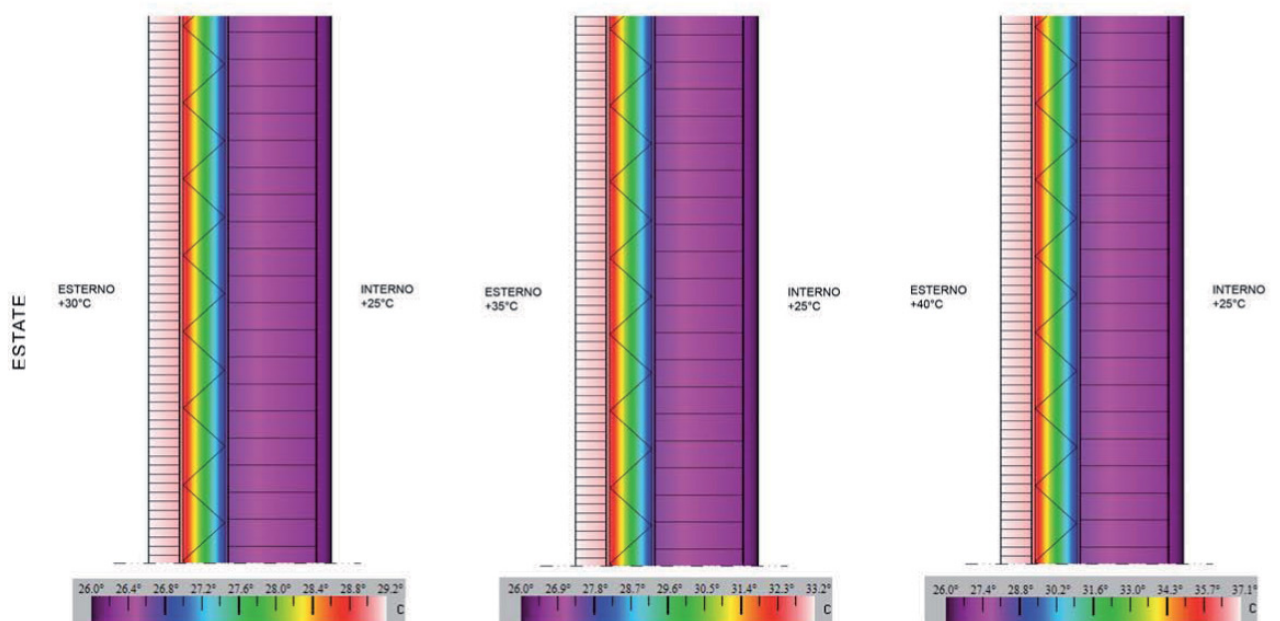
**Sistema di involucro tipo 3 con PCM (Phase changing materials):**

	s m	$\lambda$ W/mK	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	C W/m <sup>2</sup> K	R m <sup>2</sup> K/W	c J/kgK
he					0,043	
rivestimento in lamiera in acciaio zincato	0,005	50	7800		0,0001	
camera d'aria	0,055				0,156	
pannello composito in legno a tre strati	0,085	0,150	550		0,566	
isolamento in lana minerale	0,040	0,130	650		3,076	
Barriera al vapore in polietilene	0,005	0,500	980		0,001	
pannello OSB	0,015	0,130	450		0,1154	
2 pannelli in cartongesso Smarth Board contenete Micronal (PCM)	0,030	0,196	770		0,1531	variabile
hi					0,123	

**R (resistenza termica):** 4,23 m<sup>2</sup>K/W  
**Spessore :** 0,353 m = **35,3 cm**  
**Massa frontale:** **135,34 kg/m<sup>2</sup>**  
**Trasmittanza termica:** **0,23 W/ m<sup>2</sup>K**



**ESTATE**



### *Valutazione delle prestazioni energetiche statiche dei sistemi di involucro selezionati*

I tre sistemi di involucro analizzati hanno un valore di trasmittanza largamente inferiore rispetto ai limiti massimi imposti per l'anno 2010 dalla normativa italiana nelle sei zone climatiche (in cui è suddiviso il nostro paese), mentre hanno una massa frontale inferiore a 230 kg/m<sup>2</sup> imposti dal D.Leg. 311 del 2006 per le località in cui il valore medio dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, è maggiore od uguale a 290 W/m<sup>2</sup>.

Lo stesso D.Leg. 311 precisa che *“gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale delle pareti che, possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, che permettano di contenere le oscillazioni di temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare. In tal caso deve essere prodotta una adeguata documentazione e certificazione delle tecnologie e dei materiali che ne attestino l'equivalenza con predette disposizioni”*.

Per valutare l'effettiva applicabilità dei sistemi di involucro oggetto di analisi, è quindi necessario sviluppare una procedura applicativa in grado di valutare le loro prestazioni termiche in uso e di calcolare i valori di attenuazione e di sfasamento nella trasmissione del calore. A tal fine è stato individuato un sistema di involucro di riferimento di tipo tradizionale, con un valore di massa frontale rispondente alla normativa, da utilizzare come metro di paragone, nella valutazione delle prestazioni energetiche dei sistemi di involucro in esame. Nonostante i sistemi di involucro oggetto di analisi siano costituiti da strutture leggere assemblate a secco si è deciso di utilizzare come involucro tradizionale di riferimento una tipologia ad umido, quale la muratura a cassetta. Questo tipo di involucro, infatti, è comunemente utilizzato su tutto il territorio nazionale ed è dotato di una massa frontale e di un'inerzia termica piuttosto elevate da costituire un buon elemento di paragone. Non sono stati invece rilevati sistemi di involucro assemblati a secco sufficientemente diffusi sul territorio nazionale e dotati di un'inerzia termica soddisfacente da risultare significativi come elemento di paragone.

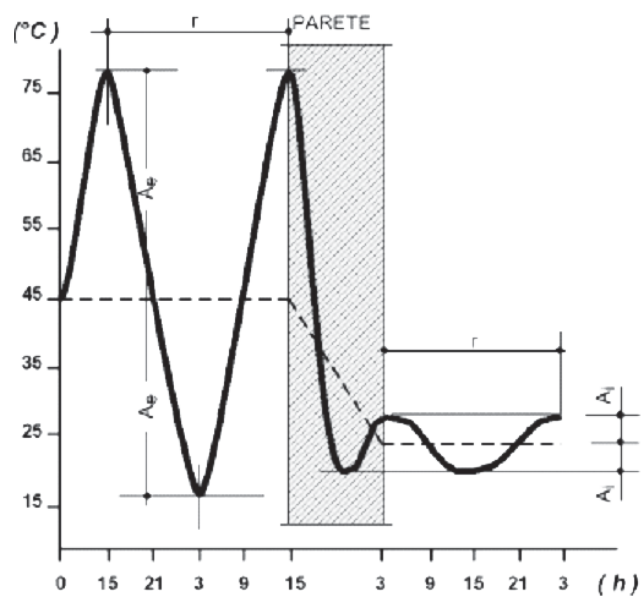






## Capitolo 3

Sperimentazioni applicative, in tre zone climatiche italiane, dei sistemi di involucro edilizio selezionati





## Capitolo 3

### Sperimentazioni applicative, in tre zone climatiche italiane, dei sistemi di involucro edilizio selezionati

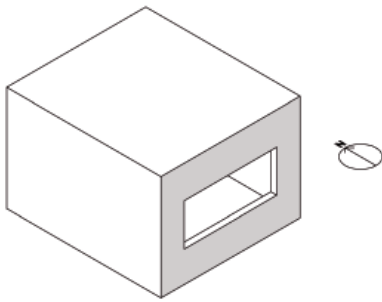
#### 3.1 Messa a punto di una procedura sperimentale applicativa per la valutazione delle prestazioni energetiche in uso di sistemi di involucro edilizio leggeri

##### *Strumenti e procedure di sperimentazione*

Con la consapevolezza che per valutare l'effettiva efficienza energetica e l'eventuale vantaggio economico nell'applicazione nel Sud Europa dei sistemi di involucro edilizio selezionati non è sufficiente verificare la loro rispondenza ai valori imposti dalla normativa vigente, si è ritenuto opportuno elaborare una procedura di sperimentazione che, con il supporto di un software di simulazione termodinamica, preveda l'applicazione di tali sistemi d'involucro in tre zone climatiche italiane al fine di monitorarne e valutarne le prestazioni in uso per il periodo di un anno. L'utilizzo di strumenti di simulazione, estremamente utili per analizzare in modo approfondito il comportamento termico di qualunque componente edilizio - in quanto permettono di valutarne le prestazioni energetiche al variare delle condizioni esterne e di verificarne il contributo al raggiungimento del comfort ambientale interno - acquista una rilevanza particolare nell'analisi dei sistemi di involucro contenenti materiali a cambiamento di fase. I PCM, infatti, modificano le proprie prestazioni energetiche al variare della temperatura esterna, con la conseguenza che l'analisi dei parametri prestazionali statici non risulta rappresentativa del loro effettivo funzionamento energetico in uso.

Nella valutazione dei risultati numerici delle simulazioni, che descriveranno il comportamento termico dell'ambiente esterno, del sistema di involucro oggetto di analisi e dello spazio ad esso retrostante, oltre alla valutazione del bilancio termico annuale sarà dato particolare rilievo al fabbisogno energetico estivo ed alla quantità di CO<sub>2</sub> prodotta, al fine di elaborare strategie di intervento ed eventuali proposte migliorative dei sistemi di involucro analizzati con l'intento di limitare al minimo l'utilizzo di dispositivi meccanici di raffrescamento. Lo scopo finale di questa applicazione sperimentale è quello di ottenere dati numerici in grado di descrivere dettagliatamente le prestazioni termiche in uso, in tre zone climatiche italiane, dei sistemi di involucro selezionati.

I dati ottenuti costituiranno la base per redigere uno strumento di supporto alla progettazione, sotto forma di linee guida, in grado di fornire ai progettisti le informazioni necessarie per un utilizzo

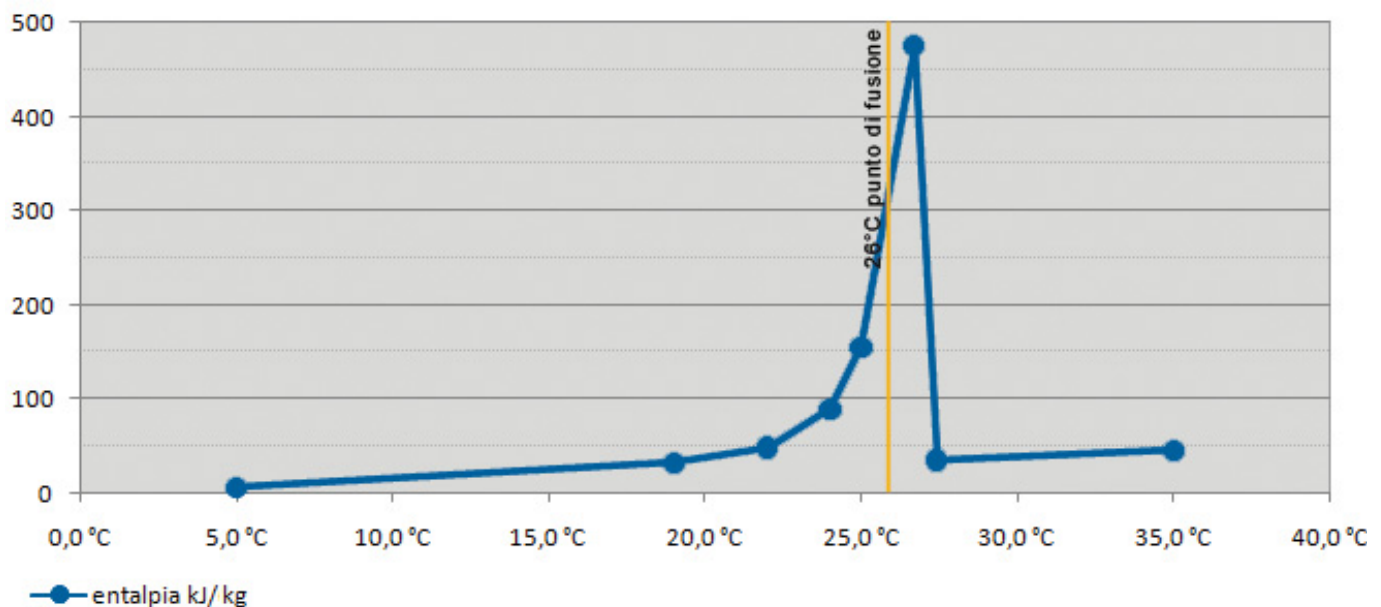


Vista 3D della test-room virtuale.



Pianta e sezione test-room virtuale in scala 1:10.

Curva che descrive la relazione tra temperatura ed entalpia del pannello in cartongesso SmartBoard 26 con PCM sotto forma di capsule Micronal, contenenti cera di paraffina. Dati numerici forniti dalla ditta BASF.



consapevole nel Sud Europa dei sistemi di involucro selezionati. Le linee guida, oltre ad illustrare in maniera dettagliata il funzionamento energetico dinamico dei sistemi di involucro analizzati, forniranno delle indicazioni pratiche sulla loro applicazione e saranno corredate da schemi esplicativi ad uso, non solo di tecnici specializzati, ma anche di eventuali committenti interessati alle problematiche del risparmio energetico.

## STRUMENTI DI SPERIMENTAZIONE

### Utilizzo di test-rooms virtuali come strumento di analisi

Prendendo come riferimento le metodologie e gli strumenti di indagine utilizzati nei principali centri di ricerca europei, in cui i componenti edili vengono analizzati come parte integrante di un sistema più complesso costituito da una stanza-test, la procedura di sperimentazione messa a punto prevede l'inserimento dei sistemi di involucro selezionati in una test-room virtuale, localizzata in tre zone climatiche italiane, il cui comportamento energetico verrà monitorato per il periodo di un anno.

### Strumento di calcolo: EnergyPlus 2.0

A seguito di un'accurata analisi e comparazione delle caratteristiche e delle modalità di calcolo dei software di simulazione termodinamica attualmente disponibili è stato adottato come strumento di simulazione il software *EnergyPlus*, sviluppato dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti d'America in collaborazione con l'Università dell'Illinois e l'Università della California.

*EnergyPlus*, nella versione 2.0 e successive, è attualmente l'unico software disponibile sul mercato<sup>1</sup> con un apposito *tool* in grado di simulare il comportamento dei materiali con caratteristiche termiche variabili al variare della temperatura come i materiali a cambiamento di fase. Nell'inserimento dei dati tecnici e delle prestazioni dei

materiali *EnergyPlus* permette di definire la relazione che intercorre tra la variazione della temperatura esterna e le proprietà termiche del materiale. Ciò è possibile mediante l'utilizzo di un *Solution Algorithm*, chiamato *ConfFD*, che prevede l'inserimento, tra le proprietà che caratterizzano il materiale, della curva che descrive la relazione tra la variazione di temperatura e l'entalpia<sup>2</sup>. Tale curva può essere descritta mediante un massimo di otto punti le cui coordinate sono definite dalla temperatura [°C] e dall'entalpia [J/Kg].

#### *Caratteristiche, dimensioni e orientamento spaziale della test-room*

Al fine di garantire un'analisi corretta ed accurata del funzionamento energetico di un solo sistema di involucro con un orientamento spaziale definito, senza rischiare che le prestazioni misurate risultino influenzate da flussi energetici provenienti da parti d'involucro differenti da quella presa in esame, la test-room utilizzata come strumento di analisi è stata concepita con un involucro adiabatico<sup>3</sup> ad eccezione della facciata che si intende monitorare. Tale metodologia di analisi, largamente utilizzata nei principali centri di ricerca europei come il Fraunhofer Institut di Friburgo o l'ITC-CNR (Istituto per le Tecnologie della Costruzione del Consiglio Nazionale delle Ricerche) di San Giuliano Milanese, è indispensabile per analizzare le prestazioni prescelte e le condizioni ambientali interne come funzione del solo sistema di involucro preso in esame.

La test-room è orientata secondo i punti cardinali ed ha una superficie lorda in pianta di 5,00 x 4,50 m ed un'altezza di 3,00 m. La facciata-test, rivolta verso sud, è priva di schermature solari ed è dotata di una finestra con doppiopetro ed infisso in alluminio con un'ampiezza di 3,00 x 1,35 m, pari al 30% della superficie esterna della parete e, in conformità con il D.M. del 5 luglio 1975<sup>4</sup>, maggiore di 1/8 della superficie interna calpestabile.

Si è scelto di analizzare la facciata rivolta a sud poiché questo orientamento svolge un ruolo di particolare importanza nel funzionamento termico estivo della test-room influenzando un'eventuale eccessivo surriscaldamento dell'ambiente interno.

Le dimensioni della test-room sono state riprese da quelle di una stanza test virtuale utilizzata nella ricerca *Clima Skin* portata avanti dal Lehrstuhl für Bauklimatik und Hautechnik della Technische Universität di Monaco di Baviera e dallo Studio di Ingegneria Hausladen di Monaco di Baviera<sup>5</sup>.

#### *Localizzazioni della test-room ed analisi climatica*

La varietà climatica del territorio italiano fa sì che l'utilizzo di un'unica localizzazione per valutare l'effettiva applicabilità nel nostro paese dei sistemi di involucro selezionati non porterebbe ad un risultato significativo. Si è reso quindi necessario posizionare la test-room in tre località italiane che si differenziano tra loro per zona climatica, latitudine, longitudine ed altitudine s.l.m. quali Milano, Ancona e Catania.<sup>6</sup>

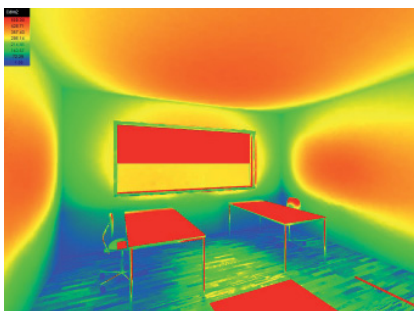
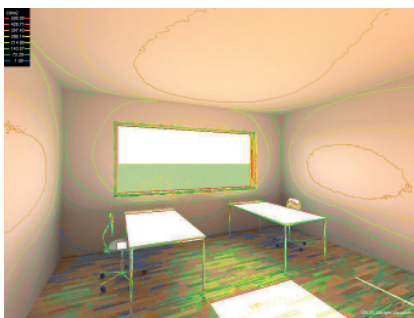
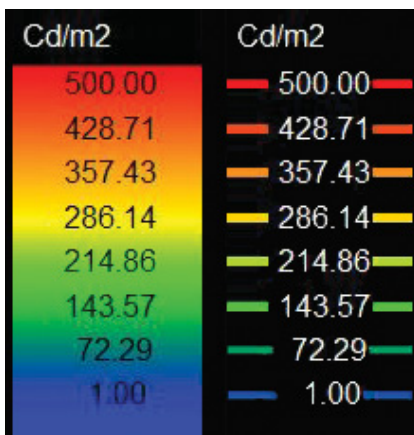
- 1 Nel periodo di stesura di questa ricerca il software *ESP-r*, sviluppato dall'University of Strathclyde di Glasgow UK è stato dotato di tools per l'elaborazione di materiali con proprietà termiche dipendenti dalla temperatura esterna. Nello stesso periodo sono stati inoltre messi a punto ed utilizzati per dei casi specifici, ma non ancora commercializzati, dei tools in grado di simulare il comportamento energetico di materiali a cambiamento di fase per il software *IDA ICE*, sviluppato dal Royal Institute of Technology di Stoccolma (KTH) e dalla Helsinki University of Technology, e per il software *Trnsys*, sviluppato dal Madison Solar Energy Lab dell'University of Wisconsin e dal Solar Energy Applications Lab dell'University of Colorado.
- 2 Entalpia dal greco *enthálpein*, riscaldare: *en* dentro e *thálpein* scaldare. L'entalpia, solitamente indicata con *H*, è una funzione di stato che consente di tenere traccia delle variazioni energetiche di un sistema termodinamico per le trasformazioni che avvengono a pressione costante in cui si ha solo lavoro di tipo meccanico, poiché, in queste condizioni, la variazione di entalpia è numericamente uguale al calore scambiato dal sistema con l'ambiente esterno. In un semplice processo di variazione della temperatura, l'entalpia scambiata dal sistema per variazioni unitarie di temperatura è data dalla capacità termica a pressione costante.
- 3 Adiabatico dal greco *adiábatos*, impenetrabile. In termodinamica un sistema adiabatico è un sistema che non può scambiare né calore né materia con l'ambiente esterno, può invece scambiare lavoro.
- 4 D.M. del 5 luglio 1975 - *Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali d'abitazione.*
- 5 I risultati della ricerca sono raccolti nel testo: Hausladen Gehrard, de Saldanha Michael, Liedl Petra, *ClimaSkin. Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten*, Callwey, München, 2005.



Localizzazione delle tre test-rooms virtuali.

- 6 Si fa riferimento alle zone climatiche definite dal DPR 412/1993 - Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10.
- 7 Il tasso di ricambio d'aria stabilisce la quantità di aria interna esausta che viene sostituita dall'aria esterna nell'unità di tempo, in funzione del volume dell'ambiente in esame.
- 8 UNI 10339:1995 - Impianti aerulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti.
- 9 EN 15251:2008 - Indoor environmental parameters for assessing of energy performance of buildings.

Verifica del livello di comfort visivo all'interno della test-room, ottenuto esclusivamente con illuminazione naturale. Simulazioni con il Software Velux Daylighting Visualizer. Scala cromatica dei valori di irraggiamento. Unità di misura lux.



Milano, 21 novembre, ore 12:00.

	CITTA'	LATITUDINE	LONGITUDINE	ALTUTUDINE	ZONA CLIMATICA
<b>Localizzazione 1</b>	Milano	45°27' E	9°11' N	122 m s.l.m.	E
<b>Localizzazione 2</b>	Ancona	43°36' E	16°30' N	16 m s.l.m.	D
<b>Localizzazione 3</b>	Catania	37°30' E	15°05' N	7 m s.l.m.	B

Dati climatici tratti dalla Norma UNI 10349:1994/EC - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

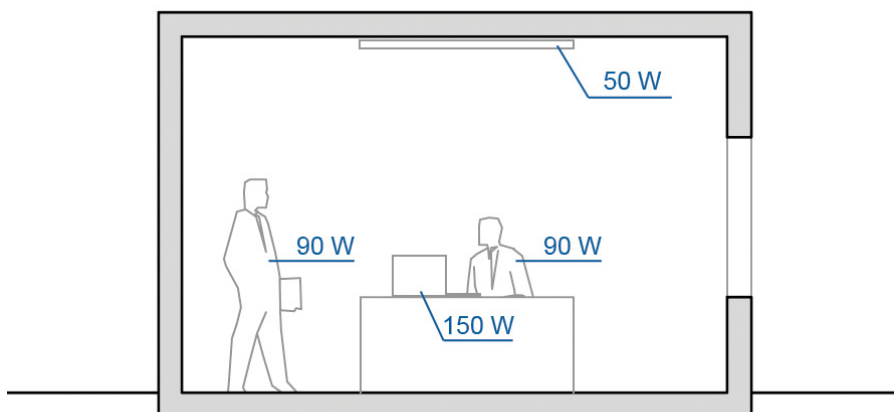
### Carichi termici interni e ventilazione naturale

La test-room, utilizzata come strumento di analisi, è adibita ad ufficio e ha dei carichi termici interni costituiti da persone, computers e corpi illuminanti per un totale di 380 W. I carichi termici interni sono presenti dal lunedì al venerdì dalle ore 9:00 alle 13:00 e dalle 15:00 alle 19:00, ad eccezione dei giorni festivi.

Si è scelto di adibire la test-room ad ufficio sia perché per tale destinazione d'uso è possibile definire degli orari precisi per la presenza di carichi termici interni (che coincidono con gli orari di lavoro), cosa che in un edificio ad uso residenziale non sarebbe possibile, sia perché il fabbisogno energetico annuo per metro quadro, in particolare quello estivo, degli edifici ad uso terziario è ampiamente superiore rispetto a quelli residenziali.

L'utilizzo di computers per un periodo prolungato nelle ore più calde della giornata, nonché la necessità di avere un'illuminazione minima di 500 lux sul piano di lavoro, spesso ottenuta con sistemi artificiali, determina dei carichi termici endogeni rilevanti che spesso comportano un eccessivo riscaldamento nel periodo estivo. Gli edifici ad uso ufficio, infatti, sono quelli che maggiormente utilizzano sistemi di raffrescamento o di ventilazione meccanica.

Il tasso di ricambio d'aria<sup>7</sup>, in conformità con la norma UNI10339:1995<sup>8</sup> e della normativa europea EN 15251:2008<sup>9</sup>, è pari a 0,6 h-1 ed è ottenuto mediante ventilazione naturale, mentre non sono stati previsti sistemi di ventilazione artificiale.



Carichi termici interni.

**totale 380 W - 16.8 W/m<sup>2</sup>**

### Sistemi attivi di riscaldamento e raffrescamento

La test-room è dotata di un impianto di riscaldamento a gas metano e di raffrescamento elettrico che mantengono la temperatura interna nei valori che la normativa vigente<sup>10</sup> definisce di benessere termico (21°C nei mesi invernali e 26°C nei mesi estivi), entrando in funzione automaticamente quando, nell'orario lavorativo<sup>11</sup>, la temperatura interna della test-room non rientra negli standard prestabiliti. L'impianto di riscaldamento può essere utilizzato solo nei periodi indicati dal D.P.R. 412/1993<sup>12</sup>. Alle diverse localizzazioni della test-room corrispondono, quindi, periodi di accensione differenti.

	CITTA'	ZONA CLIMATICA	Periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento	Orario max. consentito
Localizzazione 1	Milano	E	5 ottobre – 15 aprile	14 ore/giorno
Localizzazione 2	Ancona	D	1 novembre – 15 aprile	12 ore/giorno
Localizzazione 3	Catania	B	1 dicembre – 15 marzo	8 ore/giorno

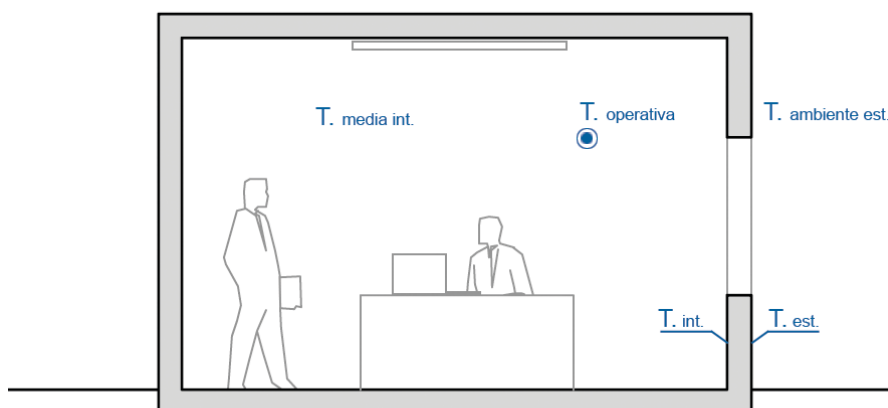
Dati tratti dal Norma D.P.R. 412/1993 - *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia.*

Non esistendo in Italia una normativa specifica che definisce il periodo dell'anno in cui sia possibile utilizzare impianti di condizionamento, al fine di limitare l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili si è stabilito che l'impianto di raffrescamento della test-room può entrare in funzione solo dal 1 maggio al 30 settembre<sup>13</sup>.

### Parametri prestazionali monitorati in un regime dinamico

La procedura messa a punto prevede il monitoraggio, con una frequenza di 20 *timesteps* all'ora, per il periodo di un anno, delle seguenti temperature [°C]:

- Temperatura esterna,
- Temperatura superficiale esterna sulla facciata oggetto di analisi,
- Temperatura superficiale interna sulla facciata oggetto di analisi,
- Temperatura media interna della test-room,
- Temperatura operativa<sup>14</sup>.



Temperature monitorate.

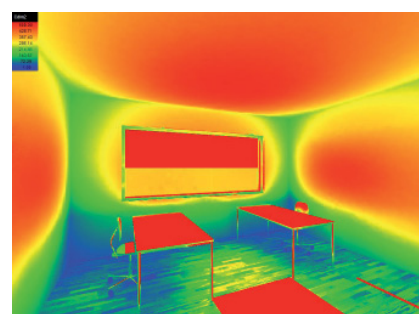
10 L.10/1991 - *Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*

11 L'impianto di riscaldamento e di raffrescamento possono entrare in funzione nei gironi previsti dalla normativa dalle ore 9:00 alle 19:00. Possono quindi restare in funzione anche durante la pausa pranzo.

12 D.P.R. 412/1993 - *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4 della legge 9 gennaio 1991, n.10. (Versione revisionata a seguito del DPR 21/12/99 n.551).*

13 Durante la stesura di questo lavoro è entrata in vigore la norma UNI/TS 11300-1:2008 - *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, che fornisce delle indicazioni relative al risparmio energetico estivo e ai periodi in cui è possibile utilizzare un impianto di raffrescamento.* I periodi definiti in questa sperimentazione applicativa risultano compatibili con quelli definiti dalla nuova normativa.

14 *Temperatura operativa:* media (pesata sulla velocità dell'aria) della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante (ovvero della temperatura media equivalente in termini di scambio radiativo).



Ancona, 21 novembre, ore 12:00.

- 15 *Sfasamento*: intervallo di tempo che intercorre tra il raggiungimento della temperatura massima sulla superficie esterna di un elemento costruttivo e il raggiungimento della temperatura massima sul lato interno.
- 16 *Attenuazione*: attenuazione dell'ampiezza delle variazioni della temperatura superficiale interna rispetto a quella esterna, è tanto maggiore quanto maggiore è l'isolamento termico.
- 17 Con *energia elettrica* si intende il *mix elettrico* normalmente fornito in Italia costituito da energia elettrica ottenuta con diversi metodi di produzione.
- 18 I valori di CO<sub>2</sub> valutati sono quelli prodotti in fase di gestione. Trattandosi infatti di sistemi di involucro innovativi da poco immessi sul mercato non è ancora possibile valutare le emissioni in fase di produzione o di dimissione.
- 19 Gli indici di rendimento della caldaia e del sistema di condizionamento dell'aria utilizzati nel calcolo sono dei valori medi dei sistemi attualmente in commercio. I prezzi del gas metano e della corrente elettrica (*mix elettrico*) sono tratti dai prezziari delle principali aziende italiane fornitrici di energia.

Tali temperature verranno monitorate in due condizioni differenti:

1. Test-room *priva* di impianto di riscaldamento e di raffrescamento, di superfici vetrate sulla parete-test e di carichi termici interni.
2. Test-room *con* impianto di riscaldamento e di raffrescamento, finestra sulla parete-test, e carichi termici interni.

Il confronto tra i risultati delle simulazioni effettuate nelle due differenti condizioni dà la possibilità di valutare i contributi da parte del sistema d'involucro analizzato, nonché dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento, al raggiungimento del benessere termico all'interno della test-room.

Le simulazioni effettuate nella condizione 1 hanno inoltre lo scopo di valutare lo *sfasamento*<sup>15</sup> e l'*attenuazione*<sup>16</sup> nella trasmissione del calore tra esterno ed interno in funzione del sistema di involucro analizzato, senza l'influsso di sistemi meccanici di regolazione della temperatura. Come si è puntualizzato nel primo capitolo di questo lavoro di ricerca i valori di sfasamento, attenuazione e trasmittanza termica sono i parametri che descrivono l'*"Energy Performance"* dell'involucro edilizio in particolare nel caso di sistemi leggeri stratificati a secco con una massa superficiale inferiore a quella minima stabilita dal D.Lgs. 311/2006.

Con i risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate nella condizione 2 è invece possibile valutare l'effettivo funzionamento in uso del sistema di involucro in un ambiente riscaldato e raffrescato meccanicamente, in cui sono presenti dei carichi termici interni costituiti da persone, computers e corpi illuminati e apporti termici esterni dovuti all'irraggiamento attraverso la superficie finestrata.

#### *Fabbisogno energetico estivo ed invernale*

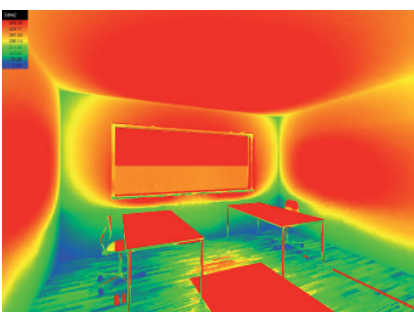
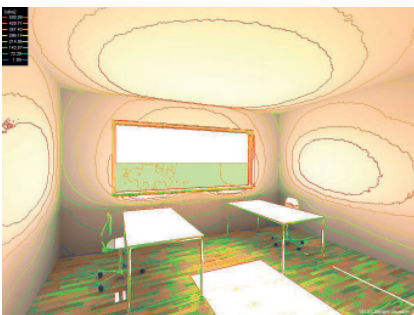
Le simulazioni in cui è previsto l'inserimento dell'impianto meccanico di regolazione della temperatura, danno inoltre la possibilità di valutare il fabbisogno energetico per il riscaldamento ed il raffrescamento necessario al raggiungimento delle condizioni di benessere termico.

I fabbisogni energetici [kWh] mensili che verranno calcolati sono:

- Fabbisogno energetico per il raffrescamento con condizionatore elettrico,
- Fabbisogno energetico per il riscaldamento con impianto a metano,
- Fabbisogno energetico totale per il riscaldamento e il raffrescamento.

#### *Monetizzazione del fabbisogno energetico per il riscaldamento ed il raffrescamento e calcolo delle relative emissioni di CO<sub>2</sub>*

Poiché nella test-room la fonte energetica dell'impianto di riscaldamento (gas metano) è differente da quella del sistema di raffrescamento (energia elettrica<sup>17</sup>) è necessario, sia per la monetizzazione del fabbisogno energetico, che per il calcolo della CO<sub>2</sub> prodotta<sup>19</sup>, seguire due procedimenti distinti.



Catania, 21 novembre, ore 12:00.



Nella valutazione dei costi vengono considerate le spese relative al metano e all'energia elettrica, mentre non sono state considerate le spese di manutenzione della caldaia o dell'impianto di condizionamento nonché la corrente elettrica minima utilizzata dalla caldaia. Trattandosi infatti della simulazione di una sola stanza tali spese sarebbero di gran lunga maggiori rispetto al fabbisogno energetico vero e proprio e renderebbero i risultati poco significativi.

20 EER, acronimo per *Energy Efficiency Ratio*, è un parametro che indica l'efficienza elettrica di un climatizzatore mentre funziona in raffreddamento.

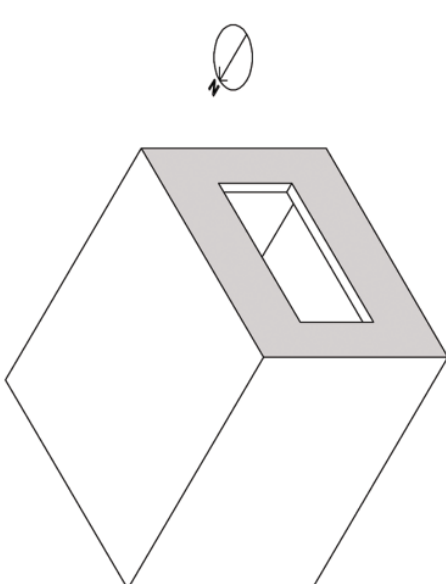
21 I kg di CO<sub>2</sub> prodotti dalla combustione del gas metano per il riscaldamento e dalla produzione della corrente elettrica (*mix elettrico*) necessaria ad alimentare il condizionatore d'aria sono stati tratti dalle banche dati delle principali aziende italiane fornitrici di energia e da report annuali di Geenpeace.

DATI PER LA MONETIZZAZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO PER IL RISCALDAMENTO <sup>18</sup>	
Rendimento caldaia	90 %
1 mc gas metano	9 kWh
Prezzo metano al mc	0,65 €
<b>1 kWh</b> fornito dall'impianto di riscaldamento equivale a $(1/0,9/9) \times 0,65€ =$	<b>0,08 €</b>

DATI PER LA MONETIZZAZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO PER IL RAFFRESCAMENTO	
EER <sup>19</sup>	3,5 W/W
Prezzo corrente elettrica al kWh	0,19 €
<b>1 kWh</b> fornito dall'impianto di raffreddamento equivale a $(1/3,5) \times 0,19€ =$	<b>0,05 €</b>

CALCOLO DELLA CO <sub>2</sub> PRODOTTA PER IL RISCALDAMENTO <sup>20</sup>	
1 kWh prodotto con gas metano	0,20 kg di CO <sub>2</sub>
Rendimento caldaia	90 %
<b>1 kWh</b> fornito dall'impianto di riscaldamento equivale a $(1/0,9) \times 0,20 =$	<b>0,22 kg di CO<sub>2</sub></b>

CALCOLO DELLA CO <sub>2</sub> PRODOTTA PER IL RAFFRESCAMENTO	
1 kWh prodotto con corrente elettrica	0,58 kg di CO <sub>2</sub>
EER	3,5 W/W
<b>1 kWh</b> fornito dall'impianto di raffreddamento equivale a $(1/3,5) \times 0,58 =$	<b>0,16 kg di CO<sub>2</sub></b>

STRUMENTI DI SPERIMENTAZIONE	
Software di simulazione termodinamica	Energy Plus 2.0
Strumento di analisi	test-room virtuale
	
DATI DIMENSIONALI	
Dimensioni lorde in pianta	5,00 x 4,50 m
Altezza	3,00 m
Orientamento della parete-test	Sud
Dimensione apertura sulla parete-test	3,00 x 1,35 m
	30% della parete-test
Sistema di schermatura solare	assente
LOCALIZZAZIONE	
Localizzazione 1	Milano
Localizzazione 2	Ancona
Localizzazione 3	Catania
	Zona climatica E
	Zona climatica D
	Zona climatica B
CARICHI TERMICI INTERNI	
2 Persone	2 x 90= 180 W
Computers	150 W
1 Corpo illuminante a risparmio energetico	50 W
Schedules	9:00-13:00 e 15:00-19:00 dal lunedì al venerdì esclusi i giorni festivi
VENTILAZIONE	
Ricambi d'aria per ventilazione naturale	0,6 h <sup>-1</sup>
Sistema di ventilazione meccanica	assente

SISTEMA DI RISCALDAMENTO ATTIVO	
Combustibile	Gas metano
Temperatura che determina l'entrata in funzione del sistema di riscaldamento	< 21°C
Periodo di accensione	Milano 15 ottobre – 15 aprile Napoli 1 novembre – 15 aprile Catania 1 dicembre – 15 marzo
Schedules	9:00-19:00 dal lunedì al venerdì esclusi i giorni festivi
SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO ATTIVO	
Fonte energetica	Energia elettrica
Temperatura che determina l'entrata in funzione del sistema di raffrescamento	> 26°C
Periodo di accensione	Milano 1 maggio – 30 settembre Napoli Catania
Schedules	9:00-19:00 dal lunedì al venerdì esclusi i giorni festivi
TEMPERATURE MONITORATE	
Timesteps	20/h
Temperatura esterna	°C
Temperatura superficiale esterna	°C
Temperatura superficiale interna	°C
Temperatura interna	°C
Temperatura operativa interna	°C
PARAMETRI PRESTAZIONALI DEL SISTEMA D'INVOLUCRO RICAVATI	
Sfasamento nella trasmissione del calore	h
Attenuazione nella trasmissione del calore	-
FABBISOGNI ENERGETICI VALUTATI	
Periodo valutato	mese / anno
Fabbisogno energetico invernale - riscaldamento attivo	kWh
Fabbisogno energetico estivo - raffrescamento attivo	kWh
Fabbisogno energetico riscaldamento + raffrescamento	kWh
FABBISOGNI ENERGETICI MONETIZZATI E CALCOLO CO2 PRODOTTA	
Periodo valutato	anno
Fabbisogno energetico invernale - riscaldamento attivo	€
Fabbisogno energetico estivo - raffrescamento attivo	€
Fabbisogno energetico riscaldamento + raffrescamento	€

## PROCEDURA DI SPERIMENTAZIONE

---

### *Articolazione della procedura*

La procedura di sperimentazione messa a punto prevede l'applicazione dei sistemi d'involucro selezionati in tre zone climatiche italiane, mediante il supporto di una test-room virtuale - il cui comportamento energetico è simulato con il software *EnergyPlus* - al fine di monitorarne e valutarne le prestazioni in uso in un regime dinamico per il periodo di un anno.

La procedura è articolata secondo le seguenti fasi:

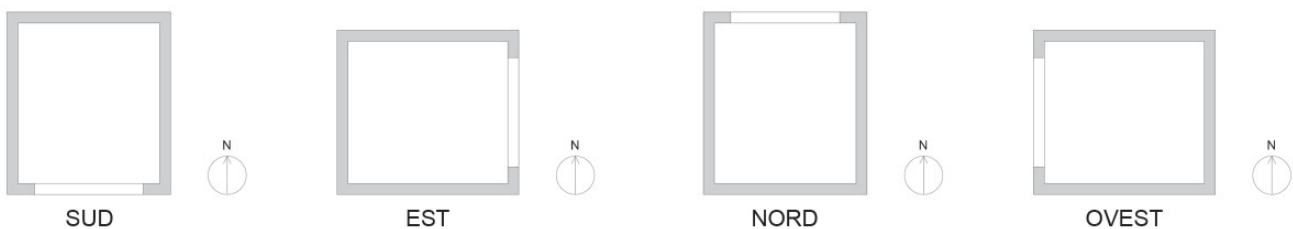
1. Analisi climatica delle tre località italiane prescelte;
2. Prima serie di simulazioni termodinamiche. Monitoraggio delle prestazioni termiche di un involucro edilizio di tipo tradizionale scelto come riferimento e dei tre sistemi innovativi, nelle tre località prescelte, per il periodo di un anno;
3. Monetizzazione del fabbisogno termico e calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub>.
4. Valutazione dei risultati numerici delle simulazioni e comparazione delle prestazioni termiche in uso dei sistemi di involucro oggetto di analisi con quelle dell'involucro di riferimento;
5. Seconda serie di simulazioni termodinamiche - analisi di sensibilità:
  - Variazione di orientamento,
  - Variazione del rapporto tra superficie finestrata ed opaca;
6. Monetizzazione del fabbisogno termico e calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> in relazione alla seconda serie di simulazioni;
7. Valutazione dei risultati numerici delle analisi di sensibilità;
8. Elaborazione di eventuali proposte migliorative dei sistemi di involucro;
9. Definizione di linee guida per l'impiego dei sistemi di involucro analizzati in edifici localizzati nel Sud Europa in base ai risultati dell'applicazione sperimentale.

Nonostante i sistemi di involucro oggetto di analisi siano costituiti da strutture leggere assemblate a secco si è deciso di utilizzare come involucro tradizionale di riferimento una tipologia ad umido, quale la muratura a cassetta. Questo tipo di involucro, infatti, è comunemente

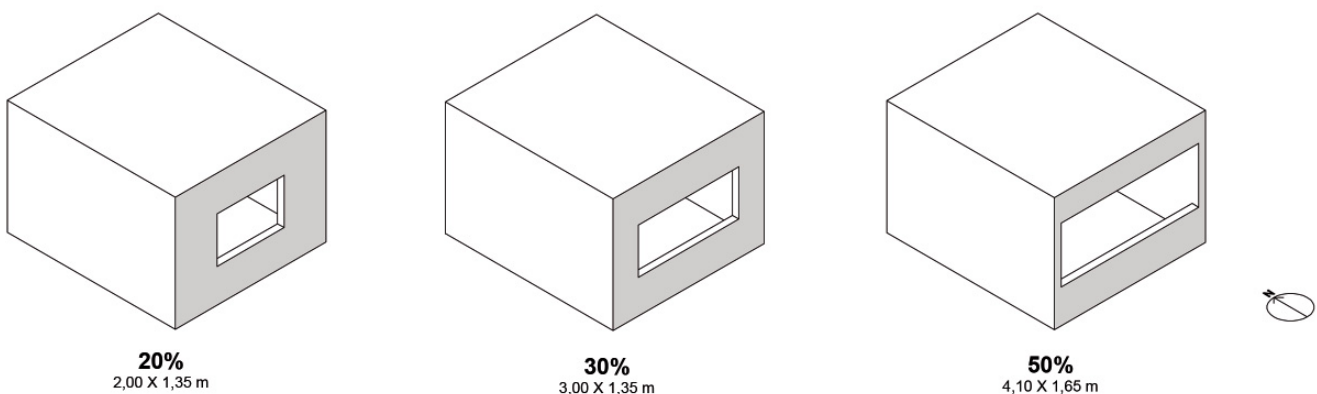
utilizzato su tutto il territorio nazionale ed è dotato di una massa frontale pari a  $230 \text{ Kg/m}^2$  (il valore minimo stabilito dal D.Lgs. 311/2006) e di un'inerzia termica piuttosto elevata da costituire un elemento di paragone significativo. Non sono stati invece rilevati sistemi di involucro assemblati a secco sufficientemente diffusi sul territorio nazionale e dotati di una massa superficiale e un'inerzia termica soddisfacenti da utilizzare come elemento di paragone. La comparazione tra sistemi innovativi leggeri assemblati a secco con un involucro tradizionale massivo ad umido, è inoltre utile a paragonare le prestazioni di inerzia termica dovuta ad una massa elevata a l'“inerzia termica virtuale” tipica dei sistemi di involucro leggeri ad elevate prestazioni energetiche.

Per verificare l'effettiva maggiore efficienza termica dei sistemi di involucri oggetto di analisi rispetto a quello di riferimento, oltre a verificare i parametri prestazionali dinamici (coefficiente di sfasamento e fattore di attenuazione) verranno confrontati i fabbisogni energetici annui, il costo del gas metano e della corrente elettrica necessari a garantire una condizione di benessere termico interno durante le ore di lavoro e la quantità di anidride carbonica immessa nell'atmosfera.

Variazione di orientamento.



Variazione del rapporto tra superficie finestrata ed opaca.



FASI	PROCEDURE	STRUMENTI
1	Analisi climatica delle località prescelte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dati climatici tratti dalla Norma UNI 10349:1994/EC</li> <li>- Dati tratti dalle centraline di rilevamento dati meteo</li> <li>- Atlante italiano della radiazione solare dell'ENEA: software online per l'elaborazione delle carte solari.</li> </ul>
2	PRIMA SERIE DI SIMULAZIONI TERMODINAMICHE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Test-room virtuale</li> <li>- Energyplus 2.0: software di simulazione termica</li> </ul>
3	MONETIZZAZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO E CALCOLO CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodi di conversione</li> </ul>
4	VALUTAZIONE E COMPARAZIONE DEI RISULTATI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodi di conversione</li> </ul>
5	SECONDA SERIE DI SIMULAZIONI TERMODINAMICHE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Test-room virtuale</li> <li>- Energyplus 2.0: software di simulazione termica</li> </ul>
4	MONETIZZAZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO E CALCOLO CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodi di conversione</li> </ul>
5	VALUTAZIONE DEI RISULTATI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodi di conversione</li> </ul>
6	PROPOSTE MIGLIORATIVE	
7	DEFINIZIONE DI LINEE GUIDA	



## 3.2 Analisi delle prestazioni energetiche in uso in tre zone climatiche italiane, simulazioni termodinamiche ed analisi dei risultati

### 1. Analisi climatica delle località prescelte

L'analisi climatica e microclimatica costituisce la base conoscitiva fondamentale per la progettazione di un edificio energeticamente efficiente in grado di interagire in maniera dinamica con l'ambiente esterno al fine di garantire un elevato livello di comfort ambientale interno, limitando l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili.

Poiché nella sperimentazione proposta non è definito un lotto specifico per la localizzazione delle test-rooms, nelle analisi climatiche che seguono si fa riferimento ai dati climatici relative ai tre capoluoghi di provincia presi in esame (Milano, Ancona e Catania), ipotizzando che non vi siano elementi di ombreggiamento. I diagrammi solari sono stati realizzati con il software on-line del Landeshauptstadt Stuttgart, mentre i dati raccolti ed analizzati sono stati tratti dalle seguenti fonti:

UNI 10349:1994 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici"
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coordinate geografiche dei capoluoghi di provincia,</li> <li>- Temperatura giornaliera media mensile,</li> <li>- Irradiazione solare giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale,</li> <li>- Irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale,</li> <li>- Irradiazione solare globale su superficie verticale esposta a Sud,</li> <li>- Irradiazione solare globale su superficie verticale esposta ad Est,</li> <li>- Irradiazione solare globale su superficie verticale esposta ad Ovest,</li> <li>- Irradiazione solare globale su superficie verticale esposta a Nord,</li> <li>- Velocità giornaliera media del vento e direzione prevalente.</li> </ul>

Eurometeo <a href="http://www.eurometeo.com">www.eurometeo.com</a>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura massima mensile,</li> <li>- Temperatura minima mensile,</li> <li>- Precipitazioni medie mensili.</li> </ul>

Le seguenti simulazioni termodinamiche sono invece effettuate con i "Weather Date"<sup>2</sup> dei dati Di Giorgio tratti dal sito del *National Renewable Energy Laboratory degli Stati Uniti d'America*.

Si sottolinea che i dati Di Giorgio si riferiscono ad un anno tipo costituito utilizzando rilievi condotti nei pressi degli aeroporti (nel caso specifico Linate, Falconara e Fontanarossa). Va osservato che le condizioni climatiche nei centri urbani presentano generalmente degli scostamenti rispetto a quelle degli aeroporti, infatti, a causa dell'effetto "isola di calore"<sup>3</sup>, le temperature estive sono solitamente più elevate e, a causa della densità degli edifici, la velocità del vento risulta minore. Al fine di ridurre tale incongruenza e di avvicinare il più possibile i dati meteorologici disponibili alle reali condizioni,

1 Software on-line del Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie [www.stadtklima-stuttgart.de](http://www.stadtklima-stuttgart.de)

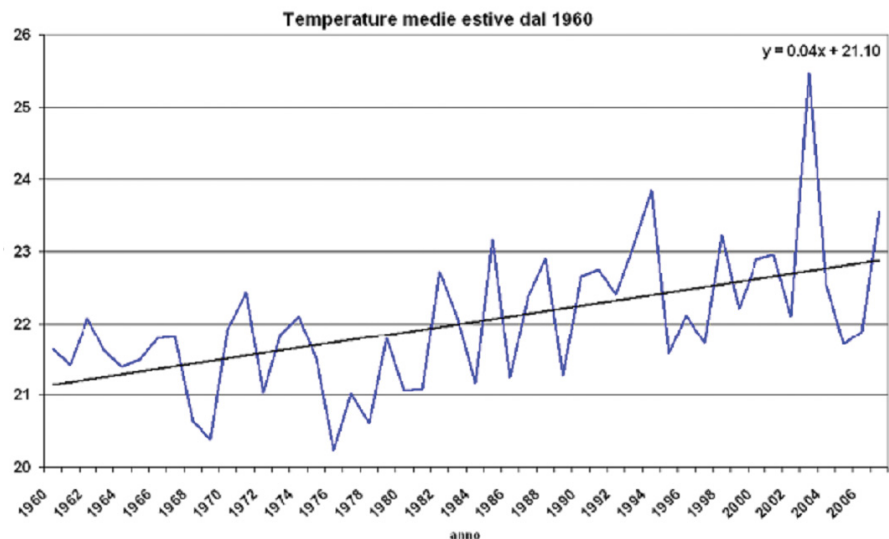
2 I dati climatici delle principali località mondiali sono inoltre raccolti in files chiamati "Weather Date" (con estensione .epw) che possono essere letti direttamente dai principali software di simulazione termodinamica come EnergyPlus, DOE o Trnsys. I files "Weather Date" possono essere tratti dal sito del *National Renewable Energy Laboratory degli Stati Uniti d'America* o generati con il programma MeteoNorm.

3 "Il fenomeno, noto con il nome di "isola di calore" (urban heat island), è dovuto soprattutto al maggior assorbimento di energia solare da parte delle superfici asfaltate e del cemento degli edifici. In estate, nelle ore più assolate, le strade e i tetti delle case possono raggiungere spesso temperature superiori a 60-90°C. Inoltre, il suolo urbano presenta una scarsa capacità di trattenere acqua; ne consegue una minore evaporazione, con minore raffreddamento della temperatura in prossimità del terreno. Ma altre condizioni contribuiscono ad aumentare la temperatura nell'aria, come l'emissione di gas dai mezzi di trasporto e dalle ciminiere delle fabbriche, la produzione di calore artificiale dagli impianti di condizionamento e riscaldamento, la scarsità di alberi o comunque di copertura vegetale. L'effetto isola modifica anche alcuni parametri meteorologici: i fenomeni temporaleschi, ad esempio, risultano essere aumentati del 10-15% rispetto ad ambienti rurali, mentre il vento, per la presenza delle abitazioni, risulta diminuito (in condizioni di brezza del 20-30%. Altro fenomeno interessante, legato all'isola di calore, è l'aumento delle polveri sottili".

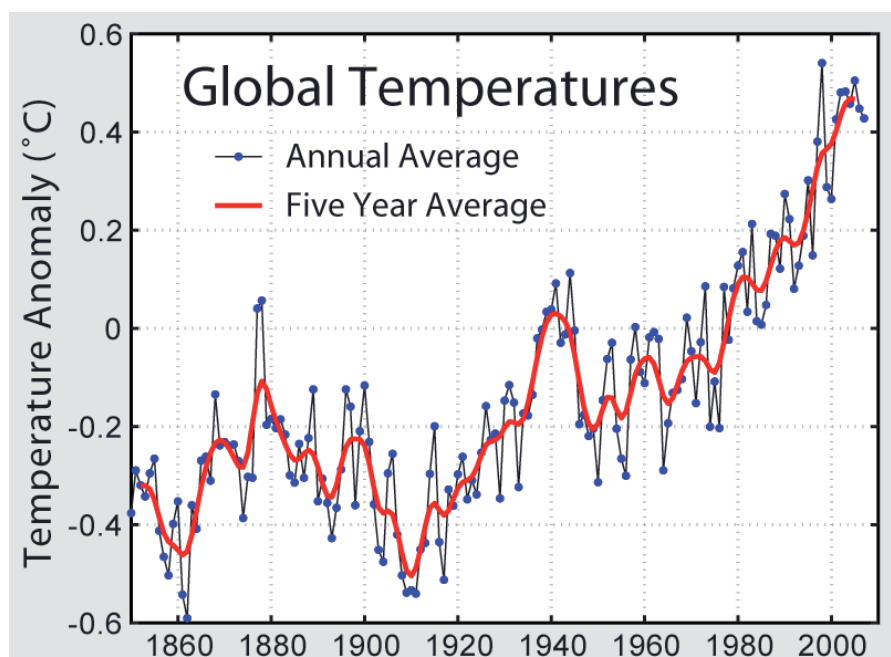
Tratto dal sito del Ministero della salute: [www.ministerosalute.it](http://www.ministerosalute.it)

si è provveduto ad impostare nel programma di simulazione la localizzazione "city" che tiene conto dell'effetto isola di calore e a correggere la velocità dell'area in funzione della densità edilizia tipica del contesto urbano.

Un'altra limitazione che si ha nell'utilizzo dei *dati climatici Di Giorgio*, raccolti nell'ambito del *Progetto Finalizzato Energetica* dal 1951 al 1970, è la mancanza di informazioni relative all'aumento delle temperature medie avvenuto negli ultimi anni a scala globale. Non essendo però disponibili dei dati climatici relativi alle località prese in esame elaborati negli ultimi anni da enti o istituti accreditati, si è ritenuto opportuno utilizzare comunque i *dati climatici Di Giorgio*, tenendo però conto, nella valutazione dei risultati numerici delle simulazioni, del surriscaldamento globale rilevato negli ultimi anni. A tal proposito si riportano dei grafici che illustrano l'andamento delle temperature medie negli ultimi quaranta anni e nell'ultimo secolo.



Temperature medie estive rilevate dal Centro Operativo di Agrometeorologia di Treia (MC) dal 1960 al 2007. In nero la linea di tendenza che evidenzia l'aumento della temperatura media avvenuto negli ultimi decenni.



Andamento delle temperature globali rilevate dal 1840 al 2003 dal Climatic Research Unit of the University of East Anglia e dal Hadley Centre of the UK Meteorological Office.

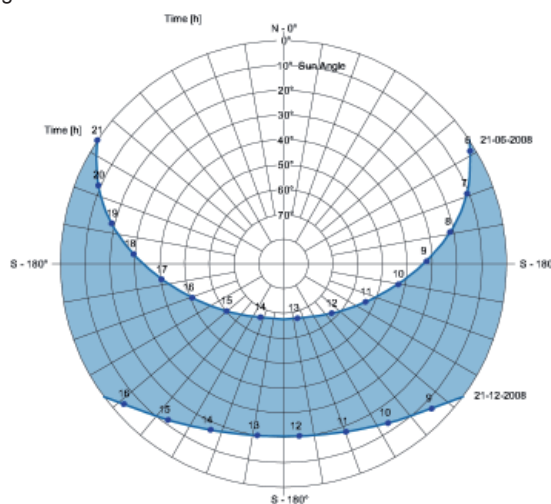


# MILANO

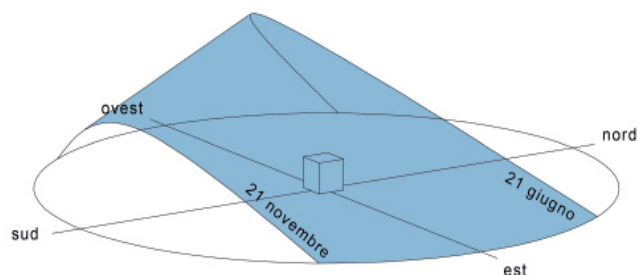


Latitudine	45°27' E
Longitudine	9°11' N
Altitudine	122 m s.l.m.
Centralina di rilevamento	Aeroporto di Linate
Zona climatica	E
Zona di vento	1
Velocità del vento media	1,1 m/s
Direzione prevalente del vento	SW
Temperatura massima estiva	31,5 °C
Ampiezza di temperatura massima estiva	12 °C

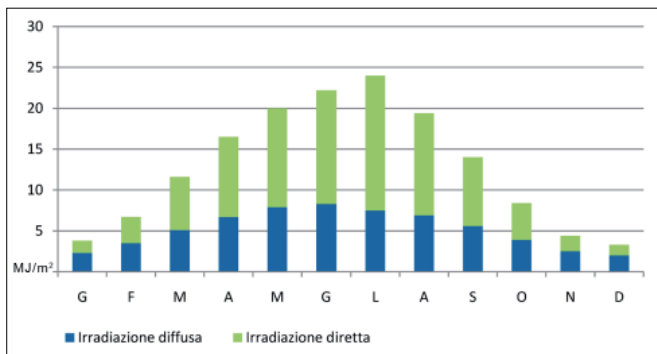
Diagramma solare.



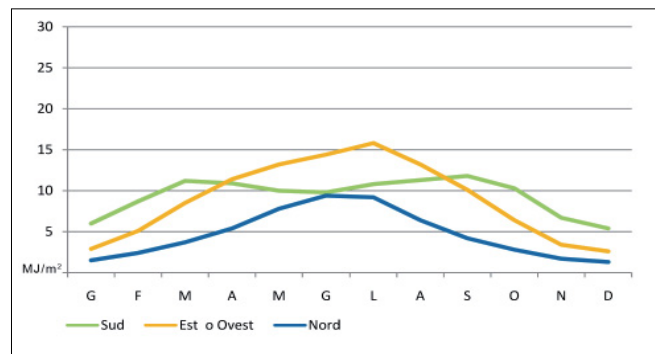
Vista tridimensionale del percorso solare



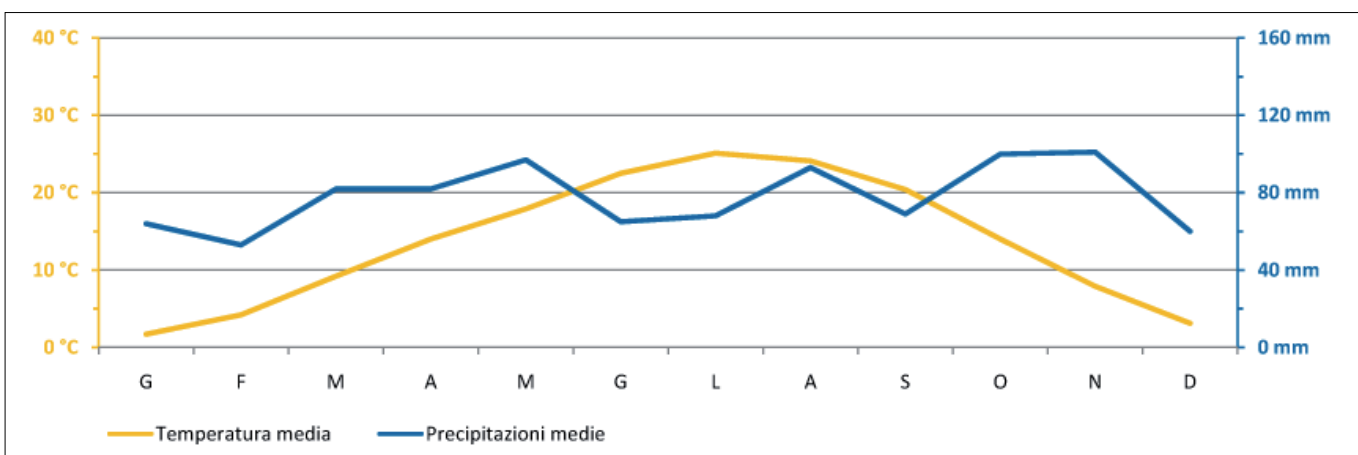
Irradiazione media mensile globale sul piano orizzontale suddivisa in diretta e diffusa.



Irradiazione solare globale su superfici verticali esposte a Sud, Est, Ovest e Nord.



Temperatura e precipitazioni medie mensili.

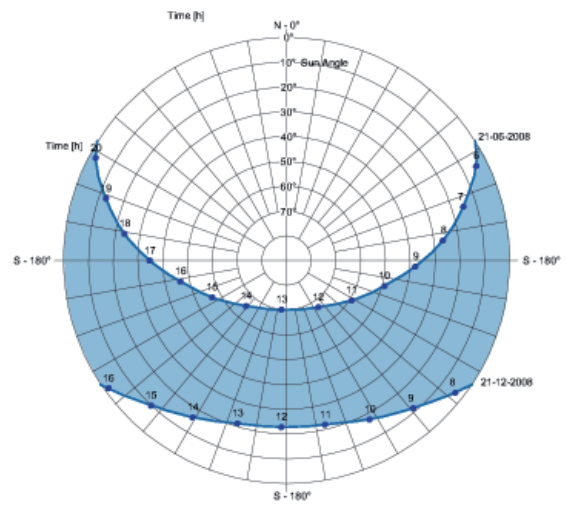


# ANCONA

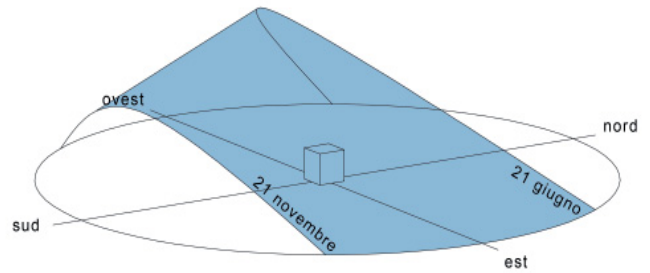


Latitudine	43°36' E
Longitudine	16°30' N
Altitudine	16 m s.l.m.
Centralina di rilevamento	Aeroporto di Falconara
Zona climatica	D
Zona di vento	2
Velocità del vento media	3,2 m/s
Direzione prevalente del vento	W
Temperatura massima estiva	30,1 °C
Ampiezza di temperatura massima estiva	5,5 °C

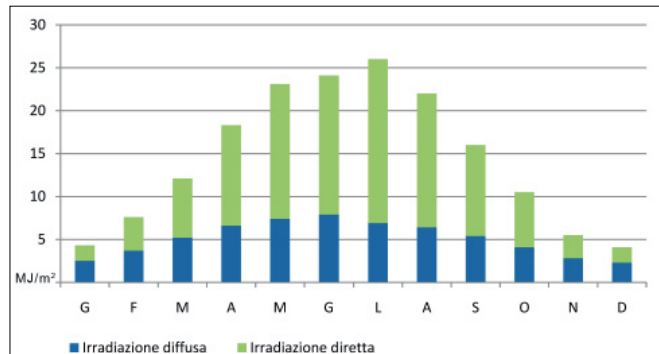
Diagramma solare.



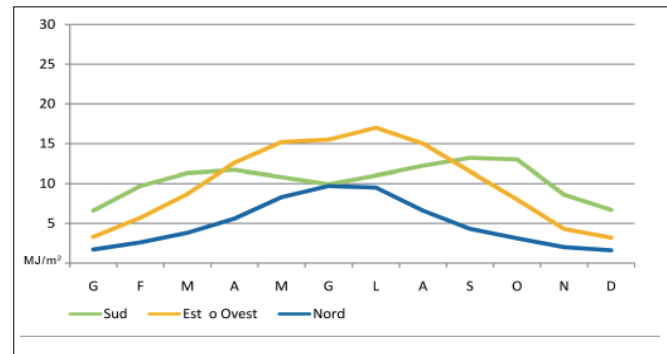
Vista tridimensionale del percorso solare



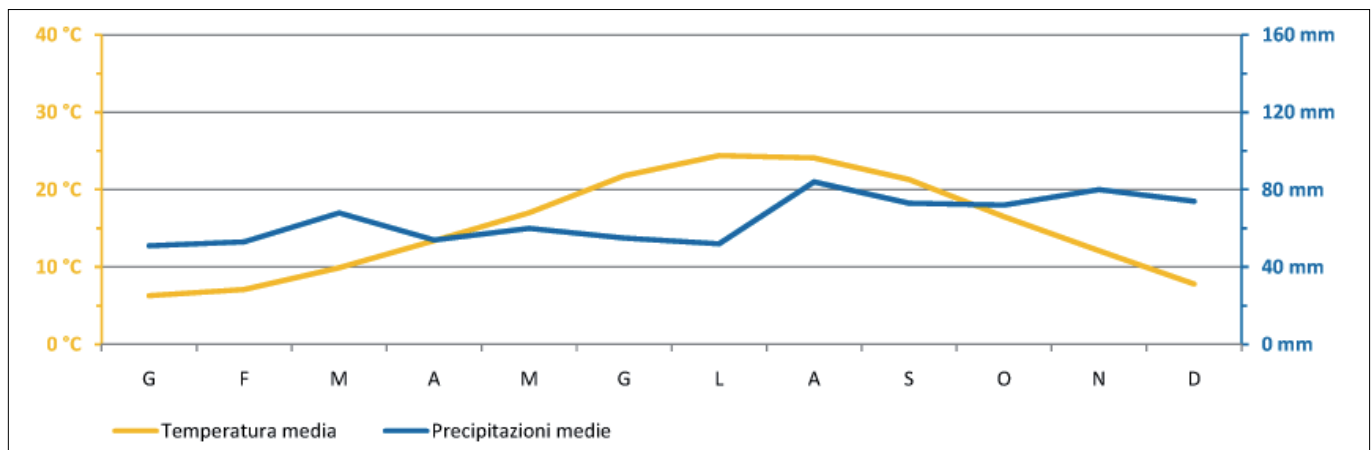
Irradiazione media mensile globale sul piano orizzontale suddivisa in diretta e diffusa.



Irradiazione solare globale su superfici verticali esposte a Sud, Est, Ovest e Nord.



Temperatura e precipitazioni medie mensili.

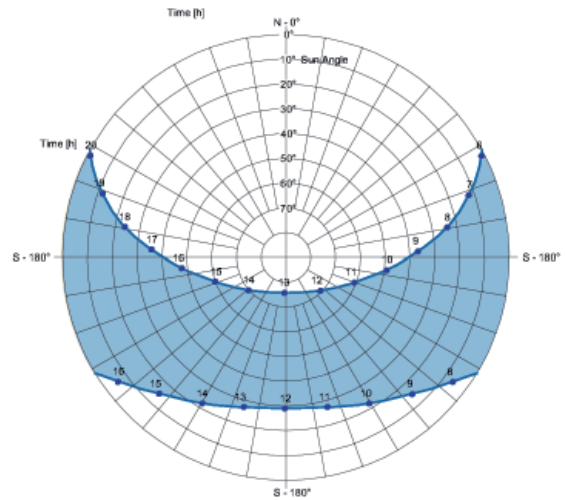


# CATANIA

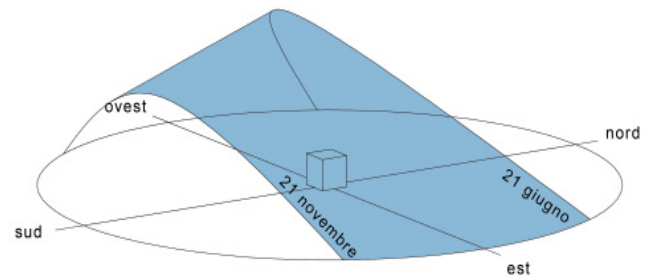


Latitudine	37°30' E
Longitudine	15°05' N
Altitudine	7 m s.l.m.
Centralina di rilevamento	Aeroporto Fontanarossa
Zona climatica	B
Zona di vento	3
Velocità del vento media	4,4 m/s
Direzione prevalente del vento	W
Temperatura massima estiva	33,6 °C
Ampiezza di temperatura massima estiva	10 °C

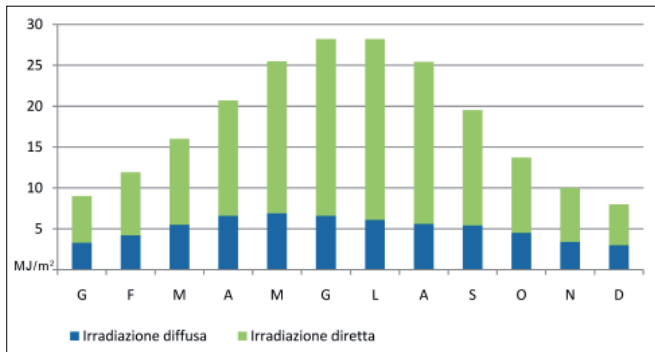
Diagramma solare.



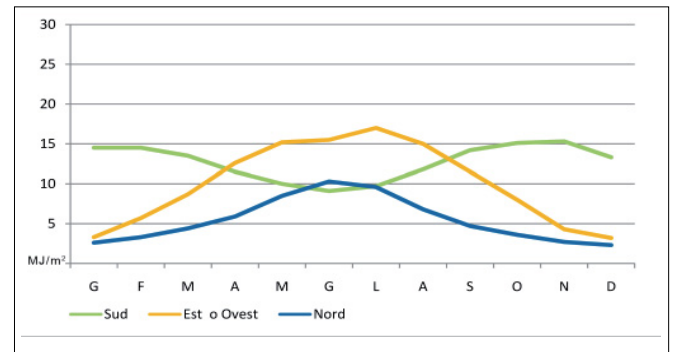
Vista tridimensionale del percorso solare



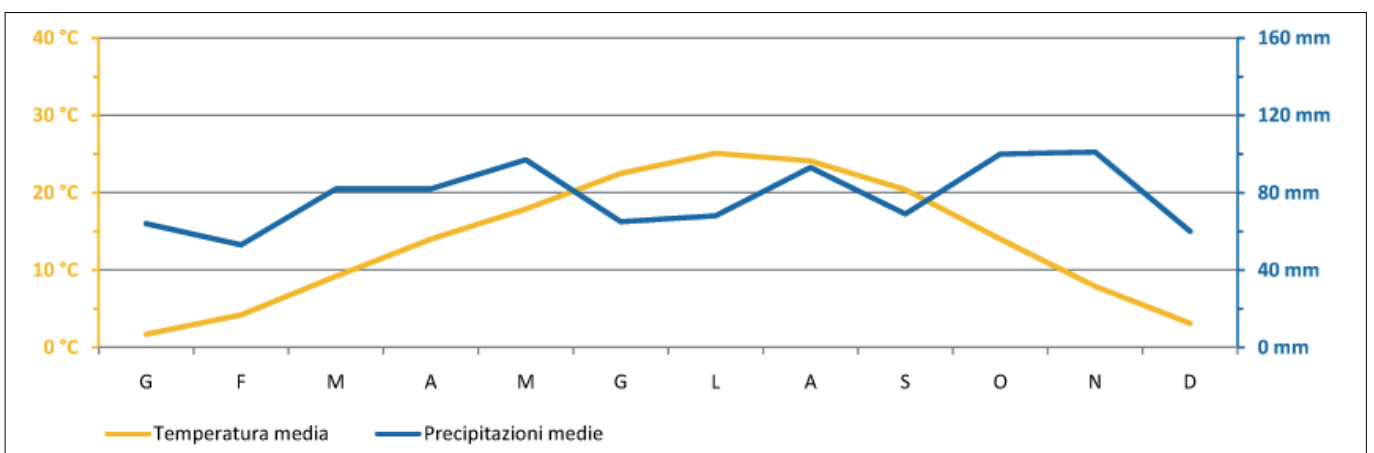
Irradiazione media mensile globale sul piano orizzontale suddivisa in diretta e diffusa.



Irradiazione solare globale su superfici verticali esposte a Sud, Est, Ovest e Nord.



Temperatura e precipitazioni medie mensili.





## 2. Prima serie di simulazioni termodinamiche

La prima serie di simulazioni termodinamiche prevede il monitoraggio, per la durata di un anno, delle prestazioni termiche del sistema di involucro di riferimento e dei tre oggetti di analisi con gli strumenti e le procedure precedentemente illustrati.

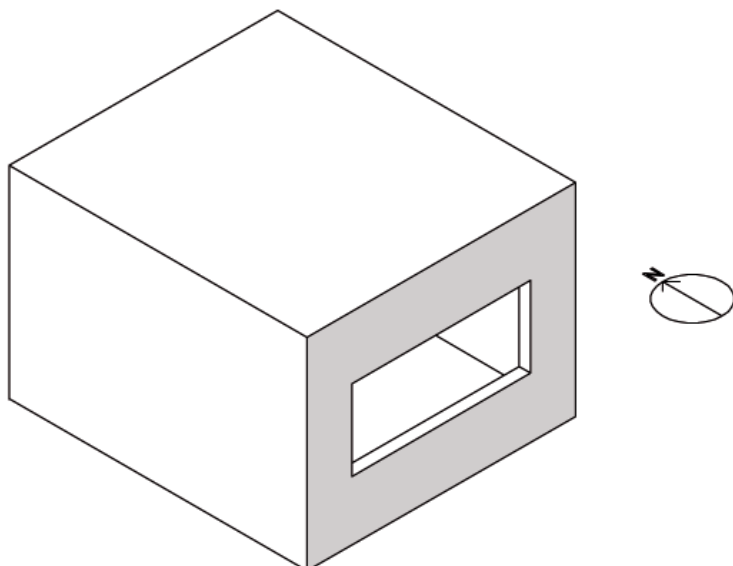
Data l'estesa quantità di dati numerici e grafici ottenuti dalle simulazioni, in questa sezione della tesi si è ritenuto opportuno illustrare solo i risultati ultimi, ricavati dal monitoraggio continuo delle temperature, quali i valori di *sfasamento* e di *attenuazione* nella trasmissione del calore dei sistemi di involucro analizzati e il *fabbisogno energetico mensile* per il riscaldamento ed il raffrescamento.

A titolo esplicativo del lavoro svolto si riporta il tracciato delle temperature monitorate in una settimana tipo estiva ed una invernale con e senza la presenza degli impianti meccanici di regolazione della temperatura interna.

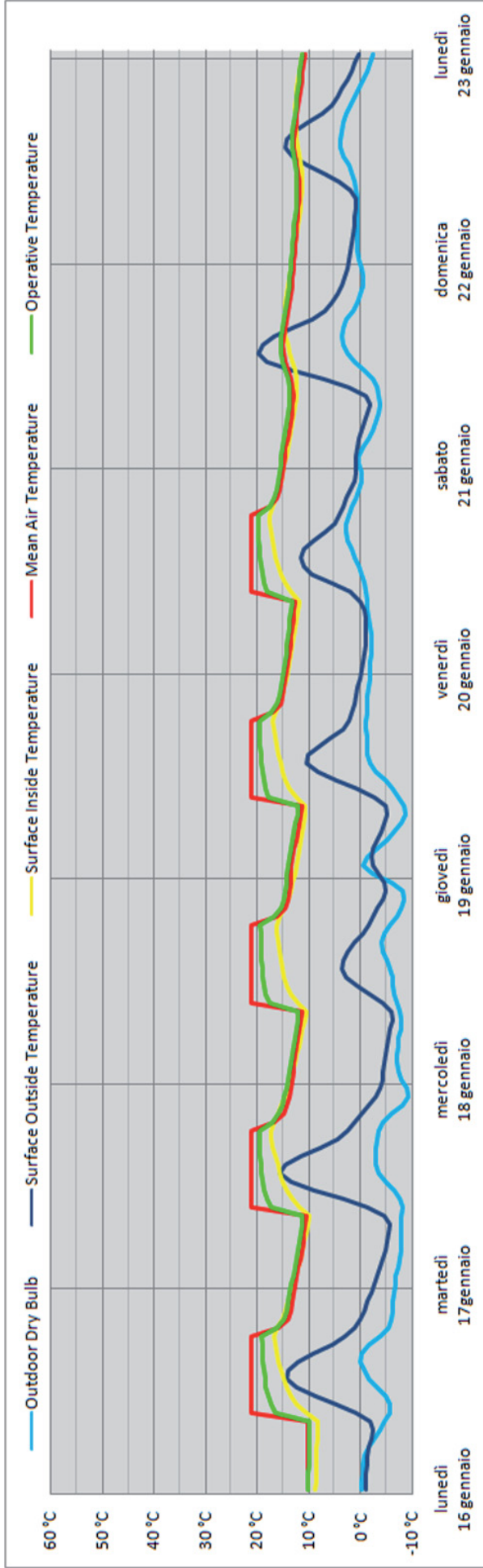
Nella situazione priva di impianti la temperatura superficiale interna, la temperatura media interna e la temperatura operativa hanno dei valori equiparabili. Entrando invece in funzione l'impianto, la temperatura media interna assume quasi immediatamente il valore predefinito, la temperatura operativa non raggiunge mai tale valore, ma tende ad avvicinarsi piuttosto rapidamente, mentre la temperatura superficiale interna, che risente direttamente delle condizioni ambientali esterne, impiega delle ore per avvicinarsi al valore di benessere termico prestabilito.

Nel monitoraggio effettuato senza la presenza degli impianti, allo scopo di determinare i valori di *sfasamento* e di *attenuazione* nella trasmissione del calore, la temperatura media interna raggiunge dei picchi che in estate sono di circa 40°C ed in inverno di circa 4°C.

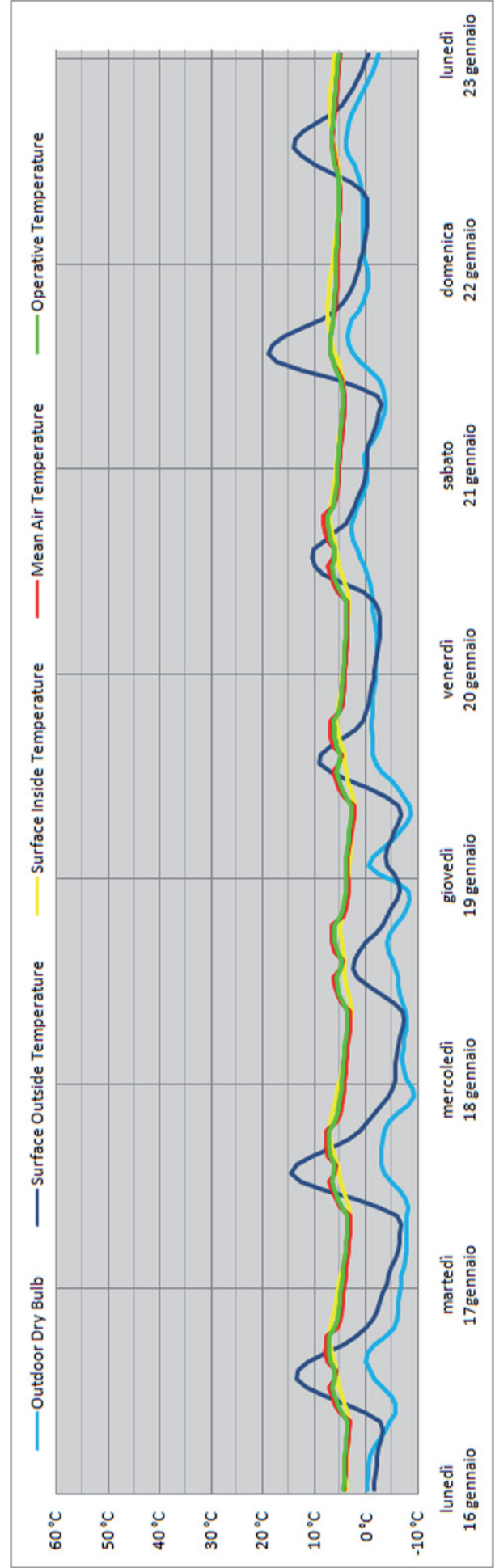
Il *fabbisogno energetico mensile*, ricavato dal monitoraggio con la presenza di impianti di climatizzazione estiva ed invernale, è invece sintetizzato con dei grafici che illustrano l'energia termica necessaria al raggiungimento del benessere termico interno.



ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE in una settimana **invernale** tipo in una test-room localizzata a Milano con l'involucro di riferimento (muratura a cassetta).

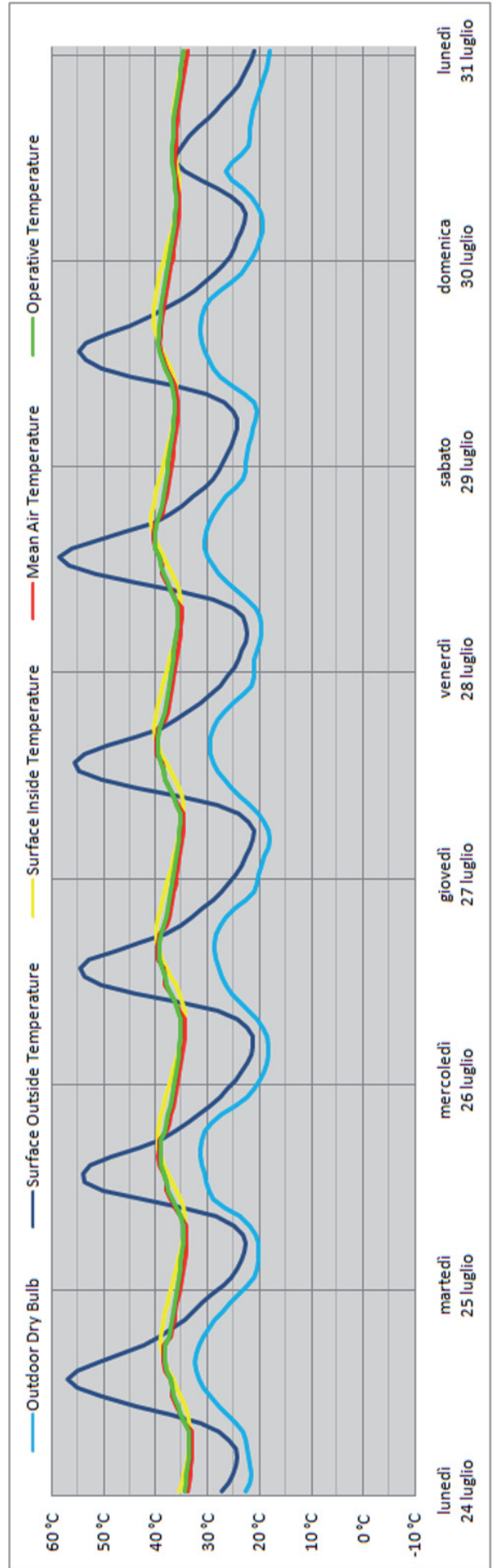
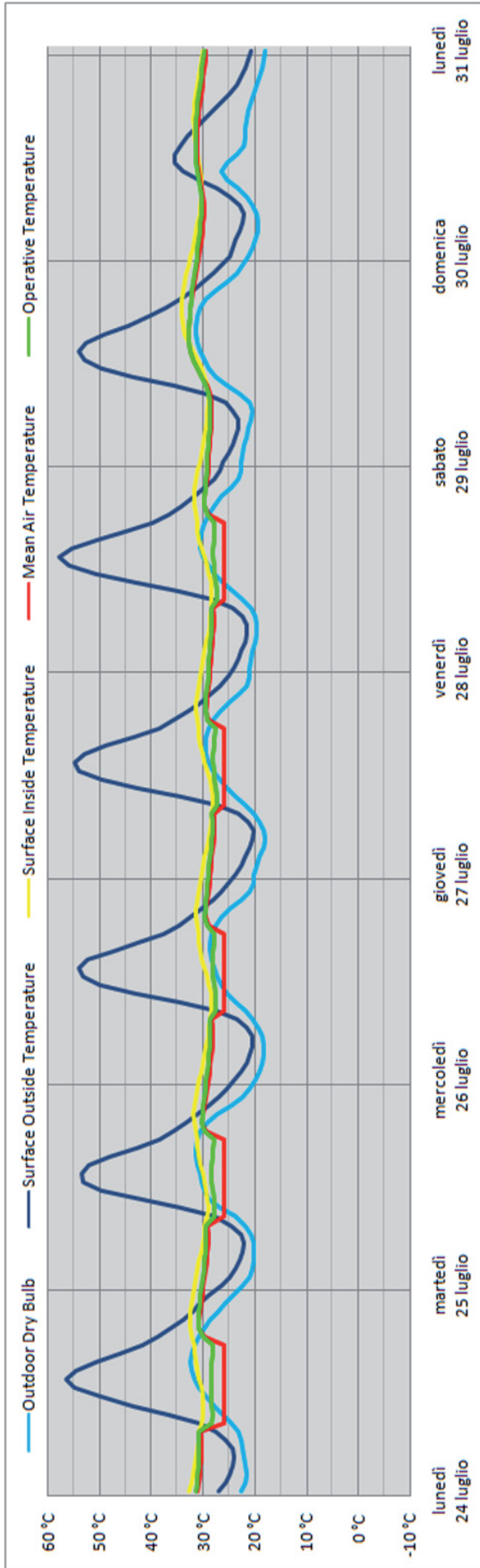


Con impianto di riscaldamento.



Senza impianto di riscaldamento.

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE in una settimana **estiva** tipo in una test-room localizzata a Milano con l'involucro di riferimento opaco (muratura a cassetta).

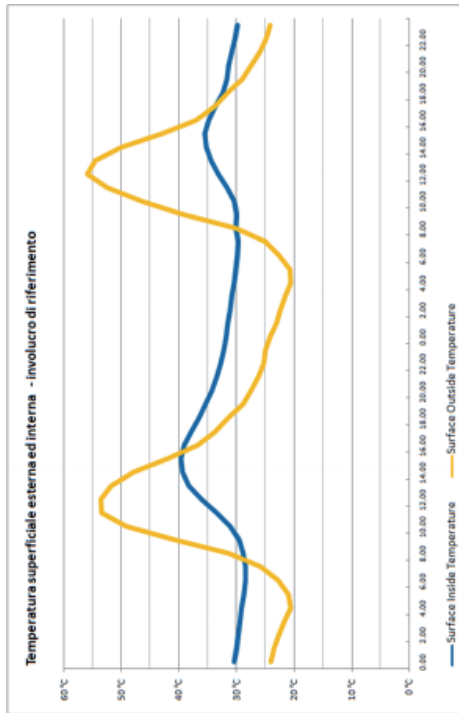
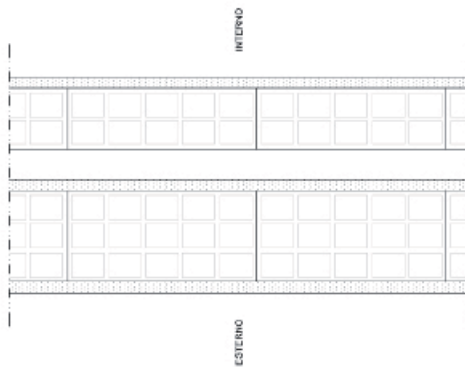


## ENERGY PERFORMANCE

**PRIMA SERIE** di simulazioni termodinamiche orientamento: **SUD** - superficie finestrata **30%**

I fattori di sfasamento e di attenuazione sono stati calcolati analizzando i valori della temperatura superficiale interna ed esterna nell'arco di un anno. I grafici che seguono illustrano le curve delle temperature relative a due giornate tipo estive (23 - 24 luglio) a Catania in una test-room priva di sistemi attivi di riscaldamento/raffrescamento, carichi termici interni e superfici vetrate.

### Sistema di involucro di riferimento: muratura a cassetta



Spessore: 28,0 cm

Massa frontale: 230 kg/m<sup>2</sup>

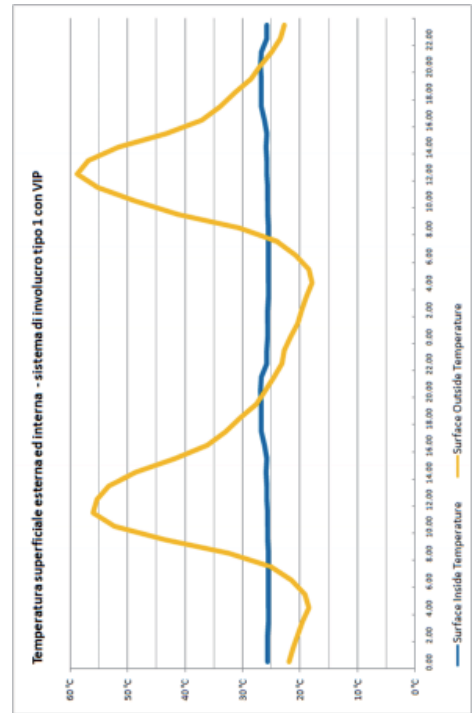
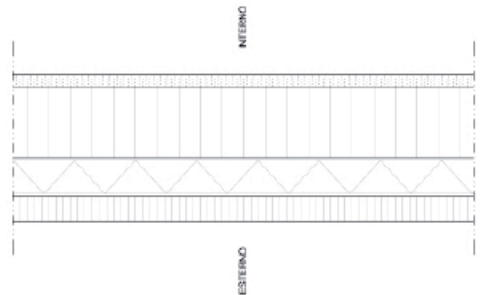
Trasmittanza: 1,018 W/m<sup>2</sup>K

Coefficiente di Sfasamento: 7 ore

Fattore di Attenuazione: 0,10

Il grafico illustra come l'involucro di riferimento abbia dei valori di sfasamento ed attenuazione più che soddisfacenti. I picchi di temperatura superficiale esterna raggiungono l'interno con 7 ore di ritardo, mentre la curva della temperatura superficiale interna ha un'ampiezza molto limitata che denota come l'oscillazione della temperatura esterna venga ridotta ad 1/10 attraverso la muratura.

### Sistema di involucro tipo 1: con VIP



Spessore: 19,3 cm

Massa frontale: 90 kg/m<sup>2</sup>

Trasmittanza: 0,120 W/m<sup>2</sup>K

Coefficiente di Sfasamento: 9,5 ore

Fattore di Attenuazione: 0,02

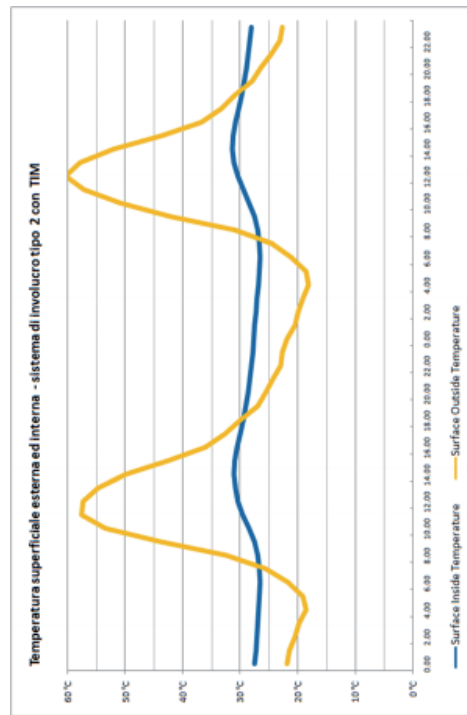
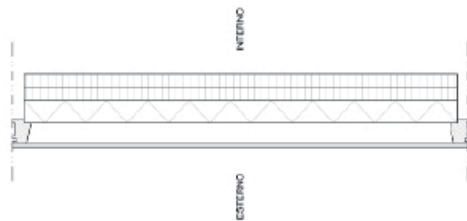
L'elevata resistenza termica dei pannelli isolanti sottovuoto fa sì che i picchi massimi di temperatura esterna raggiungano la superficie interna con più di 9 ore di ritardo. Il fattore di attenuazione è così elevato che la curva della temperatura superficiale interna assume un andamento quasi rettilineo.



**ENERGY PERFORMANCE**

**PRIMA SERIE** di simulazioni termodinamiche orientamento: **SUD** - superficie finestrata **30%**

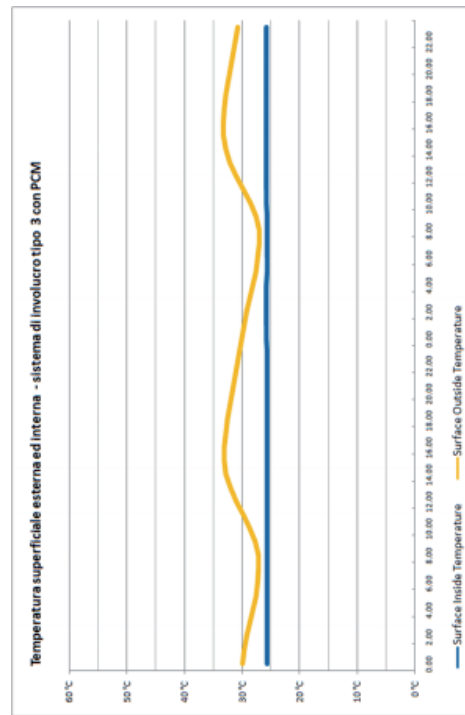
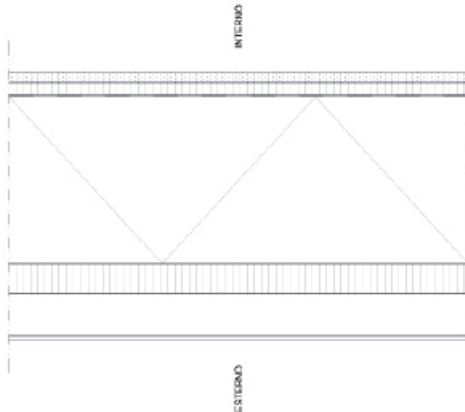
**Sistema di tipo 2: con TIM**



Spessore: 9,8 cm  
 Massa frontale: 16 kg/mq  
 Trasmittanza: 0,330 W/m²K  
 Coefficiente di Sfasamento: 2,5 ore  
 Fattore di Attenuazione: 0,11

La scarsa massa frontale fa sì che l'intervallo di tempo che intercorre tra il raggiungimento della temperatura massima sulla superficie esterna dell'involucro e il raggiungimento della temperatura massima sulla superficie interna sia di solo 2,5 ore. Un fattore di sfasamento così ridotto non risulta sufficiente a garantire un benessere termico interno adeguato, in particolare nella stagione estiva. Date le buone capacità isolanti del TIM si ha invece, un buon fattore di attenuazione, quindi, aumentando la massa frontale, è possibile ipotizzare un notevole aumento dell'*energy performance*.

**Sistema d'involucro tipo 3: con PCM**



Spessore: 35,3 cm  
 Massa frontale: 135,34 kg/mq  
 Trasmittanza: 0,230W/m²K  
 Coefficiente di Sfasamento: non definibile per la presenza dei PCM  
 Fattore di Attenuazione: non definibile per la presenza dei PCM

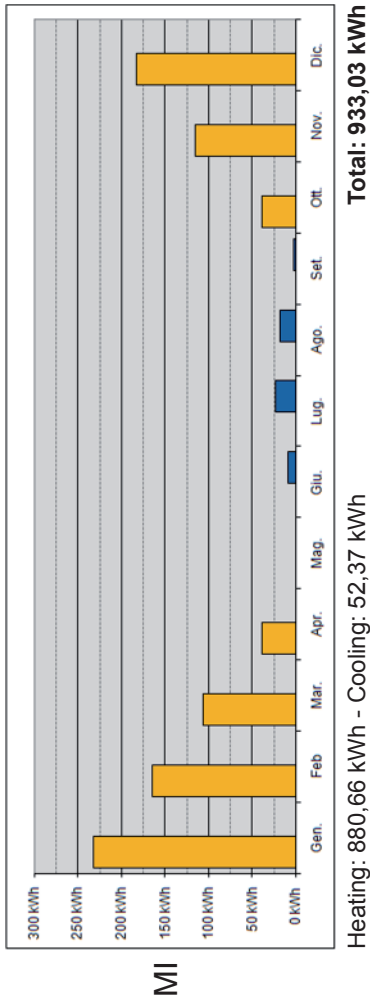
I grafici illustrano come dato il particolare comportamento termico dei materiali a cambiamento di fase, le cui prestazioni termiche variano al variare della temperatura, la temperatura superficiale interna resta costante attorno ai 25,7°C, cioè la temperatura di fusione del materiale a cambiamento di fase.



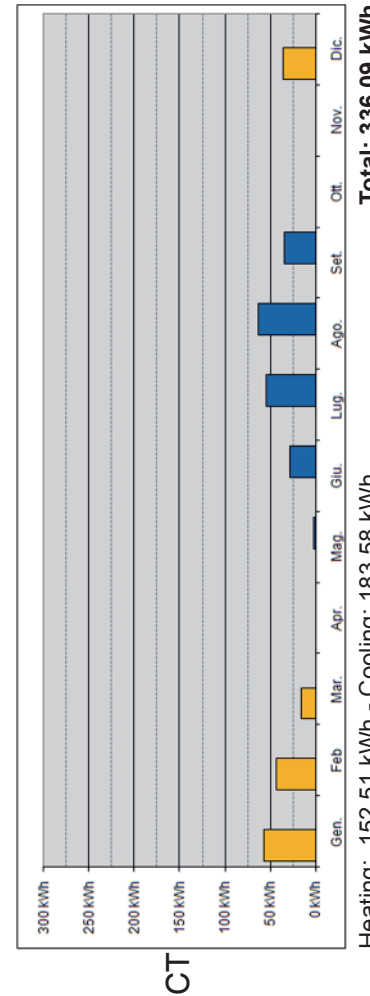
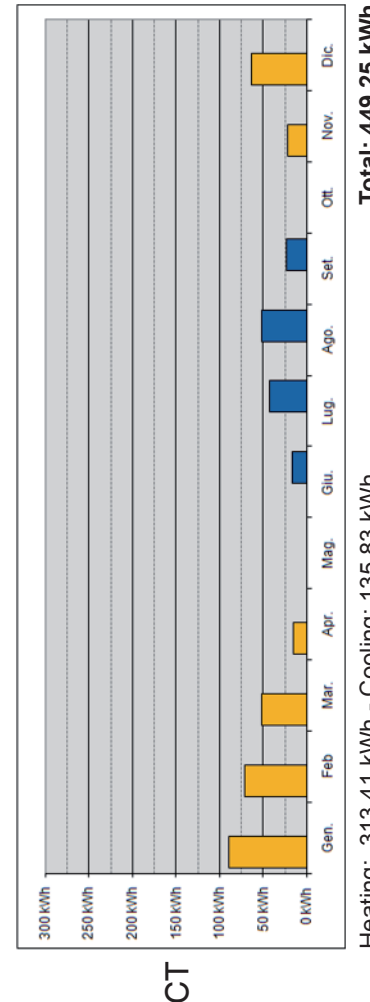
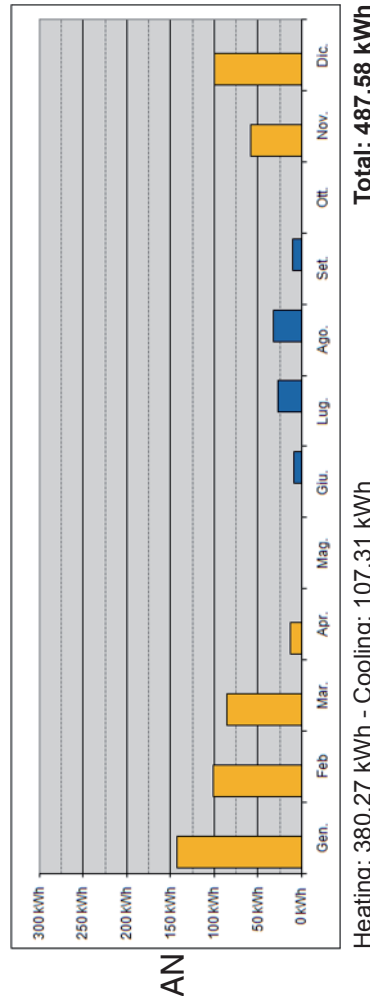
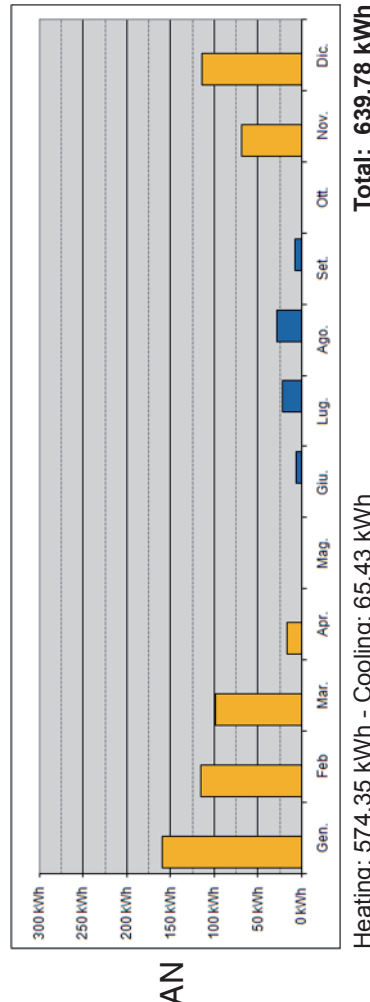
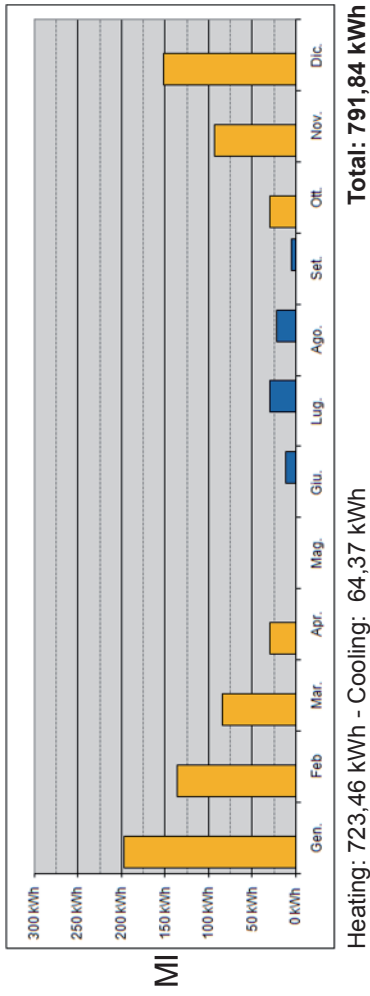
FABBISOGNO ENERGETICO

PRIMA SERIE di simulazioni termodinamiche orientamento: SUD - superficie finestrata 30%

INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta



INVOLUCRO TIPO 1: con VIP

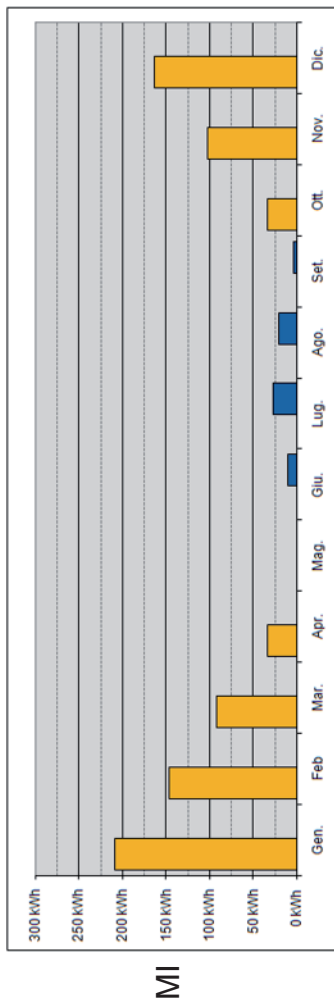




FABBISOGNO ENERGETICO

PRIMA SERIE di simulazioni termodinamiche orientamento: **SUD** - superficie finestrata **30%**

INVOLUCRO TIPO 2: con TIM

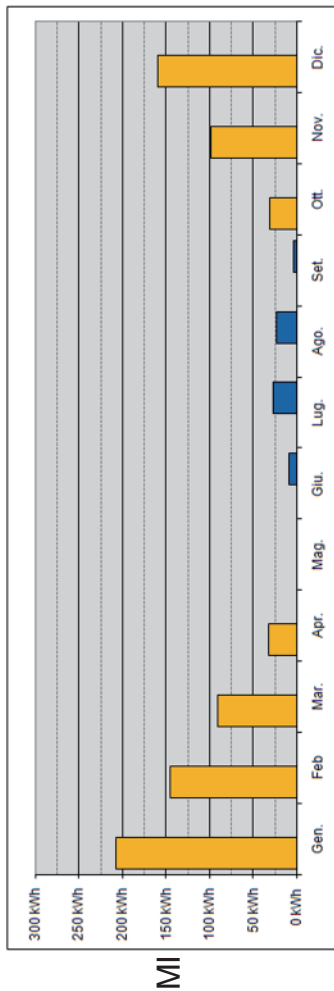


MI

Heating: 781,30 kWh - Cooling: 62,20 kWh

Total: 843,50 kWh

INVOLUCRO TIPO 3: con PCM

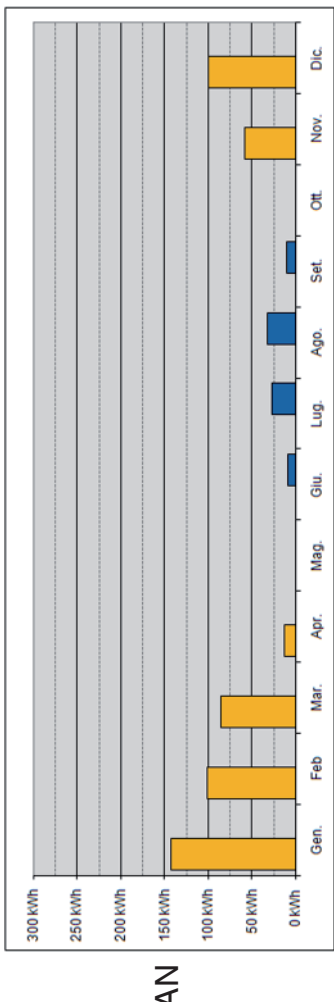


MI

Heating: 766,37 kWh - Cooling: 62,43 kWh

Total: 828,80 kWh

AN



Heating: 501,75 kWh - Cooling: 78,93 kWh

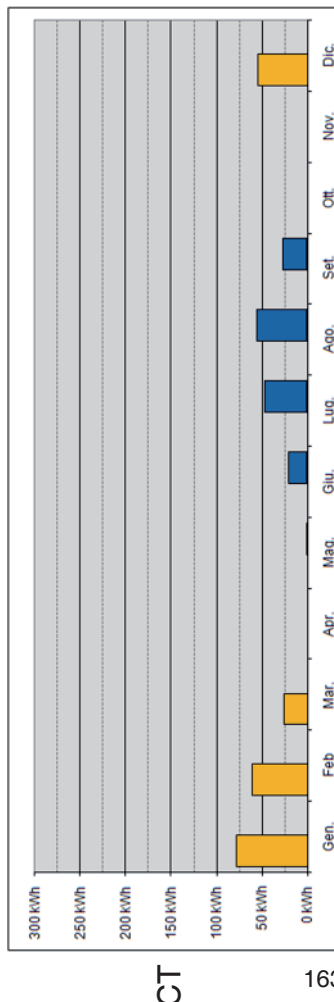
Total: 580,69 kWh

AN

Heating: 501,75 kWh - Cooling: 78,93 kWh

Total: 580,69 kWh

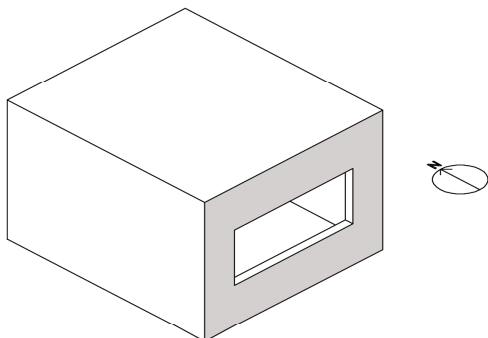
CT



Heating: 219,15 kWh - Cooling: 151,12 kWh

Total: 370,27 kWh

### 3. Monetizzazione del fabbisogno termico e calcolo della CO<sub>2</sub> prodotta in fase di getsione - prima fase di simulazioni.



Sup. finestrata: **30%**  
Orientamento: **SUD**

#### Schema riassuntivo dei risultati ottenuti dalla prima fase di simulazioni

			kWh	€	CO <sub>2</sub>
<b>Involucro di riferimento</b>	Milano	riscaldamento	500,54	40,17	111,23
		raffrescamento	615,96	34,42	108,70
		<b>totale</b>	<b>1.116,50</b>	<b>74,59</b>	<b>219,93</b>
	Ancona	riscaldamento	247,05	19,83	54,90
		raffrescamento	662,69	37,03	116,95
		<b>totale</b>	<b>909,75</b>	<b>56,86</b>	<b>171,85</b>
	Catania	riscaldamento	17,84	1,43	3,96
		raffrescamento	676,68	37,81	119,41
		<b>totale</b>	<b>694,52</b>	<b>39,25</b>	<b>123,38</b>
<b>Sistema di involucro 1: con VIP</b>	Milano	riscaldamento	401,50	32,22	89,22
		raffrescamento	614,88	34,36	108,51
		<b>totale</b>	<b>1.016,38</b>	<b>66,58</b>	<b>197,73</b>
	Ancona	riscaldamento	136,33	10,94	30,30
		raffrescamento	664,63	37,14	117,29
		<b>totale</b>	<b>800,96</b>	<b>48,08</b>	<b>147,58</b>
	Catania	riscaldamento	2,79	0,22	0,62
		raffrescamento	670,08	37,45	118,25
		<b>totale</b>	<b>672,87</b>	<b>37,67</b>	<b>118,87</b>
<b>Sistema di involucro 2: con TIM</b>	Milano	riscaldamento	435,11	34,92	96,69
		raffrescamento	629,55	35,18	111,10
		<b>totale</b>	<b>1.064,66</b>	<b>70,10</b>	<b>207,79</b>
	Ancona	riscaldamento	203,41	16,32	45,20
		raffrescamento	681,65	38,09	120,29
		<b>totale</b>	<b>885,05</b>	<b>54,41</b>	<b>165,49</b>
	Catania	riscaldamento	11,70	0,94	2,60
		raffrescamento	690,94	38,61	121,93
		<b>totale</b>	<b>702,64</b>	<b>39,55</b>	<b>124,53</b>
<b>Sistema di involucro 3: con PCM</b>	Milano	riscaldamento	441,23	35,41	98,05
		raffrescamento	587,14	32,81	103,61
		<b>totale</b>	<b>1.028,37</b>	<b>68,22</b>	<b>201,66</b>
	Ancona	riscaldamento	212,36	17,04	47,19
		raffrescamento	622,90	34,81	109,92
		<b>totale</b>	<b>835,26</b>	<b>51,85</b>	<b>157,11</b>
	Catania	riscaldamento	10,73	0,86	2,38
		raffrescamento	646,49	36,13	114,09
		<b>totale</b>	<b>657,22</b>	<b>36,99</b>	<b>116,47</b>

#### 4. Valutazione dei risultati numerici delle simulazioni

I risultati numerici delle simulazioni termodinamiche evidenziano che, nella test-room utilizzata come strumento di analisi, il fabbisogno energetico annuale dipende in maniera sostanziale dalla localizzazione ed è influenzato principalmente dal fabbisogno energetico estivo (per il raffrescamento).

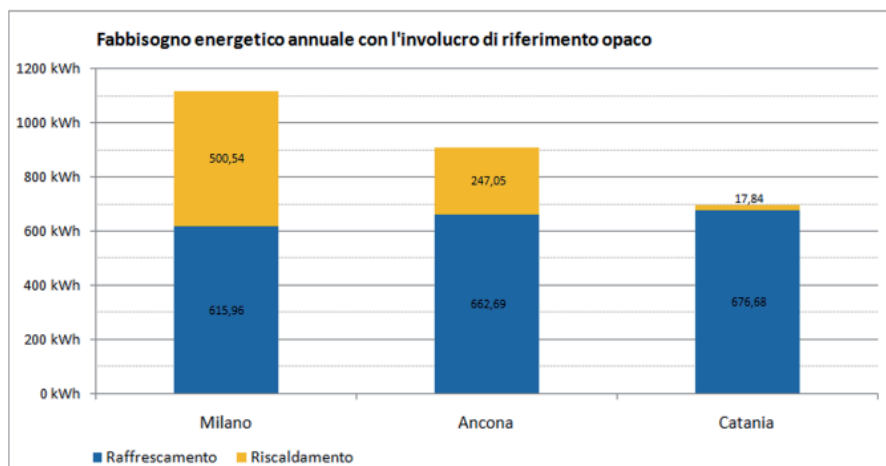
Nonostante le tre città campione appartengano a tre zone climatiche con caratteristiche e temperature medie mensili differenti tra loro, il fabbisogno energetico estivo assume valori simili, mentre quello invernale, come prevedibile, è maggiore nelle città localizzate a nord e quasi nullo in quelle a sud.

L'omogeneità dei valori assunti dal fabbisogno energetico estivo è dovuta sia all'elevato carico termico interno, che caratterizza gli edifici ad uso terziario; sia al fatto che le condizioni termiche interne non dipendono solo dalla temperatura esterna, ma è l'irraggiamento diretto della facciata a contribuire in maniera sostanziale all'innalzamento della temperatura media interna. Dalle analisi climatiche svolte è infatti evidente come, nonostante le temperature medie estive e l'irraggiamento solare globale sul piano orizzontale siano molto diverse nelle tre città campione, l'irraggiamento solare sulle superfici verticali assume dei valori simili.

Per la valutazione dei risultati numerici delle simulazioni risulta indispensabile conoscere i fattori che influenzano il fabbisogno energetico annuale (invernale + estivo) ed in particolar modo qual è l'apporto dovuto al livello prestazionale dell'involucro opaco.

Il fabbisogno energetico invernale è influenzato dalle prestazioni termiche del sistema di involucro sia opaco che trasparente. Le simulazioni svolte hanno provato che in una test-room di 22,50 m<sup>2</sup> esposta a sud, con il 30% della superficie esterna trasparente, il fabbisogno energetico invernale dipende per il 40% dall'involucro trasparente e per il 60% da quello opaco.

Il fabbisogno energetico estivo invece, oltre che dalle prestazioni termiche dell'involucro, sia opaco che trasparente, è fortemente influenzato dai carichi termici interni (costituiti da due persone, due



Fabbisogno energetico annuale, suddiviso in riscaldamento e raffrescamento, di una test-room con l'involucro di riferimento (muratura a cassetta). A Milano il fabbisogno energetico invernale è circa il 31% di quello annuale, ad Ancona il 27,5% e a Catania solo il 2,5%.

computer e un corpo illuminante per un totale di 150 W) presenti all'interno della test-room, cinque giorni alla settimana per otto ore al giorno.

Le simulazioni hanno messo in evidenza che il fabbisogno energetico estivo è dovuto per circa il 53% ai carichi termici interni, per circa il 17% agli apporti termici attraverso l'involucro trasparente e per circa il 30% attraverso l'involucro opaco.

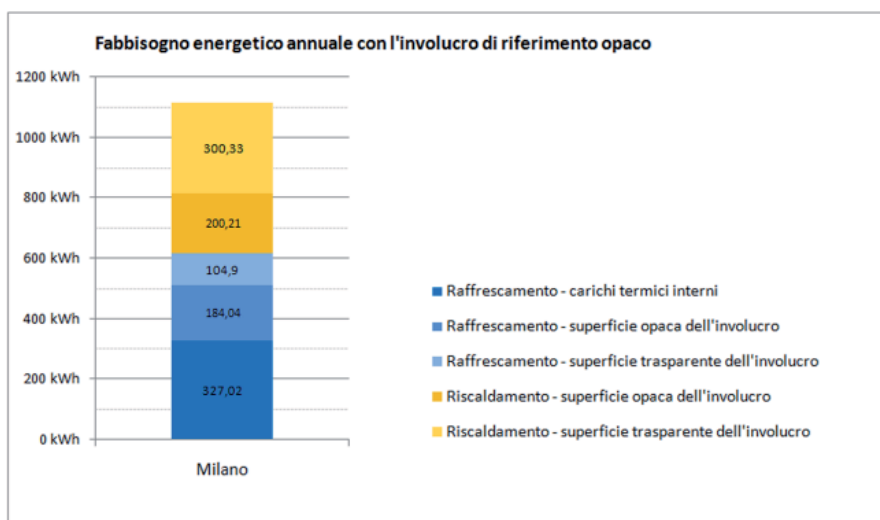
Si può quindi prevedere che le prestazioni termiche del sistema di involucro edilizio opaco possono influenzare sostanzialmente il 60% del fabbisogno energetico invernale e solo il 30% di quello estivo.

Di conseguenza è prevedibile che un'ottimizzazione delle prestazioni termiche del sistema di involucro opaco possa comportare dei notevoli risparmi energetici invernali, mentre per limitare il fabbisogno energetico estivo, oltre ad aumentare lo sfasamento e l'attenuazione nella trasmissione del calore tra esterno ed interno, dovute all'inerzia termica dell'involucro edilizio opaco, è possibile intervenire sull'orientamento spaziale dei locali interni e il rapporto tra superficie opaca e finestrata.

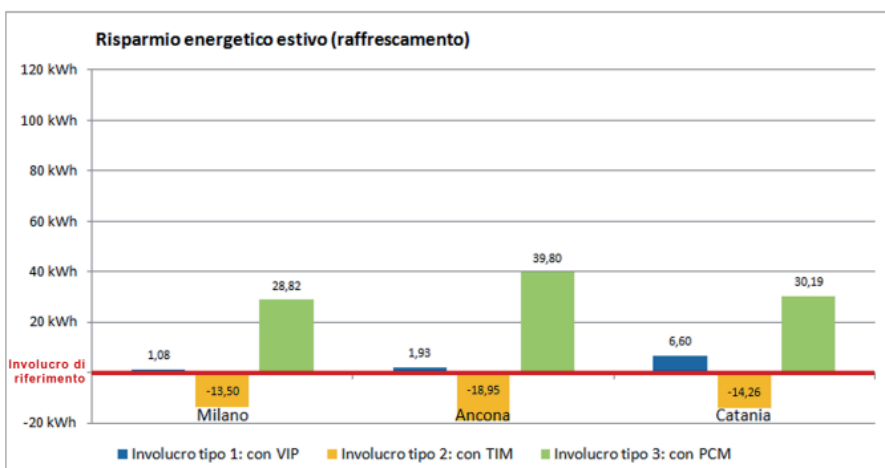
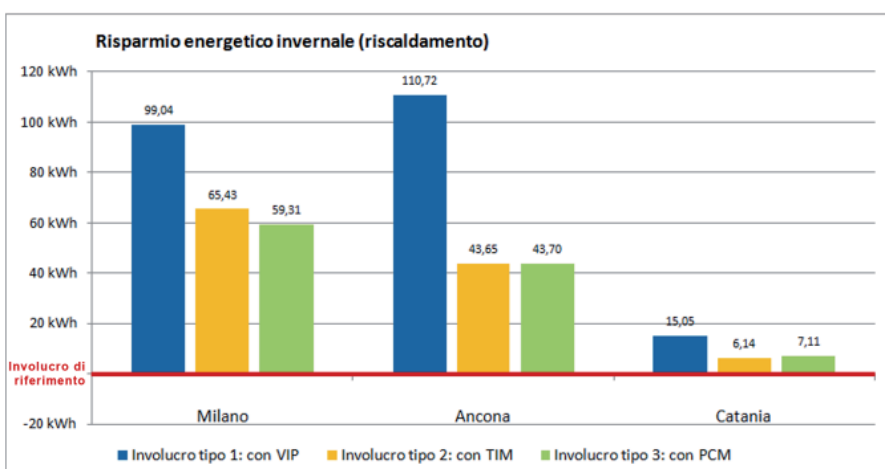
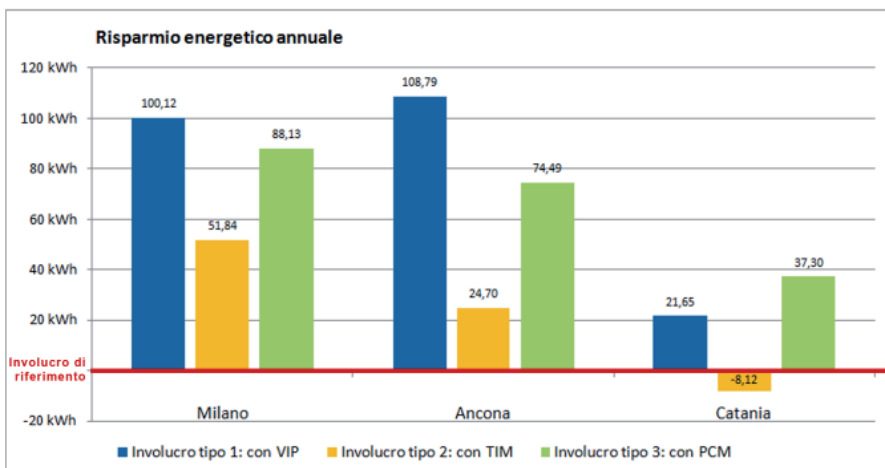
Per ottenere risparmi energetici estivi maggiormente significativi è inoltre necessario prevedere dei sistemi di schermatura solare della superficie vetrata, al fine di limitare il surriscaldamento dovuto all'irraggiamento diretto, e applicare delle strategie di ventilazione naturale o artificiale che siano in grado di limitare l'apporto dei carichi termici interni.

#### *Comparazione del fabbisogno energetico annuale, invernale ed estivo dei sistemi di involucro oggetto di analisi con quello dell'involucro di riferimento*

Al fine di valutare i risultati numerici delle simulazioni si è ritenuto opportuno confrontare il fabbisogno energetico annuale, invernale ed estivo dei sistemi d'involucro oggetto di analisi con quelli dell'involucro di riferimento.



Il grafico illustra il fabbisogno energetico annuale della test-room localizzata a Milano e realizzata con l'involucro di riferimento, suddividendo il fabbisogno energetico estivo in base ai carichi termici che lo determinano.



Poiché le simulazioni hanno interessato uno spazio di piccole dimensioni, quale una stanza adibita ad ufficio di 22,50 mq lordi, le differenze di fabbisogno energetico tra i sistemi confrontati, espresse in energia termica, sono costituite da valori numerici piccoli, che potrebbero apparire poco rilevanti ma, se questa valutazione si estendesse ad un edificio, ad esempio ad una palazzina uffici, tali valori, moltiplicati per il numero degli ambienti interni, assumerebbero un significato consistente. Pertanto, per facilitare la lettura dei risultati, anche in relazione alle precedenti considerazioni sui fattori

Il grafico illustra il fabbisogno energetico annuale della test-room localizzata a Milano e realizzata con l'involucro di riferimento, suddividendo il fabbisogno energetico estivo in base ai carichi termici che lo determinano.

che determinano il fabbisogno energetico, si è ritenuto opportuno valutare l'eventuale risparmio non solo in quantità di energia termica [kWh], ma anche in percentuale rispetto al fabbisogno energetico che si avrebbe utilizzando il sistema di involucro di tipo tradizionale scelto come riferimento.

<b>Risparmio energetico annuale, invernale ed estivo che si avrebbe utilizzando i sistemi di involucro oggetto di analisi rispetto a quello di tipo tradizionale</b>						
Milano	annuale		invernale		estivo	
<b>Sistema di involucro tipo 1</b>	100,12 kWh	8,97%	99,04 kWh	19,79%	1,08 kWh	0,18%
<b>Sistema di involucro tipo 2</b>	51,84 kWh	4,64%	65,43 kWh	13,07%	<b>-13,59 kWh</b>	<b>-2,21%</b>
<b>Sistema di involucro tipo 3</b>	88,13 kWh	7,89%	59,31 kWh	11,85%	28,82 kWh	4,68%
Ancona	annuale		invernale		estivo	
<b>Sistema di involucro tipo 1</b>	108,79 kWh	11,96%	110,72 kWh	44,82%	1,93 kWh	0,29%
<b>Sistema di involucro tipo 2</b>	24,70 kWh	2,71%	43,65 kWh	17,67%	<b>-18,95 kWh</b>	<b>-2,86%</b>
<b>Sistema di involucro tipo 3</b>	74,49 kWh	8,19%	34,70 kWh	14,04%	39,80 kWh	6,01%
Catania	annuale		invernale		estivo	
<b>Sistema di involucro tipo 1</b>	21,65 kWh	3,12%	15,05 kWh	84,38%	6,60 kWh	0,98%
<b>Sistema di involucro tipo 2</b>	-8,12 kWh	-1,17%	6,14 kWh	34,40%	<b>-14,26 kWh</b>	<b>-2,11%</b>
<b>Sistema di involucro tipo 3</b>	37,30 kWh	5,37%	7,11 kWh	39,86%	30,19 kWh	4,46%

Dall'analisi dei risultati numerici delle simulazioni e dalla comparazione del fabbisogno energetico dei sistemi di involucro oggetto di analisi, con quello che si avrebbe utilizzando l'involucro di riferimento, è possibile dedurre le seguenti considerazioni.

#### Fabbisogno energetico annuale

- Su scala annuale i sistemi innovativi risultano generalmente più efficienti, da un punto di vista energetico, rispetto a quello di tipo tradizionale.
- Il risparmio energetico annuale ottenuto utilizzando i sistemi innovativi è maggiore nelle località più fredde rispetto a quelle più calde.
- I sistemi di involucro tipo 1 e tipo 3 risultano, su scala annuale, più efficienti dell'involucro di riferimento in tutte le tre città campione. Il maggiore risparmio energetico, si ha nelle città di Milano ed Ancona, mentre a Catania il risparmio che si ha utilizzando questi tipi di involucro è piuttosto ridotto.
- Il sistema di involucro tipo 2 nelle città di Milano ed Ancona risulta più efficiente su scala annuale dell'involucro di riferimento, mentre a Catania ha un'efficienza energetica minore.

#### Fabbisogno energetico invernale



- L'utilizzo dei sistemi di involucro oggetto di analisi comporta una riduzione del fabbisogno energetico invernale che è maggiore nelle città più fredde e minore in quelle più calde. Di conseguenza al nord dove il fabbisogno energetico per il riscaldamento è estremamente elevato si ha un notevole risparmio, mentre al sud lo scarso fabbisogno energetico invernale viene quasi del tutto annullato.
- Utilizzando il sistema d'involucro di tipo 1 a Catania si ottiene quasi l'annullamento del fabbisogno energetico invernale. Sarebbe quindi possibile ipotizzare la realizzazione di edifici per uffici privi di impianto di riscaldamento, con una notevole riduzione dei costi economici ed ambientali iniziali.

#### Fabbisogno energetico estivo

- In estate i sistemi di involucro oggetto di analisi risultano nettamente meno efficienti, da un punto di vista energetico, che in inverno.
- Il sistema di involucro tipo 1 ha, in estate, delle prestazioni energetiche molto simili a quelle del sistema di involucro di riferimento tranne a Catania, dove risulta leggermente più efficiente.
- Il sistema di involucro tipo 2 ha un funzionamento energetico estivo peggiore rispetto a quello del sistema d'involucro di riferimento in tutte le tre città campione.
- L'utilizzo del sistema d'involucro tipo 3, grazie alla presenza di PCM con temperatura di fusione di 26°C, comporta un risparmio energetico estivo in tutte le città campione in particolare ad Ancona, dove l'escursione termica estiva tra giorno e notte è maggiore rispetto alle altre due città di riferimento quindi i PCM possono ri-solidificarsi durante la notte.

#### *Valutazioni economiche*

Al fine di verificare la fattibilità di una possibile applicazione in edifici localizzati nel nostro paese dei sistemi di involucro analizzati oltre a verificare il fabbisogno energetico è necessario effettuare delle valutazioni di tipo economico.

Essendo stati scelti dei sistemi di riscaldamento e di raffrescamento, che utilizzano fonti energetiche differenti, il metano e la corrente elettrica, il costo economico, espresso in euro, non è necessariamente proporzionale al costo energetico, in kWh. Come si è visto nel paragrafo 3.1.1, produrre un kWh termico per il riscaldamento ha un costo di 0,08 € mentre un kWh termico per il raffrescamento di 0,05 €. Quindi a causa della maggiore efficienza della pompe di calore rispetto alla caldaia a metano, produrre energia termica per il riscaldamento ha un costo superiore del 62% rispetto alla produzione della stessa quantità di energia per il raffrescamento.

Nelle valutazioni economiche si è ritenuto opportuno calcolare l'eventuale risparmio economico, che si avrebbe utilizzando i sistemi

di involucro innovativi, rispetto all'involucro di riferimento, per un edificio adibito ad uffici di medie dimensioni (6 piani con 10 uffici per piano), in quanto, applicare tali valutazioni ad una sola stanza, sarebbe risultato poco significativo.

Nella tabella in alto risultano particolarmente rilevanti i risparmi energetici ottenuti nel periodo invernale, che dimostrano come i tre sistemi di involucro esaminati siano maggiormente efficienti da un punto di vista energetico ed economico dell'involucro di riferimento.

<b>Risparmio economico, invernale ed estivo che si avrebbe in un edificio per uffici di 6 piani, orientato a sud, utilizzando i sistemi di involucro oggetto di analisi rispetto a quello di tipo tradizionale</b>			
Milano	<b>annuale</b>	<b>invernale</b>	<b>estivo</b>
<b>Sistema di involucro tipo 1</b>	€ 480,49	€ 476,86	€ 3,63
<b>Sistema di involucro tipo 2</b>	€ 269,49	€ 315,06	€ - 45,57
<b>Sistema di involucro tipo 3</b>	€ 382,21	€ 285,57	€ 96,64
Ancona	<b>annuale</b>	<b>invernale</b>	<b>estivo</b>
<b>Sistema di involucro tipo 1</b>	€ 526,61	€ 533,10	€ - 6,48
<b>Sistema di involucro tipo 2</b>	€ 146,61	€ 210,15	€ - 63,54
<b>Sistema di involucro tipo 3</b>	€ 300,49	€ 167,05	€ 133,44
Catania	<b>annuale</b>	<b>invernale</b>	<b>estivo</b>
<b>Sistema di involucro tipo 1</b>	€ 94,61	€ 72,48	€ 22,12
<b>Sistema di involucro tipo 2</b>	€ - 18,24	€ 29,55	€ - 63,54
<b>Sistema di involucro tipo 3</b>	€ 135,46	€ 34,24	€ 101,22

Come si è visto precedentemente, al fine di ridurre sostanzialmente il fabbisogno energetico estivo e di conseguenza anche quello economico, non è sufficiente intervenire sul sistema di involucro opaco, migliorandone le prestazioni termiche, ma è necessario prevedere elementi di schermatura solare e una strategia di ventilazione adatta. Tale problematica verrà trattata in maniera approfondita nei criteri progettuali per l'applicazione dei sistemi innovativi nel Sud Europa, in cui, in relazione anche alle analisi di sensibilità verranno proposte delle strategie di intervento in grado di limitare anche il fabbisogno energetico estivo.

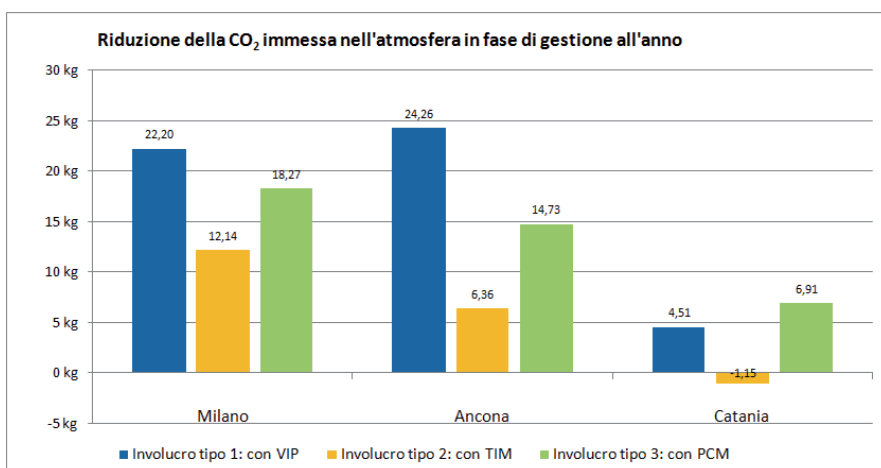
Poiché i sistemi di involucro innovativi proposti sono più costosi rispetto a quello di tipo tradizionale scelto come riferimento, non è sufficiente verificare la loro maggiore efficienza energetica, con il conseguente risparmio economico, ma è necessario valutare l'arco di tempo in cui è possibile ammortizzare i maggiori costi iniziali.

A seguito delle simulazioni relative alle analisi di sensibilità verrà individuata la situazione (caratterizzata da orientamento e rapporto tra superficie opaca e finestrata) che risulterà maggiormente efficiente e verrà effettuato il calcolo dell'arco di tempo necessario ad ammortizzare i maggiori costi iniziali.

### *Calcolo della CO<sub>2</sub> prodotta in fase di gestione per il riscaldamento ed il raffrescamento della test-room*

Nonostante per il riscaldamento ed il raffrescamento vengano utilizzati impianti e fonti energetiche differenti, quali il metano e l'energia elettrica, la quantità di anidride carbonica immessa nell'atmosfera per produrre la stessa quantità di energia termica dall'impianto di riscaldamento e da quello di raffrescamento, risulta quasi equivalente (0,22 kg di CO<sub>2</sub> per 1 kWh termico il raffrescamento e 0,16 kg di CO<sub>2</sub> per 1 kWh termico per il riscaldamento)

Infatti, nonostante l'impianto di riscaldamento utilizzi una fonte energetica primaria come il metano, più efficiente da un punto di vista ambientale rispetto al mix elettrico necessario al funzionamento dell'impianto di raffrescamento, la pompa di calore utilizzata per raffrescare, risulta maggiormente efficiente rispetto alla caldaia a metano.



### 5. Seconda fase di simulazioni termodinamiche - analisi di sensibilità

Il fabbisogno energetico, in particolare quello estivo, oltre che dalle *Energy Performance* dell'involucro edilizio è influenzato, in maniera sostanziale, da altri parametri progettuali come l'orientamento, il rapporto tra superficie finestrata e superficie opaca, la strategia di ventilazione ed il sistema di schermatura solare.

Per verificare in che modo queste scelte progettuali interagiscano con i sistemi di involucro in esame si è ritenuto opportuno effettuare delle analisi di sensibilità.

#### - *Variazione dell'orientamento rispetto ai punti cardinali*

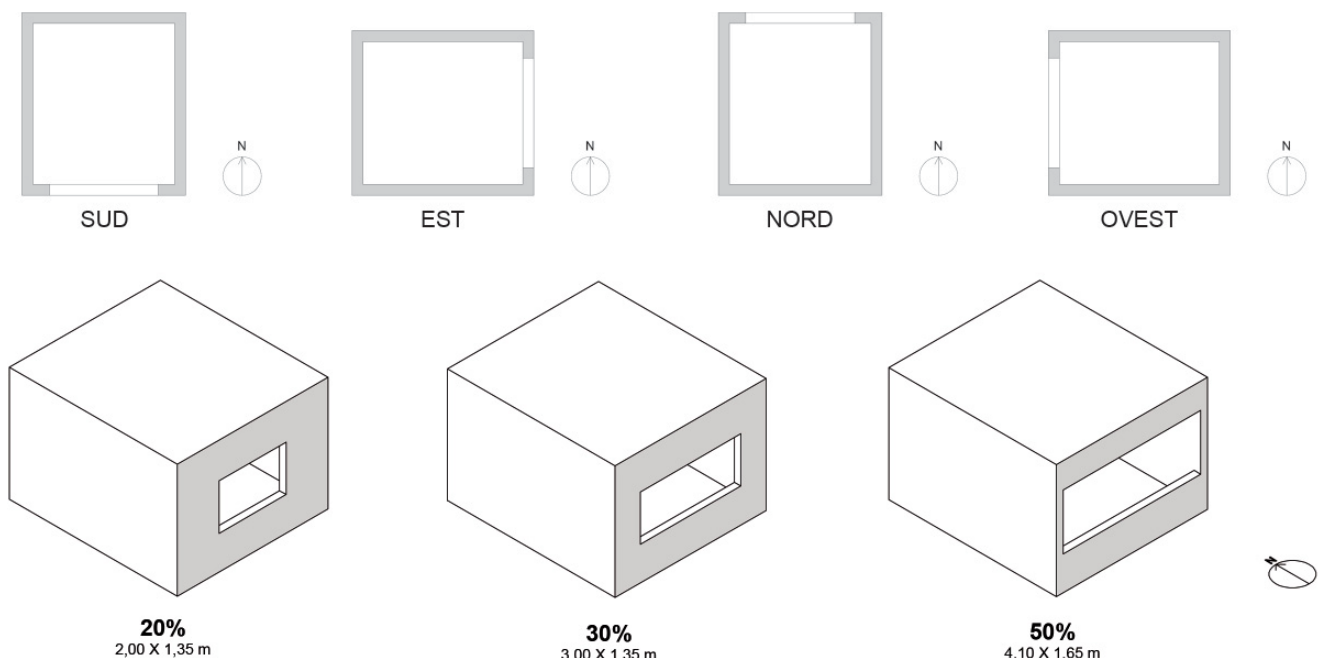
La prima analisi di sensibilità prevede la variazione dell'orientamento della test-room rispetto ai punti cardinali.

#### - *Variazione del rapporto tra superficie finestrata ed opaca*

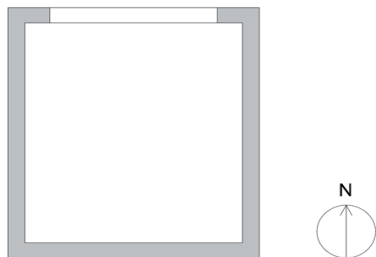
Le superfici finestate, in particolare quelle rivolte a Sud o a Ovest, possono fornire utili guadagni solari diretti che riducono la domanda di riscaldamento, ma un loro sovradimensionamento può comportare un aumento delle dispersioni termiche notturne invernali o un eccessivo surriscaldamento estivo.

Per verificare il contributo che le dimensioni delle superfici finestate hanno sul fabbisogno energetico, si è effettuata una variazione del rapporto tra superficie finestrata ed opaca nella facciata rivolta a Sud della test-room virtuale utilizzata come strumento di analisi.

Con l'intento di monitorare ciascuna variazione separatamente, si è deciso di modificare un parametro alla volta. Di conseguenza non sono stati inseriti sistemi di schermatura solare, ma è stata variata solo la dimensione della superficie finestrata. Tale scelta potrebbe comportare, in particolare nella test-room con superficie finestrata maggiore, un eccessivo surriscaldamento estivo a cui, in una situazione reale, si potrebbe ovviare con adeguati sistemi di schermatura solare.



6. Monetizzazione del fabbisogno termico e calcolo della CO<sub>2</sub> prodotta in fase di getsione - prima fase di simulazioni.



Schema riassuntivo

Sup. finestrata: **30%**

Orientamento: **EST**

			kWh	€	CO <sub>2</sub>
<b>Involucro di riferimento</b>	Milano	riscaldamento	711,32	57,08	158,07
		raffrescamento	251,01	14,03	44,30
		<b>totale</b>	<b>962,32</b>	<b>71,11</b>	<b>202,37</b>
	Ancona	riscaldamento	427,82	34,33	95,07
		raffrescamento	277,78	15,52	49,02
		<b>totale</b>	<b>705,60</b>	<b>49,85</b>	<b>144,09</b>
	Catania	riscaldamento	149,23	11,98	33,16
		raffrescamento	380,08	21,24	67,07
		<b>totale</b>	<b>529,31</b>	<b>33,22</b>	<b>100,24</b>
<b>Sistema di involucro 1: con VIP</b>					
<b>Sistema di involucro 1: con VIP</b>	Milano	riscaldamento	583,88	46,85	129,75
		raffrescamento	266,56	14,90	47,04
		<b>totale</b>	<b>850,44</b>	<b>61,75</b>	<b>176,79</b>
	Ancona	riscaldamento	280,39	22,50	62,31
		raffrescamento	306,64	17,14	54,11
		<b>totale</b>	<b>587,03</b>	<b>39,64</b>	<b>116,42</b>
	Catania	riscaldamento	71,81	5,76	15,96
		raffrescamento	397,38	22,21	70,13
		<b>totale</b>	<b>469,19</b>	<b>27,97</b>	<b>86,08</b>
<b>Sistema di involucro 2: con TIM</b>					
<b>Sistema di involucro 2: con TIM</b>	Milano	riscaldamento	627,47	50,35	139,44
		raffrescamento	265,67	14,85	46,88
		<b>totale</b>	<b>893,15</b>	<b>65,20</b>	<b>186,32</b>
	Ancona	riscaldamento	368,02	29,53	81,78
		raffrescamento	294,27	16,44	51,93
		<b>totale</b>	<b>662,29</b>	<b>45,98</b>	<b>133,71</b>
	Catania	riscaldamento	113,40	9,10	25,20
		raffrescamento	393,19	21,97	69,39
		<b>totale</b>	<b>506,59</b>	<b>31,07</b>	<b>94,59</b>
<b>Sistema di involucro 3: con PCM</b>					
<b>Sistema di involucro 3: con PCM</b>	Milano	riscaldamento	632,48	50,75	140,55
		raffrescamento	241,56	13,50	42,63
		<b>totale</b>	<b>874,04</b>	<b>64,25</b>	<b>183,18</b>
	Ancona	riscaldamento	377,36	30,28	83,86
		raffrescamento	266,83	14,91	47,09
		<b>totale</b>	<b>644,19</b>	<b>45,19</b>	<b>130,95</b>
	Catania	riscaldamento	116,48	9,35	25,88
		raffrescamento	365,22	20,41	64,45
		<b>totale</b>	<b>481,70</b>	<b>29,76</b>	<b>90,34</b>



### Schema riassuntivo

Sup. finestrata: **30%**

Orientamento: **NORD**

			kWh	€	CO <sub>2</sub>
<b>Involucro di riferimento</b>	Milano	riscaldamento	880,66	70,67	195,70
		raffrescamento	52,37	2,93	9,24
		<b>totale</b>	<b>933,03</b>	<b>73,60</b>	<b>204,94</b>
	Ancona	riscaldamento	574,35	46,09	127,63
		raffrescamento	65,43	3,66	11,55
		<b>totale</b>	<b>639,78</b>	<b>49,75</b>	<b>139,18</b>
	Catania	riscaldamento	313,41	25,15	69,65
		raffrescamento	135,83	7,59	23,97
		<b>totale</b>	<b>449,25</b>	<b>32,74</b>	<b>93,62</b>
<b>Sistema di involucro 1: con VIP</b>					
<b>Sistema di involucro 1: con VIP</b>	Milano	riscaldamento	723,46	58,06	160,77
		raffrescamento	68,37	3,82	12,07
		<b>totale</b>	<b>791,84</b>	<b>61,88</b>	<b>172,84</b>
	Ancona	riscaldamento	380,27	30,52	84,50
		raffrescamento	107,31	6,00	18,94
		<b>totale</b>	<b>487,58</b>	<b>36,51</b>	<b>103,44</b>
	Catania	riscaldamento	152,51	12,24	33,89
		raffrescamento	183,58	10,26	32,40
		<b>totale</b>	<b>336,09</b>	<b>22,50</b>	<b>66,29</b>
<b>Sistema di involucro 2: con TIM</b>					
<b>Sistema di involucro 2: con TIM</b>	Milano	riscaldamento	781,30	62,70	173,62
		raffrescamento	62,20	3,48	10,98
		<b>totale</b>	<b>843,50</b>	<b>66,17</b>	<b>184,60</b>
	Ancona	riscaldamento	501,75	40,26	111,50
		raffrescamento	78,93	4,41	13,93
		<b>totale</b>	<b>580,69</b>	<b>44,68</b>	<b>125,43</b>
	Catania	riscaldamento	219,15	17,59	48,70
		raffrescamento	151,12	8,45	26,67
		<b>totale</b>	<b>370,27</b>	<b>26,03</b>	<b>75,37</b>
<b>Sistema di involucro 3 con PCM</b>					
<b>Sistema di involucro 3 con PCM</b>	Milano	riscaldamento	766,37	61,50	170,30
		raffrescamento	62,43	3,49	11,02
		<b>totale</b>	<b>828,80</b>	<b>64,99</b>	<b>181,32</b>
	Ancona	riscaldamento	490,13	39,33	108,92
		raffrescamento	79,82	4,46	14,09
		<b>totale</b>	<b>569,95</b>	<b>43,79</b>	<b>123,00</b>
	Catania	riscaldamento	210,94	16,93	46,88
		raffrescamento	155,28	8,68	27,40
		<b>totale</b>	<b>366,22</b>	<b>25,60</b>	<b>74,28</b>

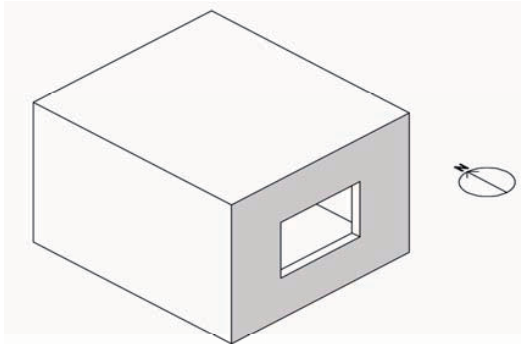


### Schema riassuntivo

Sup. finestrata: **30%**

Orientamento: **OVEST**

			kWh	€	CO <sub>2</sub>
<b>Involucro di riferimento</b>	Milano	riscaldamento	644,19	51,69	143,15
		raffrescamento	546,53	30,54	96,45
		<b>totale</b>	<b>1.190,72</b>	<b>82,24</b>	<b>239,60</b>
	Ancona	riscaldamento	372,39	29,88	82,75
		raffrescamento	628,58	35,13	110,93
		<b>totale</b>	<b>1.000,97</b>	<b>65,01</b>	<b>193,68</b>
	Catania	riscaldamento	96,42	7,74	21,43
		raffrescamento	770,68	43,07	136,00
		<b>totale</b>	<b>867,09</b>	<b>50,80</b>	<b>157,43</b>
<b>Sistema di involucro 1: con VIP</b>					
Milano	riscaldamento	527,01	42,29	117,11	
	raffrescamento	553,91	30,95	97,75	
	<b>totale</b>	<b>1.080,93</b>	<b>73,25</b>	<b>214,86</b>	
Ancona	riscaldamento	239,13	19,19	53,14	
	raffrescamento	641,26	35,83	113,16	
	<b>totale</b>	<b>880,38</b>	<b>55,02</b>	<b>166,30</b>	
Catania	riscaldamento	42,59	3,42	9,46	
	raffrescamento	769,82	43,02	135,85	
	<b>totale</b>	<b>812,41</b>	<b>46,44</b>	<b>145,32</b>	
<b>Sistema di involucro 2: con TIM</b>					
Milano	riscaldamento	567,82	45,57	126,18	
	raffrescamento	557,86	31,17	98,45	
	<b>totale</b>	<b>1.125,67</b>	<b>76,74</b>	<b>224,63</b>	
Ancona	riscaldamento	319,44	25,63	70,99	
	raffrescamento	643,60	35,97	113,58	
	<b>totale</b>	<b>963,04</b>	<b>61,60</b>	<b>184,56</b>	
Catania	riscaldamento	74,42	5,97	16,54	
	raffrescamento	781,95	43,70	137,99	
	<b>totale</b>	<b>856,37</b>	<b>49,67</b>	<b>154,53</b>	
<b>Sistema di involucro 3: con PCM</b>					
Milano	riscaldamento	573,53	46,02	127,45	
	raffrescamento	525,78	29,38	92,79	
	<b>totale</b>	<b>1.099,32</b>	<b>75,41</b>	<b>220,24</b>	
Ancona	riscaldamento	329,32	26,43	73,18	
	raffrescamento	594,47	33,22	104,91	
	<b>totale</b>	<b>923,79</b>	<b>59,65</b>	<b>178,09</b>	
Catania	riscaldamento	76,97	6,18	17,10	
	raffrescamento	740,11	41,36	130,61	
	<b>totale</b>	<b>817,08</b>	<b>47,54</b>	<b>147,71</b>	

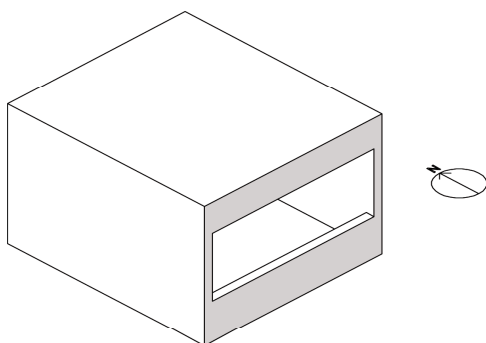


## Schema riassuntivo

Sup. finestrata: **20%**Orientamento: **SUD**

			kWh	€	CO <sub>2</sub>
<b>Involucro di riferimento</b>	Milano	riscaldamento	515,67	41,38	114,59
		raffrescamento	464,50	25,96	81,97
		<b>totale</b>	<b>980,18</b>	<b>67,34</b>	<b>196,57</b>
	Ancona	riscaldamento	268,13	21,52	59,58
		raffrescamento	503,12	28,12	88,79
		<b>totale</b>	<b>771,26</b>	<b>49,63</b>	<b>148,37</b>
	Catania	riscaldamento	31,37	2,52	6,97
		raffrescamento	532,42	29,75	93,96
		<b>totale</b>	<b>563,79</b>	<b>32,27</b>	<b>100,93</b>
<b>Sistema di involucro 1: con VIP</b>	Milano	riscaldamento	397,30	31,88	88,29
		raffrescamento	452,50	25,29	79,85
		<b>totale</b>	<b>849,80</b>	<b>57,17</b>	<b>168,14</b>
	Ancona	riscaldamento	133,73	10,73	29,72
		raffrescamento	486,50	27,19	85,85
		<b>totale</b>	<b>620,23</b>	<b>37,92</b>	<b>115,57</b>
	Catania	riscaldamento	4,41	0,35	0,98
		raffrescamento	508,55	28,42	89,74
		<b>totale</b>	<b>512,97</b>	<b>28,77</b>	<b>90,73</b>
<b>Sistema di involucro 2: con TIM</b>	Milano	riscaldamento	437,56	35,11	97,24
		raffrescamento	472,28	26,39	83,34
		<b>totale</b>	<b>909,84</b>	<b>61,51</b>	<b>180,58</b>
	Ancona	riscaldamento	215,27	17,28	47,84
		raffrescamento	516,66	28,87	91,17
		<b>totale</b>	<b>731,93</b>	<b>46,15</b>	<b>139,01</b>
	Catania	riscaldamento	19,90	1,60	4,42
		raffrescamento	541,81	30,28	95,61
		<b>totale</b>	<b>561,71</b>	<b>31,87</b>	<b>100,04</b>
<b>Sistema di involucro 3: con PCM</b>	Milano	riscaldamento	448,68	36,01	99,71
		raffrescamento	417,78	23,35	73,73
		<b>totale</b>	<b>866,46</b>	<b>59,35</b>	<b>173,43</b>
	Ancona	riscaldamento	229,63	18,43	51,03
		raffrescamento	443,72	24,80	78,30
		<b>totale</b>	<b>673,35</b>	<b>43,22</b>	<b>129,33</b>
	Catania	riscaldamento	21,71	1,74	4,82
		raffrescamento	483,25	27,01	85,28
		<b>totale</b>	<b>504,96</b>	<b>28,75</b>	<b>90,10</b>





## Schema riassuntivo

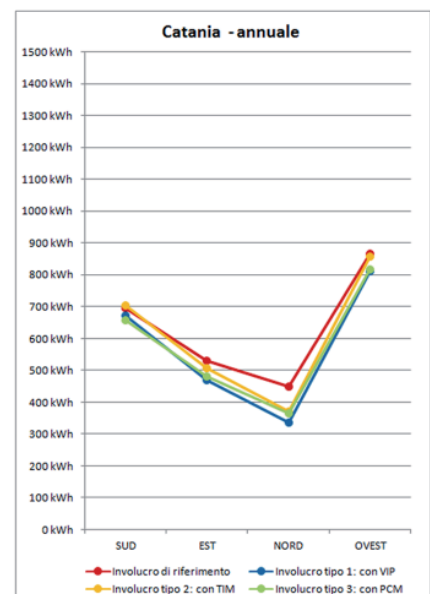
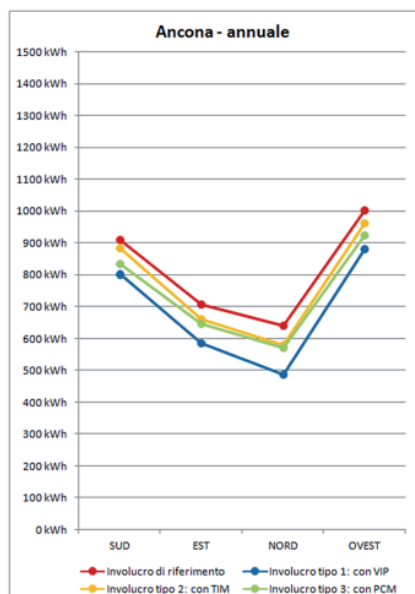
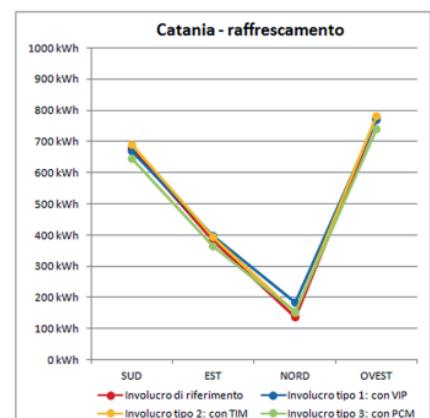
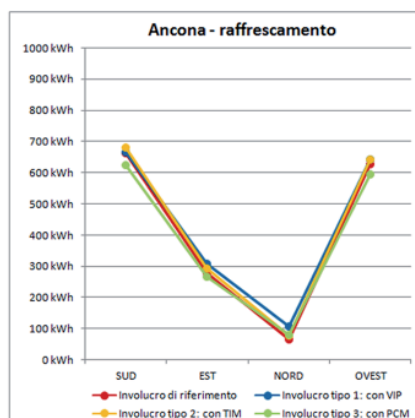
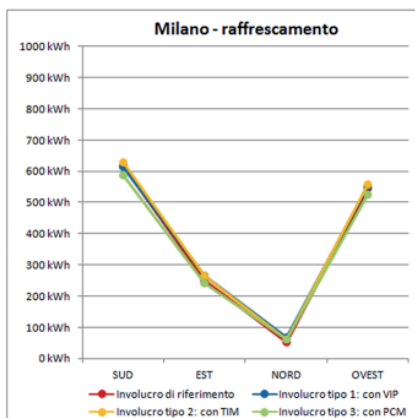
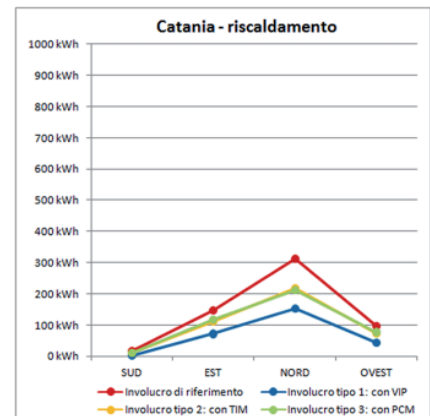
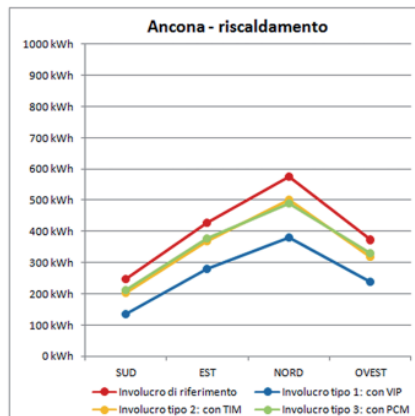
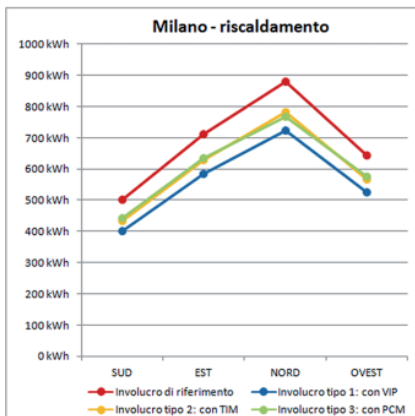
Sup. finestrata: **50%**Orientamento: **SUD**

			kWh	€	CO <sub>2</sub>
<b>involucro di riferimento</b>	Milano	riscaldamento	486,35	39,03	108,08
		raffrescamento	885,12	49,46	156,20
		<b>totale</b>	<b>1.371,47</b>	<b>88,49</b>	<b>264,28</b>
	Ancona	riscaldamento	222,53	17,86	49,45
		raffrescamento	948,56	53,01	167,39
		<b>totale</b>	<b>1.171,09</b>	<b>70,87</b>	<b>216,84</b>
	Catania	riscaldamento	8,52	0,68	1,89
		raffrescamento	931,28	52,04	164,34
		<b>totale</b>	<b>939,80</b>	<b>52,73</b>	<b>166,24</b>
<b>Sistema di involucro 1: con VIP</b>	Milano	riscaldamento	418,79	33,61	93,06
		raffrescamento	893,94	49,96	157,75
		<b>totale</b>	<b>1.312,73</b>	<b>83,56</b>	<b>250,82</b>
	Ancona	riscaldamento	149,00	11,96	33,11
		raffrescamento	966,54	54,01	170,57
		<b>totale</b>	<b>1.115,54</b>	<b>65,97</b>	<b>203,68</b>
	Catania	riscaldamento	2,35	0,19	0,52
		raffrescamento	940,92	52,58	166,04
		<b>totale</b>	<b>943,27</b>	<b>52,77</b>	<b>166,57</b>
<b>Sistema di involucro 2: con TIM</b>	Milano	riscaldamento	441,52	35,43	98,12
		raffrescamento	902,48	50,43	159,26
		<b>totale</b>	<b>1.344,00</b>	<b>85,86</b>	<b>257,38</b>
	Ancona	riscaldamento	193,72	15,55	43,05
		raffrescamento	970,12	54,21	171,20
		<b>totale</b>	<b>1.163,84</b>	<b>69,76</b>	<b>214,25</b>
	Catania	riscaldamento	6,39	0,51	1,42
		raffrescamento	948,21	52,99	167,33
		<b>totale</b>	<b>954,60</b>	<b>53,50</b>	<b>168,75</b>
<b>Sistema di involucro 3: con PCM</b>	Milano	riscaldamento	443,17	35,56	98,48
		raffrescamento	875,91	48,95	154,57
		<b>totale</b>	<b>1.319,08</b>	<b>84,51</b>	<b>253,05</b>
	Ancona	riscaldamento	195,68	15,70	43,48
		raffrescamento	932,32	52,10	164,53
		<b>totale</b>	<b>1.128,00</b>	<b>67,80</b>	<b>208,01</b>
	Catania	riscaldamento	4,87	0,39	1,08
		raffrescamento	920,40	51,43	162,42
		<b>totale</b>	<b>925,27</b>	<b>51,83</b>	<b>163,51</b>

## 7. Valutazione dei risultati numerici delle analisi di sensibilità

Al fine di valutare i risultati numerici delle analisi di sensibilità sono stati elaborati dei grafici riassuntivi in cui sono messi a confronto i fabbisogni energetici (invernali, estivi ed annuali) dei tre sistemi di involucro analizzati e di quello di riferimento, al variare dell'orientamento rispetto ai punti cardinali e del rapporto tra superficie finestrata ed opaca.

Variazione dell'orientamento rispetto ai punti cardinali:



Variazione del rapporto tra superficie finestrata e superficie vetrata:



Dai grafici riassuntivi relativi alla variazione di orientamento è possibile trarre le seguenti conclusioni:

Fabbisogno energetico per il riscaldamento:

- Dipende in maniera sostanziale dall'orientamento della test-room, ma è influenzato anche dalle prestazioni termiche del sistema di involucro utilizzato.
- Il fabbisogno energetico per il riscaldamento è massimo se la test-room è orientata verso Nord e, conseguentemente, è minimo verso Sud. Con un orientamento verso Est o Ovest si hanno invece dei valori simili.
- Il sistema di involucro che comporta il minore fabbisogno energetico per il riscaldamento è il tipo 1 (VIP). I sistemi 2 (TIM) e 3 (PCM) comportano dei fabbisogni energetici per il riscaldamento simili tra loro. Il sistema di involucro di riferimento risulta meno efficiente rispetto a quelli oggetto di analisi.
- Il fabbisogno energetico per il riscaldamento ha dei valori differenti nelle tre città campione (maggiore nelle città localizzate a Nord e minore in quelle più a Sud).

Fabbisogno energetico per il raffrescamento:

- Dipende dall'orientamento della test-room, mentre non è influenzato in maniera sostanziale dalle prestazioni termiche del sistema di involucro utilizzato.
- Il fabbisogno energetico per il raffrescamento è massimo se la test-room è orientata verso Sud e, conseguentemente, è minimo verso Nord. Con un orientamento verso Ovest si ha un fabbisogno energetico per il raffrescamento maggiore rispetto a quello che si avrebbe se fosse orientata ad Est.
- Il fabbisogno energetico per il raffrescamento assume dei valori simili nelle tre città campione.

Fabbisogno energetico annuale:

- Dipende in maniera sostanziale dall'orientamento della test-room, ma è influenzato anche dalle prestazioni termiche del sistema di involucro utilizzato.
- Il fabbisogno energetico annuale è massimo se la test-room è orientata verso Ovest e, conseguentemente, è minimo verso Nord. Con un orientamento verso Ovest si ha un fabbisogno energetico per il raffrescamento maggiore rispetto a quello che si avrebbe se fosse orientata ad Est.
- Il sistema di involucro che comporta il minore fabbisogno energetico per il riscaldamento è il tipo 1 (VIP). I sistemi 2 (TIM) e 3 (PCM) comportano dei fabbisogni energetici per il riscaldamento simili tra loro. Il sistema di involucro di riferimento risulta meno efficiente rispetto a quelli oggetto di analisi.
- Il fabbisogno energetico annuale ha dei valori differenti nelle tre città campione (maggiore nelle città localizzate a Nord e minore in quelle più a Sud).

- Nelle città con latitudine maggiore la differenza tra fabbisogno energetico annuale ottenuto orientando la test-room ad Est rispetto a quello che si avrebbe orientandola a Nord è minore che nelle città con latitudine minore.

In conclusione l'orientamento che comporta un minore fabbisogno energetico annuo risulta essere quello a Nord.

Dai grafici riassuntivi relativi alla variazione di rapporto tra superficie finestrata ed opaca è possibile trarre le seguenti conclusioni:

Fabbisogno energetico per il riscaldamento:

- Dipende in maniera sostanziale dall'orientamento della test-room, ma è influenzato anche dalle prestazioni termiche del sistema di involucro utilizzato.
- Il fabbisogno energetico per il riscaldamento è inversamente proporzionale alle dimensioni della superficie finestrata, ma assume comunque valori simili per superfici finestrate pari al 20%, 30% e 50% della facciata-test.
- Il sistema di involucro che comporta il minore fabbisogno energetico per il riscaldamento è il tipo 1 (VIP). I sistemi 2 (TIM) e 3 (PCM) comportano dei fabbisogni energetici per il riscaldamento simili tra loro. Il sistema di involucro di riferimento risulta meno efficiente rispetto a quelli oggetto di analisi.
- Il fabbisogno energetico per il riscaldamento ha dei valori differenti nelle tre città campione (maggiore nelle città localizzate a Nord e minore in quelle più a Sud).

Fabbisogno energetico per il raffrescamento:

- Dipende dall'orientamento della test-room, mentre non è influenzato in maniera sostanziale dalle prestazioni termiche del sistema di involucro utilizzato.
- Il fabbisogno energetico per il raffrescamento è direttamente proporzionale dimensioni della superficie finestrata e assume valori diversi tra loro per superfici finestrate pari al 20%, 30% e 50% della facciata-test.
- Il fabbisogno energetico per il raffrescamento assume dei valori simili nelle tre città campione.

Fabbisogno energetico annuale:

- Dipende in maniera sostanziale dall'orientamento della test-room, ma è influenzato anche dalle prestazioni termiche del sistema di involucro utilizzato.
- Il fabbisogno energetico per il raffrescamento è direttamente proporzionale dimensioni della superficie finestrata e assume valori diversi tra loro per superfici finestrate pari al 20%, 30% e 50% della facciata-test.
- Il sistema di involucro che comporta il minore fabbisogno energetico per il riscaldamento è il tipo 1 (VIP). I sistemi 2 (TIM) e 3 (PCM)

comportano dei fabbisogni energetici per il riscaldamento simili tra loro. Il sistema di involucro di riferimento risulta meno efficiente rispetto a quelli oggetto di analisi.

- Il fabbisogno energetico annuale ha dei valori differenti nelle tre città campione (maggiore nelle città localizzate a Nord e minore in quelle più a Sud).
- Nelle città con latitudine maggiore la differenza tra fabbisogno energetico annuale ottenuto orientando la test-room ad Est rispetto a quello che si avrebbe orientandola a Nord è minore che nelle città con latitudine minore.

In conclusione le dimensioni della superficie finestrata che comportano un minore fabbisogno energetico annuo risulta essere il 20%. Nella valutazione di questo risultato si deve però tener conto del fatto che la test-room utilizzata come strumento di indagine è priva di un sistema di schermatura solare. Prevedendo un elemento frangisole o un sistema di tende movibili sarebbe possibile utilizzare superfici finestrate di dimensioni maggiori, ad esempio 30%, giovando dei guadagni solari diretti invernali, senza incorrere in un eccessivo surriscaldamento estivo.







### 3.3 Proposte migliorative e criteri progettuali per l'impiego dei sistemi di involucro analizzati in edifici localizzati nel Sud Europa

*“I vantaggi di standardizzazioni di parti e di componenti prodotti industrialmente sono ovvi, ma un’analoga standardizzazione di interi edifici che dovranno far fronte alle ampie variazioni climatiche, non ha alcun senso. Un edificio del Nordeuropa ed uno del Mediterraneo possono benissimo usare gli stessi materiali – metalli, materiali isolanti, vetro, plastica – ma il ruolo in cui essi sono montati per formare una parete deve essere del tutto diverso per funzionare ugualmente bene.”.*

Thomas Herzog, 1995 <sup>1</sup>

La sperimentazione applicativa effettuata ha messo in evidenza non solo le elevate prestazioni energetiche, ma anche le carenze di alcuni dei sistemi di involucro analizzati.

Pertanto è possibile ipotizzare delle proposte migliorative che possono essere suddivise in due categorie:

- Tecnologiche (stratigrafia, spessori, materiali, ecc.),
- Strategico-gestionali (controllo della ventilazione naturale ed artificiale e sviluppo di sistemi di schermatura solare, ecc.)

*Tecnologiche:*

Involucro tipo 1 con VIP

L’involucro di tipo 1 VIP ha un funzionamento energetico invernale eccellente, mentre in estate le sue prestazioni termiche sono di poco superiori rispetto a quelle del sistema di involucro di riferimento. Per questo sistema di involucro non si ipotizzano modifiche dal punto di vista tecnologico, ma è auspicabile la combinazione con una strategia di ventilazione e di schermatura solare adeguate che contribuiscano a limitare il fabbisogno energetico estivo.

Involucro tipo 2 con TIM

L’involucro tipo 2 con TIM non ha un elevato livello di efficienza energetica estiva, a causa della ridotta massa superficiale. Al fine di aumentare la sua inerzia termica è possibile ipotizzare l’inserimento di uno strato interno ad elevata densità. Si consideri che questo sistema di involucro ha uno spessore di soli 9,8 cm, quindi l’inserimento di un’ulteriore strato interno, non comporterebbe un aumento eccessivo dello spessore totale.

Per verificare questa proposta di modifica al sistema di involucro sono state svolte delle simulazioni termodinamiche aggiungendo al pacchetto di involucro un pannello prefabbricato in cemento alleggerito. Le simulazioni termodinamiche hanno dato dei risultati

<sup>1</sup> Nikolaus Kuhner, Angelika Schnell (a cura di), *Energien gestalten. Thomas Herzog im Gespräch mit Nikolaus Kuhnert und Angelika Schnell*, in «ARCH+» n. 126, marzo 1995, p. 34.

molto positivi. (aggiungere i risultati delle simulazioni e i grafici)

- Proposta migliorativa 1: Pannello in c.a. media densità spessore 8 cm (conduttività: 1,35 W/mK, calore specifico: 1000 J/kgK, densità: 1800 kg/m<sup>3</sup>)

- Proposta migliorativa 2: Pannello in c.a. alta densità spessore 12 cm (conduttività: 1,5 W/mK, calore specifico: 1000 J/kgK, densità: 2400 kg/m<sup>3</sup>)

- Proposta migliorativa 3: Pannello isolante in lana minerale 12 cm (conduttività: 0,036 W/mK, calore specifico: 1400 J/kgK, densità: 90 kg/m<sup>3</sup>)

- Proposta migliorativa 4: Pannello QASA contenete VIP 5 cm (conduttività: 0,010 W/mK, calore specifico: 1050 J/kgK, densità: 200 kg/m<sup>3</sup>)

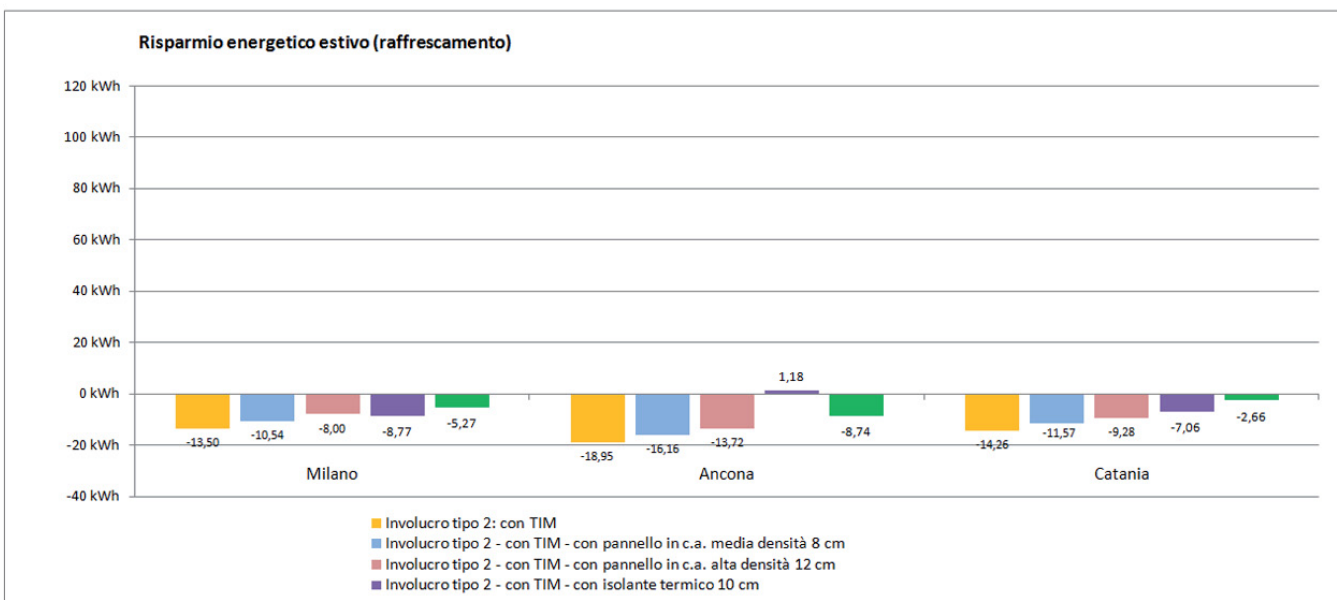
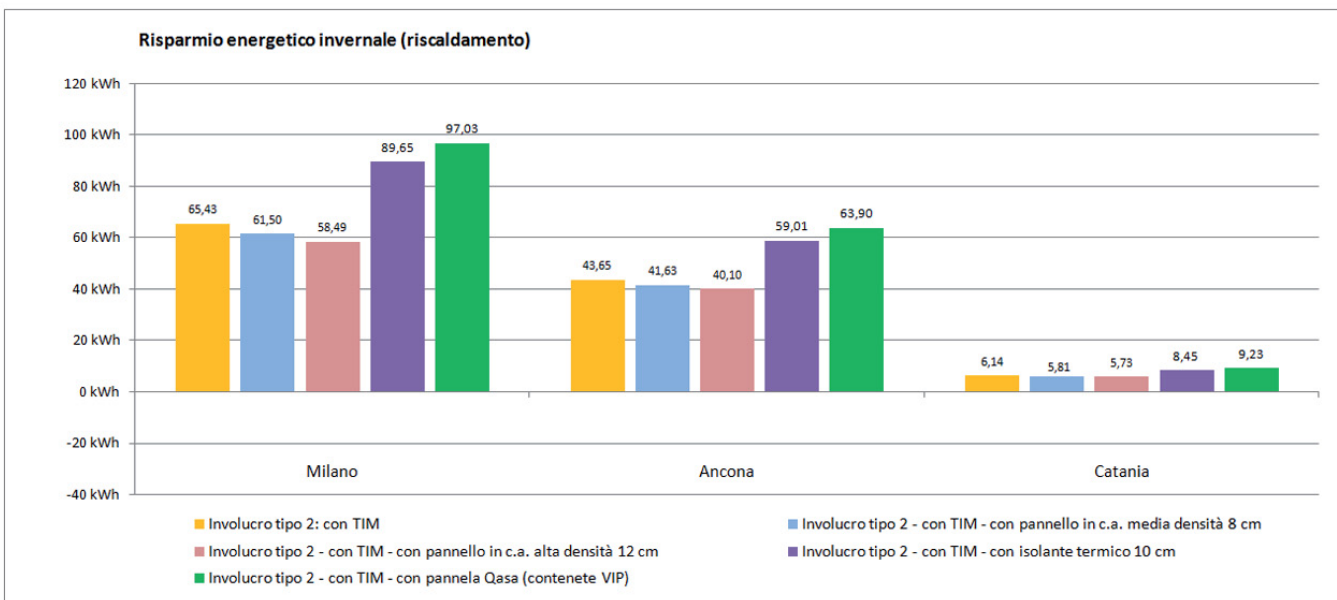
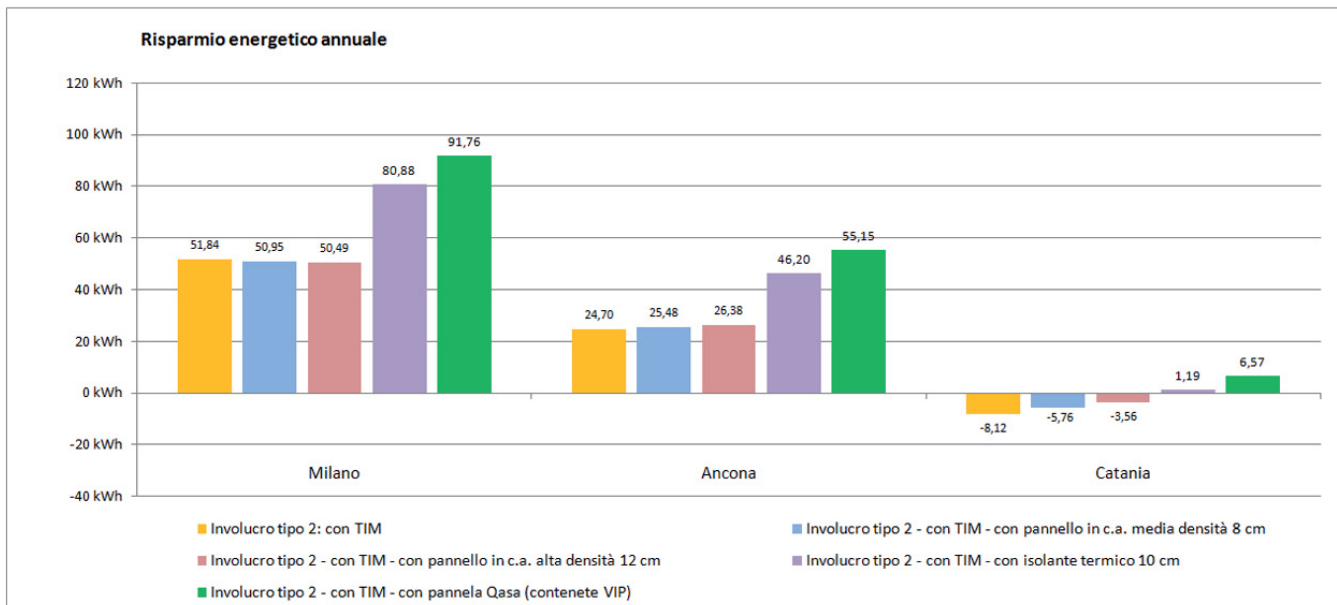
- L'involucro tipo 3 con PCM ha un buon livello prestazionale, dal punto di vista energetico, sia estivo che invernale. In particolare in estate grazie alle caratteristiche dei materiali a cambiamento di fase, la temperatura superficiale interna resta costante nel tempo. Poiché i Weather Date, che sono stati utilizzati per le simulazioni, si basano sui dati climatici De Giorgio, rilevati dal 1951 al 1970, non prendono in considerazione il repentino aumento delle temperature medie avvenuto negli ultimi decenni. Per garantire un corretto funzionamento energetico di questo sistema d'involucro anche in presenza di temperature più elevate è possibile ipotizzare l'utilizzo di un pannello in cartongesso contenente PCM con temperatura di fusione di 28°C (il pannello utilizzato per le simulazioni ha la temperatura di fusione di 26°C).

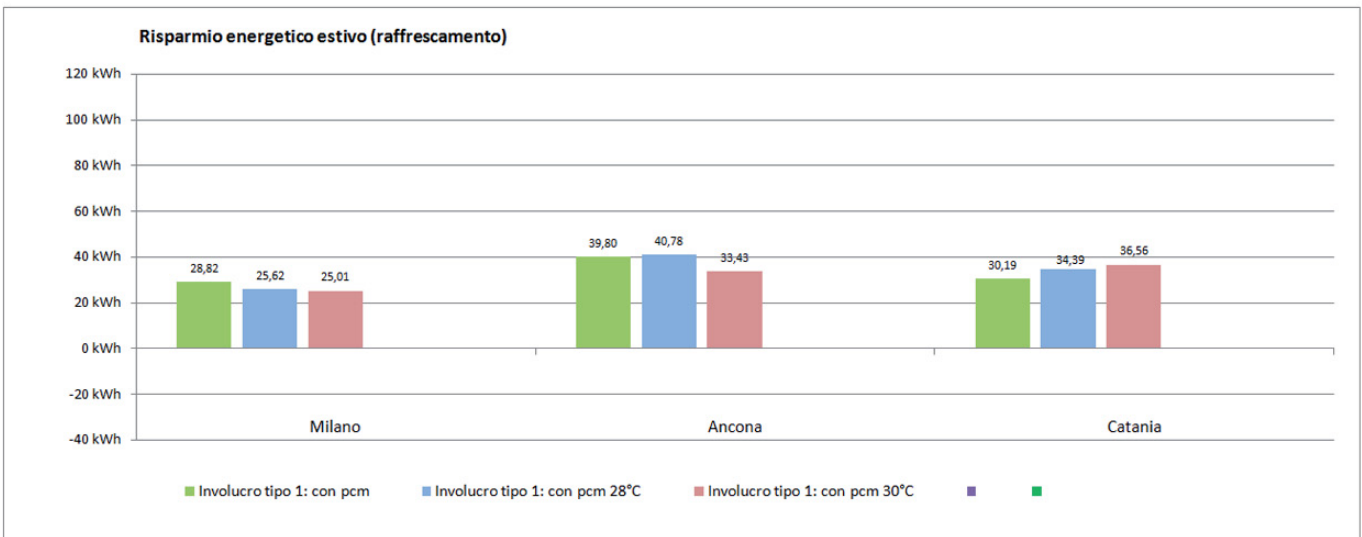
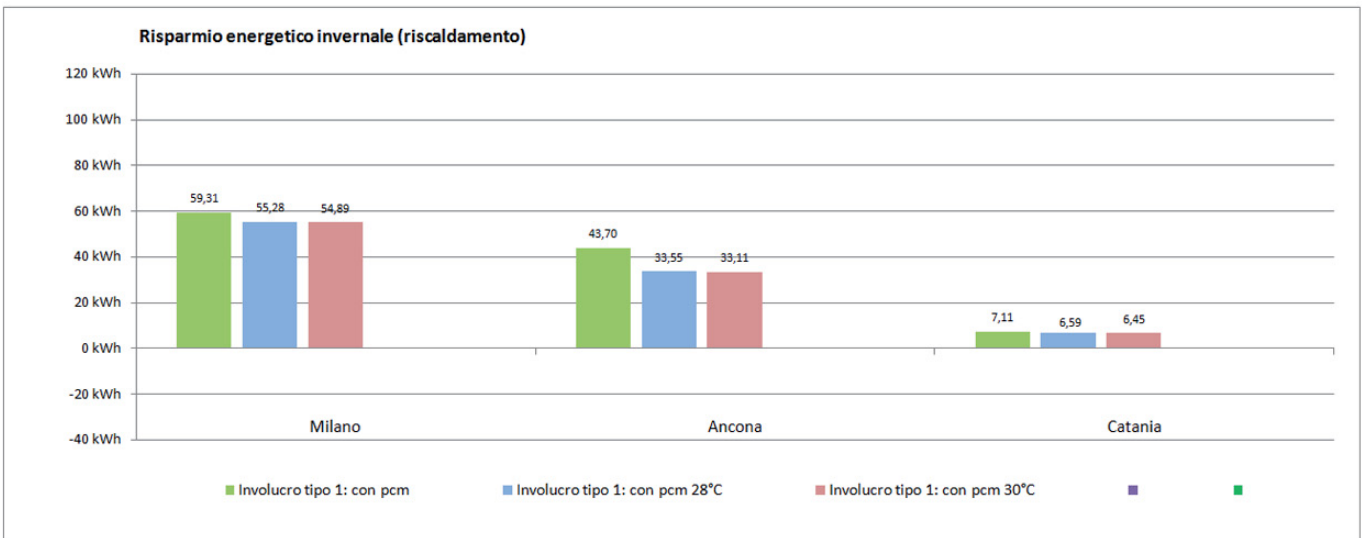
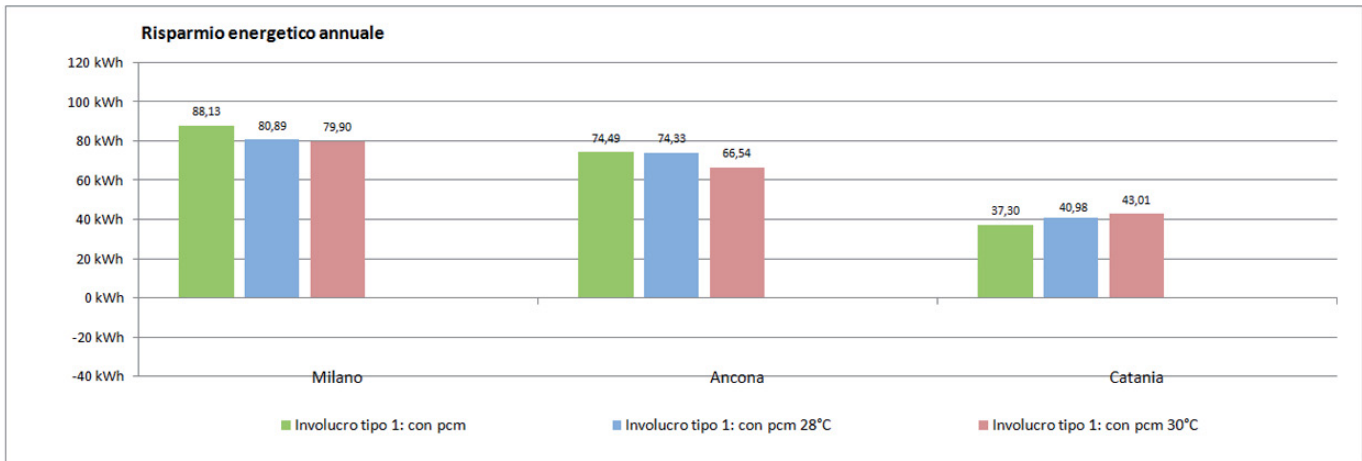
#### *Strategico-gestionali:*

Le simulazioni hanno messo in evidenza come i sistemi di involucro analizzati siano maggiormente efficienti nel periodo invernale, mentre nel periodo estivo anno delle prestazioni termiche equiparabili a quelle dell'involucro di riferimento. Per migliorare le prestazioni estive è possibile:

- prevedere un sistema di schermatura solare della superficie finestrata esterno,

- ipotizzare un sistema di ventilazione naturale più efficace. Si è constatato infatti che a causa degli elevati carichi termici interni il problema del surriscaldamento estivo è dovuto non solo dagli apporti energetici solari esterni, ma principalmente dall'energia termica prodotta all'interno della test-room che non riesce a fuoriuscire a causa della scarsa ventilazione.











## Allegati

- Grafici del fabbisogno energetico mensile ricavati dalle simulazioni termodinamiche
- Bibliografia argomentata e sitografia
- Direttive, leggi e norme di riferimento



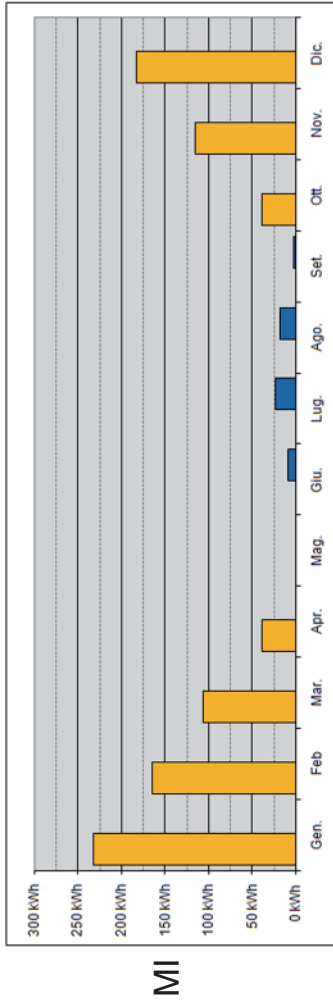


analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **SUD** - superficie finestrata **30%**

**FABBISOGNO ENERGETICO**

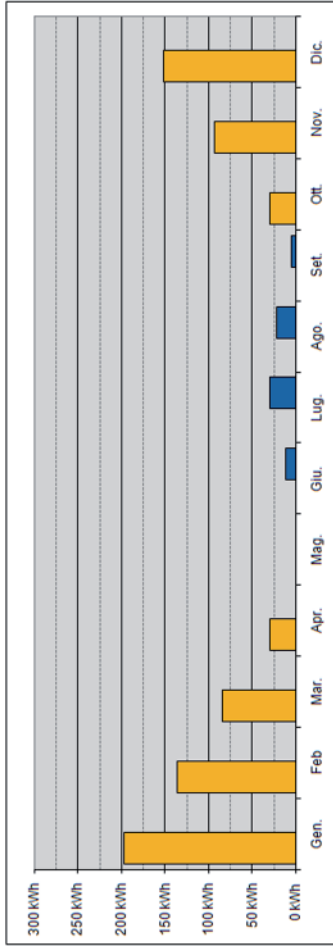


**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**



MI

**INVOLUCRO TIPO 1: con VIP**

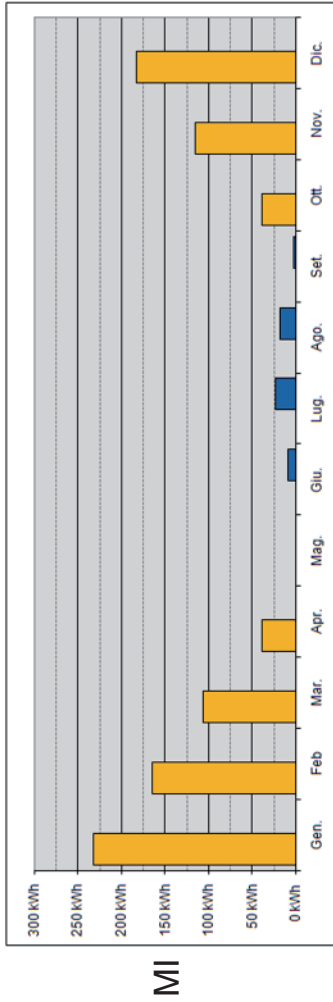


MI

Heating: 723,46 kWh - Cooling: 64,37 kWh

Total: 791,84 kWh

**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**

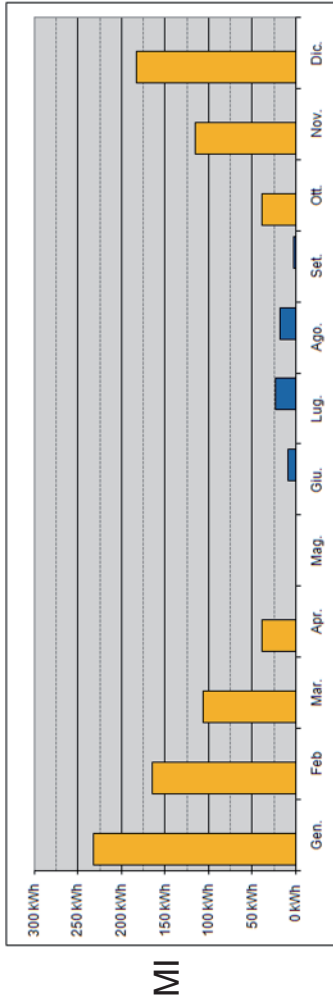


AN

Heating: 574,35 kWh - Cooling: 65,43 kWh

Total: 639,78 kWh

**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**

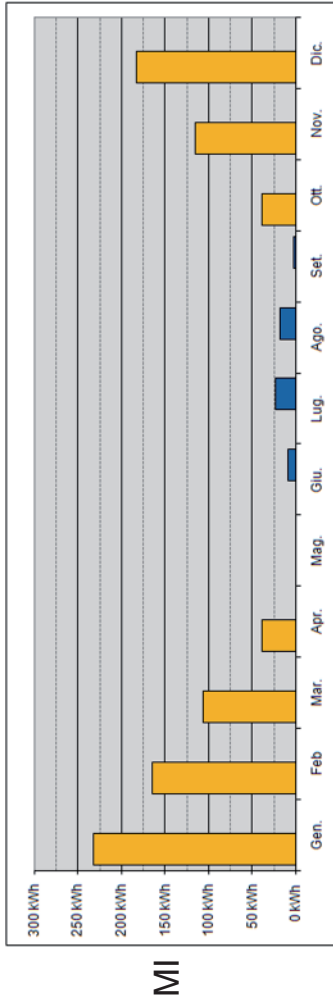


CT

Heating: 313,41 kWh - Cooling: 135,83 kWh

Total: 449,25 kWh

**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**

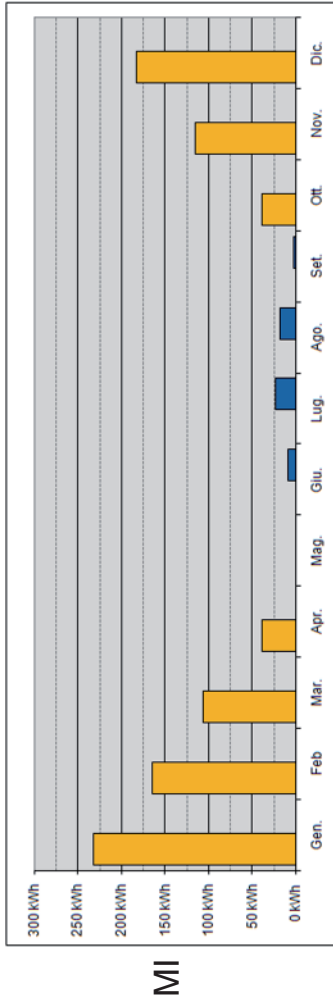


AN

Heating: 380,27 kWh - Cooling: 107,31 kWh

Total: 487,58 kWh

**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**



CT

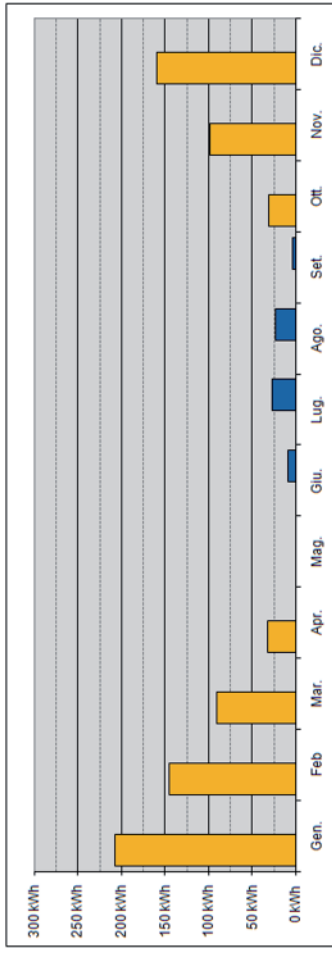
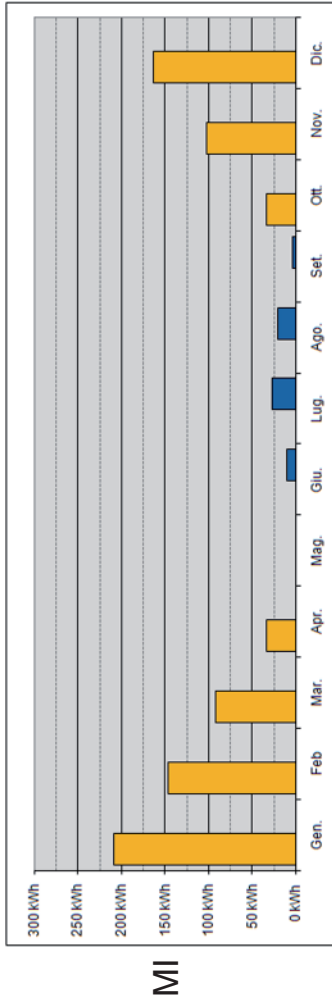
Heating: 152,51 kWh - Cooling: 183,58 kWh

Total: 336,09 kWh



**INVOLUCRO TIPO 2: con TIM**

**INVOLUCRO TIPO 3: con PCM**



Heating: 781,30 kWh - Cooling: 62,20 kWh

Heating: 766,37 kWh - Cooling: 62,43 kWh

Total: 843,50 kWh

Total: 828,80 kWh

Heating: 501,75 kWh - Cooling: 78,93 kWh

Heating: 490,13 kWh - Cooling: 79,82 kWh

Total: 580,69 kWh

Total: 569,95 kWh

Heating: 219,15 kWh - Cooling: 151,12 kWh

Heating: 210,94 kWh - Cooling: 155,28 kWh

Total: 370,27 kWh

Total: 366,22 kWh

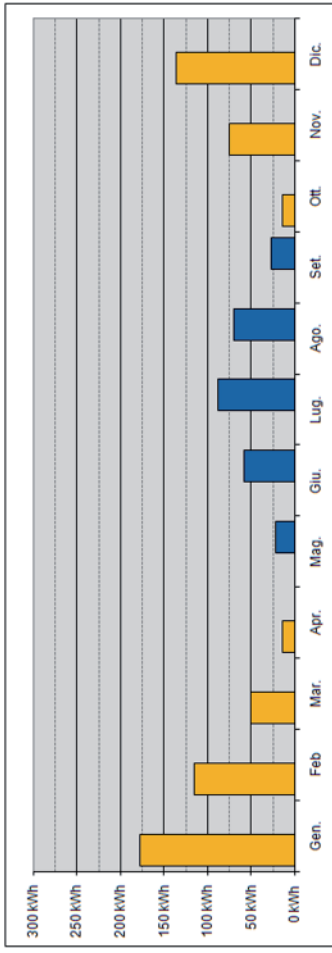
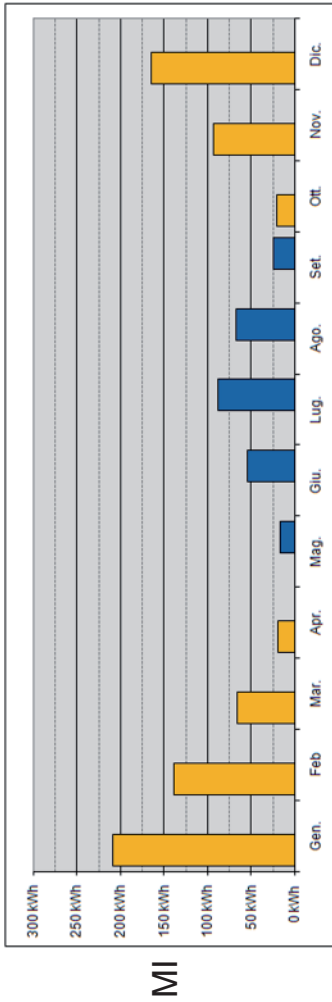
**FABBISOGNO ENERGETICO**

analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **EST** - superficie finestrata **30%**



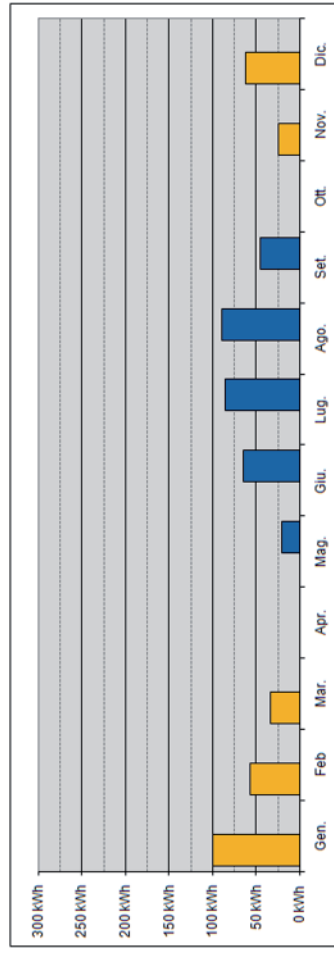
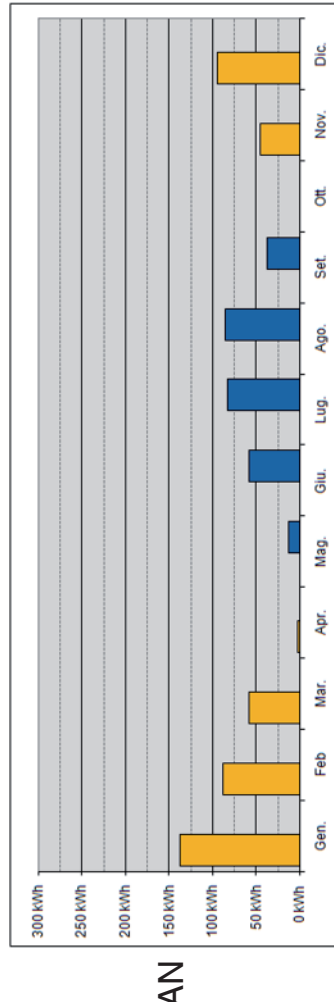
**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**

**INVOLUCRO TIPO 1: con VIP**



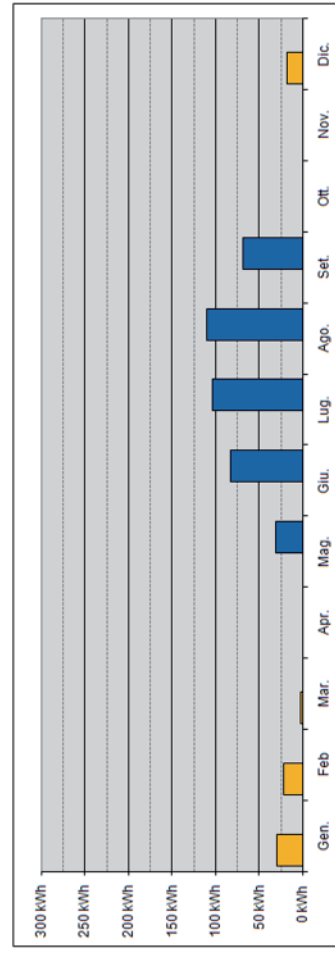
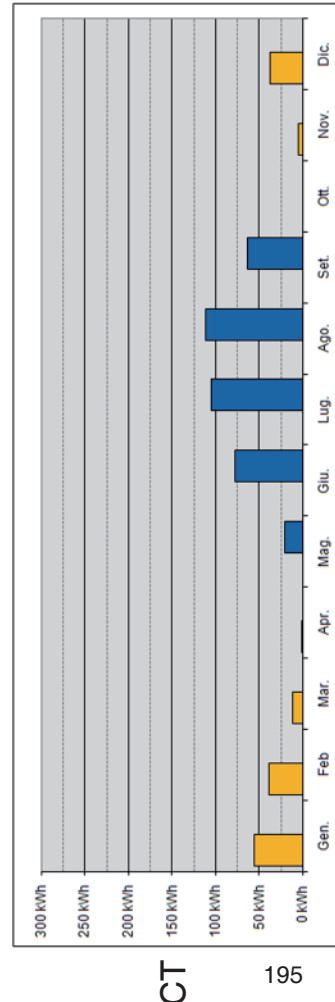
MI

MI



AN

AN



CT

CT

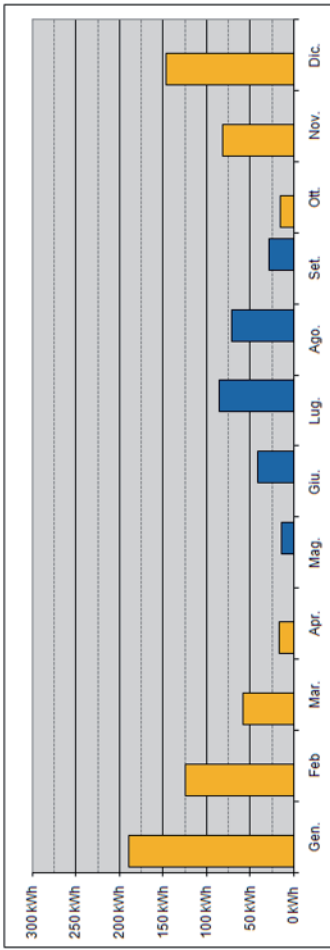
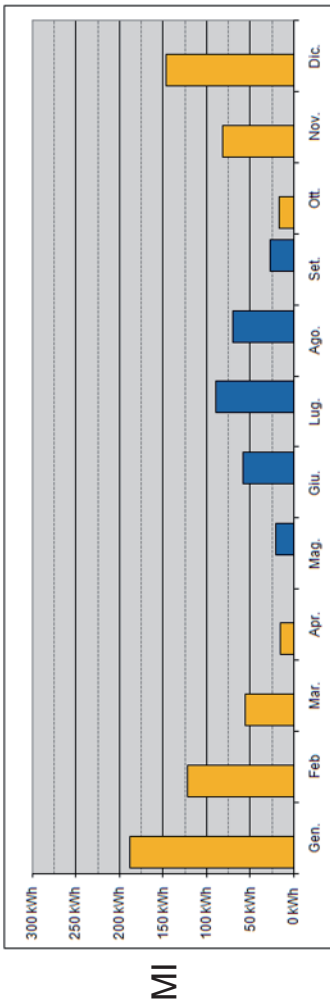
FABBISOGNO ENERGETICO

analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: EST - superficie finestrata 30%



INVOLUCRO TIPO 2: con TIM

INVOLUCRO TIPO 3: con PCM



Heating: 627,47 kWh - Cooling: 265,67 kWh

Heating: 632,48 kWh - Cooling: 241,56 kWh

Heating: 280,39 kWh - Cooling: 306,64 kWh

Heating: 377,36 kWh - Cooling: 266,83 kWh

Heating: 113,40 kWh - Cooling: 393,19 kWh

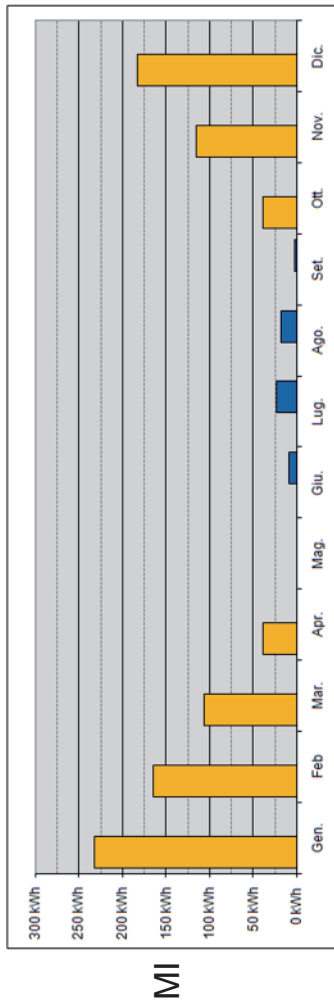
Heating: 116,48 kWh - Cooling: 365,22 kWh

FABBISOGNO ENERGETICO

analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **NORD** - superficie finestrata **30%**

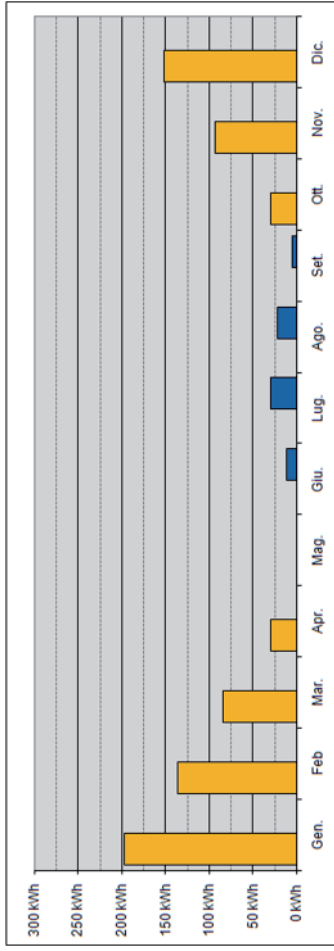


INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta

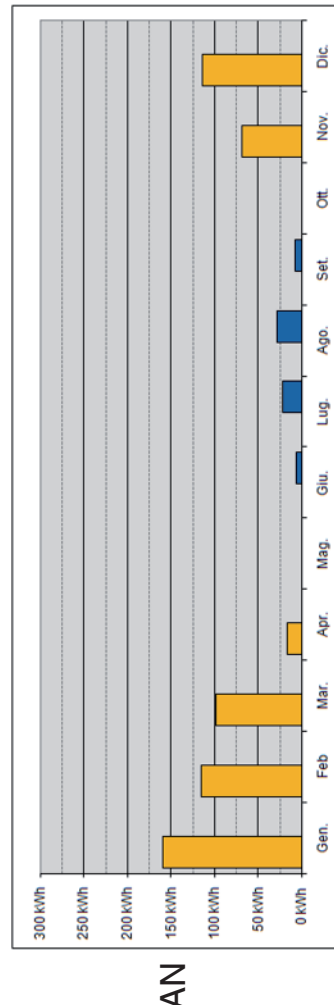


MI

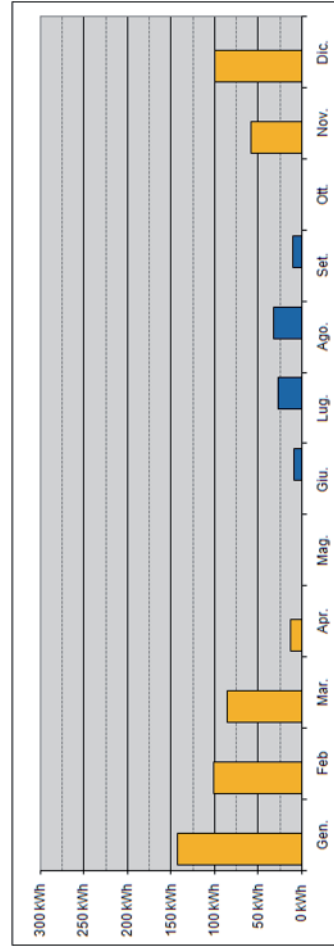
INVOLUCRO TIPO 1: con VIP



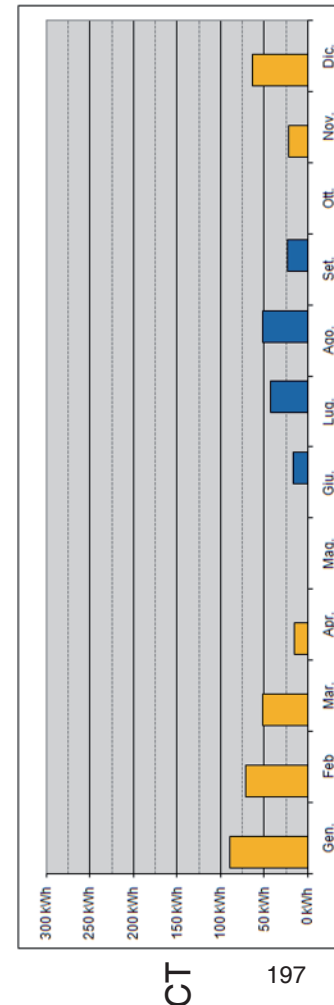
MI



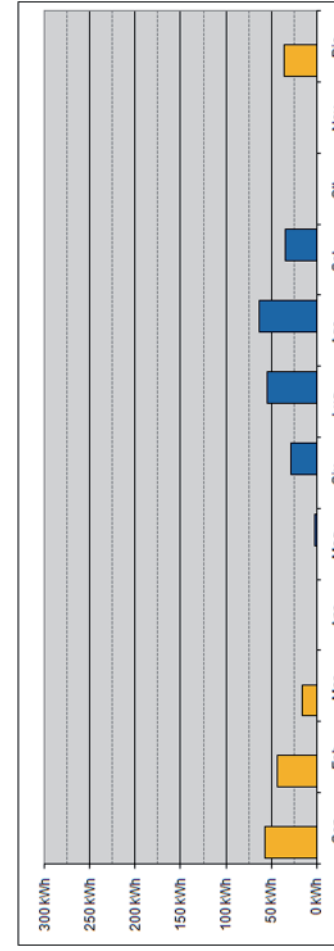
AN



AN



CT



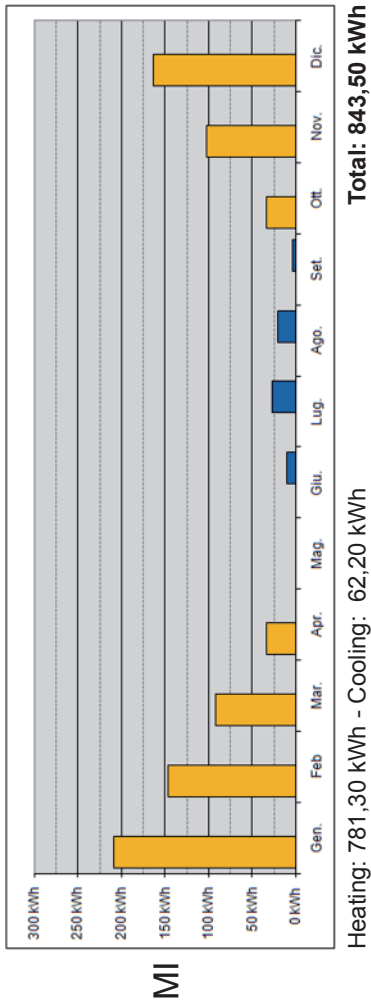
CT

FABBISOGNO ENERGETICO

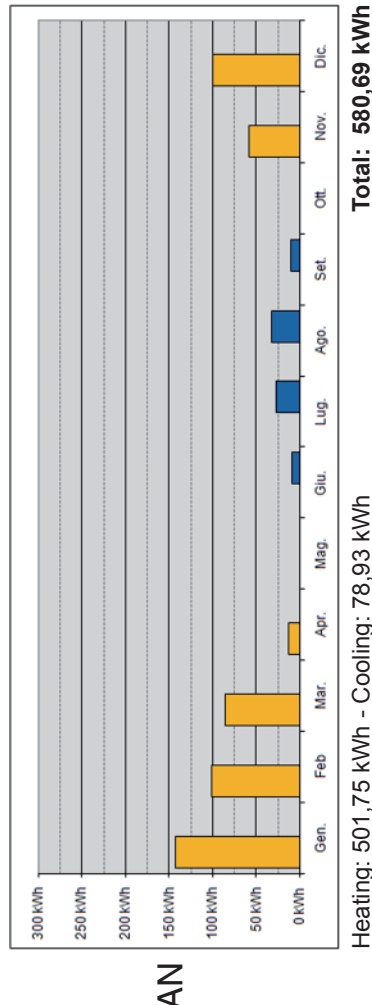
analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **SUD** - superficie finestrata **30%**



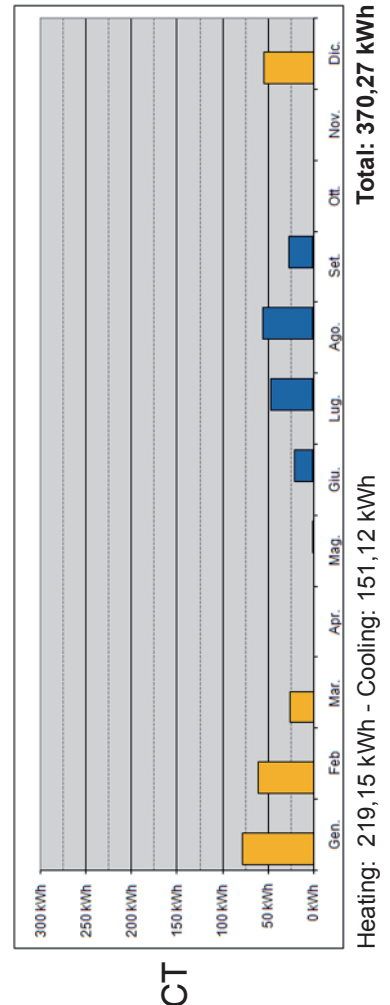
INVOLUCRO TIPO 2: con TIM



MI

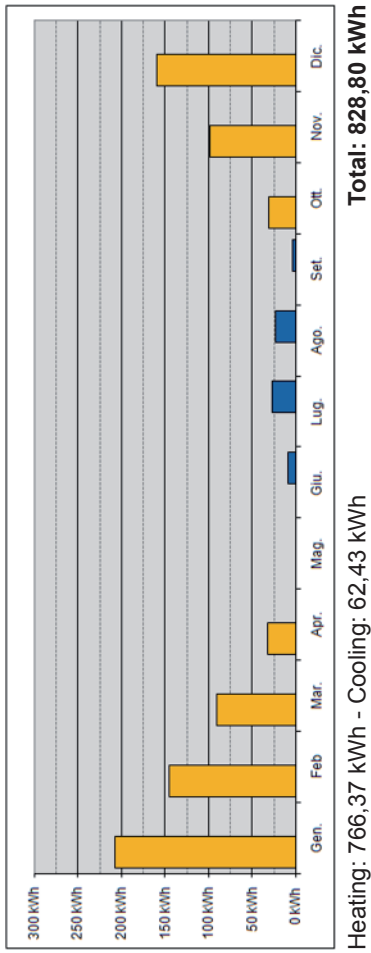


AN

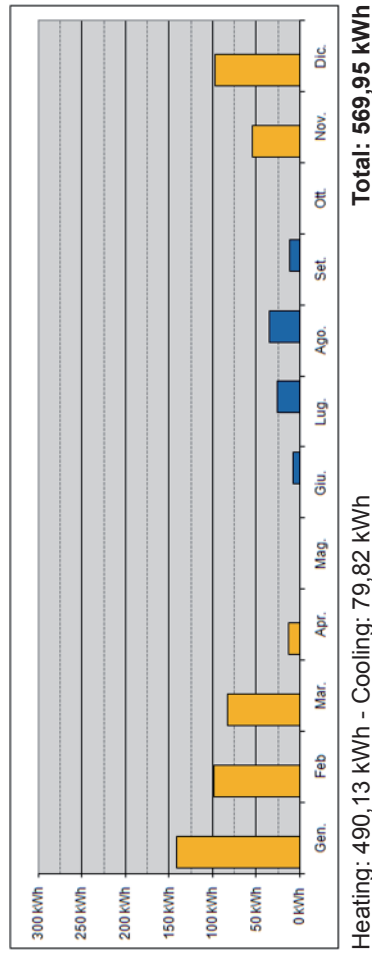


CT

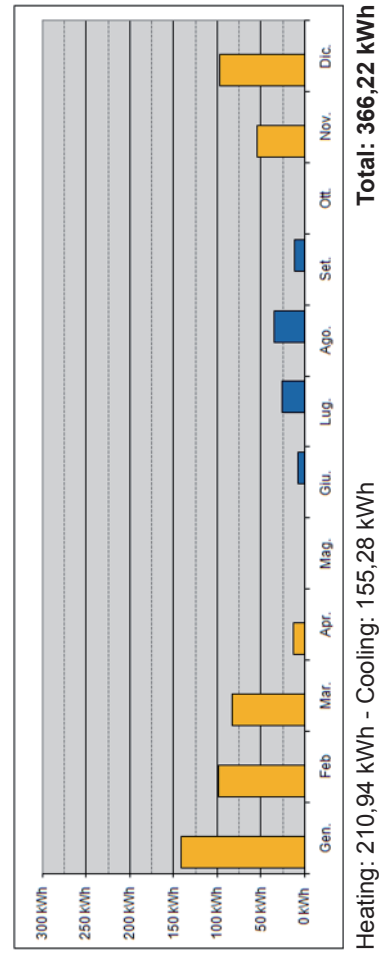
INVOLUCRO TIPO 3: con PCM



MI



AN



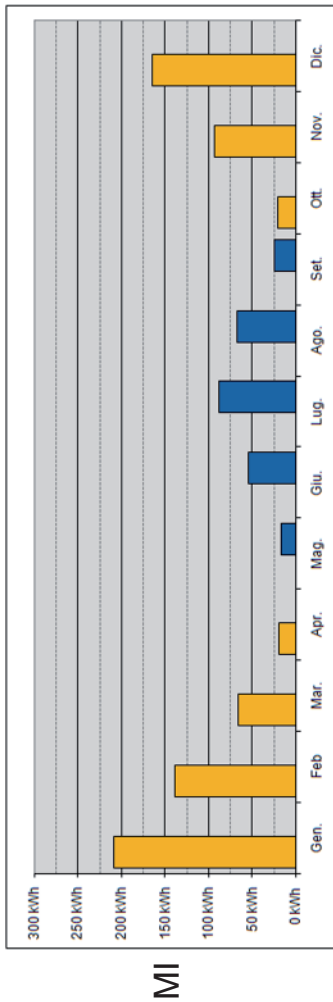
CT

analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **EST** - superficie finestrata **30%**



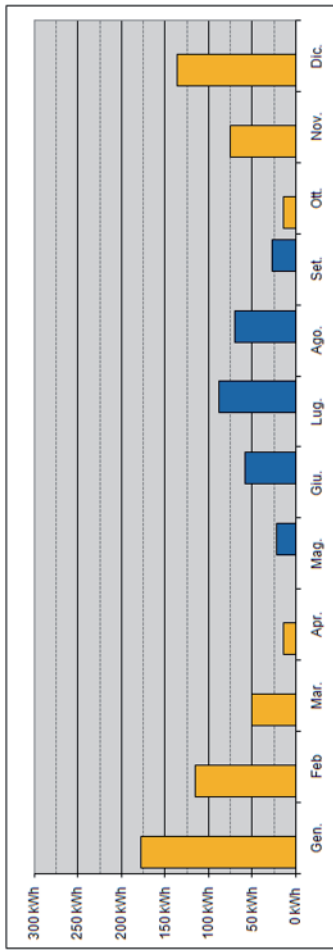
**FABBISOGNO ENERGETICO**

**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**



MI

**INVOLUCRO TIPO 1: con VIP**

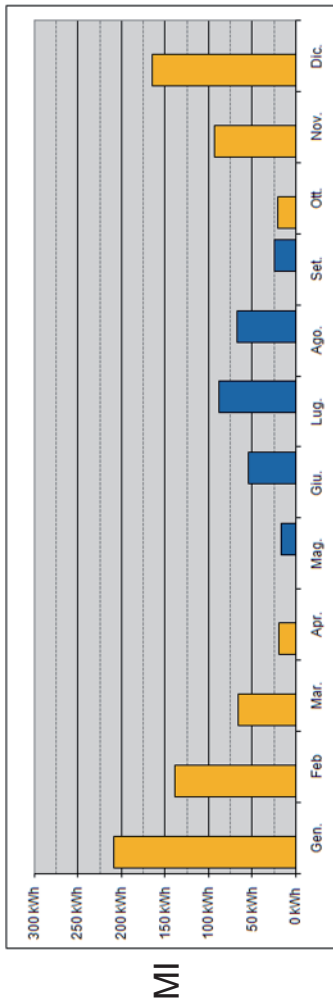


MI

Heating: 583,88 kWh - Cooling: 266,56 kWh

**Total: 850,44 kWh**

**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**

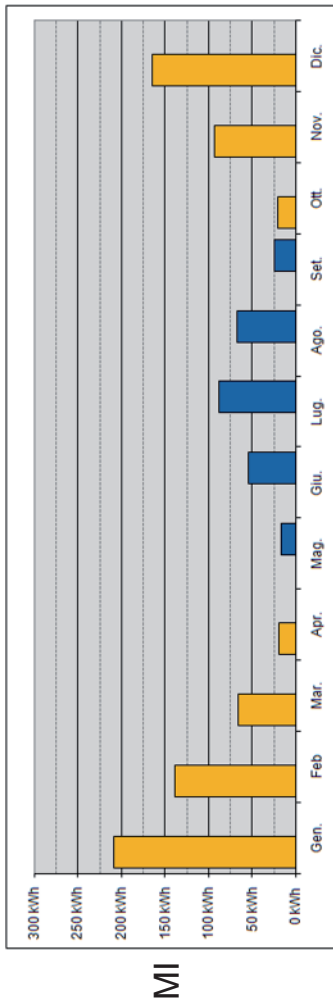


AN

Heating: 280,39 kWh - Cooling: 306,64 kWh

**Total: 587,03 kWh**

**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**



CT

Heating: 71,81 kWh - Cooling: 397,38 kWh

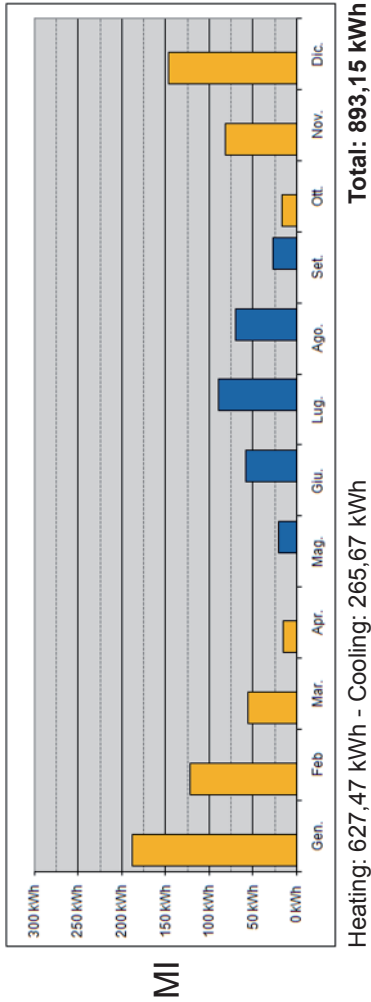
**Total: 469,19 kWh**

FABBISOGNO ENERGETICO

analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **EST** - superficie finestrata **30%**

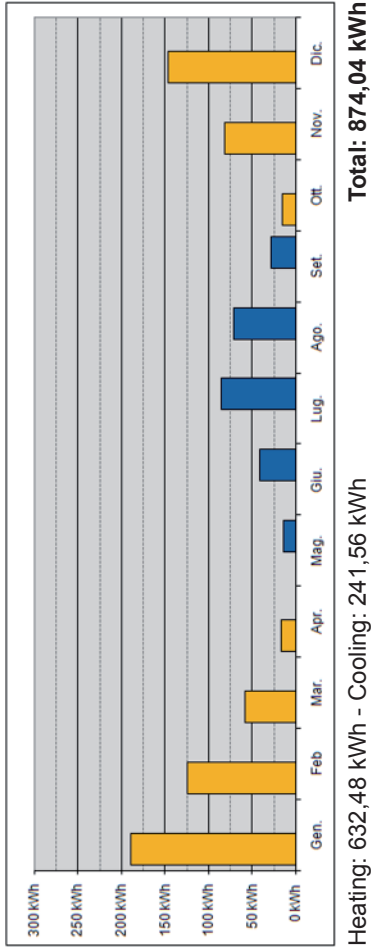


**INVOLUCRO TIPO 2: con TIM**

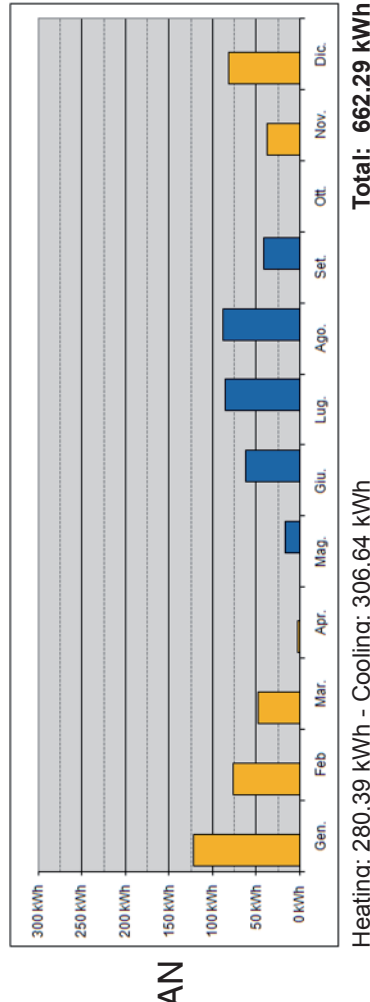


**MI**

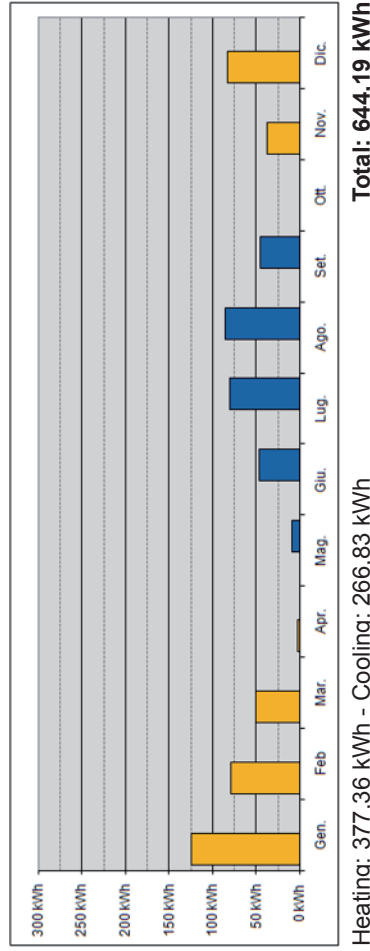
**INVOLUCRO TIPO 3: con PCM**



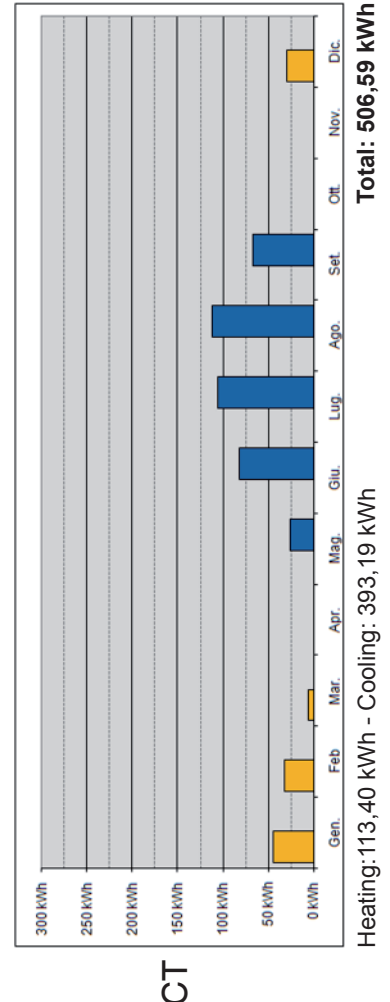
**MI**



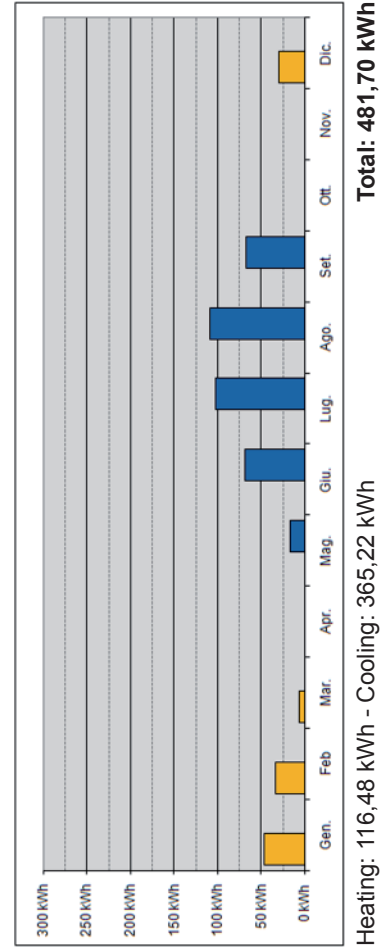
**AN**



**AN**



**CT**



**CT**

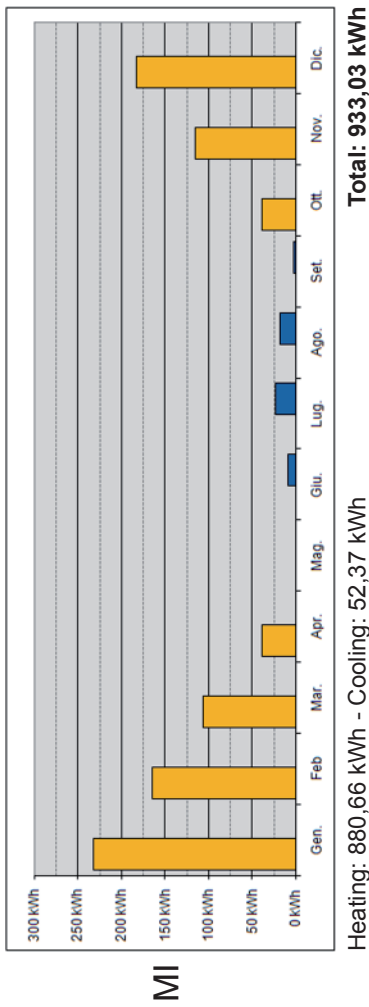


analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **NORD** - superficie finestrata **30%**

**FABBISOGNO ENERGETICO**

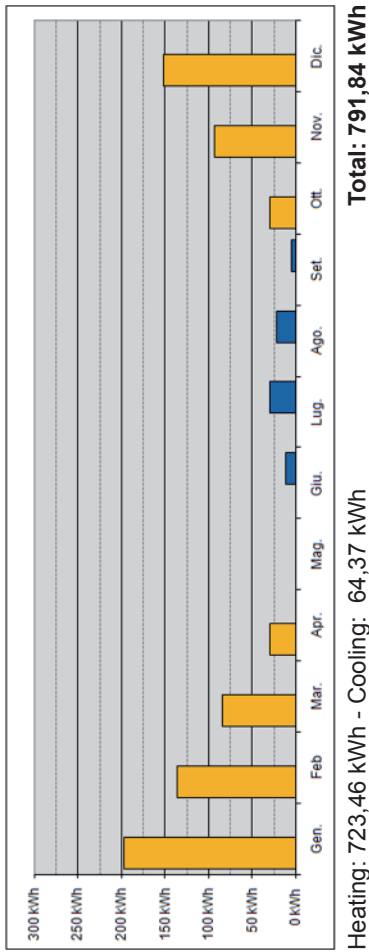


**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**

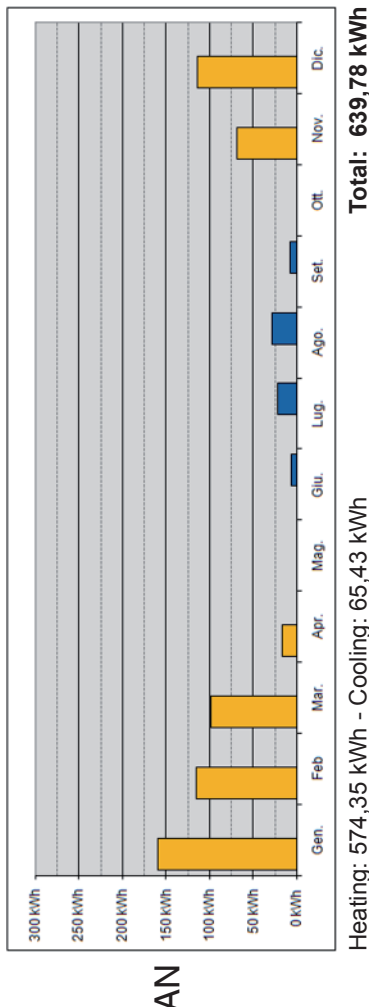


MI

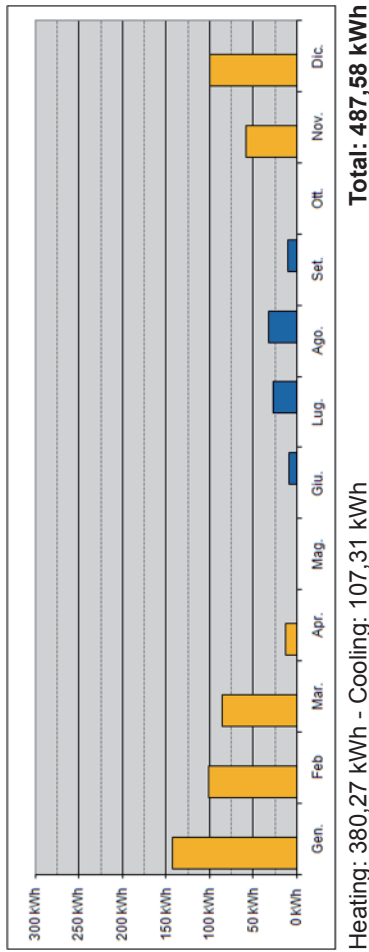
**INVOLUCRO TIPO 1: con VIP**



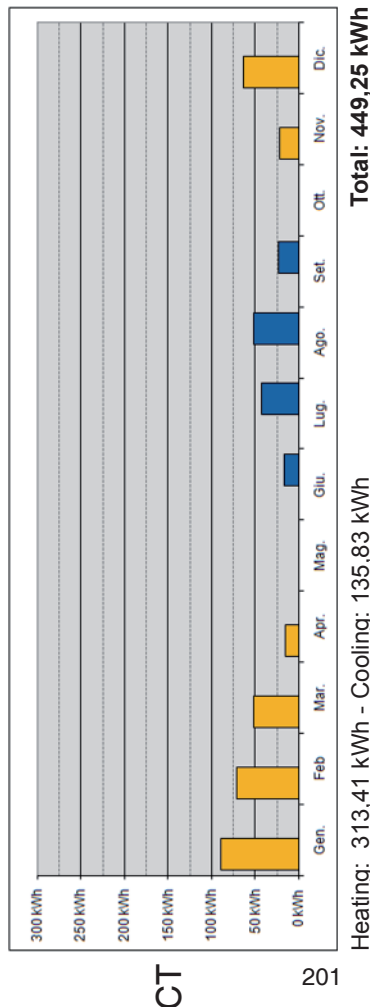
MI



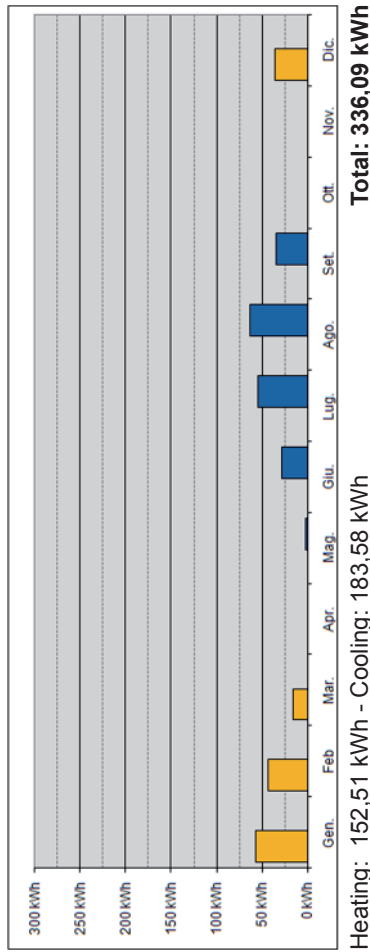
AN



AN



CT



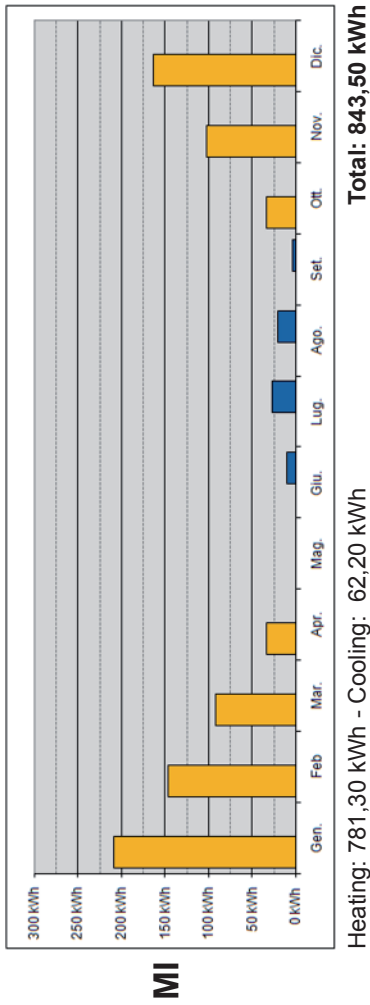
CT

FABBISOGNO ENERGETICO

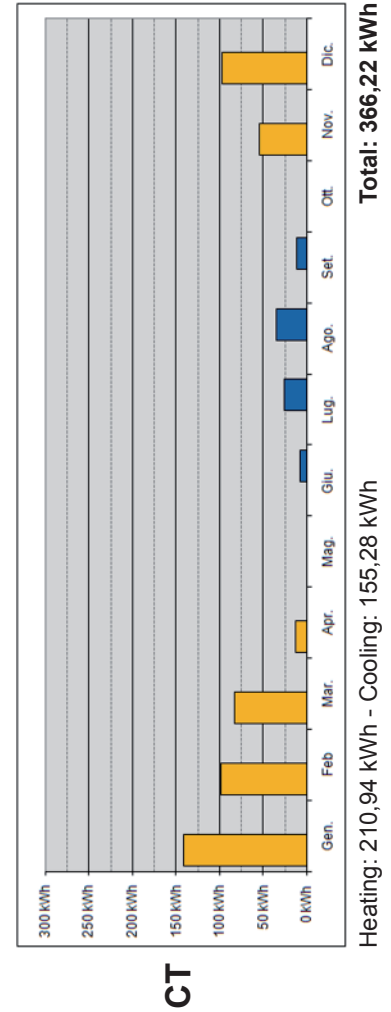
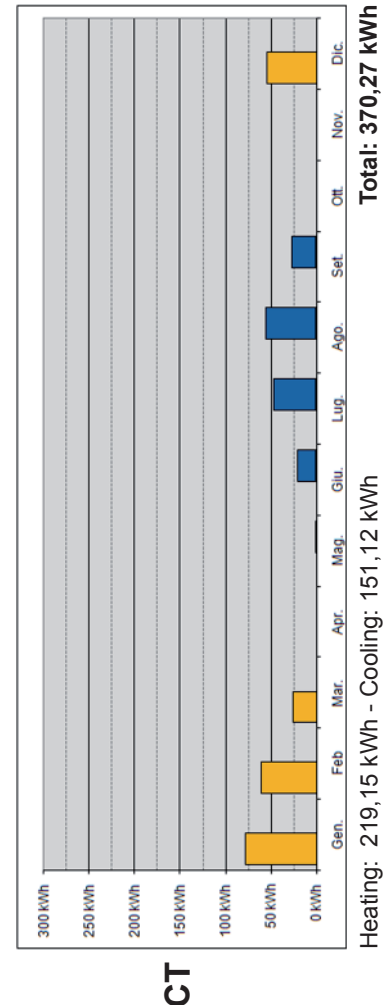
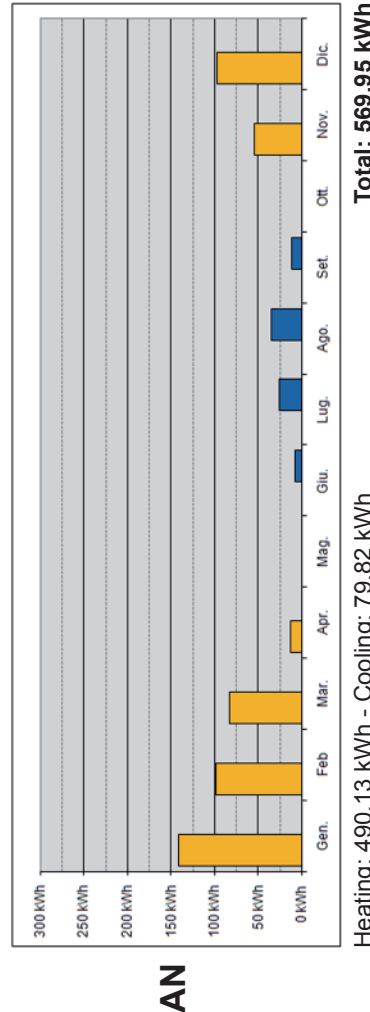
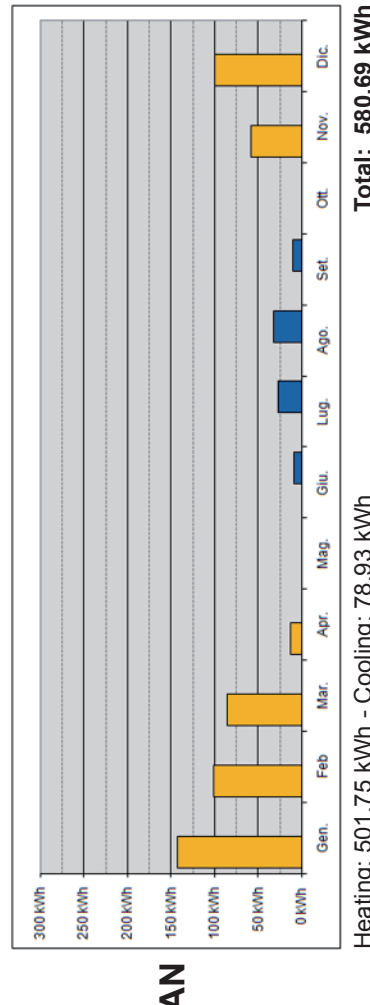
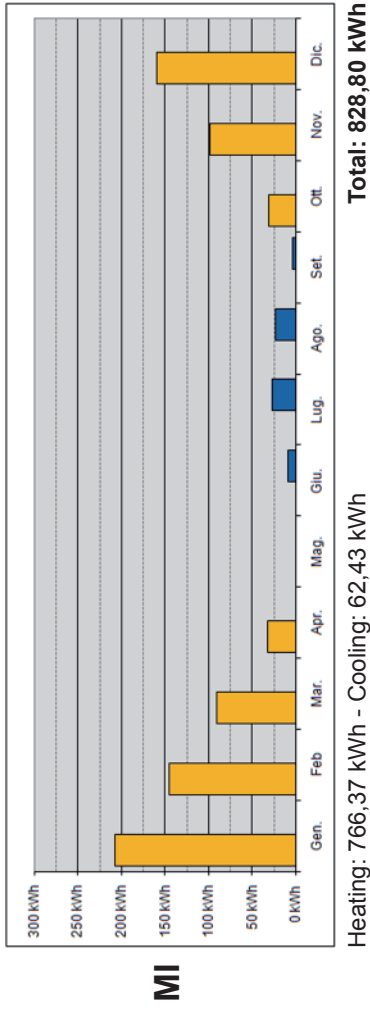
analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **NORD** - superficie finestrata **30%**



**INVOLUCRO TIPO 2: con TIM**



**INVOLUCRO TIPO 3: con PCM**

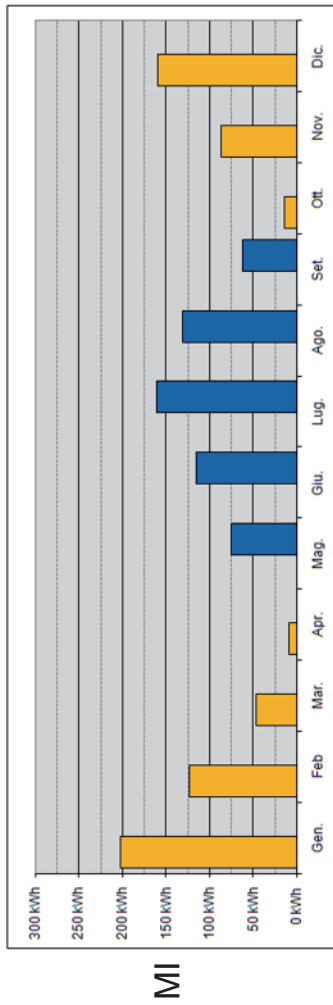


analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **OVEST** - superficie finestrata **30%**



**FABBISOGNO ENERGETICO**

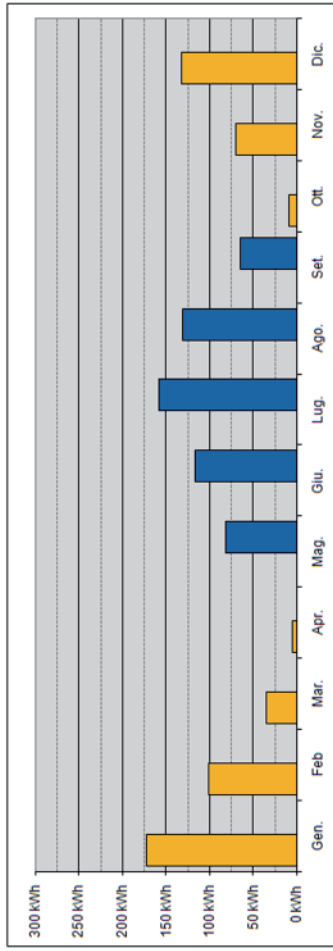
**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**



MI

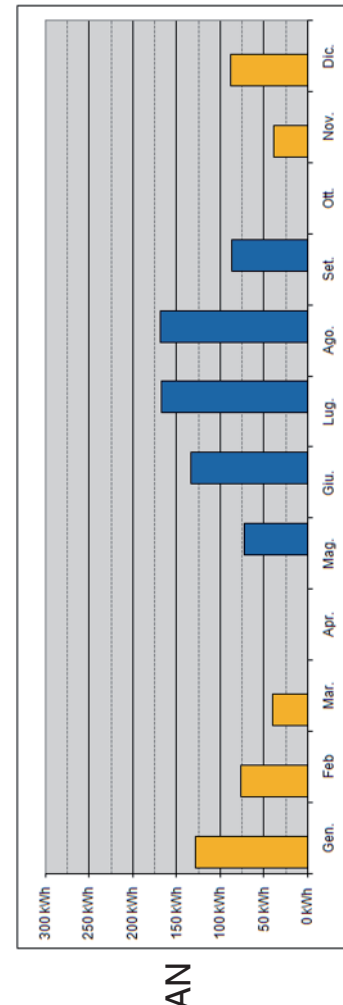
Heating: 644,19 kWh - Cooling: 546,53 kWh  
**Total: 1190,72 kWh**

**INVOLUCRO TIPO 1: con VIP**



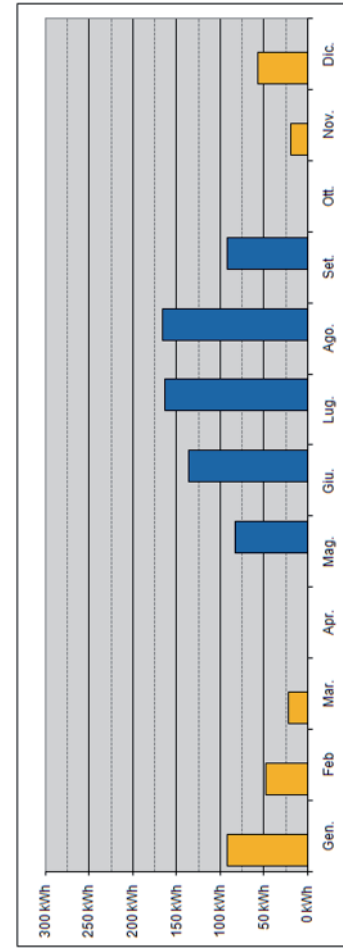
MI

Heating: 527,01 kWh - Cooling: 553,91 kWh  
**Total: 1080,93 kWh**



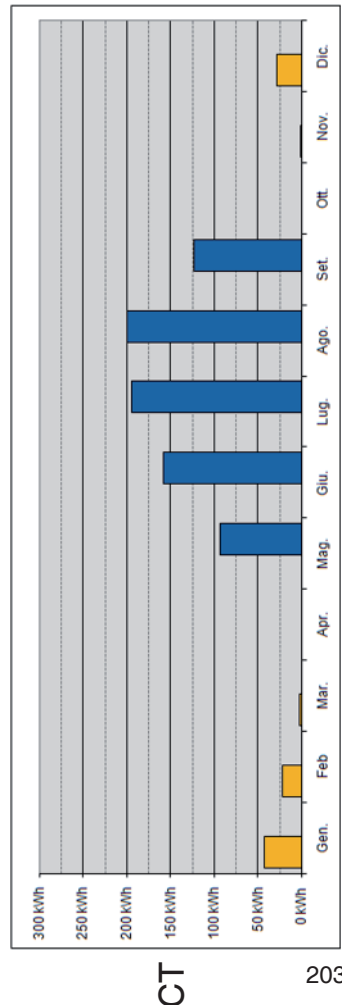
AN

Heating: 372,39 kWh - Cooling: 628,58 kWh  
**Total: 1000,97 kWh**



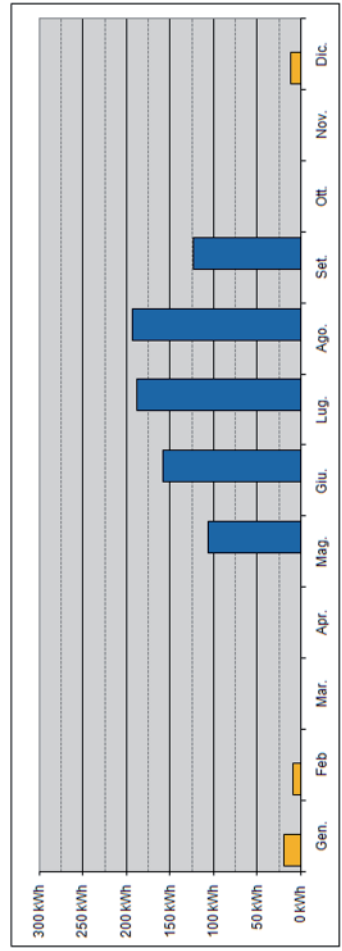
AN

Heating: 239,13 kWh - Cooling: 641,26 kWh  
**Total: 880,38 kWh**



CT

Heating: 96,42 kWh - Cooling: 770,68 kWh  
**Total: 867,09 kWh**



CT

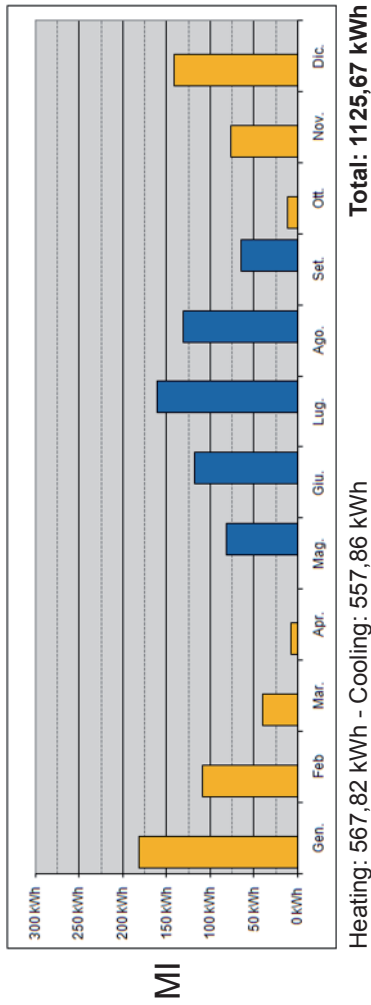
Heating: 42,59 kWh - Cooling: 769,82 kWh  
**Total: 812,41 kWh**

FABBISOGNO ENERGETICO

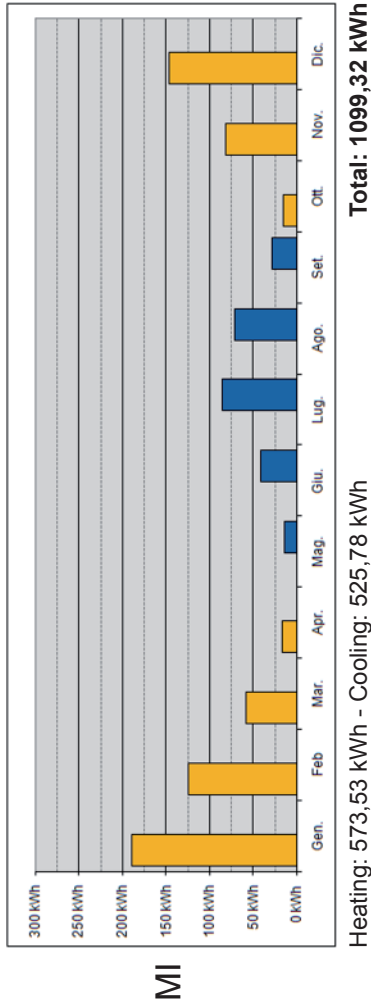
analisi di sensibilità: **VARIAZIONE DI ORIENTAMENTO**  
 orientamento: **OVEST** - superficie finestrata **30%**



**INVOLUCRO TIPO 2: con TIM**

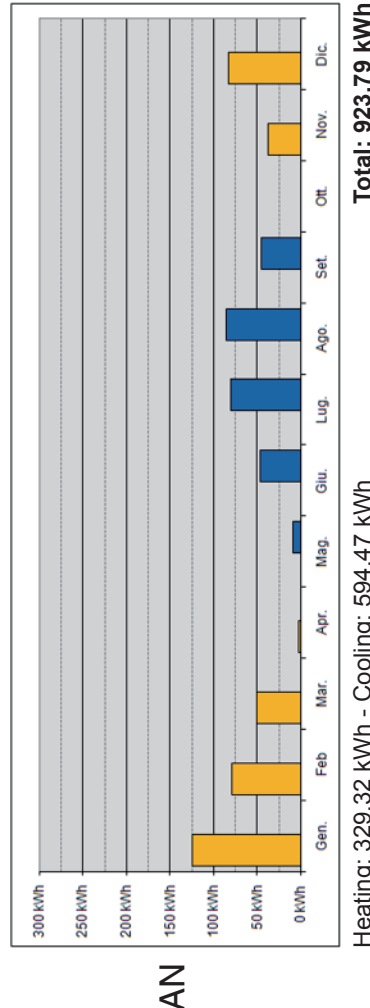
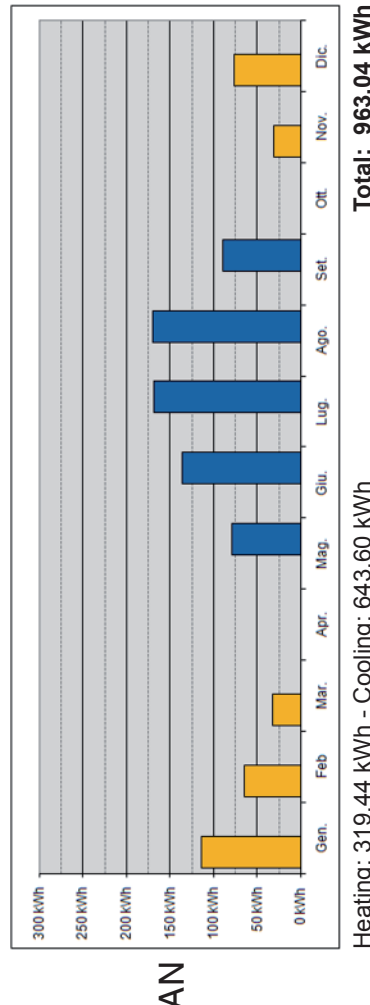


**INVOLUCRO TIPO 3: con PCM**



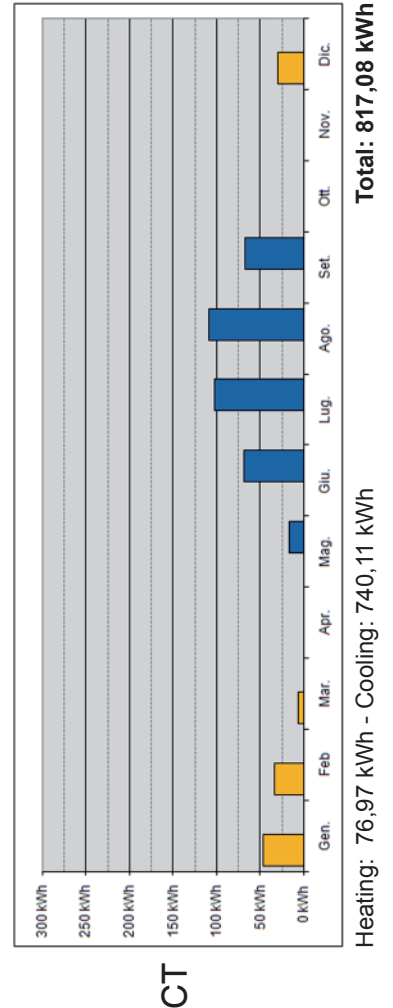
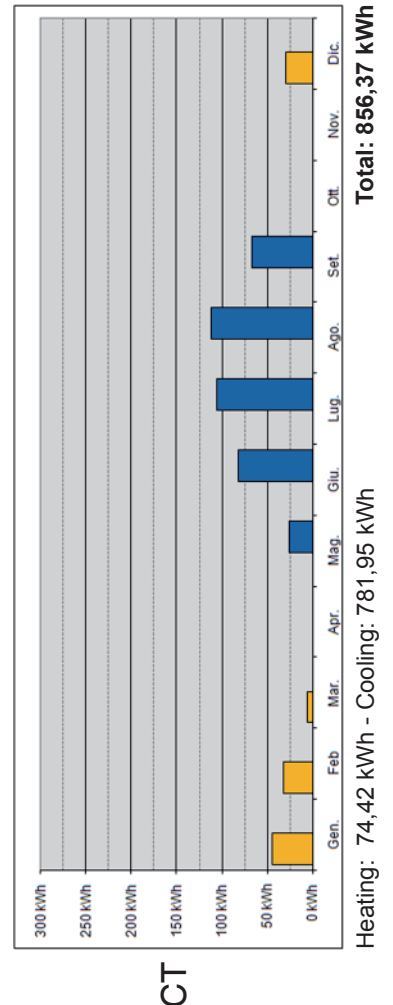
MI

MI



AN

AN

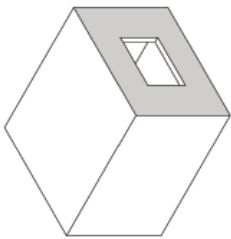


CT

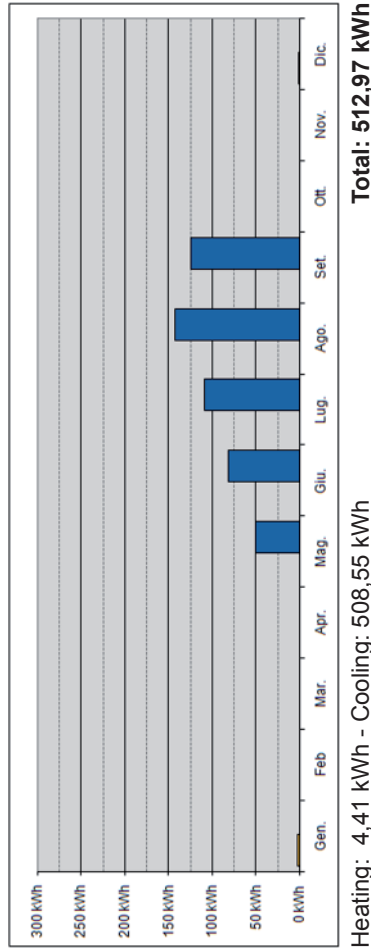
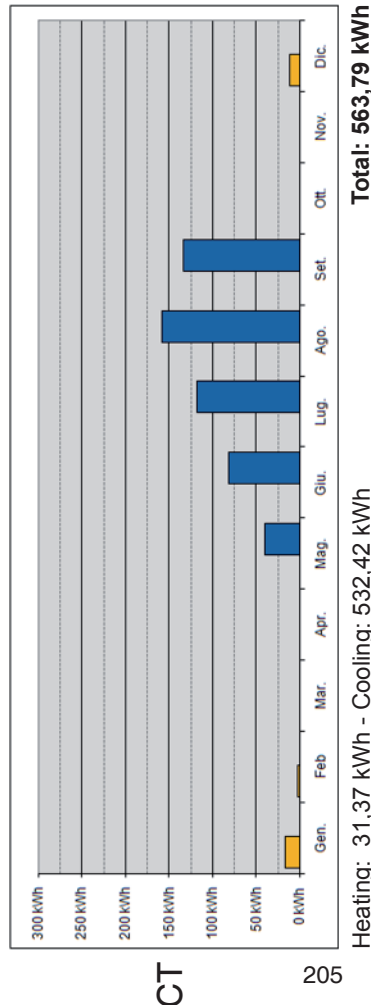
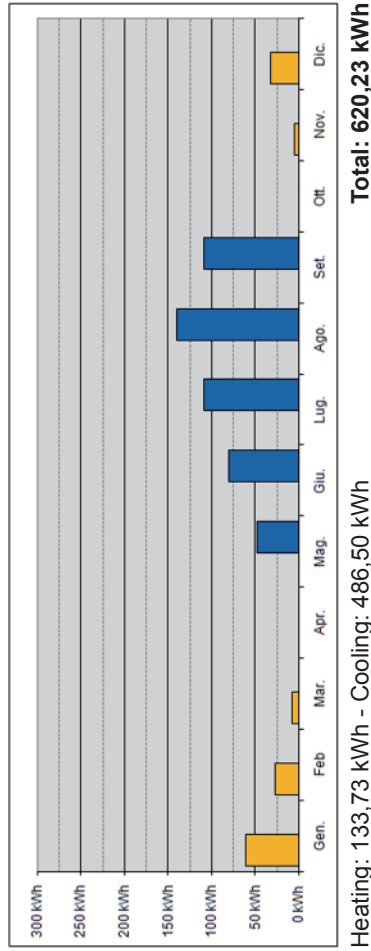
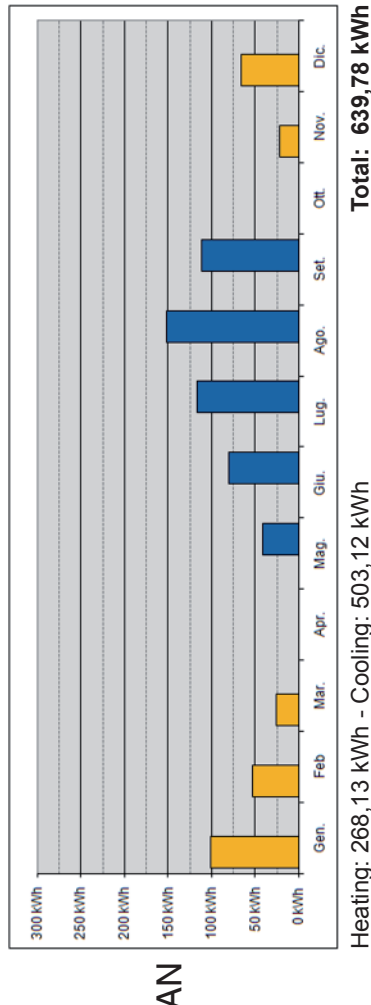
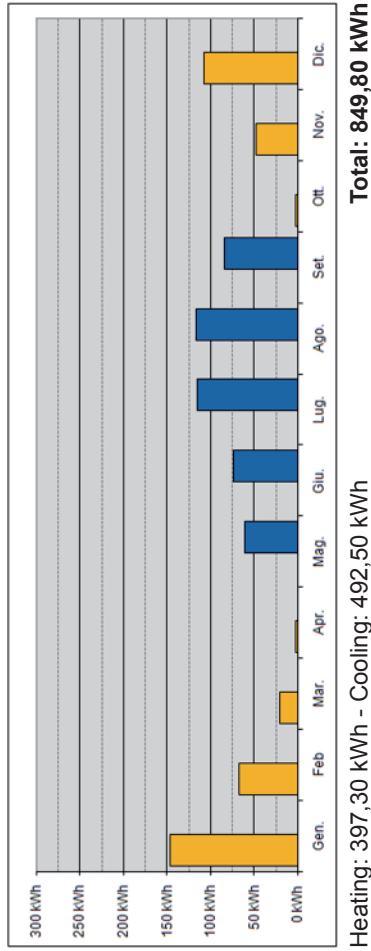
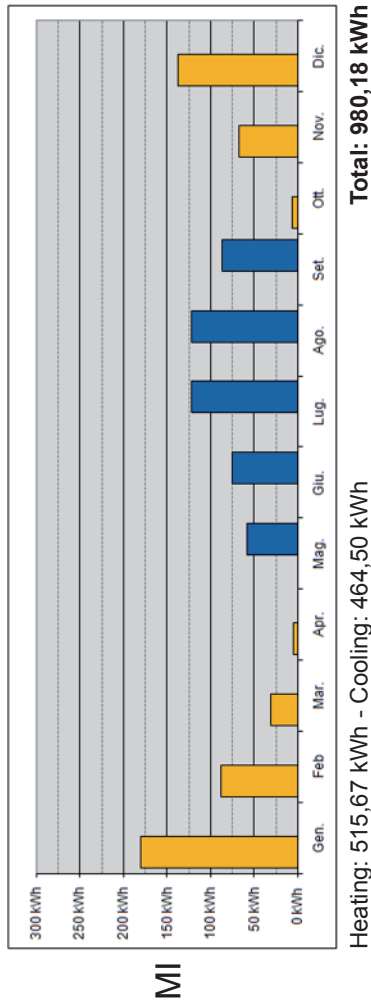
CT

analisi di sensibilità: **VARIAZIONE SUPERFICIE FINESTRATA**  
 orientamento: **SUD** - superficie finestrata **20%**

**FABBISOGNO ENERGETICO**

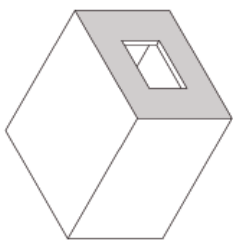


**INVOLUCRO DI RIFERIMENTO: muratura a cassetta**

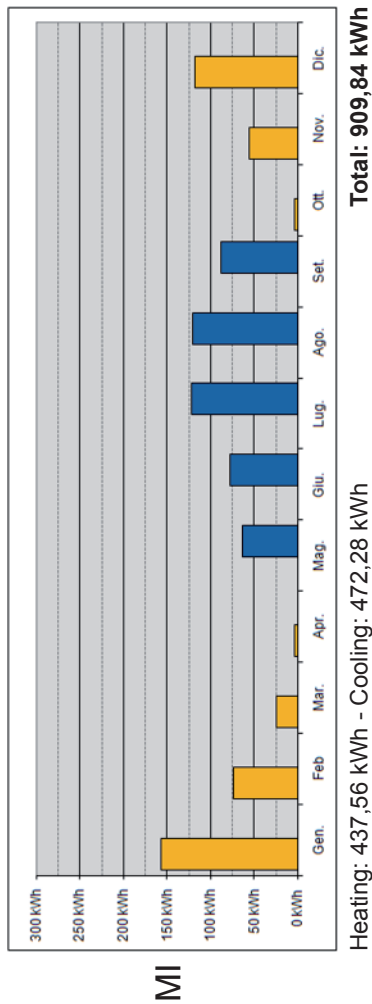


FABBISOGNO ENERGETICO

analisi di sensibilità: **VARIAZIONE SUPERFICIE FINESTRATA**  
 orientamento: **SUD** - superficie finestrata 20%

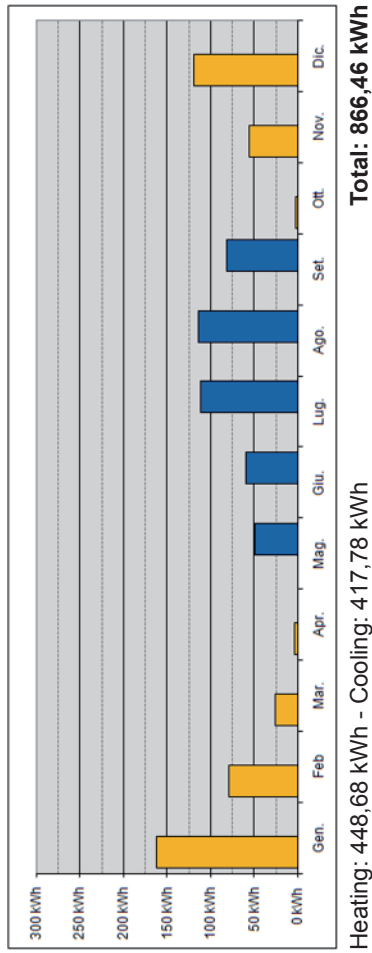


**INVOLUCRO TIPO 3: con TIM**

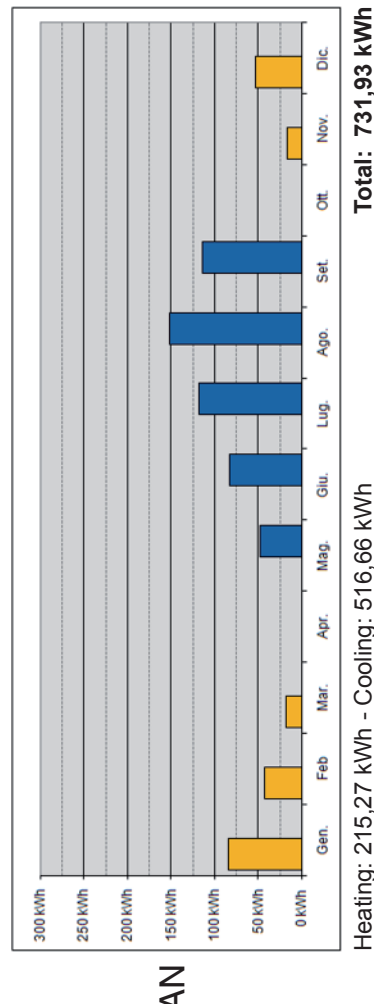


**MI**

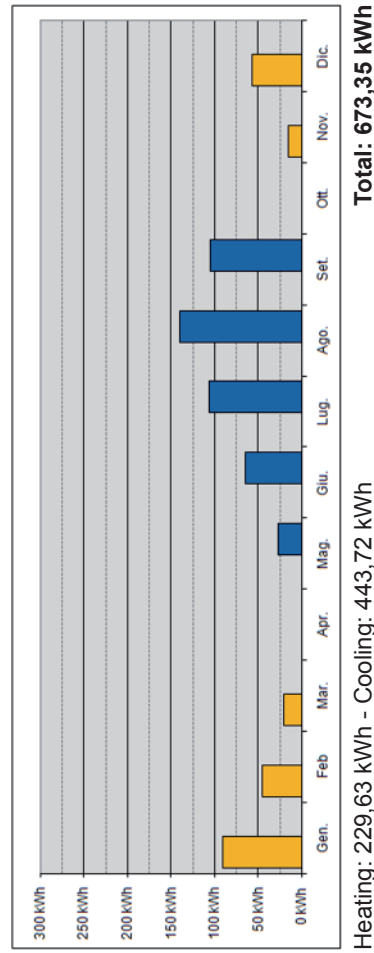
**INVOLUCRO TIPO 3: con PCM**



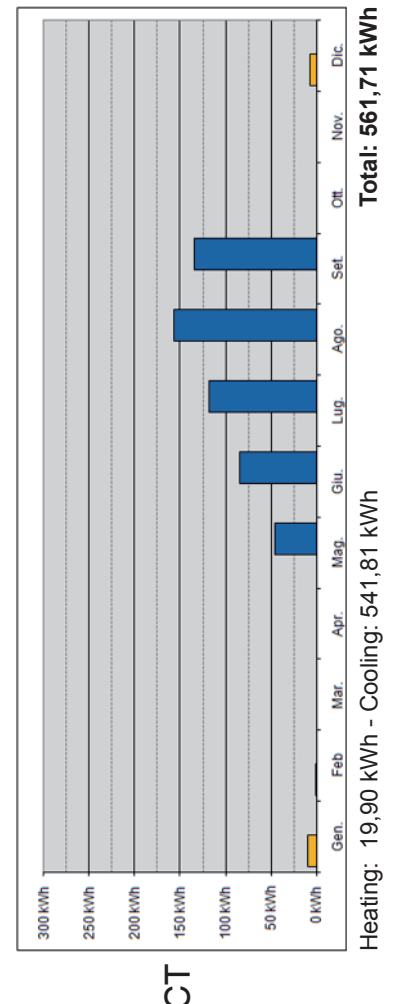
**MI**



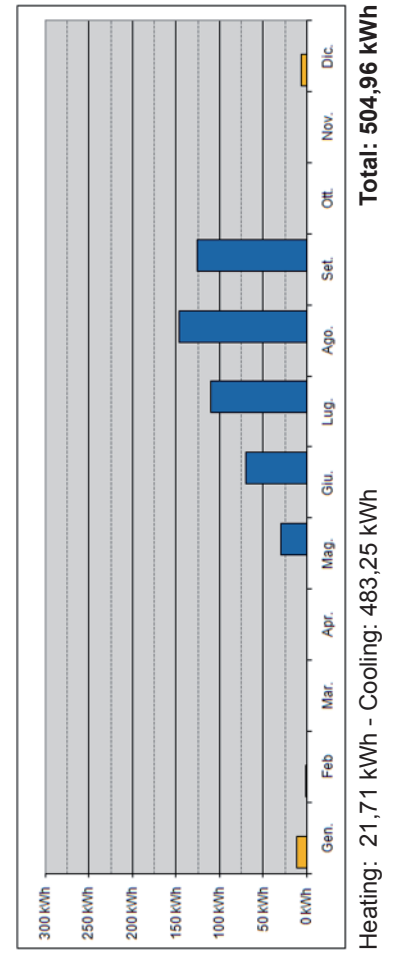
**AN**



**AN**



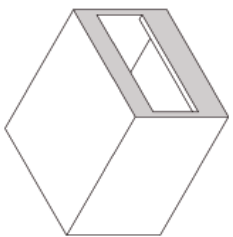
**CT**



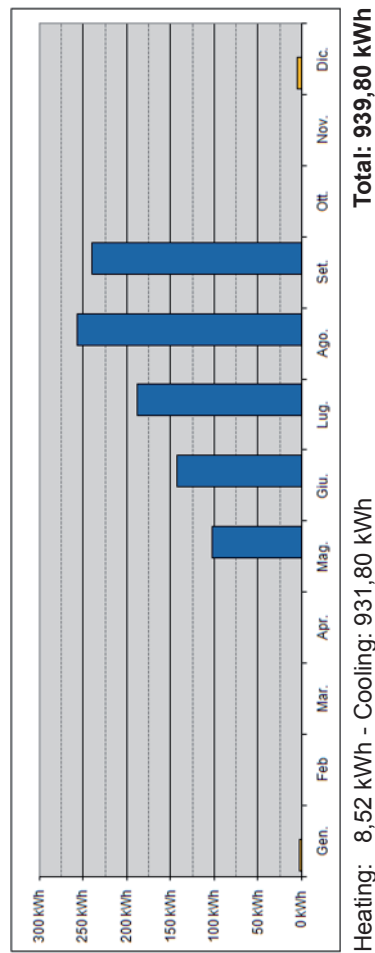
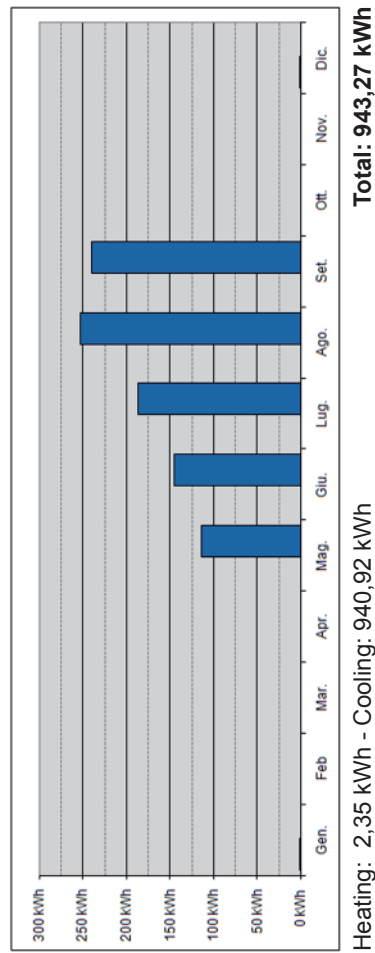
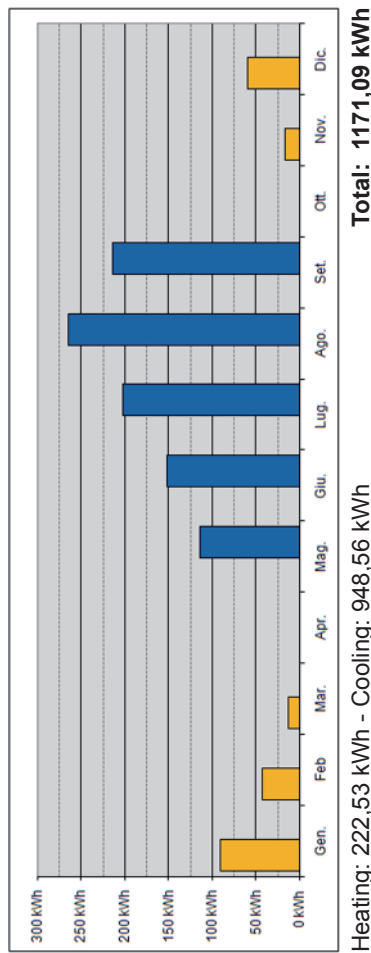
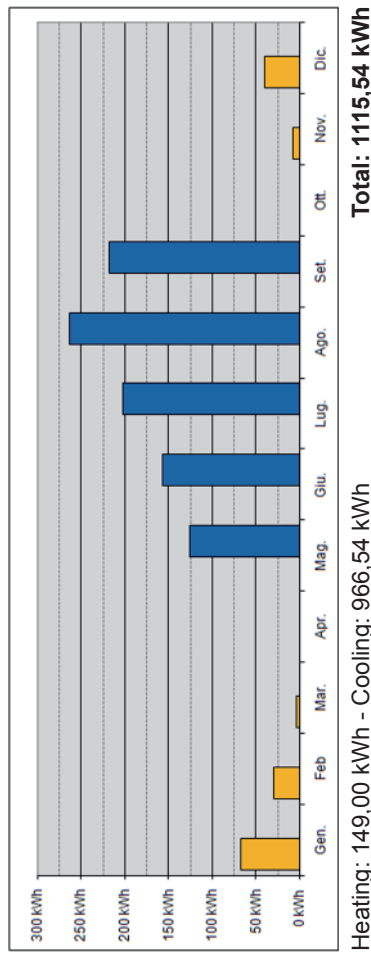
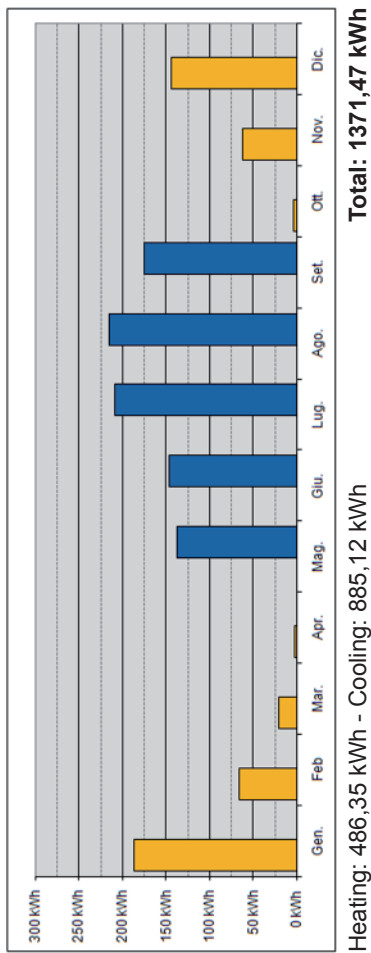
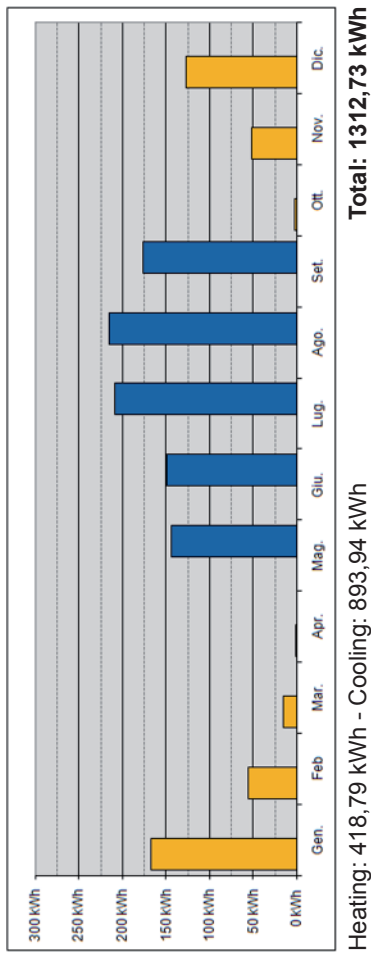
**CT**

analisi di sensibilità: **VARIAZIONE SUPERFICIE FINESTRATA**  
 orientamento: **SUD** - superficie finestrata **50%**

FABBISOGNO ENERGETICO

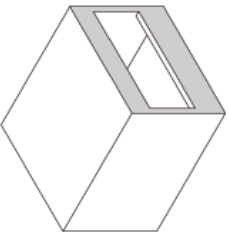


**INVOLUCRO TIPO 1: con VIP**

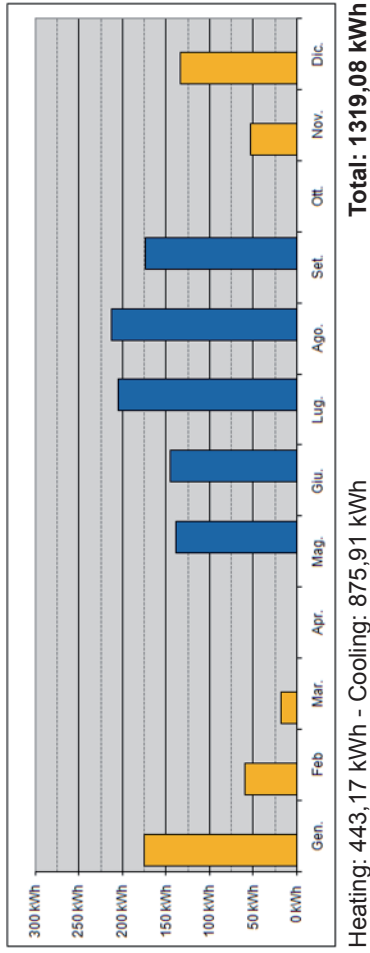


FABBISOGNO ENERGETICO

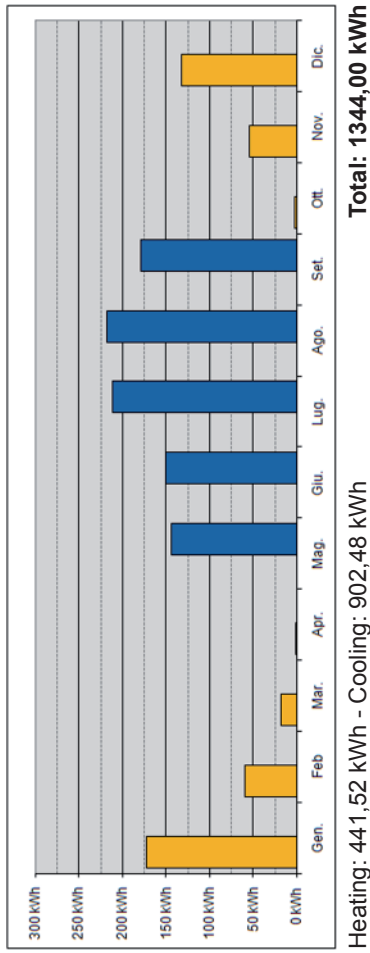
analisi di sensibilità: **VARIAZIONE SUPERFICIE FINESTRATA**  
 orientamento: **SUD** - superficie finestrata 50%



INVOLUCRO TIPO 3: con PCM



INVOLUCRO TIPO 3: con TIM



MI

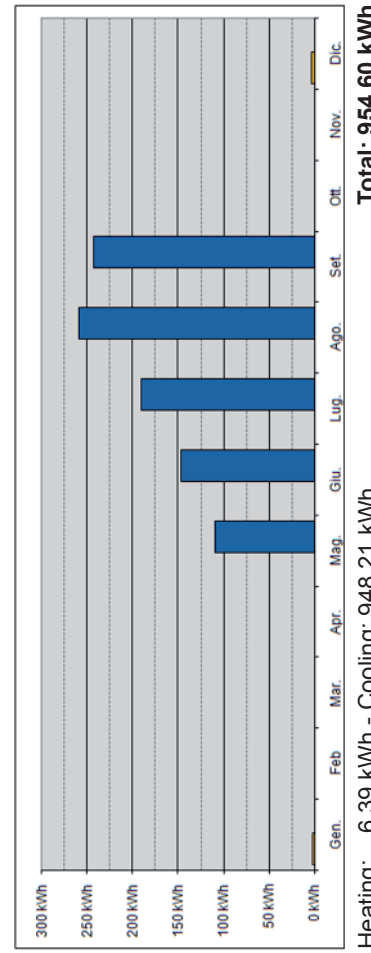
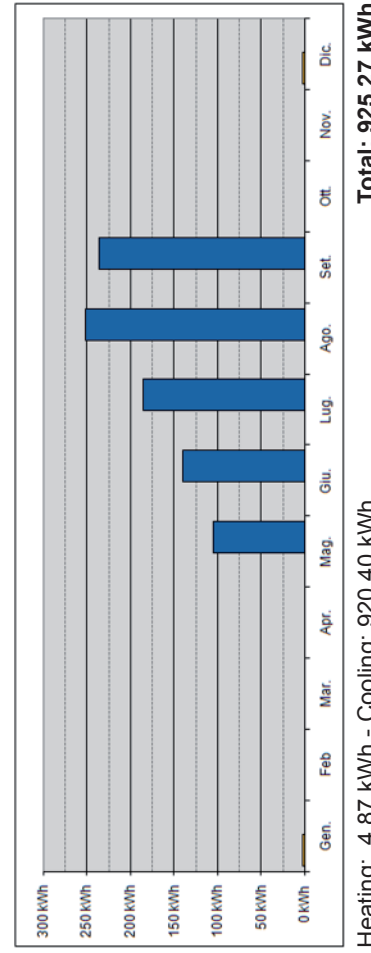
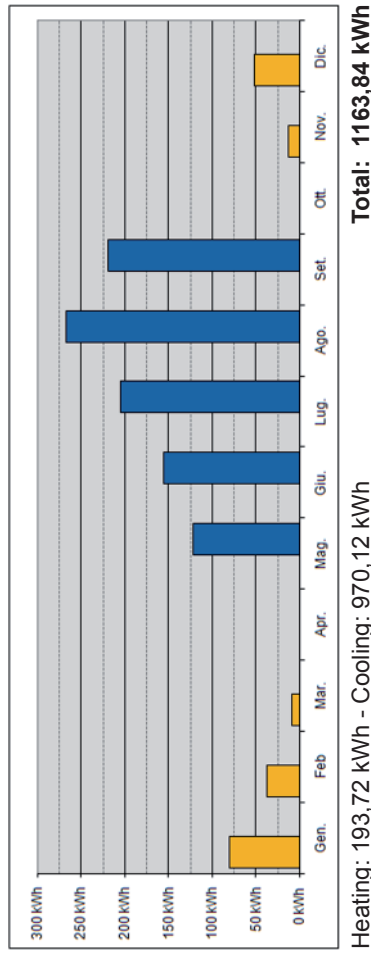
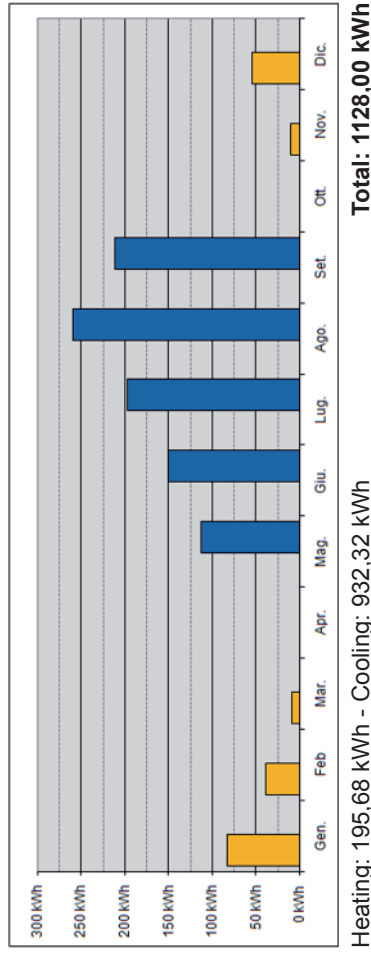
MI

AN

AN

CT

CT









## Bibliografia argomentata

La presente bibliografia è costituita da due sezioni: la prima raccoglie testi di carattere generale che costituiscono i riferimenti teorici di base riconducibili all'area disciplinare della Tecnologia dell'Architettura; la seconda, articolata per argomenti, raccoglie testi direttamente collegati al tema della ricerca.

Con l'intento di ripercorrere l'evoluzione culturale che negli ultimi anni ha portato alla sempre maggiore attenzione alle problematiche ambientali e dell'efficienza energetica ed ecologica degli edifici, i titoli sono riportati in ordine cronologico facendo riferimento alla prima edizione nella lingua originale. Per i testi stranieri, consultati in italiano, sono riportati sia i dati dell'edizione originale che quelli del traduttore e della prima edizione in italiano.

I criteri che hanno determinato la scelta dei testi da inserire in ciascun ambito tematico sono indicati sinteticamente nelle note che precedono ciascuna sezione.

### 1. TESTI DI CARATTERE GENERALE

Testi riconducibili all'ambito tematico della Tecnologia dell'Architettura che, nonostante non siano direttamente collegati al tema della ricerca, hanno contribuito a sviluppare una base conoscitiva culturale e scientifica indispensabile allo svolgimento della ricerca stessa.

- Maldonado Tomás, *La speranza progettuale. Ambiente e società*, Einaudi, Torino, 1970
- Nardi Guido, *Progettazione architettonica per sistemi e componenti*, Franco Angeli Editore, Milano, 1976
- Ciribini Giuseppe, *Tecnologia e progetto. Argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Celid, Torino, 1984
- Nardi Guido, *Le nuove radici antiche*, Franco Angeli, Milano, 1986
- Maldonado Tomás, *Il futuro della modernità*, Feltrinelli, Milano, 1987
- Blanchère Gérard, Nicola Sinopoli, Franco Laner, Vittorio Manfron, Gianfranco Roccatagliata, Pietro Zennaro, *Qualità norma e progetto*, Arsenale Editrice, Venezia, 1988
- Campioli Andrea, *I presagi di un nuovo costruire. Il linguaggio delle tecniche esecutive nell'architettura della seconda età della macchina*, Franco Angeli, Milano, 1988
- Chiapponi Medardo, *Ambiente: gestione e strategia. Un contributo alla teoria della progettazione ambientale*, Feltrinelli Editore, 1989
- Vitale Augusto, Perriccioli Massimo, Pone Sergio, *Architettura e costruzione. Il problema della tecnica negli scritti dei protagonisti dell'architettura moderna*, Franco Angeli, Milano, 1989

- Torricelli M. Chiara, *Normazione, qualità, processo edilizio*, Alinea Editrice, Firenze, 1990
- Gangemi Virginia (a cura di), *Architettura e tecnologia appropriata*, Franco Angeli, Milano, 1991
- Ciribini Giuseppe (a cura di), *Tecnologie della costruzione*, la Nuova Italia Scientifica, Roma, 1992
- Gangemi Virginia, *Cultura e impegno progettuale*, Franco Angeli, Milano, 1992
- Campioli Andrea, *Il contesto del progetto. Il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, Franco Angeli, Milano, 1993
- Nardi Guido, Campioli Andrea, Mangiarotti Anna, *Frammenti di coscienza tecnica*, Franco Angeli, Milano, 1994
- Truppi Carlo, La Creta Rosalba (a cura di), *L'architetto tra tecnologia e progetto*, Franco Angeli, Milano, 1994
- Guazzo Giovanni, *Eduardo Vittoria. L'utopia come laboratorio sperimentale*, Gangemi Editore, Roma, 1995
- Mangiarotti Anna, *Le tecniche dell'architettura contemporanea. Evoluzione e innovazione degli elementi costruttivi*, Franco Angeli, Milano, 1995
- Vitale Augusto, *Argomenti per il costruire contemporaneo*, Franco Angeli, Milano, 1995
- Ferrini Susanna, *La prefigurazione architettonica nella dialettica tra perfezione e contemporaneità. Il nodo teorico della prefabbricazione nell'architettura moderna e contemporanea*, Gangemi Editore, Roma, 1996
- Nardi Guido (a cura di), *Aspettando il progetto*, Franco Angeli, Milano, 1996
- Sinopoli Nicola, *La tecnologia invisibile*, Franco Angeli, Milano, 1997
- Rigamonti Ennio, *L'innovazione nascosta. Il caso delle costruzioni*, Franco Angeli, Milano, 1998
- Claudi de Saint Mihiel Claudio (a cura di), *Le forme dell'innovazione*, Pinelli, Milano, 1999
- Truppi Carlo, *La città del progetto*, Liguori, Napoli, 1999
- Zanelli Alessandra, *Ricerche di tecnologia dell'architettura*, Clup, Milano, 2000
- Nardi Guido, *Tecnologia dell'architettura. Teoria e storia*, Libreria CLUP, Milano, 2001
- Torricelli M. Chiara, Del Nord Romano, Felli Paolo, *Materiali e tecnologia dell'architettura*, Laterza, Bari-Roma, 2001
- Bertoldini Maria, Zanelli Alessandra (a cura di), *Tecnica, progetto e scienze umane*, Libreria CLUP, Milano, 2003

- Nardi Guido, *Percorsi di un pensiero progettuale*, Libreria CLUP, Milano, 2003
- Perriccioli Massimo, *Abitare, costruire e tempo*, Libreria CLUP, Milano, 2003
- Esposito Maria Antonietta, *Tecnologia dell'architettura, creatività e innovazione nella ricerca. Materiali del I Seminario OSDOTTA*, Firenze University Press, Firenze, 2006
- Sonsini Alessandro (a cura di), *Interazione e mobilità per la ricerca. Materiali del II Seminario OSDOTTA*, Firenze University Press, Firenze, 2007
- Perriccioli Massimo (a cura di), *Incontri dell'Annunziata. Atti V e VI edizione*, Edizioni SIMPLE, Macerata, 2008

## 2. BIBLIOGRAFIA PER ARGOMENTI RELATIVA AI TEMI DELLA RICERCA

### **Sostenibilità ambientale, efficienza energetica ed efficacia ecologica**

Manuali tecnici, risultati di ricerche scientifiche o raccolte di casi studio sui temi della sostenibilità ambientale, dell'efficienza energetica e dell'efficacia ecologica del progetto di architettura.

- Bahnam Reyner, *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Architectural Press, London, 1969 (tr.it di Giovanni Morabito, *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Roma-Bari, 1995)
- Aa.Vv., *Solar 4. Passive Solar Architecture in the US and in the Federal Republic of Germany*, America Haus Berlin, Berlin, 1981
- Sabady Pierre Robert, *Solar Architectur Praxis*, Helion Verlag, Zürich, 1981
- Butera Federico M., *Energia e tecnologia fra uomo e ambiente. Complementi di fisica tecnica per architetti*, CittàStudi, Milano, 1992
- Benedetti Cristina, *Manuale di Architettura Bioclimatica*, Maggioli Editori, Rimini, 1994
- Sala Marco, *Tecnologie bioclimatiche in Europa*, Alinea editrice, Firenze, 1994
- Francese Dora, *Architettura bioclimatica*, UTET, Milano, 1996
- Herzog Thomas, *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, Prestel, Munich-London-New York, 1996
- Battisti Alessandra, Tucci Fabrizio, *Ambiente e Cultura dell'Abitare*, Edizioni Librerie Dedalo, Roma, 2000
- Behling Sophia, Behling Stefan, *Solar Power. The Evolution of Sustainable Architecture*, Prestel Verlag, München / New York, 2000
- Diappi Lidia (a cura di), *Sostenibilità urbana: dai principi ai metodi di analisi; forma urbana, energia e ambiente*, Paravia Scriptorium, Torino, 2000

- Gallo Cettina, *La qualità energetica ed ambientale nell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 ore, Milano, 2000
- Amery Carl, Scheer Hermann, *Klimawechsel von der Fossilien zur solaren Kultur*, Kunstmann Verlag, München, 2001
- Gauzin-Müller Dominique, *L'architecture écologique*, Le Moniteur, Paris, 2001 (tr. it. a cura di Marco Moro, *Architettura sostenibile. 29 esempi europei di edifici ed insediamenti ad alta qualità ambientale*, Edizioni Ambiente, Milano, 2003)
- Herzog Thomas, *Thomas Herzog: Architektur + Technologie*, Prestel, 2001
- Paoletta Adriano (a cura di), *L'edificio ecologico. Obiettivi riconoscibilità, caratteri tecnologia*, Gangemi editore, Roma, 2001
- Sala Marco (a cura di), *Recupero edilizio e bioclimatica. Strumenti, tecniche e casi studio*, Esselibri, Napoli, 2001
- Hawkes Dean, Foster Wayne, *Energieeffizientes Bauen*, Deutsche Verlags - Anstalt, Stuttgart - München, 2002
- Jones David Iloid, *Atlante di Bioarchitettura*, UTET, Torino, 2002
- Wienke Uwe, *L'edificio passivo: standard-requisiti-esempi*, Alinea Editrice, Firenze, 2002
- Rogora Alessandro, *Architettura e bioclimatica. La rappresentazione dell'energia nel progetto*, Sistemi editoriali, Napoli, 2003
- Schittich Christian (a cura di), *Solares Bauen*, Birkhäuser, Basel, 2003 (tr. it di George Frazzica *Architettura Solare*, Birkhäuser, Basel, 2005)
- Teneggi Roberto, *Bioarchitettura tra norma e progetto. Casi di studio in Emilia Romagna*, EdicomEdizioni, Gorizia, 2003.
- Paoletta Adriano, *Abitare i luoghi – insediamenti, tecnologia, paesaggio*, BFS Edizioni, Pisa, 2004
- Schittich Christian (a cura di), *Verdichtetes Wohnen*, Birkhäuser, Basel, 2004 (tr. it di George Frazzica, *Alta densità abitativa*, Birkhäuser, Basel, 2005)
- Bottero Maria, *Progetto Ambiente*, Libreria Clup, Milano, 2005
- Dierna Salvatore, Orlandi Fabrizio, *Buone Pratiche per il Quartiere Ecologico. Linee-guida di progettazione sostenibile nella città della trasformazione*, Alinea Editrice, Firenze, 2005
- Gallo Paola (a cura di), *Progettazione sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2005
- Grosso Mario, Peretti Gabriella, Piardi Silvia, Scudo Gianni, *Progettazione ecocompatibile dell'architettura. Concetti e metodi, strumenti d'analisi e valutazione, esempi applicativi*, Sistemi editoriali, Napoli, 2005
- Gunßer Christoph, *Energiesparhäuser. Neue Konzepte aus Deutschland, Österreich und der Schweiz*, Deutsche Verlags - Anstalt, Stuttgart - München, 2005

- Hausladen Gerhard, de Saldanha Michael, Liedl Petra, Sager Christina, *ClimaDesign. Lösungen für Gebäude die mit weniger Technik mehr können*, Callwey, München, 2005
- Lantschner Norbert, *CasaClima vivi in più*, Edizioni Raetia, Bolzano, 2005
- Losasso Mario (a cura di), *Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Cleam edizioni, Napoli, 2005
- Sciupi Fabio, Carletti Cristina (a cura di), *Passivhaus-Evoluzione energetica e comfort ambientale negli edifici italiani*, Pitagora editrice, Bologna, 2005
- Carotti Attilio, Madé Domenico, *La Casa Passiva in Italia. Teoria di una "casa passiva" in tecnologia tradizionale*, Rockwool, Milano, 2006
- Richarz Clemens, Schulz Christina, Zeitler Friedemann, *Detail Praxis - Energiesparendes Bauen im Bestand*, Edition Detail, Minich, 2006
- Aa.Vv., *Il nuovo manuale europeo di bioarchitettura*, Mancosu Editore, Roma, 2007
- Aa.Vv., *Passivhaus per il sud Europa. Linee guida per la progettazione*, Rockwool, Milano, 2007
- Cellai Gianfranco, Bazzini Giovanni, Gai Marco, *Le prestazioni energetiche degli edifici*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna, 2007
- Croce Sergio, Poli Tiziana, *Case a basso consumo energetico. Strategie progettuali per edifici a climatizzazione spontanea in Italia*, Il Sole 24 ore Pirola, Milano, 2007
- Hegger Manfred, Fuchs Matthias, Stark Thomas, Zeumer Martin, *Energie Atlas*, Edition DETAIL, München, 2007 (tr. It. George Frazzica, Bruno Persico, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008)
- Krimmling Jörn, *Energieeffiziente Gebäude. Grundwissen und Arbeitsinstrumente für den Energieberater*, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2007
- Rava Paoli, *Tecniche costruttive per l'efficienza energetica e la sostenibilità*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2007
- Traversi Antonio S., La Forgia Domenico, Ruggiero Francesco, *Efficienza energetica in edilizia*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna, 2007
- Aa.Vv., *+ qualità – energia per costruire sostenibile*, BE-MA Editrice, Milano, 2008
- Hegger Manfred (a cura di), *Sonnige Zeiten. Solar decathlon Haus Team Deutschland 2007*, Verlag Müller + Busmann, Wuppertal, 2008
- Grosso Mario, *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2008
- Lavagna Monica, *Life cycle assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano, 2008
- Maas Anton, *Umweltbewusstes Bauen. Energieeffizienz - Behaglichkeit -*

*Materialien*, Fraunhofer Irb, Stuttgart, 2008

### **Certificazione energetica degli edifici**

Testi esplicativi delle recenti normative europee ed italiane sulla certificazione energetica degli edifici.

- Gallo Cettina, *L'efficienza energetica degli edifici. Principi di sostenibilità e strumenti gestionali di mercato*, il Sole 24ore, Milano, 2006
- Aa.Vv., *Certificazione energetica degli edifici*, Buffetti, Roma, 2007
- Aa.Vv., *Certificazione energetica degli edifici*, DEI, Roma, 2007
- Cannaviello Monica, Violano Antonella (a cura di), *La certificazione energetica degli edifici esistenti. Leggi e norme di riferimento. Metodologie, strumenti e modelli di calcolo; casi esemplificativi*, Franco Angeli, Roma, 2007
- Greco Mariateresa, Marino Francesco Paolo R., *La certificazione energetica degli edifici ed il D.Lgs. 192/2005 e 311/2006*, EPC Libri, Roma, 2007
- Rizzo Gianfranco, Filippi Marco (a cura di), *Certificazione energetica e verifica ambientale degli edifici. Valutazione delle prestazioni energetiche e della sostenibilità delle scelte progettuali*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2007

### **Comfort ambientale**

Testi generali e manuali tecnici sul comfort ambientale, in particolare sul benessere termico, che illustrano sistemi di approvvigionamento energetico passivi in grado di garantire il comfort ambientale interno limitando al minimo l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili.

- Fitch James Marston, *American Building 2: The Environmental Forces that shape it*, Houghton Mifflin, Boston, 1972 (tr. it. A cura di Girolamo Mancuso, *La progettazione ambientale. Analisi interdisciplinare dei sistemi di controllo dell'ambiente*, Franco Muzzio & C. Editore, Padova, 1980)
- Butera Federico M., *Energia e tecnologia fra uomo e ambiente. Complementi di fisica tecnica per architetti*, CittaStudi, Biella, 1992
- Rietschel Hermann, Esdorn Horst, *Raumklimatechnik*, Springer, Berlin, 1994
- Butera Federico M., *Architettura e ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica luminosa e acustica degli edifici*, Etaslibri, Milano, 1995
- Torricelli M. Chiara, Sala Marco, Secchi Simone, *La luce del giorno. Tecnologie e strumenti per la progettazione*, Alinea Editrice, Firenze, 1995
- Alfano Gaetano, D'Ambrosio Francesca R., De' Rossi Filippo, *Fondamenti di benessere termo-igrometrico per la progettazione e la gestione degli impianti di condizionamento*, CUEN, Napoli, 1998
- Moncada Lo Giudice Gino, De Santoli Livio, *Fisica Tecnica Ambientale: benessere termico, acustico e visivo*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1999



- Marocco Marcello, Orlandi Fabrizio, *Qualità del comfort ambientale. Elementi per la progettazione*, Dedalo Librerie, Roma, 2000
- Lanutti Carlo, *Materiali dell'architettura nella progettazione del comfort ambientale. Gli aspetti immateriali dell'architettura*, Gangemi, Roma, 2001
- Francese Dora, *Il benessere negli interventi di recupero edilizio*, CUSL Nuovavita, Padova, 2002
- Carletti Cristina, Sciupi Fabio (a cura di), *Passivhaus. Evoluzione energetica e comfort ambientale negli edifici Italiani*, Pitagora Editrice, Bologna, 2005
- Mottura Giovanna, Pennisi Alessandra, *Progetti di luce*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna, 2005
- Rogora Alessandro, Dessi Valentina, *Il comfort ambientale negli spazi aperti*, Edicom, Montefalcone, 2005
- Wienke Uwe, *Aria calore luce. Il comfort ambientale negli edifici*, DEI, Roma, 2005
- Alcamo Giuseppina, *Illuminazione naturale e simulazioni energetiche*, Alinea editrice, Firenze, 2007
- Butera Federico M., *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, Milano, nuova edizione aggiornata 2007
- Francese Dora, *Architettura e vivibilità. Modelli di verifica, principi di biocompatibilità. Esempi di opere per il rispetto ambientale*, Franco Angeli, Milano, 2007
- Rogora Alessandro, Locatelli Alessandra, *L'illuminazione canalizzata in architettura. Progettazione, tecniche, esempi*, Sistemi editoriali, Napoli, 2008

### **Involucro edilizio e contenimento energetico**

Testi sull'involucro edilizio inteso come un'interfaccia dinamica che, interagendo con l'ambiente esterno, contribuisce al raggiungimento del comfort ambientale interno. In questa sezione sono raccolte anche pubblicazioni su materiali innovativi per l'involucro edilizio. Una sezione più ampia su tale argomento è contenuta nella sitografia che segue.

- Kerschberger Alfred, *Solares Bauen mit transparenter Wärmedämmung - Systeme - Wirtschaftlichkeit - Perspektiven*, Bauverlag, Wiesbaden/Berlin, 1996
- Kähler Gert, Schuler Matthias, Hausladen Gerhard, Müller Helmut F.O., Oesterle Eberhard, Battle Guy, *Die Klima-aktive Fassade*, Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden-Echterdingen, 1999
- Oesterle Eberhard, Lutz Martin, Lieb Rolf-Dieter, *Doppelschalige Fassaden*, Callway, München, 1999
- Tucci Fabrizio, *Ecoefficienza dell'involucro architettonico*, Editrice Librerie Dedalo, Roma, 2000
- Schittich Christian (a cura di), *Gebäudehüllen*, Birkhäuser, Basel, 2001 (tr.

- it di Rossella Letizia Mombelli, *Involucri edilizi*, Birkhäuser, Basel, 2003)
- Panarelli Gianmichele, Angelucci Filippo, *Involucri energetici*, Sala editori, Pescara, 2003
  - Herzog Thomas, Krippner Roland, Lang Werner, *Fassaden Atlas*, Edition DETAIL, München, 2004
  - Nava Consuelo, *Involucro ed edifici a basso impatto ambientale. Caratteri, tecnologie e materiali*, Falzea editore, Reggio Calabria, 2004
  - Altomonte Sergio, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2005
  - Rei Johann, Renning Martin, Erhorn Hans, Rouvel Lothar, *Solare Fassadensysteme - energetische Effizienz - Kosten - Wirtschaftlichkeit*, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2005
  - Sala Marco (et al.), *Schermature Solari*, Alinea Editrice, Firenze, 2005
  - Brunoro Silvia, *Efficienza energetica delle facciate. Standard, requisiti, esempi per la riqualificazione architettonica*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2006
  - Hausladen Gerhard, de Saldanha Michael, Liedl Petra, *ClimaSkin. Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten*, Callwey, München, 2006
  - Imperadori Marco (a cura di), *La progettazione con tecnologia stratificata a secco. Realizzazioni innovative, linee guida e prodotti per una meccanica dell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 ore, Milano, 2006
  - Lavagna Monica, *Sostenibilità e risparmio energetico. Soluzioni tecniche per involucri eco-efficienti*, Libreria Clup, Milano, 2006
  - Tucci Fabrizio, *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Alinea editrice, Firenze, 2006
  - Cremers Jan, *Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle Technologische, bauphysikalische und architektonische Aspekte*, Martin Meidenbauer Verlag, München, 2007
  - Tichelmann Karsten, Pfau Jochen, *Detail praxis - Trockenbau*, Edition Detail, Munich, 2007

## Sitografia

L'innovatività di alcuni argomenti trattati nella ricerca ha fatto sì che non vi fossero dei testi di riferimento sui materiali, i sistemi e i componenti, spesso ancora in fase di sperimentazione, presi in esame nel capitolo 2.

Uno strumento fondamentale per sviluppare la base conoscitiva relativa a tali tematiche e per acquisire informazioni aggiornate è stato costituito dalla consultazione dei siti-web dei centri di ricerca che si occupano dello sviluppo e della valutazione delle prestazioni in opera di sistemi di involucro edilizio innovativi e da quelli delle ditte produttrici dei materiali, sistemi e componenti innovativi presi in esame.

Di seguito i principali siti-web di riferimento suddivisi in quattro sezioni di cui le prime tre corrispondenti alle parti in cui è articolato il capitolo 2 e la quarta in cui sono raccolti i principali siti-web, suddivisi per argomento, consultati durante il lavoro di ricerca.

### 1. TEST-ROOMS

#### **Centri di ricerca europei che si occupano dello sviluppo di involucri energeticamente efficienti**

- [www.cener.com](http://www.cener.com)  
Ciudad de la Innovacion (CENER), Sarriguen, Spagna
- [www.enea.it](http://www.enea.it)  
Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA), Roma, Italia
- [www.energetica.univpm.it](http://www.energetica.univpm.it)  
Università Politecnica delle Marche – Dipartimento di energetica, Ancona, Italia
- [www.ibp.fhg.de](http://www.ibp.fhg.de)  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Valley, Germania
- [www.ise.fhg.de](http://www.ise.fhg.de)  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Friburgo, Germania
- [www.itc.cnr.it](http://www.itc.cnr.it)  
Istituto per le tecnologie della Costruzione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ITC-CNR); San Giuliano Milanese (MI), Italia
- [www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)  
Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), Würzburg, Germania

### 2. PRODOTTI INNOVATIVI PER INVOLUCRI EDILIZI ENERGETICAMENTE EFFICIENTI

#### **VIP (Vacuum Insulation Panels)**

*Portali sui VIP:*

- [www.vip-bau.ch](http://www.vip-bau.ch)  
Portale svizzero dei VIP applicati all'edilizia

- [www.vip-bau.de](http://www.vip-bau.de)  
Portale tedesco dei Vip applicati all'edilizia

*Ditte produttrici di VIP:*

- [www.boetker.de](http://www.boetker.de)  
Boetker Metall + Glas, Stuhr, Germania
- [www.glaskeil.de](http://www.glaskeil.de)  
Glaskeil, Würzburg, Germania
- [www.lambdasave.com](http://www.lambdasave.com)  
Lambdasave, Emdem, Germania
- [www.linzmeier.de](http://www.linzmeier.de)  
Linzmeier Bauelemente, Riedlingen, Germania
- [www.microtherm.uk.com](http://www.microtherm.uk.com)  
Microtherm, Sint-Niklaas, Belgio
- [www.porextherm.de](http://www.porextherm.de)  
Porexterm, Kempten, Germania
- [www.saesgetters.com](http://www.saesgetters.com)  
Saesgetters, Linate, Milano
- [www.schueco.com](http://www.schueco.com)  
Schüeco, Bielefeld, Germania
- [www.vaku-isotherm.de](http://www.vaku-isotherm.de)  
Vaku-Isotherm, Rossau, Germania
- [www.va-q-tec.de](http://www.va-q-tec.de)  
VA\_Q-tec, Würzburg, Germania
- [www.variotec.de](http://www.variotec.de)  
Variotec Sadwichelemente, Neumarkt, Germania

**PCM (Phase Changing Materials)**

*Ditte produttrici di PCM:*

- [www.basf.com](http://www.basf.com) ([www.micronal.de](http://www.micronal.de))  
BASF, Ludwigshafen, Germania
- [www.doerken.de](http://www.doerken.de)  
Dörken, Herdecke, Germania
- [www.glassx.ch](http://www.glassx.ch)  
GlassX, Zürich, Svizzera
- [www.maxit-italia.it](http://www.maxit-italia.it)  
Maxit-italia, Pedrengo (BG), Italia

## **TIM (Transparent Insulation Materials)**

*Associazioni professionali per l'utilizzo di TIM in edilizia:*

- [www.umwelt-wand.de](http://www.umwelt-wand.de)  
Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V, Gundelfingen,  
Germania

*Ditte produttrici di TIM:*

- [www.bayersheeteurope.de](http://www.bayersheeteurope.de)  
Bayer Sheet Europe, Darmstadt, Germania
- [www.cabot-corp.com](http://www.cabot-corp.com)  
Cabot Rheinfelden, Rheinfelden, Germania
- [www.gap-solar.at](http://www.gap-solar.at)  
Gap-solar, Perg, Austria
- [www.gap-solution.at](http://www.gap-solution.at)  
Gap-solution, Leonding, Austria
- [www.glassx.ch](http://www.glassx.ch)  
GlassX, Zürich, Svizzera
- [www.lambertsglas.com](http://www.lambertsglas.com)  
Glasfabrik Lamberts, Wunsiedel-Holenbrunn, Germania
- [www.isoflex.se](http://www.isoflex.se)  
Isoflex, Gustafs, Svezia
- [www.les-gmbh.de](http://www.les-gmbh.de)  
L.E.S., Rednitzhembach, Germania
- [www.okalux.de](http://www.okalux.de)  
Okalux, Marktheidenfeld-Altfield, Germania
- [www.scobalit.ch](http://www.scobalit.ch)  
Scobalit, Winterthur, Svizzera
- [www.sto.de](http://www.sto.de)  
Sto, Stühlingen, Germania
- [www.termolux.ch](http://www.termolux.ch)  
Termolux, Chiasso, Svizzera
- [www.wacotech.de](http://www.wacotech.de)  
Wacotech, Bielefeld-Brake, Germania

## **3. SITI-WEB DI RIFERIMENTO**

### **Dati climatici**

- <http://clisun.casaccia.enea.it/Pagine/Profilo.htm>  
Archivio climatico DBT dell'ENEA
- [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)  
ASHRAE: Advancing HVAC&R to serve humanity and promote a  
sustainable world

- [www.cnr.it](http://www.cnr.it)  
CNR: Consiglio Nazionale delle Ricerche
- [www.enea.it](http://www.enea.it)  
ENEA: Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente
- [www.eurometeo.com](http://www.eurometeo.com)  
Eurometeo
- [www.ninbus.it](http://www.ninbus.it)  
Società Italiana Meteorologia
- [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov)  
NOAA: National Oceanic Atmospheric Administration
- [www.nrel.org](http://www.nrel.org)  
NREL: National Renewable Energy Laboratory degli Stati Uniti d'America
- [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)  
MeteoNorm: Software per il calcolo dei dati climatici
- [www.stadtklima-stuttgart.de](http://www.stadtklima-stuttgart.de)  
Software on-line per il calcolo della radiazione solare del Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie

## Direttive, leggi e norme di riferimento

### Direttive europee

- Direttiva europea 89/106/CEE del 21 dicembre 1988  
*relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione, l'edificio e i relativi impianti di riscaldamento, condizionamento e areazione.*
- Direttiva europea 93/76/CEE del 13 settembre 1993  
*intesa a limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica (SAVE).*
- Direttiva europea 2001/77/CE del 27 settembre 2001  
*sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità.*
- Direttiva europea 2002/91/CE del 16 dicembre 2002  
*sul rendimento energetico in edilizia.*
- Direttiva europea 2006/32/CE del 5 aprile 2006  
*concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici.*

### Leggi nazionali

- Legge 9 gennaio del 1991 n°10  
*Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*

### Decreti legislativi

- D.L.vo 192/2005  
*Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*
- D.L.vo 311/2006  
*Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione.*

### Decreti del presidente della repubblica

- DPR 303/1956  
*Norme generali per l'igiene del lavoro.*
- DPR 412/1993  
*Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento*

*dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4 della legge 9 gennaio 1991, n.10. (Versione revisionata a seguito del DPR 21/12/99 n.551).*

### **Norme UNI, ISO ed EN**

Specifiche tecniche approvate da un organismo riconosciuto e appartenenti ad una o a più delle seguenti categorie:

UNI - Norme nazionali elaborate direttamente dalle Commissioni UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) o dagli Enti Federati.

ISO - Norme internazionali elaborate dall'ISO (International Organization for Standardization).

EN - Norme europee elaborate dal CEN (Comité Européen de Normalisation) e obbligatoriamente recepite dai Paesi membri CEN.

#### *Classi di esigenze e qualità:*

- UNI 8289:1981  
*Edilizia. Esigenze dell'utenza finale. Classificazione.*
- UNI EN ISO 9000:2005  
*Sistemi di gestione per la qualità - Fondamenti e vocabolario*

#### *Prestazioni energetiche degli edifici:*

- UNI EN 832:2001  
*Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento - Edifici residenziali.*
- UNI/TS 11300-1:2008  
*Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.*
- UNI/TS 11300-2:2008  
*Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.*
- UNI EN ISO 13790:2008  
*Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.*
- UNI EN 15251:2008  
*Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.*

#### *Benessere termico:*

- UNI 10344:1993  
*Riscaldamento degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia.*



- UNI 10345:1993  
*Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Trasmittanza termica dei componenti edilizi finestrati. Metodo di calcolo.*
- UNI 10346:1993  
*Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Scambi di energia termica tra terreno ed edificio. Metodo di calcolo.*
- UNI 10347:1993  
*Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Energia termica scambiata tra una tubazione e l'ambiente circostante. Metodo di calcolo.*
- UNI 10348:1993  
*Riscaldamento degli edifici. Rendimenti dei sistemi di riscaldamento. Metodo di calcolo.*
- UNI 10349:1994  
*Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.*
- UNI 10351:1994  
*Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore.*
- UNI 10355:1994  
*Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.*
- UNI 10376:1994  
*Isolamento termico degli impianti di riscaldamento e raffrescamento degli edifici.*
- UNI 10379:1994  
*Riscaldamento degli edifici. Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato. Metodo di calcolo e verifica.*
- UNI 10350:1999  
*Componenti edilizi e strutture edilizie - Prestazioni igrotermiche - Stima della temperatura superficiale interna per evitare umidità critica superficiale e valutazione del rischio di condensazione interstiziale.*
- UNI 10379:2005  
*Riscaldamento degli edifici - Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato.*
- UNI EN ISO 7730:2006  
*Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.*
- UNI EN ISO 13790:2008  
*Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.*
- UNI TS 11300-1:2008  
*Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.*
- UNI TS 11300-2:2008  
*Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*

*Benessere visivo:*

- UNI 10380:1994 + A1:1999  
*Illuminotecnica. Illuminazione di interni con luce artificiale.*
- UNI 10840:2000  
*Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale.*
- UNI EN 12464-1:2004  
*Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni.*
- UNI 10840:2007  
*Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale.*
- UNI EN 12464-2:2008  
*Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 2: Posti di lavoro in esterno.*

*Benessere acustico:*

- UNI EN ISO 3740:2002  
*Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore - Linee guida per l'uso delle norme di base.*
- UNI EN 12354-1:2002  
*Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti.*
- UNI EN 12354-2:2002  
*Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento acustico al calpestio tra ambienti.*
- UNI EN 12354-3:2002  
*Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea.*
- UNI EN 12354-4:2003  
*Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Trasmissione del rumore interno all'esterno.*
- UNI EN 12354-6:2006  
*Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Parte 6: Assorbimento acustico in ambienti chiusi.*
- UNI EN ISO 717-1:2007  
*Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 1: Isolamento acustico per via aerea.*
- UNI EN ISO 717-2:2007  
*Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 2: Isolamento del rumore di calpestio.*

*Benessere olfattivo:**- UNI 10339:1995*

*Impianti aeraulici al fine di benessere. Generalità, classificazione e requisiti.  
Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.*

*- UNI EN 12097:2007*

*Ventilazione degli edifici - Rete delle condotte - Requisiti relativi ai  
componenti atti a facilitare la manutenzione delle reti delle condotte.*













