

ESEMPI DI ARCHITETTURA

Esempi di Valore

Direttore

Olimpia Niglio

Kyoto University, Japan

Comitato scientifico

Taisuke Kuroda

Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan

Rubén Hernández Molina

Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia

Alberto Parducci

Università degli Studi di Perugia

Massimiliano Savorra

Università degli Studi del Molise

Cesare Sposito

Università degli Studi di Palermo

Comitato di redazione

Giuseppe De Giovanni

Università degli Studi di Palermo

Marzia Marandola

Sapienza Università di Roma

Alessio Pipinato

Università degli Studi di Padova

Bruno Pelucca

Università degli Studi di Firenze

Chiara Visentin

Università degli Studi di Pisa, Campus Lucca

ESEMPI DI ARCHITETTURA

La collana editoriale Esempi di Architettura nasce per divulgare pubblicazioni scientifiche edite dal mondo universitario e dai centri di ricerca, che focalizzino l'attenzione sulla lettura critica dei progetti. Si vuole così creare un luogo per un dibattito culturale su argomenti interdisciplinari con la finalità di approfondire tematiche attinenti a differenti ambiti di studio che vadano dalla storia, al restauro, alla progettazione architettonica e strutturale, all'analisi tecnologica, al paesaggio e alla città.

Le finalità scientifiche e culturali del progetto EDA trovano le ragioni nel pensiero di Werner Heisenberg Premio Nobel per la Fisica nel 1932.

È probabilmente vero, in linea di massima, che nella storia del pensiero umano gli sviluppi più fruttuosi si verificano spesso nei punti d'interferenza tra diverse linee di pensiero. Queste linee possono avere le loro radici in parti assolutamente diverse della cultura umana, in diversi tempi ed in ambienti culturali diversi o di diverse tradizioni religiose; perciò, se esse veramente si incontrano, cioè, se vengono a trovarsi in rapporti sufficientemente stretti da dare origine ad un'effettiva interazione, si può allora sperare che possano seguire nuovi ed interessanti sviluppi.

Esempi di Valore

Ogni concetto di valore pone le basi per aprire un dialogo costruttivo e di confronto tra esperienze ed approcci metodologici diversificati in relazione ai principi culturali riguardanti la conservazione del patrimonio e quindi della sua trasmissione come dono per le generazioni future. Questo enunciato costituisce l'impegno scientifico e divulgativo della collana Esempi di Valore. La consapevolezza dei contenuti di questo enunciato consente di analizzare con maggiore oggettività le dinamiche che caratterizzano i differenti approcci teorici e metodologici che si possono riscontrare non solo tra diverse realtà geografiche, ma anche all'interno di uno stesso Paese tra contesti socio-culturali diversificati. La conoscenza della diversità diventa quindi la risorsa principale e fondamentale per il rispetto e la conservazione della stessa diversità.

Volume pubblicato con il contributo del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi "Gabriele d'Annunzio" di Chieti-Pescara.

Michele Lepore

**Il sistema solare passivo Barra–Costantini
per la climatizzazione degli edifici**

Nuova edizione rivista e ampliata





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXX
Gioacchino Onorati editore S.r.l. — unipersonale

www.gioacchinoonoratieditore.it
info@gioacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20
00020 Canterano (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-3739-0

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: settembre 2020

*A Orazio Barra,
amico, nonché mio geniale maestro*

Indice

- 11 *Introduzione*
- 13 **Capitolo I**
Il sistema Barra-Costantini
1.1. Il collettore solare ad aria di Morse, 13 – 1.2. Il sistema solare passivo Trombe-Michel, 16 – 1.2.1. Spessore della parete massiva, 19 – 1.2.2. Superfici vetrate ed elementi isolanti, 20 – 1.2.3. Termo-circolazione dell'aria, 21 – 1.2.4. Variazioni e soluzioni avanzate, 24 – 1.2.5. Funzionamento del sistema, 25 – 1.2.6. I prototipi di Odeillo, 29 – 1.2.7. Vantaggi e svantaggi, 34 – 1.3. I sistemi solari passivi con accumulo separato, 35 – 1.3.1. I sistemi a termo-circolazione naturale con accumulo separato, 36 – 1.3.2. I sistemi captanti a camino solare, 37 – 1.3.3. Il sistema di accumulo termico, 40 – 1.3.4. Il sistema Barra-Costantini, 41 – 1.3.5. Le prestazioni del sistema, 47 – 1.3.6. Ottimizzazione delle prestazioni, 51 – 1.4. Comparazione tra il Trombe-Michel e il Barra-Costantini, 53 – 1.5. Dimensionamento del sistema Barra-Costantini, 57 – 1.5.1. Valutazione rapida di un edificio bioclimatico, 57
- 67 **Capitolo II**
Applicazioni del sistema Barra-Costantini
2.1. Due applicazioni del sistema, 67 – 2.2. Il progetto a Marostica, 67 – 2.2.1. Il funzionamento del sistema, 70 – 2.2.2. Il camino solare, 74 – 2.2.3. L'accumulo, 74 – 2.3. Il progetto EIRES (Egyptian-Italian Renewable Energy Settlement), 75 – 2.3.1. Concezione del progetto, 77 – 2.3.2. Principi di utilizzo del terreno come fonte termica, 81 – 2.3.3. Breve descrizione del sistema per gli edifici residenziali, 88 – 2.3.4. Componenti dei camini solari, 89 – 2.3.5. Descrizione dell'edificio principale, 91 – 2.3.6. Sistema di riscaldamento, 93
- 95 **Appendice**
Calcolo semplificato del potenziale di riscaldamento di un sistema solare passivo
Il metodo, 95 – I riferimenti, 97
- 99 *Bibliografia*

Introduzione

Questo libro nasce, prioritariamente, dall'esigenza di far conoscere agli studenti del corso di Progettazione Ambientale il sistema Barra-Costantini, con un testo che sia al tempo stesso compatto ma sufficientemente approfondito negli aspetti tecnici, da permetter loro di poterlo utilizzare nei progetti con cognizione di causa. Anche perché, in diverse occasioni, sono state pubblicate informazioni tecniche, grafici, descrizioni errate e fuorvianti, sia sulla concezione sia sul funzionamento; alcune totalmente inattendibili. Ovviamente potrà esser utile a tutti coloro che, senza dover avventurarsi nella ricerca di documenti troppo tecnici o troppo superficiali, vorranno sufficientemente comprenderlo nei suoi elementi essenziali. La mia esperienza professionale e personale avuta con Orazio Barra, in diverse occasioni ha costituito uno stimolo ulteriormente determinate.

Il Sistema Barra-Costantini è un sistema solare passivo che usa l'aria come fluido termovettore ed è basato sul principio della convezione naturale. Il sistema costituisce un avanzamento del sistema Trombe-Michel del quale risolve tutte le criticità, sia migliorandone le prestazioni per il riscaldamento degli ambienti sia permettendo anche il raffrescamento degli stessi. Infatti, Orazio A. Barra, analizzando le criticità del sistema Trombe-Michel, non solo le risolve ma ne amplia notevolmente le prestazioni, concependo uno dei sistemi solari passivi più performanti. Dallo studio per il superamento di tali difficoltà nasce il sistema "Barra-Costantini", il primo prototipo di sistema solare passivo a collettori solari integrati nella facciata degli edifici.

Il sistema Barra-Costantini

dal sistema Trombe-Michel al sistema Barra-Costantini

1.1. Il collettore solare ad aria di Morse

Il sistema Trombe è un sistema indiretto di captazione della radiazione solare formato, nella sua configurazione più semplice, da una parete dotata di una sufficiente inerzia termica, con la faccia esterna protetta da una superficie vetrata. Grazie all'effetto serra¹ la temperatura della superficie esterna del muro, di colore scuro, si innalza permettendo al calore di attraversare il muro per conduzione. Ma un precursore di questo sistema fu brevettato nel 1881 da un americano, il signor Edward Sylvester Morse, un rinomato botanico a livello mondiale, nonché ecologista e docente all'Essex Institute di Salem in Massachusetts. Nel brevetto registrato nel settembre del 1881, con il titolo " Riscaldamento e ventilazione degli ambienti con i raggi del Sole", egli descrive così il sistema:

¹ L'effetto serra che è un processo che si sviluppa in tre fasi. Quando i raggi solari colpiscono la vetratura, la maggior parte della radiazione visibile e parte di quella infrarossa viene trasmessa e quindi viene assorbita dalle pareti, il pavimento ed altri oggetti solidi che scaldandosi, riemettono radiazione termica infrarossa (a lunga lunghezza d'onda) in ogni direzione. Quando questa colpisce nuovamente il vetro, parte viene riflessa e la restante parte viene assorbita dal vetro stesso. Il vetro infatti, è "trasparente" alla radiazione dello spettro solare (visibile e vicino infrarosso), mentre è "opaco" alla radiazione emessa nel lontano infrarosso. Tale radiazione è quella emessa da un qualunque corpo che sia scaldato a bassa temperatura o semplicemente esposto al sole. Così il calore emesso dagli oggetti esposti al sole, all'interno di un involucro vetrato, viene intercettato ed assorbito dalla superficie vetrata che una volta scaldata riemette radiazione infrarossa sia verso l'esterno e sia verso l'interno. Lo spazio protetto tenderà quindi ad accumulare calore portandosi ad una temperatura più alta di quello esterno, fenomeno conosciuto come "effetto serra".

«L'invenzione consiste... di un involucro attaccato alla parete esterna dell'edificio... dotato di una superficie scurita... protetta da un vetro... L'azione dei raggi solari sulla superficie nera scalda l'aria tra questa e l'edificio, che risalendo viene introdotta nella stanza o nell'edificio riscaldandolo». L'idea venne a Morse, quando in un incontro scientifico pubblico, notò come alcune tende scure, appese davanti alle finestre, colpite dal sole, si scaldassero sufficientemente da indurre una percettibile corrente d'aria calda ascendente.

Infatti nel suo sistema, attraverso delle aperture poste alla base della parete esposta sud, protetta esternamente da un vetro, l'aria interna veniva a contatto con la superficie riscaldata dal sole. Grazie alla diminuzione di densità il flusso d'aria si innalzava rientrando nell'ambiente da riscaldare attraverso delle aperture poste in prossimità del soffitto (v. Fig.3). Il primo collettore solare di Morse fu installato sulla grande parete sud del Peabody Museum a Salem, in Massachusetts. Consisteva in una lamiera corrugata di ferro di colore nero, inserita in un contenitore chiuso da un vetro, di circa 4 m di altezza e 1,20 di larghezza, inclinato di 30 gradi, in modo da captare la maggior radiazione diretta possibile. Dato che la sala del Peabody Museum, che il sistema solare doveva scaldare, era abbastanza grande - lunga oltre 30 m, larga più di 12 m e alta 6,4 m - il sistema di Morse ebbe un effetto non significativo sulla temperatura interna. Ciò



Figura 1. Edward Sylvester Morse.

FONTE: MORSE E.S., *Warming and ventilating apartments by sun's rays*, U.S. Patent 246626, 1881

che impressionò sia Morse sia gli altri, fu il fatto che quando la temperatura dell'aria esterna era sotto zero, l'aria si scaldava più di 26° al passaggio nel collettore solare ad aria. Morse disse al suo pubblico che avrebbe costruito un secondo collettore solare ad aria, nel quale avrebbe sostituito la lamiera corrugata di ferro con dell'ardesia nera, posizionandolo verticalmente. Questo scaldò una stanza molto più piccola, con un volume d'aria 24 volte inferiore alla precedente. In un giorno nebbioso, con la temperatura del pavimento a $17,8^{\circ}$ alle 10:45 del mattino, la temperatura dell'aria in uscita dal collettore era 31° più alta di quella esterna. La prestazione eccezionale del sistema indusse Morse a concludere che durante i cinque mesi della stagione invernale tipica dell'area di Boston, un sistema solare come quello da lui progettato, poteva scaldare una abitazione per l'80% del del periodo. Egli basò i suoi calcoli sulle carte solari relative al periodo 1 ottobre 1884 al 28 febbraio 1885, che mostravano come, nei 130 giorni, ci fosse sufficiente radiazione solare da far funzionare il suo collettore solare ad aria. Per quanto riguarda il costo, il solo collettore solare ad aria costò 18 dollari per fabbricarlo ed installarlo.

Morse costruì la sua più grande applicazione, che fu anche l'ultima, al Boston Athenaeum – dove Alexander Graham Bell aveva, diversi anni prima, tenuto la sua prima dimostrazione pubblica del telefono – venne realizzato un sistema di circa 30 m^2 di superficie captante che permetteva di riscaldare circa 2.200 m^3 di aria all'ora. Sfortunatamente, l'aria calda che entrava nella stanza dalla sistema perdeva molto del suo calore attraverso l'ampio lucernario della copertura. Tuttavia, il dispositivo

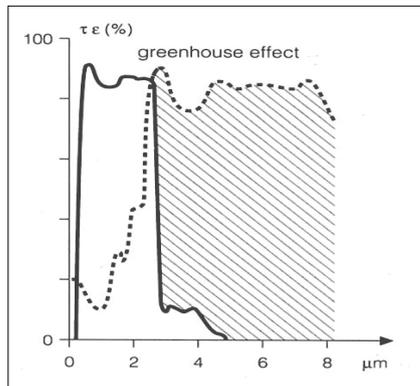


Figura 2. Effetto serra; il vetro è sostanzialmente trasparente alla radiazione visibile e opaco a quella termica (infrarossa) emessa dai corpi caldi.

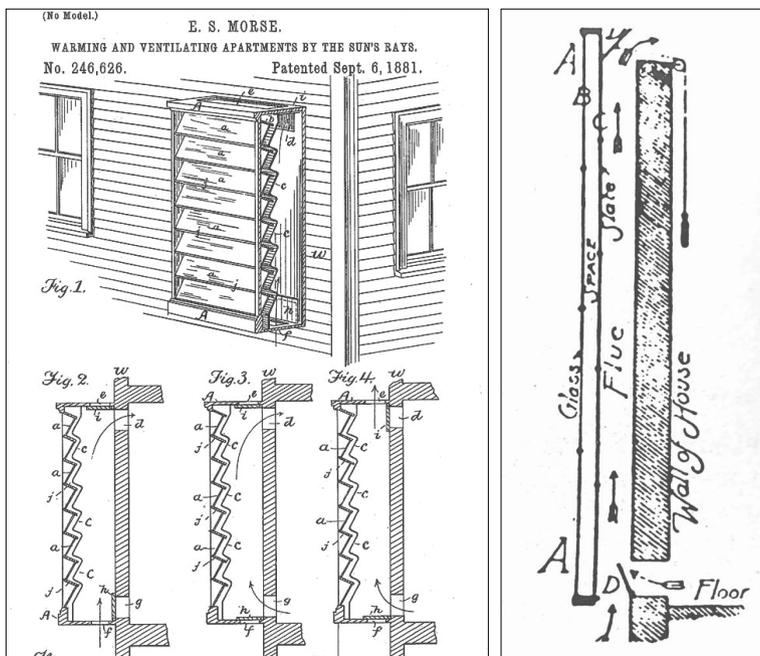


Figura 3. a) disegni del brevetto del 1881 della prima versione di collettore solare ad aria di Edward Morse, con tre differenti configurazioni; b) sezione della successiva versione modificata con la sostituzione della lamiera corrugata con una lastra di ardesia.

FONTE: MORSE E.S., *Warming and ventilating apartments by sun's rays*, U.S. Patent 246626, 1881 Patent 246626, 1881

contribuì a far risparmiare, all'Athenaeum 25-50 sterline di carbone al giorno durante l'inverno. Ma dopo gran clamore e incomprensioni, il sistema fu abbandonato.

1.2. Il sistema solare passivo Trombe-Michel

L'idea fu ripresa dal Professore Felix Trombe che, negli anni in cui dirigeva il laboratorio solare di Odeillo, si interessò anche di possibili applicazioni solari a bassa temperatura. Nel 1967, con l'architetto Jacques Michel, fece costruire un edificio

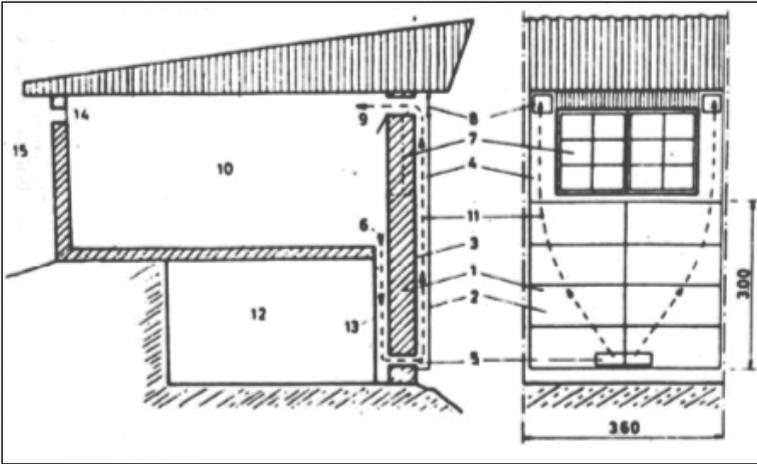


Figura 4. Dispositivo di riscaldamento con camino laterale di ricircolo d'aria: 1) parete di accumulo; 2) superficie vetrata; 3) superficie captante della radiazione solare; 4) termocircolazione dell'aria; 5) bocchetta inferiore; 6) passaggio dell'aria aspirata; 7) finestra; 8) bocchetta di ventilazione chiudibile; 9) ingresso dell'aria calda nell'ambiente; 10) locale da riscaldare; 11) termocircolazione dell'aria; 12) ambiente inferiore (rimessa); 13) partizione; 14) bocchetta d'aria chiedibile.

Fonte: TROMBE F., *Le chauffage par rayonnement solaire*, in "Aménagement et Nature," n.33, Association pour les Espace Naturels, 1974.

sperimentale con parete solare a termo-circolazione che diede preziose informazioni sul comportamento termico della parete ad accumulo. Dopo la crisi energetica il "muro Trombe" è divenuto quasi il simbolo dei sistemi solari passivi e le sue applicazioni sono state moltissime, specialmente negli USA.

Il muro Trombe-Michel (questo è il nome con cui è conosciuto), è una parete massiva, separata dall'esterno da una vetrata e una intercapedine d'aria, che assorbe l'energia solare e la rilascia selettivamente verso l'interno durante la notte. Anche il vetro a pannello singolo funziona con questo principio, perché il vetro, come visto sopra, è trasparente alla luce visibile, ma opaco alla radiazione infrarossa (radiazione termica), producendo l'*effetto serra*.

Le varianti moderne includono il vetro isolante o

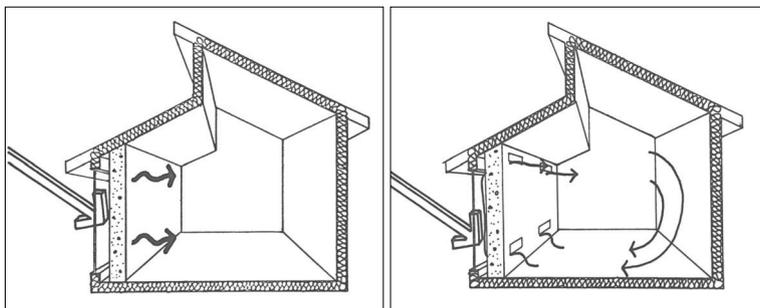


Figura 5. Muro solare massivo (a sinistra) e sistema Trombe-Michel, con le bocchette per la termocircolazione dell'aria (a destra).

*bassoemissivo*² per conservare più calore solare immagazzinato e prese d'aria alte e basse, manovrabili, per consentire il trasferimento convettivo del calore verso l'interno. Nei sistemi a guadagno diretto, una ampia finestrazione a diretto contatto con gli ambienti da climatizzare costituisce una porta d'ingresso per la radiazione solare e per un suo immediato ed efficiente utilizzo, ma sfortunatamente costituisce anche una via di uscita per l'energia termica presente all'interno degli ambienti con conseguente aumento delle perdite termiche e quindi del fabbisogno termico dell'edificio. Ciò comporta la necessità di un isolamento termico mobile della parte vetrata per le ore notturne, con le conseguente necessità di rimozione periodica dello stesso durante le ore soleggiate.

L'uso di pareti a sud, con configurazioni che sfruttano l'effetto serra, introduce un efficace ostacolo alla dispersione dell'energia termica dell'edificio, ma la trasmissione dell'energia termica, ottenuta dalla termo-conversione dell'energia solare sulla superficie esterna di queste, avviene

² I vetri basso emissivi sono vetri concepiti per limitare la dispersione termica dall'interno degli edifici. Con un deposito o coating di uno strato di ossidi metallici sul vetro, si ottiene una diminuzione delle perdite di calore tramite un miglioramento delle prestazioni ottico-energetiche del vetro stesso, senza penalizzare il passaggio della luce negli ambienti; infatti, questo processo rende il vetro da "opaco" alla radiazione infrarossa a "riflettente" a quest'ultima (heat mirror). Questi vetri sono disponibili sia in versione monolitica che stratificata di sicurezza, temperata sia accoppiati in vetrocamera.

solo per conduzione nelle pareti, ossia con un processo lento che comporta, prima, l'innalzarsi della temperatura esterna delle pareti con conseguente aumento della loro riemissione infrarossa verso l'esterno, a discapito dell'efficienza complessiva del sistema.

1.2.1. Spessore della parete massiva

Esiste in genere uno spessore ottimale della parete solare che deriva oltre che dalle caratteristiche termo-fisiche del materiale impiegato, anche dai fattori climatici del sito e dal carico termico degli ambienti da riscaldare. Si tratta infatti dello spessore massimo in grado di incrementare la capacità termica della parete³ fino al punto in cui venga penalizzato il trasferimento di calore verso l'interno. Solo con modelli di simulazione in regime dinamico è possibile quindi, caso per caso, determinare il valore ottimale di questo parametro. Dati sperimentali e simulazioni effettuate consentono comunque di dire che pareti di 30-35 cm hanno in genere buone prestazioni termiche.

Oltre che sul rendimento

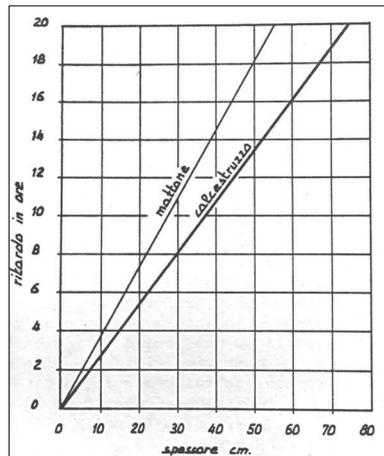


Figura 6. Sfasamento dell'onda termica in pareti di calcestruzzo e di mattoni pieni, al variare dello spessore.

³ Si definisce capacità termica di un corpo il rapporto fra il calore scambiato tra il corpo e l'ambiente e la variazione di temperatura che ne consegue. La capacità termica è proporzionale al calore specifico per unità di massa. A differenza della capacità termica unitaria, che dipende solo dalla natura del materiale, la grandezza più comune rappresentata dal calore specifico di un corpo dipende sia dalla natura del materiale, sia dalla sua massa. Per questo motivo nella letteratura tecnica sono state pubblicate tabelle relative ai valori dei calori specifici dei materiali, mentre purtroppo sono più rare le tabelle relative alle capacità termiche unitarie dei materiali. Una volta noto il calore specifico è quindi sufficiente moltiplicarlo per la massa.

del componente solare, lo spessore della parete incide pure sullo *sfasamento dell'onda termica* e dovrà quindi essere calcolato anche in relazione al profilo della richiesta termica. Se, ad esempio, si deve riscaldare una stanza da letto è consigliabile l'impiego di pareti solari più spesse, prive dei fori per la circolazione dell'aria.

Nella figura 6 è riportato il ritardo⁴ in ore del flusso di calore entrante al variare dello spessore di alcuni comuni materiali da costruzione. C'è infine da ricordare che, a parità di spessore, le fluttuazioni termiche negli ambienti saranno tanto più elevate quanto maggiore sarà la conducibilità del materiale impiegato. Nel caso venga impiegato il calcestruzzo si ricordi che la sua conducibilità è altamente influenzata dall'umidità e che sono necessari almeno 12 anni dalla costruzione di una parete solare perché l'umidità venga eliminata totalmente.

1.2.2. Superfici vetrate ed elementi isolanti

Viene in genere impiegato un doppio vetro. In climi miti come quello delle aree non montane dell'Italia centro meridionale si può utilizzare anche il vetro singolo. La camera d'aria ottimale dei vetri di è circa 20

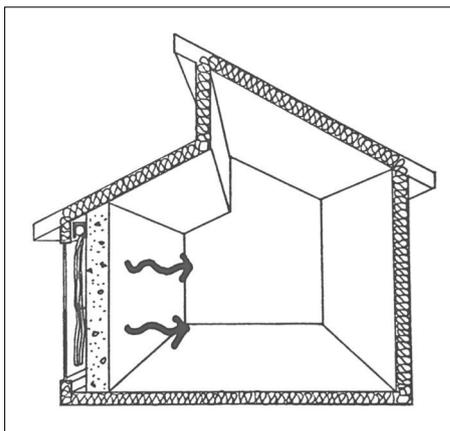


Figura 7. Esempio d'impiego di elementi isolanti notturni, per ridurre le dispersioni della massa termica verso l'esterno.

⁴ Poiché le variazioni di temperatura tendono a propagarsi attraverso materiali densi come la muratura (diffusione termica) ad una velocità di circa 2,5 cm all'ora, il guadagno di calore durante il giorno sarà disponibile sulla superficie interna della massa termica in prima serata, quando diviene necessario. Questa proprietà temporale della massa termica, combinata con il suo decremento termico (smorzamento delle variazioni di temperatura), consente di utilizzare l'energia solare fluttuante diurna come una fonte di calore notturna più uniforme.