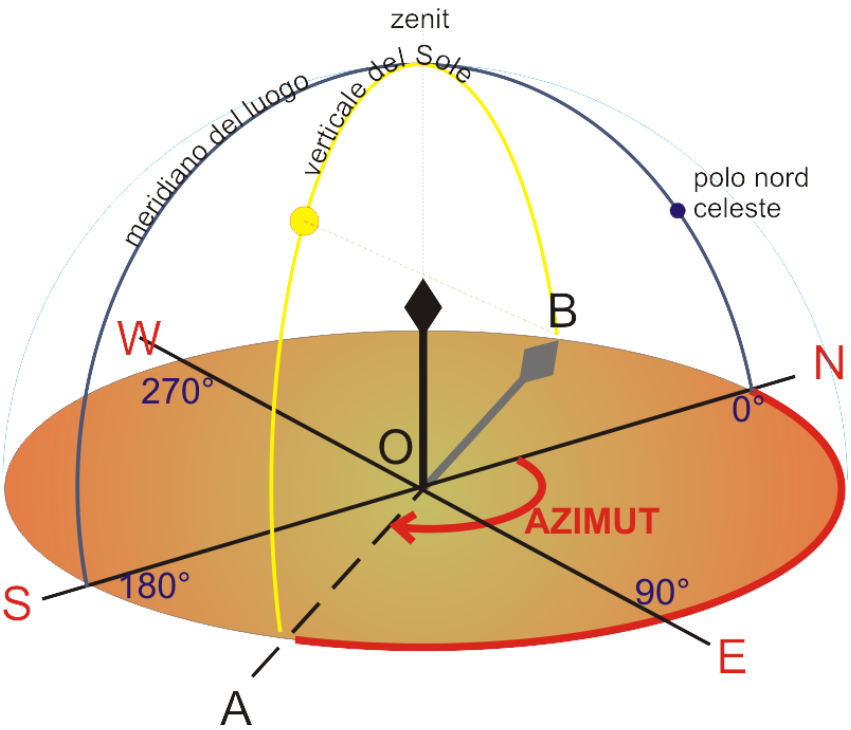
ARCHITETTURA BIOCLIMATICA



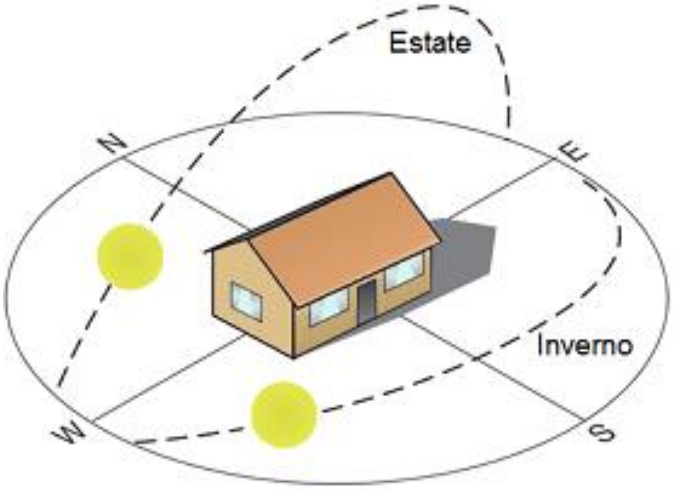
VOLUME 20

AIPE
Associazione Italiana Polistirene Espanso

Via M. A. Colonna, 46 – 20149 Milano
Tel. + 39 02 33 60 65 29 – Fax + 39 02 33 60 66 04
e-mail: aipe@epsass.it – www.aipe.biz

ARCHITETTURA BIOCLIMATICA

Testi a cura di AIPE – Marco Piana



AIPE
Associazione Italiana Polistirene Espanso

VOLUME 20

Documentazione specifica sull'EPS

può essere ritrovata nel sito dell'Associazione

www.aipe.biz

Sommario

1. PREMESSA 07

2. IL QUADRO DI RIFERIMENTO 08

L'emergenza ambientale. Il ruolo dell'edilizia

Le esperienze europee

Le soluzioni tecnologiche

Gli strumenti della scelta

3. LA PROGETTAZIONE BIOCLIMATICA 40

L'architettura e il clima

Progettare energia – ambiente

I sistemi passivi

Accumulare energia

Geometria della radiazione solare

Superfici selettive

4. EDIFICI A ENERGIA "0" 86

01. Esempi e regolamenti:

Minergie

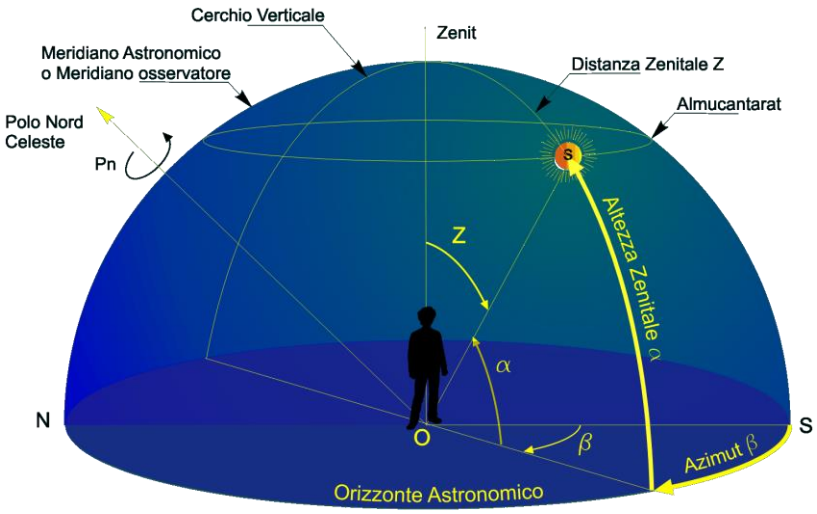
Passivhouse

Itaca

Leed

Casaclima

5. AIPE 94


Cerchio Verticale
Zenit
Meridiano Astronomico
o Meridiano osservatore
Distanza Zenitale Z
Almucantarat
Polo Nord
Celeste
Pn
S
Z
Altezza Zenitale α
α
N
O
β
S
Azimut β
Orizzonte Astronomico

1.

Premessa

Riprendere la discussione sull'energia in campo edile è sempre stimolante, riproporre il tema dell'architettura bioclimatica è affascinante.

È trascorso un periodo considerevole di tempo dagli albori della progettazione bioclimatica, tanto da farla diventare per alcuni "insostituibile", ma per altri "nuova". Naturalmente "bioclimatica" non significa "trasparente", non significa "esposizione", non significa "natura", ma vuole indicare una progettazione che coinvolga tutto ciò che l'uomo è in grado di sfruttare in maniera "gratuita" o quasi, di ciò che ci circonda, mettendoci un po' di razionalità ed ingegno. In altre parole oggi potremmo asserire che progettare bioclimatico significa utilizzare la natura come fonte di energia, luce, e la tecnologia innovativa come strumento per ottimizzare i rendimenti della macchina "casa".

2.

Quadro di riferimento

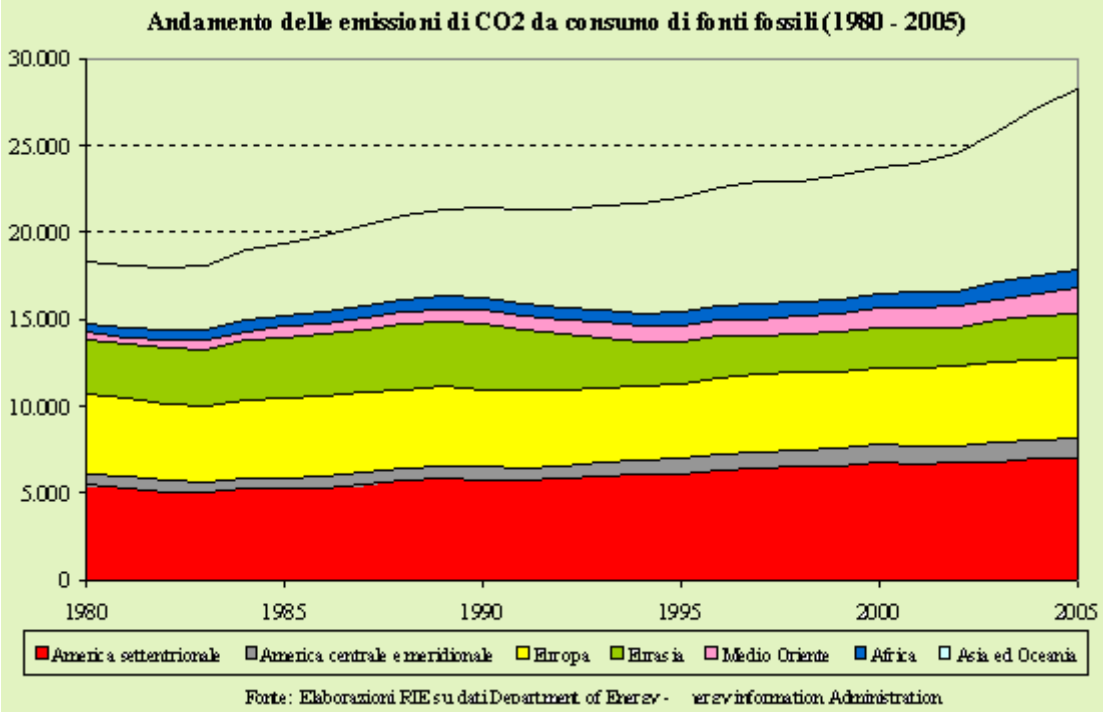
01. L'EMERGENZA AMBIENTALE

IL RUOLO DELL'EDILIZIA

Le costruzioni rivestono un ruolo non trascurabile nel consumo energetico mondiale e nelle relative emissioni di gas nocivi, ma – ciò che è più interessante – presentano ampi margini per un miglioramento significativo dell'efficienza energetica e, in generale, della compatibilità con l'ambiente, come sarà dimostrato nel seguito. Gli edifici residenziali sono responsabili per più del 20 % delle emissioni di CO_2 e quelli terziari del 10 %; la maggior parte dei consumi sono imputabili alle necessità di riscaldamento degli ambienti. La tendenza all'utilizzo di energia è in costante crescita, al ritmo del 3% annuo, dal 1971 ad oggi.

Per contro, si è assistito ad una tumultuosa crescita della domanda energetica nei Paesi in via di sviluppo dell'Asia sud-occidentale, al ritmo del 5/6% annuo.

Solo nei Paesi più industrializzati si è registrato un aumento di emissioni inferiore al consumo assoluto di energia primaria, grazie al passaggio graduale a fonti meno inquinanti (metano al posto di petrolio, per esempio) e al miglior isolamento termico degli edifici (grafico 3.1 e 3.2).



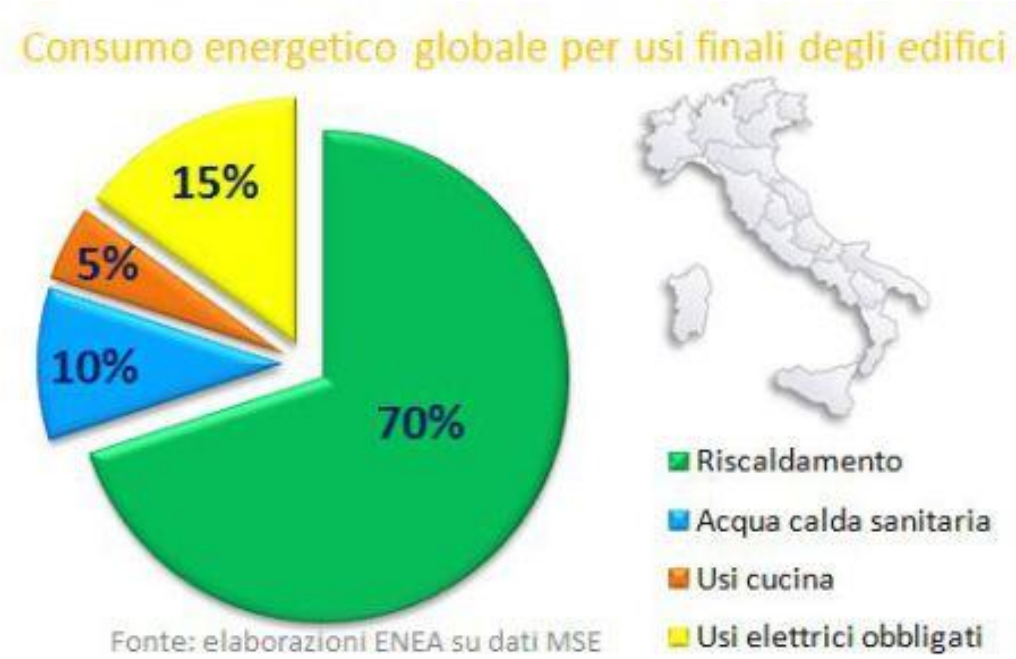


Grafico 3.2 – Consumi energetici dell'utenza finale negli edifici residenziali (UE)

Conformemente alle linee strategiche generali della politica comunitaria, il *Libro Verde* indica nella drastica riduzione dei consumi il primo passo per garantire una più efficace gestione energetica degli edifici. Le stime più recenti indicano un potenziale di risparmio pari a circa il 20%, rispetto ai livelli attuali, tenendo conto di un tasso di crescita del parco edilizio pari al 1,5% annuo. Realizzare questo obiettivo significherebbe evitare consumi di energia per 55 milioni di tep, con un abbattimento delle emissioni pari a 100 milioni di tonnellate di CO_2, che equivale al 20% dell'obiettivo assunto a Kyoto dall'UE.

L'aspetto più interessante è che questo livello di risparmio si può ottenere con un uso più intenso di tecnologie semplici, già disponibili sul mercato ed efficaci sotto il profilo dei costi, in particolare migliorando le prestazioni termiche dell'involucro degli edifici. L'aumento drastico del valore di resistenza termica di tutti i componenti di chiusura, da quelli opachi (pareti perimetrali, tetto, solaio a terra) a quelli trasparenti, permette infatti di ottenere riduzioni sensibili del fabbisogno energetico e quindi dei consumi.

Ulteriori margini di risparmio si possono individuare in un miglioramento del rendimento delle caldaie, tramite sostituzione o manutenzione programmata, e nel controllo dei consumi per condizionamento, che attualmente sono in crescita esponenziale nei Paesi più caldi e non hanno limitazioni per quanto attiene alla potenza installata o al rendimento.

In presenza di un edificio di concezione tradizionale, le risorse rinnovabili utilizzabili (principalmente l'energia solare) non sono disponibili in quantità sufficiente a coprire l'intero fabbisogno energetico. Si può anzi dire, in un certo senso, che quello che si guadagna dal sole

viene disperso attraverso un involucro scarsamente efficace. Al contrario, in edificio il cui consumo sia molto limitato, il peso percentuale delle fonti rinnovabili può essere importante.

L'uso di fonti rinnovabili o di tecnologie a elevata efficienza energetica non ha senso se non in un quadro di riduzione del fabbisogno, che per gli edifici significa, prima di tutto, un ottimo isolamento termico.

Affinché il contributo delle energie rinnovabili incida in percentuale significativa sul bilancio energetico di un edificio, è indispensabile ridurne preventivamente il fabbisogno complessivo.

LA DIRETTIVA EUROPEA

Direttiva 2010/30/UE

DIRETTIVA 2010/30/UE del 19 maggio 2010 (DIRETTIVA ECO-LABEL) concernente l'indicazione del consumo di energia e di altre risorse dei prodotti connessi all'energia, mediante l'etichettatura ed informazioni uniformi relative ai prodotti

Istituisce un sistema di ETICHETTE e di SCHEDE sul consumo o sulla conservazione di energia per i prodotti connessi all'energia nella fase in uso, in modo che gli utilizzatori finali possano scegliere prodotti più efficienti.

L'etichetta contiene informazioni sul prodotto, in merito a:

- consumo di energia (e, se del caso,)
- altre risorse essenziali (acqua, prodotti chimici o qualsiasi altra risorsa consumata da un prodotto in funzione normale)

Obiettivo: fornire informazioni accurate, pertinenti e comparabili sul consumo specifico di energia dei prodotti connessi all'energia che dovrebbe orientare la scelta degli utilizzatori finali verso i prodotti che offrono o indirettamente comportano il minor consumo di energia e di altre risorse

essenziali durante l'uso, inducendo quindi i fabbricanti a prendere misure volte a ridurre il consumo di energia e di altre risorse essenziali dei loro prodotti.

(rientra nell'obiettivo UE del 20% in materia di efficienza energetica)

La Direttiva amplia il campo di applicazione dell'etichettatura energetica, finora limitata ai soli elettrodomestici (Direttiva 92/75/EC), includendo tutti i prodotti che impattano direttamente od indirettamente sul consumo energetico.

→ impatto diretto: si intende "consumo durante l'utilizzo"

→ impatto indiretto: si intende quello relativo ai prodotti che contribuiscono alla "conservazione dell'energia durante l'utilizzo".

La Commissione Europea deve adottare atti delegati per quanto riguarda l'etichettatura dei prodotti connessi all'energia che rappresentano un notevole potenziale di risparmio energetico e con una grande disparità nei livelli di prestazione con funzionalità equivalenti (tenendo conto dei parametri ambientali fissati nell'allegato I, parte 1, della direttiva 2009/125/CE)

Esempi concreti:

- Regolamento delegato della Commissione 626/2011/CE del 4 Maggio 2011

  che integra la Direttiva 2010/30/EU relativo all'etichettatura energetica dei condizionatori d'aria;
- Regolamento delegato della Commissione 1061/2010/CE del 28 settembre 2010 che integra la direttiva 2010/30/UE per quanto riguarda l'etichettatura indicante il consumo d'energia delle lavatrici per uso domestico;
- Regolamento delegato della Commissione 1062/2010/CE del 28 settembre 2010 che integra la direttiva 2010/30/UE per quanto riguarda l'etichettatura indicante il consumo d'energia dei televisori;

- Regolamento delegato della Commissione 1059/2010/CE del 28 settembre 2010 che integra la direttiva 2010/30/UE per quanto riguarda l'etichettatura indicante il consumo d'energia delle lavastoviglie per uso domestico;
- Regolamento delegato della Commissione 1060/2010/CE del 28 settembre 2010 che integra la direttiva 2010/30/UE per quanto riguarda l'etichettatura indicante il consumo d'energia degli apparecchi di refrigerazione per uso domestico.

Direttiva 2010/31/UE

La prestazione energetica di un edificio esprime «la quantità di energia calcolata o misurata necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico connesso ad un uso normale dell'edificio compresa l'energia per riscaldamento ambiente, raffrescamento, ventilazione, illuminazione, produzione di acqua calda sanitaria.» La prestazione energetica degli edifici deve essere calcolata in base ad una metodologia generale, in conformità a quanto indicato nell'allegato I della direttiva, tenendo conto almeno dei seguenti aspetti:

- caratteristiche termiche effettive dell'edificio, comprese le divisioni interne; (capacità termica, isolamento, riscaldamento passivo, elementi di raffrescamento, ponti termici),
- impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda, comprese le relative caratteristiche di isolamento;
- impianti di condizionamento d'aria;
- ventilazione naturale e meccanica, compresa eventualmente l'ermeticità all'aria;
- impianto di illuminazione incorporato;
- progettazione, posizione e orientamento dell'edificio, compreso il clima esterno;
- sistemi solari passivi e protezione solare;
- condizioni climatiche interne, incluso il clima degli ambienti interni progettato;
- carichi interni.

La direttiva 31 introduce:

- L'adozione di una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici (art. 3)
- Fissazione dei requisiti minimi di prestazione energetica (art.4):
  - dovranno essere efficaci sotto il profilo dei costi rispetto al ciclo di vita economico stimato (calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi) (art. 5)
  - applicazione a edifici di nuova costruzione (art.6)
  - applicazione a edifici esistenti (art.7)
  - impianti tecnici per edilizia (art.8)

• Edifici a energia quasi zero (art. 9)

• Incentivi finanziari e barriere di mercato (art. 10)

• Certificato di prestazione energetica (art. 11, 12, 13)

• Ispezione periodica di caldaie ed impianti di condizionamento d'aria (art. 14, 15, 16)

• Sistema di controllo ed esperti indipendenti (art. 17, 18)

Introduzione del concetto di "edifici a energia quasi zero", cioè ad altissima prestazione energetica, in cui il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo sia coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa quella prodotta in loco o nelle vicinanze.

Scadenze :

- 31 dicembre 2018: gli edifici nuovi di proprietà pubblica od occupati da enti pubblici dovranno essere ad energia quasi zero

- 31 dicembre 2020: tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere ad energia quasi zero

Particolare attenzione alla prestazione estiva degli edifici poiché si è osservato una crescente proliferazione degli impianti di condizionamento dell'aria nei paesi europei ponendo gravi

problemi di carico massimo, che comportano un aumento del costo dell'energia elettrica e uno squilibrio del bilancio energetico.

- → la direttiva suggerisce di ricorrere a misure che evitano il surriscaldamento, come l'ombreggiamento e una sufficiente capacità termica dell'opera edilizia, nonché sull'ulteriore sviluppo e applicazione delle tecniche di rinfrescamento passivo, soprattutto quelle che contribuiscono a migliorare le condizioni climatiche interne e il microclima intorno agli edifici.

Incentivi: si sottolinea l'importanza di mettere a disposizione adeguati strumenti di finanziamento e incentivi per favorire l'efficienza energetica degli edifici e il passaggio a edifici a energia quasi zero.

- → gli Stati membri dovranno adottare gli strumenti più pertinenti sulla base delle circostanze nazionali e dovranno redigere entro il 30 giugno 2011 un elenco delle misure e degli strumenti esistenti e proposti.

Effettivo sistema di ispezione e sanzionamento per gli edifici che non rispettano i requisiti .

LE STRATEGIE GENERALI

La diminuzione significativa del dispendio energetico imputabile agli edifici residenziali richiede il miglioramento delle prestazioni dell'involucro e il ricorso a fonti energetiche rinnovabili per il fabbisogno corrente. Risulta evidente che, a questi fini, il sole è la sorgente privilegiata, grazie alla sua presenza costante e alla semplicità di utilizzo dell'energia che fornisce gratuitamente (l'irraggiamento diretto diurno, se accuratamente gestito, in inverno può essere sufficiente per riscaldare un'abitazione a basso consumo, senza necessità di trasformazione dell'energia). Tuttavia, qualsiasi strategia di sfruttamento dell'energia solare deve scontrarsi con le escursioni dei valori di irraggiamento nei diversi periodi dell'anno (dovuta alla differente altezza del sole

sull'orizzonte) e con la discontinuità dell'apporto energetico, che risulta variabile in funzione della copertura del cielo e dei cicli diurni. Inoltre, non si può trascurare che l'energia solare, alle nostre latitudini, risulta disponibile in grandi quantità nei periodi in cui non è necessario riscaldare gli edifici (estate e mezze stagioni), per poi diminuire drasticamente nei mesi più freddi dell'anno. A questo, si aggiunga, infine, che i sistemi di sfruttamento dell'energia solare hanno ancora costi piuttosto elevati (come testimoniato dalla necessità di sussidi statali per favorire la diffusione del solare termico e del fotovoltaico) e presentano un rendimento piuttosto basso. La nostra capacità tecnica di utilizzare l'energia proveniente dal sole, infatti, è ancora piuttosto primitiva, se si considera che in un anno, alle nostre latitudini, un metro quadrato di superficie al suolo è investito da 1000 ÷ 1400 kWh, pari a circa dieci volte il fabbisogno per riscaldamento di un edificio tradizionale; tuttavia la nostra incapacità di convertire questo capitale in energia utilizzabile, e di immagazzinarla per i periodi di necessità, significa che ne possiamo sfruttare solo una minima parte. Queste considerazioni dimostrano che un approccio puramente captante al problema della minimizzazione dei consumi è destinato al fallimento, come testimonia l'esperienza degli anni Settanta. Al contrario, si rende necessario un lavoro preliminare per ridurre in maniera significativa il consumo energetico complessivo, tramite un approccio di tipo conservativo per poi affidarsi alle fonti rinnovabili.

Quello che è in discussione, in effetti, non è il livello di comfort all'interno degli edifici, su cui la scienza e la prassi quotidiana ormai concordano, e che ovviamente non si propone di diminuire, bensì il modo di raggiungere tali livelli con il minimo input energetico possibile. Il consumo di risorse è, in altri termini, il *carico ambientale* necessario per garantire il benessere psicofisico degli utenti all'interno degli spazi confinati.

Tra le diverse forme di energia che sono consumate lungo l'intero ciclo di vita di un edificio, quella più rilevante è, generalmente, l'energia di gestione (*running energy*), necessaria al riscaldamento e

al raffrescamento degli ambienti, all'illuminazione artificiale, al funzionamento dei macchinari, e così via. Gli altri *input,* che vengono aggiunti al capitale energetico dell'edificio in modo occasionale, riguardano le energie necessarie alla produzione dei materiali, alla costruzione dell'immobile, alla sua manutenzione e alle operazioni di demolizione, e vanno sotto la definizione di energia incorporata (*embodied energy*) o *grigia*.

Dal momento che l'energia del primo tipo, che si potrebbe definire sensibile, in un edificio tradizionale ammonta a circa l'80% del totale consumato nel ciclo di vita, risulta evidente come la sua riduzione rappresenti l'intervento principale da mettere in atto in un'ottica di sostenibilità della costruzione.

L'adeguamento della costruzione ai differenti climi richiede, al contrario, risposte architettoniche specifiche e intimamente legate al sito e alle culture locali. Lo scatto che si richiede all'architettura, affinché essa si possa definire sostenibile, è il passaggio dallo sfruttamento distruttivo delle risorse del pianeta, oggi prassi corrente per costruire e fare funzionare gli edifici, ad un atteggiamento più bilanciato e rispettoso dell'ambiente. Il processo architettonico deve diventare, in prospettiva, di tipo circolare, nel senso che deve essere configurato in modo da restituire all'ecosistema, al termine della vita utile, le risorse prese temporaneamente a prestito dalla scorta complessiva del pianeta. Le categorie vitruviane di *commoditas, firmitas e venustas* dovrebbero forse essere aggiornate con l'aggiunta della *restituitas*.

02. LE ESPERIENZE EUROPEE

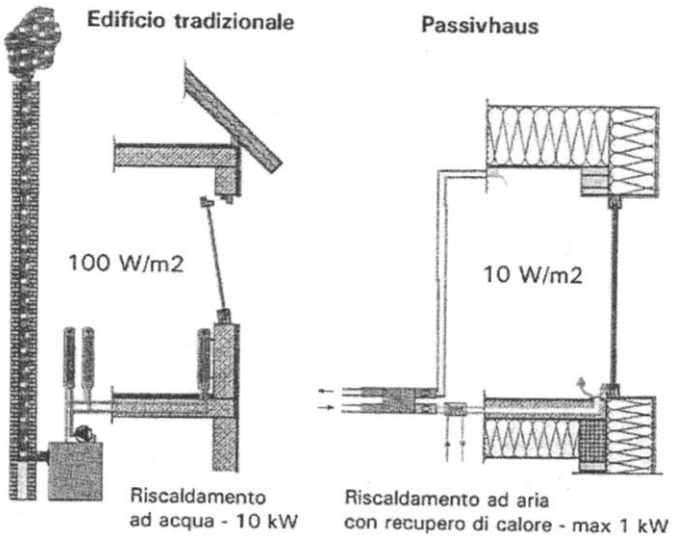
Le differenze culturali che sussistono fra i diversi Paesi europei riguardo alle questioni ambientali si riflettono anche nella pratica progettuale. All'interno di un quadro di riferimento comune, che parte dai trattati internazionali e arriva alle iniziative comunitarie per la protezione dell'ambiente, le misure per rendere sostenibile l'architettura vengono applicate con rapidità ed efficacia variabili. Qualsiasi sia il percorso seguito, appare evidente che il successo di un approccio architettonico sostenibile deriva comunque dall'unione di una forte volontà dal lato della committenza (ed eventualmente delle autorità pubbliche) e della capacità del progettista di gestire la complessità di un processo che deve integrare le competenze di diversi specialisti. Di seguito si fornisce una panoramica dello stato delle pratiche di costruzione ecocompatibile in alcuni Paesi dell'Unione Europea.

Il pragmatismo tedesco

In campo edilizio, il miglioramento della qualità ambientale è andata di pari passo con l'evoluzione dei limiti massimi di consumo, resi progressivamente più stringenti dopo la dimostrazione pratica dell'efficacia degli standard *Niedrigenergiehaus e Passivhäus*. La rapida evoluzione della normativa riflette le preoccupazioni del governo, che si è posto come obiettivo, la riduzione del 25% delle emissioni annuale di CO_2 rispetto ai livelli del 1990, pari a 35 milioni di tonnellate in meno immesse in atmosfera ogni anno. La peculiarità dell'esperienza tedesca sta nella semplicità dell'approccio seguito, che prevede strategie fortemente conservative per minimizzare i consumi energetici, privilegiando soluzioni solide e comprovate piuttosto che espressioni architettoniche spettacolari. La realizzazione di edifici pilota, dove le ipotesi teoriche vengono sperimentate e validate prima di essere tradotte in norme cogenti, ha permesso alle abitazioni a basso consumo di raggiungere quote di mercato significative, con una crescita annuale superiore al 30% e un peso

economico non trascurabile. In linea di principio, si trattava quindi di ridurre il più possibile il fabbisogno energetico degli edifici prima di cercare di soddisfarlo con fonti energetiche rinnovabili. Le prime esperienze in tale senso furono condotte in Svezia nella prima metà degli anni Ottanta ed ottennero un immediato riscontro di mercato, tanto che già dal 1991 il nuovo standard divenne obbligatorio per le nuove costruzioni. Lo stesso approccio fu importato in Germania, dopo pochi anni, con il nome di *Niedrigenergiehaus* (NEH): esso prevede che il fabbisogno limite per il riscaldamento, per un edificio residenziale, deriva dai gradi giorno moltiplicati per un coefficiente dipendente dalla tipologia dell'immobile. Per le abitazioni monofamiliari, tale coefficiente è pari a 0,02 e, per il clima medio tedesco, implica un tetto di consumo annuale attorno ai 70 kWh/m^2 (consumo specifico annuo), con un risparmio del 30% rispetto alle nuove costruzioni conformi alle norme del 1995 e del 50% in rapporto alle norme precedenti. Per ottenere un simile risultato, è necessario intervenire sulla resistenza termica dell'involucro, che deve essere adeguatamente rinforzata attraverso un congruo spessore di isolante, l'impiego di vetri ad alta efficienza e l'eliminazione dei ponti termici. Già nel 1988 furono avviati i primi studi per verificare la possibilità pratica di realizzare un'abitazione priva di impianto di riscaldamento tradizionale, semplicemente aumentando l'intensità delle misure adottate normalmente per ottenere una *Niedrigenergiehaus*. L'idea di base era di ottenere un involucro tanto efficiente da riuscire a garantire le condizioni di comfort ambientale conservando all'interno dell'edificio tutti i guadagni termici gratuiti disponibili, tra cui quelli derivanti dall'irraggiamento solare diretto, dal metabolismo delle persone presenti, dagli elettrodomestici e dai corpi illuminanti. Questo concetto determina la denominazione di *Passivhäus* (casa passiva), da non confondere con l'accezione più comune del termine (in particolare nei Paesi anglosassoni), riguardante edifici che fanno uso prevalente degli apporti solari con largo uso di dispositivi da captazione. L'approccio proposto, come risulta immediatamente evidente, è di tipo marcatamente *conservativo*, e richiede una minimizzazione

non solo dei disperdimenti per conduzione, attraverso le chiusure opache e trasparenti, ma anche di quelli per ventilazione ed infiltrazione di aria esterna, che già nelle *Niedrigenergiehauser* rappresentano una percentuale significativa dei carichi complessivi per riscaldamento.



Confronto tra i principi alla base di un edificio tradizionale e di una Passivhäus

Solo in questo modo è possibile sfruttare in modo efficiente i guadagni gratuiti, che in un edificio tradizionale apportano un contributo trascurabile al bilancio energetico complessivo. La tabella seguente dà un'idea dell'influenza percentuale delle diverse voci del bilancio energetico, a seconda del livello di consumo dell'edificio.

Bilancio energetico simulato per edifici costruiti secondo diversi standard

	Tradizionale	L. 373/76	L. 10/91	Std.NEH	Std. PH
Disperdimenti per trasmissione	5513 kWh	2662 kWh	2260 kWh	1258 kWh	625 kWh
Disperdimenti per ventilazione	916 kWh	745 kWh	618 kWh	410 kWh	82 kWh
Guadagni solari	151 kWh	151 kWh	151 kWh	151 kWh	250 kWh
Guadagni interni	400 kWh	400 kWh	400 kWh	400 kWh	200 kWh
Consumo residuo	5878 kWh	2856 kWh	2327 kWh	1017 kWh	260 kWh
Consumo residuo specifico	370 kWh/m^2	180 kWh/m^2	150 kWh/m^2	70 kWh/m^2	15 kWh/m^2

Un fabbisogno energetico così ridotto, equivalente a circa 150 litri di gasolio per il riscaldamento di un'abitazione da 100 m^2 lungo tutto un inverno, corrisponde ad una riduzione dei consumi superiore al 75% rispetto ad una *Niedrigenergiehaus,* e del 85/90% rispetto ad un edificio costruito in Italia nel rispetto della legge n. 10/91 (il cui consumo tipico può essere individuato fra i 100 e i 150 kWh/m^2.anno). Il primo prototipo di *Passivhäus* fu realizzato nel 1991 a Darmstadt (nei pressi di Francoforte) e, dopo una fase di accurato monitoraggio e la definizione di regole replicabili, ha dato origine ad uno standard che, come si vedrà nel seguito, si sta ampiamente affermando nel Centro Europa.

Accorgimenti tecnici

Lo standard *Passivhäus* si basa sul miglioramento prestazionale di elementi comunque necessari in un edificio, vale a dire l'involucro opaco, le finestre e l'impianto di ventilazione meccanica, senza bisogno di introdurre componenti complessi, o addirittura sperimentali, né richiedere cambiamenti significativi delle abitudini degli utenti. Le strategie da adottare per ottenere i livelli di consumo previsti, pur precisando che sono valide nel clima continentale tedesco e, quindi, non possono essere acriticamente traslate in altri contesti, possono essere così riassunte:

1. iperisolamento delle chiusure opache e assente di ponti termici;
2. vetrate ad alte prestazioni, opportunamente dimensionate per la captazione solare;
3. tenuta all'aria dell'involucro ed impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore ad alta efficienza.

Iperisolamento delle chiusure opache

Al fine di ridurre al minimo il carico energetico per il riscaldamento dell'edificio, la misura più importante, che risulta anche relativamente semplice da mettere in opera – è l'aumento significativo della resistenza termica delle chiusure, in modo da limitare le perdite di calore per conduzione nel periodo invernale.

Questa misura, che inevitabilmente impone il ricorso ad una adeguata stratificazione delle pareti, non fa che accentuare la tendenza, già in atto nei Paesi in cui le spese per il riscaldamento incidono in percentuale rilevante sulle spese di gestione degli edifici, verso l'adozione di strati isolanti di elevato spessore. Indicativamente, il rispetto dello standard Passivhäus, nel contesto tedesco, richiede valori di termotrasmittanza U attorno ai 0,10 W/m^2K per la copertura, 0,13 W/m^2K per le pareti perimetrali verticali e 0,20 W/m^2K per i solai su cantine o altri spazi non riscaldati.

Per raggiungere valori di questo tipo, evidentemente al di fuori della portata delle murature tradizionali, sono necessari spessori di isolante superiori a 25 cm, che in alcune situazioni possono anche raggiungere i 40. E' piuttosto evidente che la semplice aggiunta di una consistente pelle isolante attorno a muri tradizionali in blocchi conduce a spessori complessivi di parete che si aggirano sui 50-60 cm, inaccettabili in contesti normativi dove il calcolo della volumetria non permette di scorporare le porzioni di involucro utili ai fini del risparmio energetico. Anche se non mancano i tentativi di sviluppare soluzioni a cappotto innovative per rendere le chiusure in laterizio compatibile con lo standard *Passivhäus*, la tendenza attuale (in Germania come negli altri Paesi dove si riscontra una significativa diffusione di abitazioni a basso consumo), è quella di adottare soluzioni costruttive stratificate leggere, principalmente su sottostrutture in legno o acciaio, sfruttandone le intercapedini per disporre il materiale isolante. Con queste premesse, si può facilmente notare che le chiusure opache tendono a diventare degli elementi adiabatici, nel

senso che il flusso energetico che le attraversa è prossimo allo zero. Per questo stesso motivo, la tradizionale strategia che suggeriva di ridurre il rapporto fra superficie e volume dell'edificio per minimizzare la superficie disperdente tende a perdere di significato energetico, nonostante sia ancora citata da diversi autori per ridurre comunque i costi e i punti singolari della costruzione.

Finestre ad elevate prestazioni

Dal momento che le chiusure opache si possono considerare prossime all'adiabaticità, i flussi energetici si concentrano sia sulle finestre, sia sugli elementi trasparenti in genere. In particolare, questi devono essere in grado, pur garantendo un livello d'isolamento termico compatibile con i requisiti *Passivhäus*, di lasciare passare un'adeguata quantità di radiazione solare nella stagione fredda. Il guadagno solare diretto, infatti, costituisce una frazione non trascurabile del calore gratuito che viene conservato all'interno dell'edificio.

Nel clima tedesco, alle finestre viene generalmente richiesta una termotrasmittanza U non superiore a 0,80 W/m^2K, calcolata sul complesso del serramento (quindi mediando i contributi del vetro e della cornice). Questo richiede l'adozione di un triplo vetro chiaro, con doppia camera d'aria contenente gas inerte, di cornici efficacemente isolate (*superframes*) e di canaline separatrici in materiale plastico (al posto del metallo comunemente usato). E' necessario che il fattore solare g del serramento sia superiore al 50% e che su uno dei vetri sia previsto un trattamento basso-emissivo, in modo da garantire un sufficiente sfruttamento del soleggiamento diretto senza disperdimenti eccessivi durante la notte o nei periodi di assenza di sole. Il progetto dell'edificio deve tenere in debito conto le necessità di sfruttamento dell'energia solare, rivolgendo verso sud gli ambienti dove gli utenti passano le ore diurne (soggiorno, sala da pranzo, studio ecc.), e dimensionando opportunamente le aperture verso meridione. L'esposizione a sud, infatti, risulta la più vantaggiosa dal punto di vista energetico, dal momento che in inverno i raggi

del sole possono penetrare in profondità nell'abitazione, mentre in estate le finestre possono essere facilmente schermate grazie all'altezza del sole sull'orizzonte. Al contrario, le aperture sui lati est ed ovest portano scarsa energia in inverno (quando il sole è basso e debole), mentre rischiano di creare surriscaldamento in estate, soprattutto nel pomeriggio (per l'esposizione a ovest) quando la temperatura dell'aria è elevata e il sole basso. Le aperture a nord, infine, devono essere tendenzialmente ridotte al minimo, in quanto rappresentano delle superfici quasi esclusivamente disperdenti. L'impiego di serramenti di elevata resistenza termica implica altre due conseguenze interessanti, che emergono dall'analisi delle realizzazioni più recenti conformi allo standard *Passivhäus*. In primo luogo, le bocchette di mandata dell'aria (che sostituiscono i classici corpi scaldanti ad alta temperatura, come i termosifoni) non devono essere necessariamente disposte in prossimità delle finestre, dal momento che non è più necessario contrastare la radiazione fredda proveniente dal vetro. L'involucro esterno, in generale, garantisce una temperatura superficiale interna sufficientemente omogenea, con riflessi positivi sul comfort degli occupanti. In secondo luogo, si tende ormai ad allineare il serramento con il cappotto isolante esterno, e non più con la muratura o la parte portante della chiusura, in modo da creare una barriera isolante il più lineare possibile, limitando al massimo le giunzioni complesse e i punti singolari.

Tenuta all'aria e ventilazione meccanica

Com'è già stato osservato in precedenza, affinché i disperdimenti di calore siano ridotti al minimo è fondamentale intervenire, oltre che sul lato della conduzione (isolamento dell'involucro), anche su quello delle infiltrazioni d'aria, eliminando l'ingresso di aria fredda attraverso le chiusure opache e i serramenti. È quindi necessario adottare soluzioni di serramenti a tenuta e progettare accuratamente l'involucro per evitare che risulti permeabile all'aria, ponendo attenzione

all'esecuzione dei giunti e disponendo, quando necessario (ad esempio in alcune tipologie costruttive in legno), degli strati di protezione dal vento. Il protocollo emesso dal *Passivhäus Institut di Darmstadt* prevede che, una volta terminata la costruzione, dal test *blower door*, eseguito con una differenza di pressione fra interno ed esterno di 50 Pa, risulti un tasso di infiltrazione inferiore a 0,6 volumi per ora. Il requisito di impermeabilità all'aria dell'involucro solleva delle questioni importanti riguardo alla qualità dell'aria interna all'edificio (*indoor air quality*, IAQ): è evidente, infatti, che i ricambi d'aria necessari ad asportare gli agenti inquinanti, quali l'anidride carbonica generata dalle persone, i residui di cottura, l'eventuale fumo e l'umidità, non possono più essere garantiti dalla permeabilità delle finestre, come negli edifici esistenti. L'apertura delle finestre per brevi intervalli di tempo (il tradizionale "cambio dell'aria"), del resto, è un'operazione energeticamente molto dispendiosa, che può arrivare a vanificare gli sforzi per contenere all'interno dell'edificio i limitati carichi termici gratuiti disponibili in una *Passivhäusus*, ed è quindi sconsigliabile in condizioni normali. Si sottolinea che per garantire i 25/30 m^3/h di aria fresca per persona (necessari per ragioni igieniche) bisognerebbe aprire le finestre dell'edificio per 15 minuti ogni tre ore circa, con inaccettabili disperdimenti di calore. Con queste premesse, si comprende la necessità di installare un impianto di ventilazione meccanica che garantisca adeguati tassi di ricambio dell'aria interna senza necessità di intervenire sull'apertura delle finestre. L'orientamento normativo nei diversi Paesi europei, sulla base di queste considerazioni di benessere, è di rendere obbligatori gli impianti di ventilazione, imponendo tassi minimi di ricambio dell'aria anche nelle abitazioni, come si può osservare nella tabella che segue:

Portate minime di aria fresca negli edifici residenziali

Nazione	Portata d'aria esterna	Soggiorno	Camera da letto	Cucina	Bagno + WC	WC
Belgio	20-30 m^3/h per persona		1 dm^3/s per m^2	50-75 m^3/h	14 dm^3/s	7 dm^3/s
Canada	5 l/s per persona			30 l/s	30 l/s (50 l/s scarico)	
Danimarca		0,4-0,6 vol/h		0,7 vol/h	0,7 vol/h	
Finlandia		0,5 l/s per m^2	4 L/s per persona o 0,7 l/s per m^2	20 l/s (espulsione)	15 l/s (scarico)	
Francia				20-35 m^3/h	15-30 m^3/h	15-30 m^3/h
Germania		Min. 60-120 m^3/h; max. 60-180 m^3/h		Min. 40 m^3/h; max. 60 m^3/h	Min. 40 m^3/h; max. 60 m^3/h	Min. 40 m^3/h; max. 60 m^3/h
Olanda		1 dm^3/s per m^2	1 dm^3/s per m^2	21 dm^3/s	14 dm^3/s	7 dm^3/s
Norvegia		Apertura esterna pari a 100 cm^2	Apertura esterna pari a 100 cm^2	Estrazione mecc. 60 m^3/h	Estrazione mecc. 60 m^3/h	Estrazione mecc. 60 m^3/h
Svezia	0,35 l/s per m^2	0,35 l/s per m^2	0,35 l/s per m^2	Estrazione mecc. 10 l/s	Estrazione mecc. 10 l/s	Estrazione mecc. 10 l/s
Svizzera			80-120 m^3/h		30-60 m^3/h	
Gran Bretagna	Min. 8-12 l/s per persona	Aria esterna 1/20 della superficie	Aria esterna 1/20 della superficie	Immissione mecc. 30 l/s	15 l/s (intermittente)	1/20 dell'area di piano
Stati Uniti	Min. 0,35 l/s per persona; Max. 7,5 l/s			50 l/s (intermittente) o 12 l/s (continua)	25 l/s (intermittente) o 10 l/s (continua)	
Italia	0,5 volumi d'aria all'ora					

La Francia e il processo HQE

In Francia, il concetto di sostenibilità edilizia più diffuso è quello dell'alta qualità ambientale.(*Haute Qualitè Environmental, HQE*), che, al contrario delle griglie di valutazione diffuse nel Regno Unito o in Olanda, non ha lo scopo di esaminare un edificio, ma di certificare un percorso progettuale e produttivo. Tale metodologia è di tipo volontario ed evolutivo, e associa una logica di qualità e di comfort ambientale ai principi di gestione del processo necessari alla sua applicazione e al coordinamento delle differenti professionalità coinvolte. HQE è composto da quattordici obiettivi (*cibles*), che sintetizzano quelli riguardanti gli aspetti principali dello sviluppo sostenibile, raggruppati secondo quattro temi (costruzione, gestione, comfort e salubrità). Rispetto agli aspetti energetici, che caratterizzavano l'architettura ecocompatibile degli anni Settanta e Ottanta, il percorso HQE propone un approccio più completo, ma anche più complesso da mettere in opera: nell'elenco dei quattordici obiettivi non sono indicate né gerarchie di

importanza fra aspetti più qualitativi e altri più misurabili, né misure minime che dovrebbero essere rispettate da tutti gli interventi. Tutti gli sforzi francesi si muovono all'interno di un quadro normativo che ha per obiettivo la riduzione delle emissioni nocive e l'aumento significativo dell'apporto delle fonti rinnovabili, che dovrà passare dal 16% del 2001 al 21% del 2010, in linea con le indicazioni dell'Unione Europea.

Per ridurre significativamente il fabbisogno energetico del settore edilizio, il governo francese ha varato nel 2000 una nuova *Reglementation Thermique* (RT 2000), che impone limiti di consumo più stringenti rispetto a quella precedente del 1988. L'obiettivo dichiarato è quello di ottenere un risparmio di energia, per gli edifici residenziali di nuova costruzione, di almeno il 20% rispetto agli standard precedentemente in vigore, e di diminuire il consumo di quelli esistenti, tramite interventi di *retrofit*, del 22% entro il 2010.

L'approccio olandese

Nei Paesi Bassi, dopo le prime esperienze di costruzione ecologica, realizzate a Rotterdam alla fine degli anni Ottanta, e l'inserimento di raccomandazioni sulla scelta dei materiali per le nuove costruzioni nel Regolamento Edilizio della città di Amsterdam, il governo si è fortemente impegnato nella questione della sostenibilità edilizia lanciando, nel 1995, il piano *Sustainable Building Plan: Investing for the future*, sostenuto da incentivi economici di durata quinquennale. Sebbene l'obiettivo dichiarato di costruire secondo criteri di eco compatibilità l'80% delle nuove abitazioni non sia stato raggiunto in pieno, tale piano ha ottenuto il risultato di diffondere ampiamente tali concetti nella prassi olandese. Il sistema di valutazione più diffuso attualmente nel settore edilizio è la griglia DBCA, che fornisce una scala di obiettivi e di risultati per gli immobili di nuova costruzione:

A. per edifici energeticamente autonomi, con un impatto sull'ambiente molto limitato;

B. per edifici con un impatto ambientale ridotto;

C. per edifici convenzionali con misure di correzione dei disturbi arrecati all'ambiente;

D. per edifici convenzionali.

In Olanda si registrano, inoltre, diverse iniziative sperimentali private, mirate alla diffusione di tecniche e strategie innovative per la sostenibilità ambientale delle residenze. Tra queste, si annoverano i progetti pilota per l'applicazione delle tecnologie fotovoltaiche , il cui risultato più spettacolare è il quartiere di Amersfoort con una potenza installata di $1MW_p$, e l'iniziativa, sostenuta dal WWF, per realizzare case energeticamente efficienti senza innalzare i costi o richiedere sussidi pubblici.

In quest'ultimo caso, il marchio "panda" del WWF è stato utilizzato come veicolo di marketing a larga scala, in modo da trasmettere al pubblico la certezza di una solida base scientifica senza bisogno di ricorrere a formule o calcoli complessi.

Il concetto svizzero Sinergie

La Confederazione Elvetica si è posta come obiettivo la diminuzione del 10% delle emissioni di CO_2, entro l'anno 2010 per mezzo di incentivi all'utilizzo di tecniche più efficienti, dal punto di vista energetico, anche nel settore delle costruzioni. In tale contesto, nel 1996 è stata costituita una società privata, con la partecipazione dei cantoni di Zurigo e di Berna, con l'obiettivo di definire un label per le nuove costruzioni che riducesse significativamente i consumi energetici garantendo, al contempo, il comfort ambientale degli utenti. Il risultato delle ricerche è lo standard Minergie, che prescrive valori massimo di consumo di energia per il riscaldamento e l'elettricità sensibilmente

inferiori alle norme attualmente vigenti. I diritti di sfruttamento del label, che è ancora privato, appartengono al governo federale, a venticinque cantoni e a circa cinquanta tra imprese, associazioni ed università. La tabella seguente indica i valori limite previsti dallo standard Minergie, per raggiungere i quali è necessario un approccio conservativo simile a quello tedesco, basato sull'iperisolamento termico delle chiusure e su un sistema di ventilazione meccanica controllata.

Valori limite dello standard Minergie

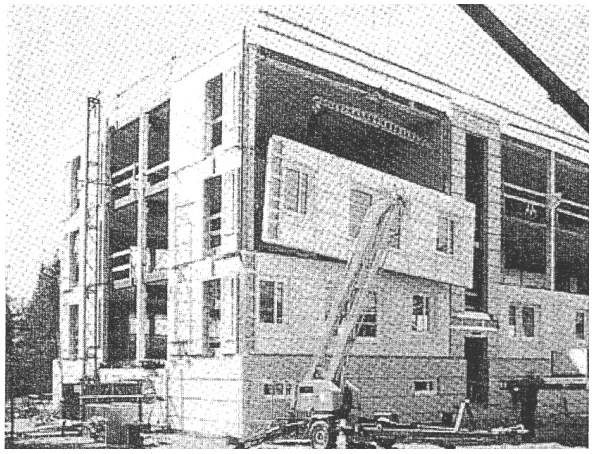
	Consumo specifico annuale	U medio per involucro opaco	U medio per finestre
Legge vigente	85 kWh/m2 (305 MJ/m^2)	0,3 W/m^2K	1,6 W/m^2K
Standard Minergie	45 kWh/m2 (160 MJ/m^2)	0,2 W/m^2K	1,3 W/m^2K
Standard Passivhäus	15 kWh/m2 (53 MJ/m^2)	0,1 W/m^2K	0,8 W/m^2K

Scopo dell'associazione Minergie è quello di promuovere l'uso di strategie e tecniche costruttive che permettano la riduzione della dipendenza energetica da fonti non rinnovabili in modo economicamente efficace. Inoltre, lo standard prescrive altri obiettivi, quali la salubrità dell'aria interna, il comfort termico invernale ed estivo, la protezione dai rumori, e sollecita l'utilizzo di energia rinnovabile per il fabbisogno degli immobili. L'esperienza derivante dagli edifici già realizzati mostra che il sovracosto rispetto ad un edificio tradizionale si aggira intorno al 2/3 % , facilmente recuperabile in pochi anni grazie al risparmio annuale sulle spese di riscaldamento. Il concetto Minergie si è rapidamente affermato in tutta la Svizzera, tanto che società importanti come le assicurazioni Swiss Re hanno recentemente deciso di costruire solo secondo tale standard, e diversi istituti bancari concedono mutui e finanziamenti a condizioni più favorevoli per edifici che ottengono il marchio. Attualmente sono già stati costruiti circa 1800 immobili Minergie, divisi in

parti uguali tra uffici e residenze. L'applicazione su vasta scala dello standard potrebbe portare al dimezzamento delle emissioni di CO_2, con una riduzione annuale di 10 milioni di tonnellate emesse.

03. LE SOLUZIONI TECNOLOGICHE

Appare evidente che l'affermazione di un modello di sviluppo sostenibile nel settore edilizio passa per la diffusione a vasta scala di tecniche costruttive differenti da quelle di uso corrente. Queste, infatti, non solo influiscono sull'impatto ambientale dell'edificio durante tutta la vita utile, ma devono anche essere in grado di garantire i livelli prestazionali previsti dal progetto, in continua ascesa nel tempo. La spinta verso condizioni di comfort sempre maggiori, derivante da imposizioni normative o da richieste espresse direttamente dagli utenti, carica gli elementi tecnici, in particolare quelli di frontiera, di requisiti via via più stringenti, particolarmente nei settori acustico e termico.



… che possono poi essere assemblati in cantiere con rapidità e precisione

L'adozione di normative così esigenti richiede, tuttavia, un ripensamento delle tradizioni costruttive, che in Italia, e in generale nell'area mediterranea, assegnavano il ruolo di struttura portante e di chiusura a spesse pareti di mattoni pieni, associate all'idea di solidità e permanenza

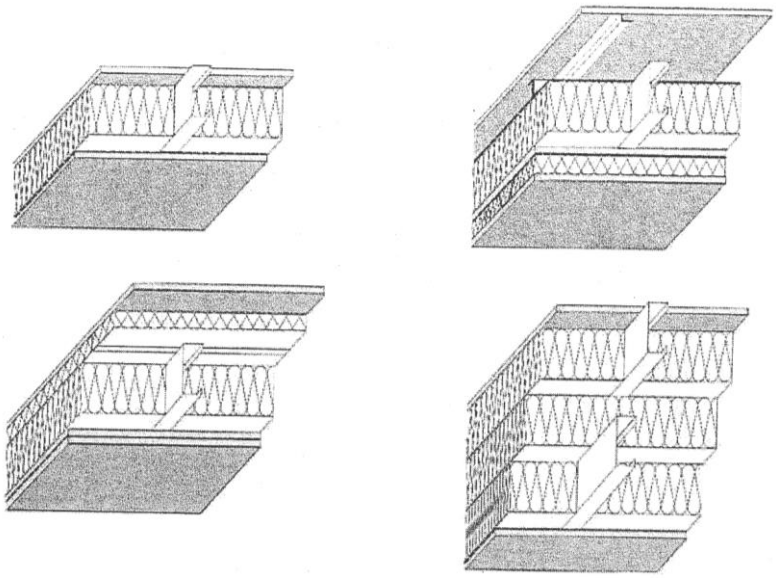
nel tempo da una millenaria sedimentazione culturale. Con l'avvento delle strutture puntiformi in calcestruzzo armato, all'inizio del secolo scorso, la muratura ha perduto la funzione strutturale e, nel tentativo di ottimizzare l'economia e la gestione del cantiere, i mattoni sono stati progressivamente alleggeriti fino agli attuali modelli forati, usati nella maggior parte delle costruzioni residenziali. Privati della loro massa, i laterizi da soli non sono però in grado di garantire le prestazioni di isolamento termico e acustico richieste dalle normative più recenti, neppure nella diffusa soluzione a doppia cassetta con pochi centimetri di isolamento termico all'interno (che tra l'altro ignora i più elementari accorgimenti per evitare la formazione di ponti termici).

Le caratteristiche delle tecniche di domani

Sulla base delle considerazioni svolte sopra è possibile tratteggiare le caratteristiche che dovrebbero possedere delle tecniche costruttive che si propongano come alternativa sostenibile a quelle correnti. Si possono identificare alcuni requisiti imprescindibili per i procedimenti costruttivi del prossimo futuro:

1. ***progettabilità***: il progettista deve essere in grado di assemblare materiali diversi, e specializzati, al fine di garantire i requisiti di progetto e, in particolare, il livelli di consumo energetico previsto, tramite una opportuna variazione degli spessori e degli schemi funzionali. Per raggiungere questo obiettivo, è necessario ricorrere a elementi tecnici stratificati, che permettono di dosare puntualmente le prestazioni per ogni singolo progetto con un efficiente uso dei materiali;

2. ***leggerezza***: è stato dimostrato che, nel capitolo precedente, che è fondamentale per la riduzione del consumo di risorse nelle fasi di costruzione, gestione e smontaggio dell'edificio, e per garantire una più efficace gestione del cantiere. Tuttavia, oltre a questo aspetto fisico, si può affermare che sia necessaria una leggerezza *concettuale*, nel senso che la tecnica costruttiva non deve imporre l'immagine architettonica dell'edificio, ma, se necessario, deve essere capace di annullarsi;



Possibilità di stratificazione di una chiusura verticale realizzata con il sistema Profilhaus

3. ***evolutiva:*** l'edificio non è un oggetto fisso ed immutabile, m a un organismo che nel tempo è soggetto ad obsolescenza (differenziata tra le sue diverse parti) e alla variazione delle funzioni che ospita. Le tecniche costruttive devono possedere una naturale inclinazione alla manutenzione, alla sostituzione delle parti, alla variazione volumetrica (addizione o sottrazione, in accordo con le limitazioni urbanistiche) e di immagine (tramite la riconfigurazione dell'aspetto esterno), al cambiamento di funzione (flessibilità);
4. ***reversibilità:*** al termine della vita utile, qualora non sia possibile il riutilizzo dell'immobile per altri scopi, deve esserne possibile la demolizione selettiva, per il riuso o il riciclaggio dei

suoi componenti. Le tecniche costruttive devono presentare una propensione allo smontaggio, con connessioni reversibili e separazione funzionale dei differenti.

VANTAGGI AMBIENTALI DELLE TECNICHE S/R (Strutture/rivestimento)

La crescente diffusione delle tecniche S/R si spiega anche con la loro naturale propensione alla compatibilità ambientale, che in questo periodo costituisce una delle principali spinte all'innovazione del mercato edilizio. I procedimenti di costruzione a secco garantiscono una risposta adeguata ed efficace ai nuovi requisiti di sostenibilità, che, come evidenziato nei capitoli precedenti, si esplicano in modalità differenti nelle varie fasi del ciclo di vita dell'edificio. I principali vantaggi che presenta la tecnologia S/R in questo campo possono essere così riassunti:

- *leggerezza intrinseca delle soluzioni tecniche:* la combinazione adeguata di materiali diversi, che collaborano fra loro sinergicamente, permette di liberarsi del peso, dal momento che le funzioni in passato attribuite alla muratura monostrato vengono ora assolte dai singoli strati specializzati. La massa, quindi, può essere concentrata solo dove è effettivamente necessaria (ad esempio per la gestione del comportamento inerziale dell'edificio). Gli altri elementi tecnici possono così essere liberati dal peso, con riflessi positivi dal punto di vista strutturale, ergotecnico, e in generale del risparmio di risorse. Si tenga presente, a titolo di esempio, che una parete stratificata dello spessore di 12,5 cm, in lastre di gesso rivestito su sottostruttura metallica, offre le stesse prestazioni termiche ed acustiche di una muratura monostrato di 27 cm. Com'è stato osservato in precedenza, la leggerezza è, in generale, condizione di fondo indispensabile per limitare l'energia incorporata nell'edificio;
- *progettabilità:* le soluzioni tecniche, nell'ottica S/R, vengono progettate specificamente per ogni intervento, accostando materiali specializzati

funzionalmente e di spessore adeguato. Questa modalità operativa consente di rispondere puntualmente alle necessità prestazionali di ogni singolo progetto, che sono variabili (in quanto dipendenti dal contesto) e sempre più stringenti. I ridottissimi livelli di consumo dello standard Passivhäus, e in genere delle norme precedentemente adottate in Germania, sono la manifestazione più evidente di una tendenza, in atto in tutta Europa, verso l'adozione di soluzioni che richiedono adeguati spessori di isolamento termico: questi, definiti di volta in volta, possono essere disposti nelle intercapedini che si formano nelle soluzioni a secco più avanzate (su sottostruttura portante), con un notevole risparmio di spazio rispetto alle soluzioni in muratura. Le infinite possibilità combinatorie degli strati, e la variabilità degli spessori, consentono un utilizzo efficiente dei materiali, ciascuno con un ruolo definito, evitando gli sprechi di risorse e la duplicazione delle funzioni. Le tecniche S/R , in sintesi, permettono di ottenere soluzioni tecniche adeguate ai livelli di risparmio energetico oggi richiesti, con un impiego efficiente dei materiali (il doing more with less di Fuller);

- *assemblabilità a secco e reversibilità:* la modalità di montaggio che consegue naturalmente alla progettazione di soluzioni stratificate è quella a secco, dal momento che permette un assemblaggio rapido ed efficiente degli strati e dei componenti. Questo metodo operativo non solo minimizza i tempi di lavorazione in cantiere (insieme alle lavorazioni umide, infatti, si eliminano anche i tempi di attesa dell'asciugatura), ma permette anche di ridurre l'energia incorporata nell'edificio a causa delle operazioni di trasporto e di costruzione. La bassa energia delle connessioni, che restano in genere reversibili, e la separazione fra i vari componenti delle soluzioni tecniche, consentono di svolgere con estrema semplicità – e minimo

consumo di energia – le operazioni di manutenzione durante la vita utile dell'edificio. Gli impianti, infatti, restano accettabili, in quanto svincolati dagli altri componenti della costruzione, e gli elementi tecnici possono essere riparati o sostituiti con operazioni non distruttive;

- *riciclabilità delle parti:* la reversibilità dell'assemblaggio, e la separazione fra i diversi componenti, che sono caratteristiche inerenti alla costruzione stratificata a secco, comportano una naturale propensione al disassemblaggio finale dell'immobile riutilizzando o riciclando le parti; infatti, terminata la vita utile, è possibile smontare l'edificio in modo controllato, grazie alle connessioni non perenni utilizzate e separarne i diversi componenti, che, in virtù della separazione fisica degli strati, restano facilmente identificabili per il loro riutilizzo.

04. GLI STRUMENTI DELLA SCELTA

I materiali utilizzati nel settore dell'edilizia sono moltissimi, sfruttano materie prime di natura diversa, vengono realizzati con processi diversificati e vengono utilizzati con modalità imprecisate.

Questo quadro fa si che la situazione legata all'edilizia porti enorme confusione quando viene approcciato il tema della compatibilità ambientale.

Metodi magici sulla scelta dei prodotti o dei sistemi più "eco – compatibili" purtroppo, per il momento, non sono a nostra conoscenza ed a nostro uso.

Esistono sistemi che tentano di analizzare nel modo più completo e scientifico possibile le fasi della vita di un prodotto, creando così un "metodo" che permette di realizzare il confronto anche se non in modo esaustivo. Il confronto può essere basato sulla quantità di materie prime utilizzate piuttosto che sull'energia consumata piuttosto che sull'emissioni di CO_2 in atmosfera. Sono tutti indici che vengono raggiunti e calcolati mediante metodi che lasciano all'operatore un elevato

grado di flessibilità e che quindi provoca un confronto apparentemente corretto. La vera correttezza risulta dalla comparazione dei metodi di definizione e di calcolo degli indici piuttosto che dal confronto del dato finale.

Vengono quindi proposti differenti sistemi per comparare i materiali.

1. Valutazione del ciclo di vita

Per stabilire l' impatto ambientale di un prodotto (o servizio, o qualunque attività), è necessario ricorrere a metodi complessi di analisi che esaminino tutti gli effetti da esso causati.

Questa analisi viene definita Analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Analysis - LCA) ed è un sistema di contabilità che tende a determinare il costo ambientale delle attività umane.

La Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) ha impostato le linee guida per redigere una LCA, recepite nella norma ISO 14040, definisce LCA come:

QUADRO NORMATIVO LCA

Riportiamo il quadro normativo attuale, disponibile presso UNI, riguardo alla valutazione del ciclo di vita di un prodotto:

UNI EN ISO 14040
Gestione Ambientale – Valutazione del ciclo di Vita – Principi e quadro di riferimento

UNI EN ISO 14041
Gestione Ambientale – Valutazione del ciclo di vita – definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione e analisi dell'inventario

ISO 14042
Gestione Ambientale –valutazione del ciclo di vita – valutazione dell'impatto del ciclo di vita

ISO 14043
Gestione Ambientale –valutazione del ciclo di vita –interpretazione del ciclo di vita

ISO TR 14049
Gestione Ambientale valutazione del ciclo di vita – Esempi di applicazione della ISO 14041 nella definizione degli obiettivi e del campo di applicazione dello studio e dell'analisi dell'inventario

Guide e supporti
UNI ISO 14050
Gestione ambientale - Vocabolario

ISO 14060
Guida per l'inclusione degli aspetti ambientali negli standard di prodotto

La ISO 14040 definisce le fasi costituenti una LCA:

DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI E DEL CAMPO DI APPLICAZIONE DELLO STUDIO

Il Campo di Applicazione deve essere definito in termini di:

- Sistema Prodotto e suoi confini, che racchiudono tutte le unità di processo da considerare
- Funzioni del Sistema Prodotto (o Sistemi, nel caso di studi di confronto)
- Unità Funzionale, cioè l'entità unitaria riferita alla prestazione che viene assunta come riferimento, rispetto a cui vengono normalizzati i dati
- Requisiti di qualità dei dati (tempo, luogo, origine, precisione, affidabilità, etc.)

La norma ISO 14041 definisce il "Sistema Prodotto" come:

insieme elementare di unità di processo, connesse tra loro per quanto riguarda materia ed energia, che perseguono una o più funzioni definite (per prodotto si intende anche servizio).

Funzioni e Unità Funzionale

Un Sistema Prodotto può avere più di una Funzione (prestazione caratteristica). Quella di riferimento sarà scelta in base agli obiettivi. Scopo principale dell'Unità Funzionale è fornire un punto di riferimento per l'omogeneizzazione dei flussi. La comparazione tra sistemi dovrà essere fatta in base alle stesse funzioni, misurate in base alla stessa unità funzionale nella forma di flussi di riferimento equivalenti. (Es. nel caso di due funzioni "asciugamento mani" si possono paragonare asciugamani di carta e asciugatori elettrici; l'unità funzionale saranno le "mani asciugate". Nel primo caso il flusso di riferimento seguirà il peso della carta consumata, nel secondo probabilmente l'energia consumata). La norma ISO TR 14049 dà una serie di esempi sulla definizione delle funzioni, dei flussi di riferimento e delle unità di processo.

Inventario

La raccolta dei dati presuppone la conoscenza completa e dettagliata di tutte le unità di processo. I dati devono essere descritti (se rilevati direttamente, se calcolati, e come, se di letteratura, etc.). Devono anche essere definiti i procedimenti di calcolo (ad esempio, per l'energia elettrica, la composizione delle fonti, le efficienze di produzione, trasmissione e distribuzione). Ecco perché luogo e tempo sono parametri determinanti per la significatività dei dati. Attraverso bilanci di massa ed energia e comparazione dei fattori di emissione, i dati debbono poi essere validati, cioè verificati e corretti. I dati vengono poi correlati alle Unità di Processo, stabilendo l'opportuna unità di misura e, nel caso, un criterio di ripartizione (allocazione), come nella contabilità industriale. La norma ISO TR 14049 dà esempi di costruzione dell'inventario, di allocazione e trattamento delle opzioni di riuso e riciclaggio.

I dati vengono quindi normalizzati rispetto all'Unità Funzionale ed infine aggregati in categorie omogenee:

- ✓ Energia
- ✓ Materie prime
- ✓ Prodotti
- ✓ Emissioni in aria
- ✓ Rifiuti solidi
- ✓ Ecc.

Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCA)

E' la terza fase della LCA, la più delicata, ed ha lo scopo di stabilire la portata degli impatti rilevati dai risultati dell'inventario.

Il quadro metodologico per questo è ancora in corso di sviluppo, la norma ISO 14042 ne indica le linee guida, i fattori chiave e le limitazioni.

1) Il metodo di valutazione dell'eco compatibilità dei progetti edilizi è basato:

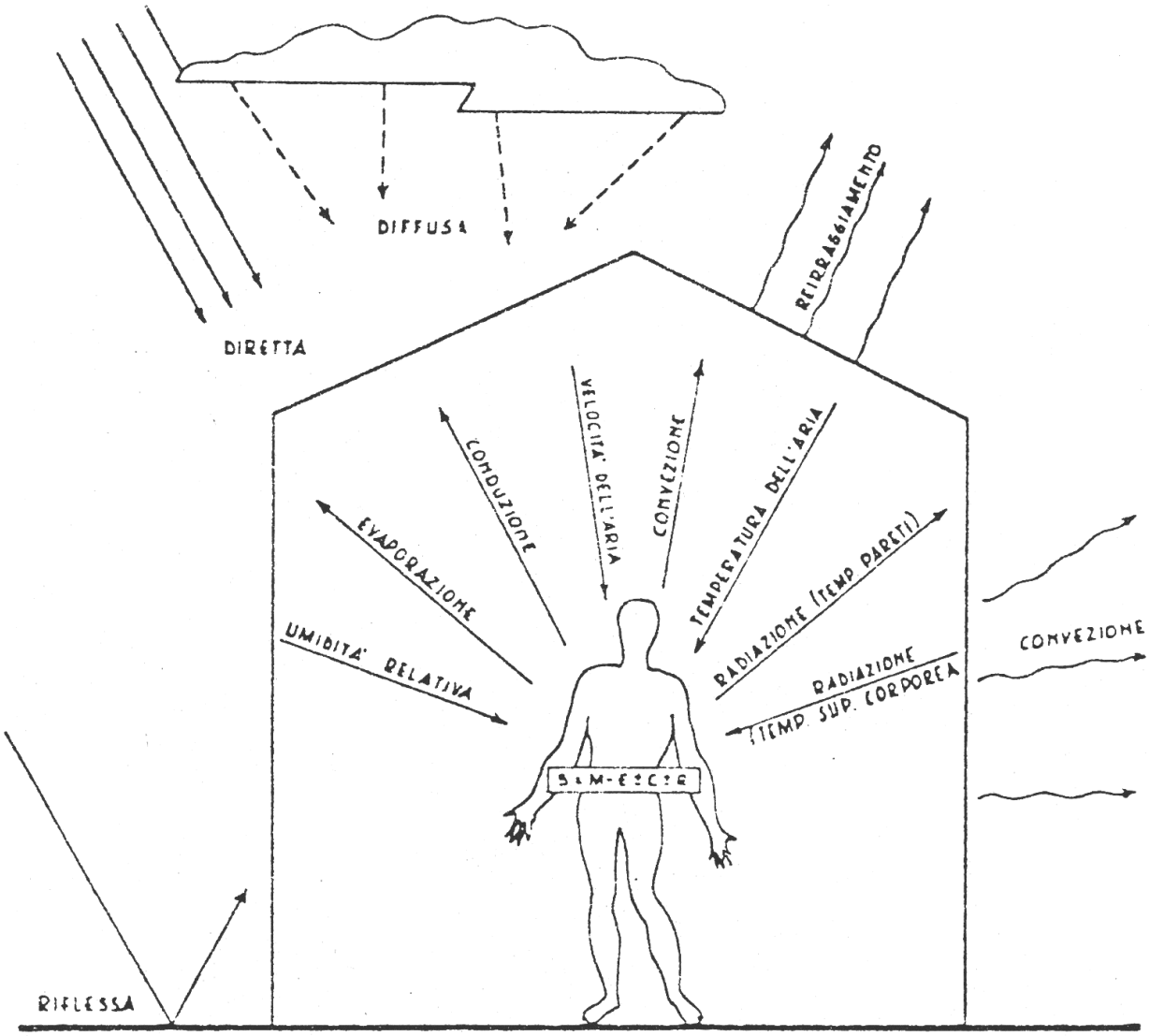
   a. sull'approccio esigenziale – prestazionale, per quanto riguarda l'individuazione dei requisiti
   b. sull'attribuzione di un punteggio positivo, che esprime il livello d'ecocompatibilità del progetto, rispetto ad un valore di riferimento (benchmarkl), rappresentativo, per ogni requisito, della prassi corrente o di quanto richiesto da norme in vigore, se presenti.
   c. Sull'applicazione, a tale punteggio, di un sistema di pesatura multiplo e gerarchizzato (metodo prof. Grosso – Torino).

3.

La progettazione bioclimatica

01. L'ARCHITETTURA E IL CLIMA

Oggi la casa ha funzioni complesse, resta sempre primaria quella condizione di comfort, in opposizione ad un clima esterno che invece non le garantisce.



La casa quindi può essere vista come un sistema che ha, fra le altre funzioni, quella di modificare certe condizioni esterne per renderle compatibili con le esigenze fisiologiche (comfort) dell'uomo. Se guardiamo il problema da questo punto di vista, vediamo che esso può sintetizzarsi in una serie di scambi termici fra uomo ed ambiente interno e fra casa ed ambiente esterno. L'equilibrio termico casa-ambiente esterno, è determinato dai seguenti fenomeni:

- riscaldamento delle superfici esterne dovuto all'irraggiamento solare (diretto, diffuso, riflesso);
- guadagni di calore attraverso le finestre dovuti all'irraggiamento solare (diretto, diffuso, riflesso);
- scambi convettivi fra superfici esterne ed aria ambiente (dipendenti dalla temperatura dell'aria, dal vento e dalla presenza o meno di pioggia);
- scambi radiativi fra superfici esterne ed ambiente (dipendenti da temperatura ed remissività del cielo, dal terreno e dalle ostruzioni).

Il clima

I parametri meteorologici sopra citati subiscono continue variazioni diurne e stagionali intorno a valori medi che sono diversi secondo il luogo. Dall'effetto combinato dell'irraggiamento solare e del reirraggiamento nell'infrarosso si ha il bilancio termico netto della terra, a seconda del periodo dell'anno le diverse zone della terra hanno bilanci positivi o negativi (escluso le zone tropicali, dove il bilancio è sempre positivo). Questo fenomeno dà luogo alle variazioni stagionali di temperatura ed ai venti che, assieme alla piovosità, caratterizzano le diverse aree climatiche sulla terra.

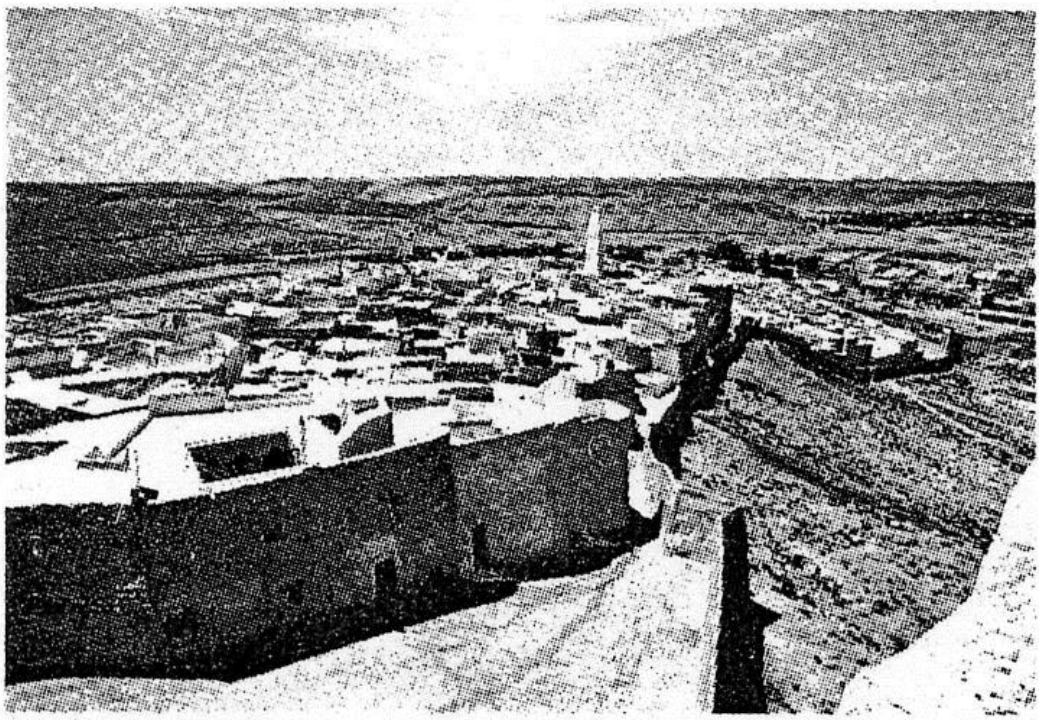
Se si esamina un planisfero, in cui la terra sia suddivisa in aree climatiche principali, e si analizzano le architetture tradizionali in esse sviluppatesi, si verifica una sostanziale omogeneità di soluzioni

dipendente proprio dall'area climatica e non dall'area geografica o dal tipo di sviluppo socio-culturale. Si trovano cioè soluzioni architettoniche simili sviluppate da popolazioni fra loro distanti migliaia di chilometri e che nulla hanno in comune se non il clima. Per chiarire meglio questo concetto basta fare riferimento alla architettura spontanea, a quell'architettura cioè che nasce dalle specifiche esigenze del suo utente e che si afferma in una data area restando uguale a se stessa per centinaia di anni perché costituisce la soluzione ottimale in relazione ai materiali e alle tecnologie disponibili. Specialmente nelle aree climatiche più estreme, dove la funzione "protezione dalle condizioni climatiche avverse" diventa funzione prevalente dell'abitazione, troviamo esempi di soluzioni architettoniche ed urbanistiche che minimizzano gli effetti dei fattori climatici più indesiderabili.

Così abbiamo l'architettura araba che, nei principi informatori, è simile a quella dei pueblos perché analoghe sono le vicende climatiche da combattere. In realtà l'architettura araba o, più in generale, islamica è ancora più sofisticata, ai fini del rapporto con il clima, di quella degli indiani. Infatti, oltre a sfruttare l'inerzia termica delle strutture, per utilizzare durante la notte fredda l'onda termica dovuta alla radiazione solare ricevuta durante il giorno, gli arabi hanno dimostrato di conoscere fino in fondo i fattori ambientali che influiscono sul comfort termico e la loro architettura è volta alla realizzazione delle condizioni di comfort sfruttando anche la ventilazione, l'umidificazione e l'irraggiamento delle pareti verso l'ambiente interno. Le fontane, le cupole, le aperture piccole e poste in alto, la larghezza delle strade, l'altezza degli edifici, tutto è ottimizzato al fine di "piegare" materiali e forme alla funzione della climatizzazione naturale. Lo stesso tipo di soluzioni impiegate dai Seminole si trovano in Borneo, nelle Filippine, dovunque il clima sia caldo umido. In Italia la mitezza delle condizioni climatiche ha portato generalmente alla prevalenza di altri fattori che hanno caratterizzato più fortemente l'architettura ma, nella tradizione, il fattore climatico raramente è stato del tutto trascurato. Nelle isole minori dove i fattori di difesa,

commercio, valore dell'arch. ecc. sono stati meno rilevanti che sulla terraferma, il fattore climatico si è invece imposto come prevalente. Troviamo così il dammusu Pantelleria, la casa contadina, che è una struttura massiccia e compatta per difendersi dai venti d'inverno e dal sole d'estate. Il dammusu è inoltre un collettore di acqua piovana.

Frequentatissima nelle case di campagna siciliane è una siepe-barriera fatta di fichi d'India e sistemata a ridosso della casa a nord, per difesa dai venti freddi. Sulla facciata sud è invece tipico il pergolato con un rampicante privo di foglie d'inverno per fare beneficiare la facciata dall'irraggiamento solare, e fitto di verde d'estate, per proteggerla e creare una zona vivibile.



02. PROGETTARE ENERGIA - AMBIENTE

Il clima di un'area è definito dai valori e dagli andamenti giornalieri e stagionali dei parametri temperatura, umidità, piovosità, vento e radiazione solare. Poiché il bilancio termico di un edificio dipende da questi parametri e da essi dipende anche il comfort, è necessario entrare più nel dettaglio ed analizzare i singoli fattori climatici. A questo deve aggiungersi l'influenza della topografia e della vegetazione che possono contribuire a modificare sostanzialmente il rapporto edificio-ambiente dal punto di vista termico.

Temperatura dell'aria

In assenza di vento l'aria si riscalda per effetto del calore ceduto dal terreno. La temperatura a cui si porta il terreno, a sua volta, dipende dal bilancio fra energia solare incidente e remissione nell'infrarosso. In inverno, nelle giornate limpide, il terreno perde più di quanto riceva, e la temperatura può essere più bassa che in una giornata coperta, perché in questo caso le nuvole impediscono la remissione. Naturalmente l'esistenza di venti caldi o freddi altera completamente il bilancio. Piccoli spostamenti orizzontali o verticali da un dato luogo possono portare variazioni anche consistenti dei valori di temperatura misurati. Al centro di una città, per esempio, la temperatura è mediamente 2°C maggiore che nelle campagne circostanti in inverno ed anche più in estate. Ciò è dovuto, nel primo caso, all'esistenza di fonti di calore (impianti di riscaldamento, automobili, ecc.: e nell'altro diverso bilancio di energia radiante determinato dalla vegetazione. Anche le escursioni termiche giorno-notte sono più marcate in campagna che in città. Se ci si sposta in altezza, si ha una diminuzione di circa 0,5 °C per ogni aumento di cento metri di quota in inverno e 0,6°C in estate. Per effetto del reirraggiamento notturno il terreno si raffredda e con esso lo strato di aria a contatto. Lo strato di aria fredda così formato tende a "scivolare", come l'acqua, verso le zone più basse, e si formano così delle "pozze fredde". Nello stesso modo piccole alture che impediscono che un flusso di aria più calda possa lambire il terreno, agiscono come una

diga permettendo la formazione di un “lago freddo”. Questo tipo di fenomeno è ben noto agli agricoltori della zona di Vittoria (Sicilia), tanto che, per evitare le gelate notturne, hanno installato nei campi decine di giganteschi ventilatori per ostacolare la formazione delle pozze fredde. Il fenomeno sopra descritto assume proporzioni macroscopiche nelle valli, nelle cui sommità e nei cui fianchi si forma lo strato di aria fredda che scorre verso la base. Lungo i fianchi si hanno dei movimenti di aria che provocano la miscelazione fra quella fredda e quella calda. Si avrà quindi una sommità fredda, una base molto fredda ed i fianchi più caldi, come spesso viene confermato dal tipo di vegetazione.

Scambi radiativi edificio-ambiente

Lo scambio termico radiativi fra edificio ed ambiente avviene attraverso i seguenti canali:

1. radiazione diretta a lunghezza d’onda piccola proveniente dal sole;
2. radiazione diffusa a lunghezza d’onda piccola proveniente dal la volta celeste;
3. radiazione a piccola lunghezza d’onda riflessa dal terreno circostante;
4. radiazione a grande lunghezza d’onda riflessa dal terreno dagli oggetti circostanti;
5. radiazione a grande lunghezza d’onda proveniente dal cielo;
6. radiazione a grande lunghezza d’onda emessa dall’edificio verso cielo, verso il terreno e verso gli oggetto circostanti.

Di questi sei canali di scambio tre (1, 2, 5) dipendono esclusivamente dalle condizioni climatiche, uno (3) dipende sia dalle condizioni climatiche che dalle caratteristiche del terreno, e dagli altri due (4,6) dalle caratteristiche del terreno e dei materiali.

Irraggiamento solare

I dati di irraggiamento solare disponibili di solito in orari, giornalieri o mensili di radiazione globale (diretta + diffusa) superficie orizzontale. Ai fini progettuali occorre però conoscere il valore dell'irraggiamento su una superficie comunque inclinata orientata. Per calcolare il valore istantaneo della radiazione solare incidente una superficie comunque inclinata ed orientata la espressione comunemente usata è: $H_t = (H-H_d)\, R_b + H_d\, (1+\cos s)/2 + \rho\, H\, (1-\cos s)/2$ (1)

Dove:

H_t = radiazione solare incidente sulla superficie inclinata di s g rispetto all'orizzontale e di azimut γ

H = radiazione solare totale incidente su una superficie orizzontale

R_b = rapporto fra l'irraggiamento solare diretto (totale –diff) indicente sulla superficie in esame e quello incidente sulla superficie orizzontale

S = angolo formato fra il piano della superficie ed il piano orizzontale

ρ = albedo del terreno

Se indichiamo con θ l'angolo formato fra la normale alla superficie e la direzione della radiazione solare diretta, e con θ_z l'angolo zeni cioè l'angolo formato fra la direzione della radiazione solare diretta e la verticale, il rapporto R_b si può scrivere:

$R_b = (H_n \cos\theta)/(H_n \cos\theta_z) = \cos\theta/\cos\theta_z$

Dove H_n rappresenta il valore della radiazione solare diretta. A loro volta $\cos\theta$ e $\cos\theta_z$ possono scriversi, rispettivamente

$\cos\theta = \sin\delta \sin\Phi \cos s - \sin\delta \cos\Phi \sin s \cos\gamma + \cos\delta\cos\Phi\cos s \cos w + \cos\delta\sin\Phi\sin s \cos\delta\cos w + \cos\delta\sin s \sin\gamma \sin w$

$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\rho + \cos\delta \cos\Phi \cos w$

dove:

δ = declinazione = $23.45 \sin [360\, (284+n)/365]$

n = giorno progressivo dell'anno (n=1 per il 1 gennaio, n=365 per il 31 dicembre)

Φ = latitudine

γ = angolo azimutale della superficie, cioè l'angolo formato fra la normale alla superficie e la direzione sud, misurati sul piano orizzontale. Le superficie affacciate verso est hanno azimut positivo, quello verso ovest negativo, zero le superfici affacciate a sud esatto.

W = angolo orario. Vale zero a mezzogiorno. Aumenta di 15° ogni ora contata a partire da mezzogiorno, con valori positivi la mattina e negativi il pomeriggio. Per esempio w = +30° alle ore 10.00 ed w = -45° alle ore 15.00.

Nell'espressione iniziale compare l'irraggiamento diffuso H_d che di solito non è noto, ed occorre quindi stimarlo. Per la stima di H_d si può ricorrere al metodo di Liu e Jordan. Il metodo si basa sulla correlazione fra i rapporti H/H_o e D/H, dove:

H = irraggiamento solare totale giornaliero incidente su una superficie orizzontale

H_o = irraggiamento solare extraterrestre giornaliero incidente su una superficie orizzontale

D = irraggiamento solare diffuso giornaliero incidente su una superficie orizzontale

L'irraggiamento solare H_0 si può calcolare mediante l'espressione:

$H_o = (24/\pi)\, I_{sc}\, \{[1+0.033 \cos (360\, n/365)] \times [\cos\Phi \cos \delta \sin w_s + (2\pi\, w_s /360) \sin \Phi \sin \delta]\}$

Dove n, Φ, δ hanno il significato già visto precedentemente mentre w_s rappresenta l'angolo orario al sorgere del sole e I_{sc} = 1353 w/m^2 la costante solare.

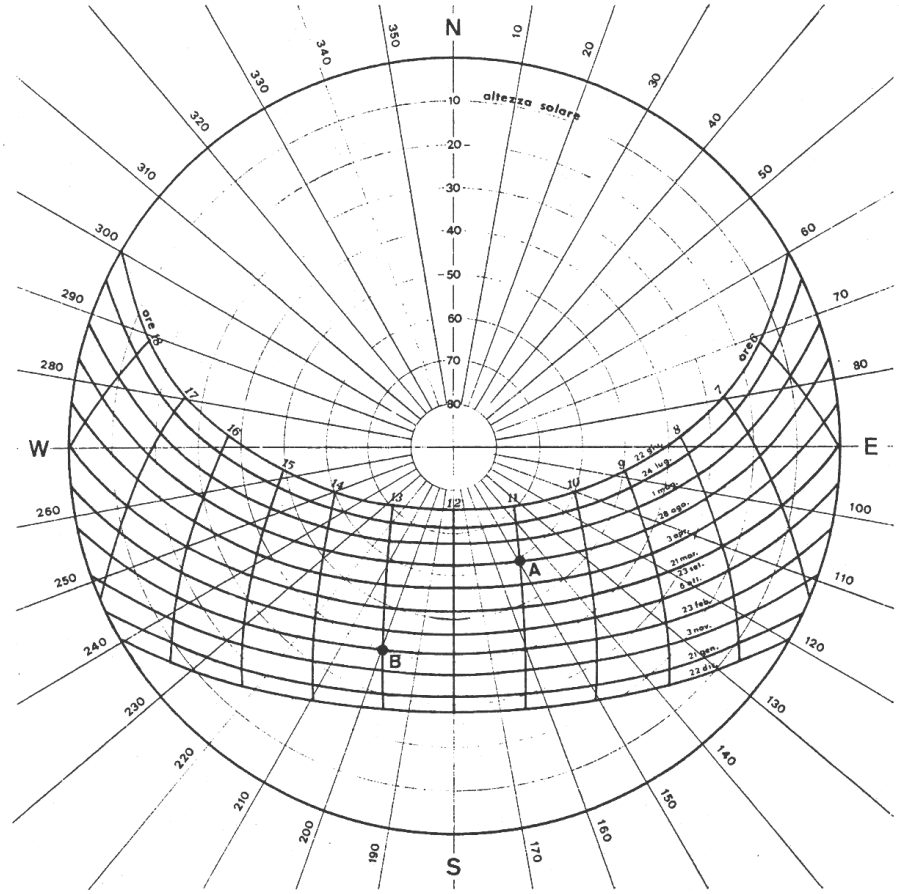
L'angolo orario al sorgere del sole w_s può ottenersi mediante le

$\cos w_s = -\tan \Phi \tan \delta$

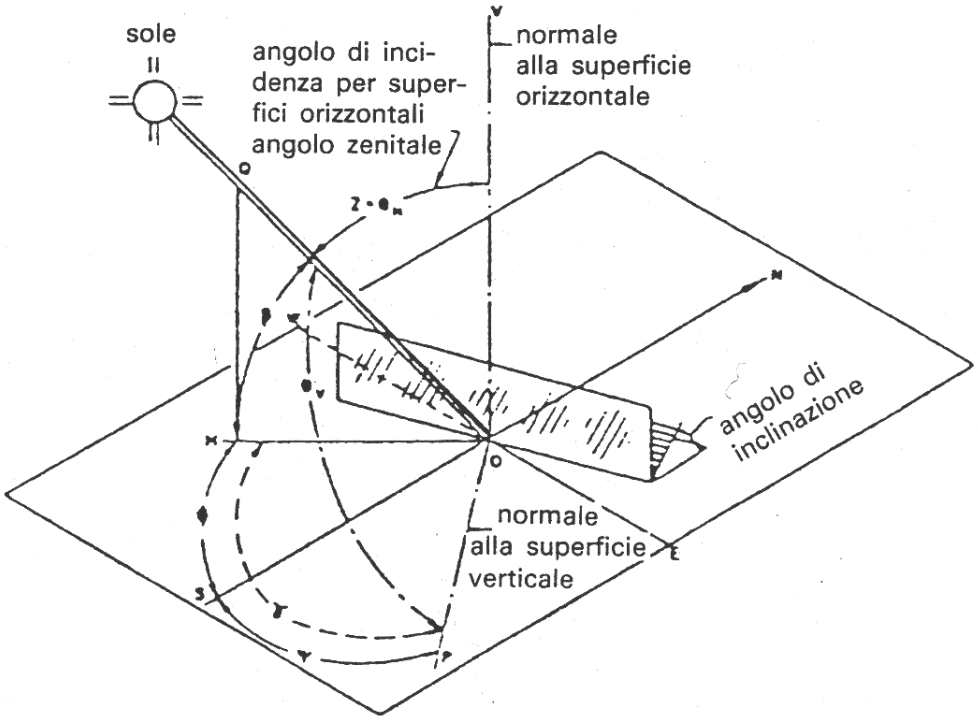
L'albedo (o coefficiente di riflessione diffusa) assume valori diversi in dipendenza del tipo di terreno circostante.

In tabella sono indicati alcuni valori di ρ.

Tipo di superficie	ρ
Terreno nudo, asciutto	0.1-0.25
Terreno nudo, bagnato	0.08-0.09
Sabbia, asciutta	0.18-0.30
Sabbia, bagnata	0.09-0.18
Roccia	0.12-0.15
Erba secca	0.32
Prati verdi	0.03-0.15
Foglie verdi	0.25-0.32
Foreste scure	0.05
Deserto	0.24-0.28
Laghi salati	0.42
Mattoni, secondo il colore	0.23-0.48
Asfalto	0.15
Area cittadina	0.1
Neve	0.6-0.7



Il tipo di calcolo descritto impone, ovviamente, l'uso di un computer, data la sua lunghezza e ripetitività. I valori di irraggiamento teorico per giornate limpide su superfici a diverse orientazioni ed inclinazione sono disponibili sotto forma di tabella in alcuni manuali.



Poiché la conoscenza della posizione del sole nel cielo nel corso del giorno e delle stagioni può essere di grande utilità per valutare le ombre, sono stati messi a punto dal "diagramma dei percorsi solari" del tipo di figura precedente (costruito per una latitudine di 38°). Mediante questi diagrammi è possibile leggere immediatamente l'altezza solare ed azimut in qualsiasi giorno ed in qualsiasi ora dell'anno.

Irraggiamento solare e topografia

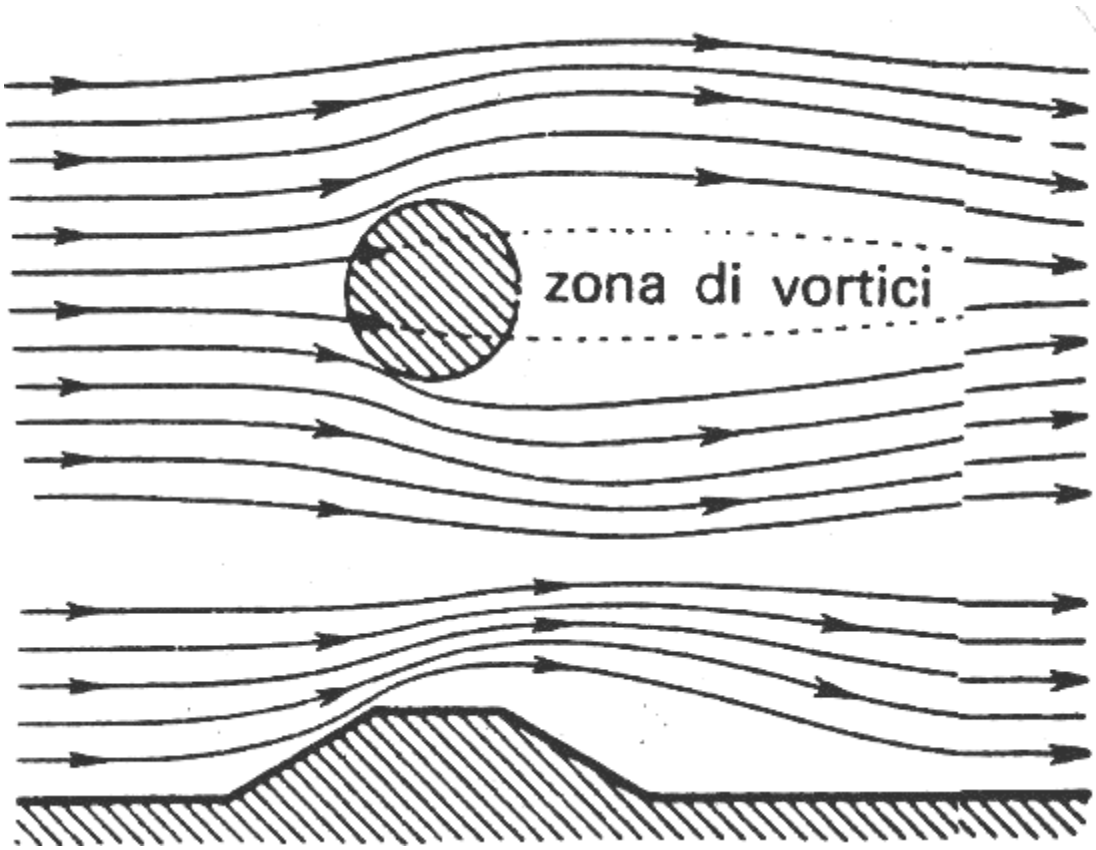
Le condizioni medie di irraggiamento sono molto importanti ai fini della scelta di un sito in cui prevedere la costruzione di un edificio. Nella ricerca di luoghi adatti è opportuno tendere verso la scelta di superfici inclinate ed orientate verso sud (una superficie inclinata ed orientata a sud riceve – rispetto ad una superficie orizzontale – più radiazione solare d'inverno e, se molto inclinata, meno d'estate. Gli alberi costituiscono un ottimo mezzo per controllare l'irraggiamento

solare su una facciata – se l'edificio non supera i due-tre piani. Scegliendo infatti alberi a foglie caduche si può ottenere ombra d'estate e sole d'inverno.

Vento e piovosità

Il vento e la pioggia influiscono sul bilancio termico di un edificio in quanto aumentano il coefficiente di scambio convettivo. Il vento inoltre dà luogo ad un incremento delle infiltrazioni d'aria. Una collina influenza sia l'andamento delle correnti ventose che la distribuzione delle precipitazioni.

In figura è mostrato come tutta la parte a valle della collina costituisca una zona di calma, mentre in corrispondenza della cresta la velocità dell'aria sia maggiore.



L'anno tipo

La conoscenza di dati climatici dettagliati per un periodo di tempo breve è di scarsa utilità ai fini di una progettazione energeticamente corretta. Ciò che conta infatti è la valutazione dei benefici apportati da una data scelta o soluzione tecnologica in relazione ai costi. Per fare ciò occorre avere informazioni tali da consentire una valutazione complessiva sul lungo periodo. È evidente che l'analisi del comportamento di un edificio effettuata su un periodo di almeno 15 anni richiederebbe l'impiego di un numero di dati meteorologici dettagliati talmente grande da rendere impossibile un calcolo manuale ed estremamente costoso l'uso del computer. Per superare questo scoglio è stato proposto l'uso di un anno-tipo. Per anno-tipo si intende un anno costruito con dati meteorologici tali da rappresentare, ai fini del sistema che si vuole esaminare, un periodo di tempo più lungo. L'anno tipo cioè, usato come imput per valutare il comportamento termico di un edificio, fa si che il risultato della valutazione sia equivalente dal punto di vista energetico, a quello che risulterebbe dall'impiego di 15 o più anni reali. Uno dei sistemi più semplici per formare un anno-tipo per una certa località è il seguente:

1. si esamina una sequenza temporale molto lunga (15-20 anni) di dati meteorologici:
2. si calcola la media di un parametro di riferimento (per es. temperatura o irraggiamento) per ciascun mese. Si trova cioè il valore medio sul periodo considerato della temperatura, per esempio considerando tutti i mesi di gennaio, tutti quelli di febbraio ecc. Si ottiene così la temperatura media (su tutto il periodo) di ciascun mese;
3. si sceglie il mese reale, fra tutti quelli in esame, la cui media di temperatura è più vicina alla media sul lungo periodo precedentemente trovata. L'anno-tipo risulta formato da tutti questi mesi reali.

03. I SISTEMI PASSIVI

un progetto di un edificio passivo cerca di massimizzare, entro determinati vincoli di natura economica, i vantaggi offerti dalle risorse ambientali, e di minimizzare la dipendenza da combustibili fossili e da apparecchiature meccaniche. Ciò si ottiene collegando selettivamente alcune parti dell'edificio all'ambiente più adatto allo scambio energetico desiderato in un determinato momento. A differenza dei tradizionali sistemi a conservazione dell'energia, che pongono l'accento sull'isolamento termico dell'ambiente, i sistemi passivi di riscaldamento e raffrescamento rappresentano un tentativo in positivo di utilizzare l'ambiente mediante una giudiziosa interazione. I sistemi passivi di riscaldamento solare utilizzano elementi dell'edificio per captare, accumulare e distribuire l'energia. Anche il raffrescamento passivo utilizza elementi dell'edificio per accumulare e distribuire l'energia e, quando le condizioni dominanti sono favorevoli, per scaricare il calore nelle parti più fredde dell'ambiente (cielo, atmosfera, suolo). in tutti i casi, gli scambi energetici a, da, e all'interno dell'edificio si basano principalmente su processi naturali, cioè sulla conduzione, la convezione e l'irraggiamento, con una minima dipendenza da dispositivi meccanici come ventilatori, pompe e compressori. Dispositivi meccanici possono essere usati efficacemente per aumentare i flussi energetici naturali quando i costi iniziali e di esercizio sono giustificati da un migliore rendimento del sistema. Poiché la captazione, l'espulsione, l'accumulo e la distribuzione dell'energia vengono generalmente effettuate da elementi ed aspetti architettonici dell'edificio, i componenti di un sistema passivo non sono facilmente distinguibili dal resto della struttura.

Definizioni generali

Un sistema per il riscaldamento solare dello spazio comprende i seguenti elementi:

° uno *spazio* (o, più precisamente, degli oggetti contenuti in questo spazio) da riscaldare;

° un *collettore* dove la radiazione solare viene immessa nel sistema e convertita in calore da un assorbitore (questo può essere nient'altro che una superficie del normale involucro dell'edificio);

° un *accumulatore termico* (questo può essere nient'altro che la normale capacità termica della massa dell'edificio).

Scambi energetici possono avvenire tra:

° collettore e accumulatore,

° collettore e spazio,

° accumulatore e spazio.

Un sistema per il raffrescamento dello spazio comprende i seguenti elementi:

° uno spazio (o , più precisamente, degli oggetti contenuti in questo spazio) da raffrescare;

° un pozzo ambientale (cielo, atmosfera o suolo) in cui viene scaricato il calore;

° un accumulatore termico (questo può essere nient'altro che la normale capacità termica della massa dell'edificio).

Scambi energetici possono avvenire tra:

° pozzo e accumulatore;

° pozzo e spazio;

° accumulatore e spazio.

In un determinato sistema di riscaldamento o raffrescamento, alcuni di questi scambi possono non esistere, o almeno essere insignificanti. Gli scambi di energia cadono in due categorie:

° forzati (con l'uso di ventilatori, pompe e compressori);

° naturali (per conduzione, convezione e irraggiamento).

Se tutti gli scambi rilevanti che collegano i tre elementi di un sistema di riscaldamento o di raffrescamento implicano un flusso forzato, il sistema viene classificato come attivo. Se tutti gli

scambi rilevanti che collegano i tre elementi di un sistema di riscaldamento o di raffrescamento implicano un flusso puramente naturale, il sistema viene classificato come passivo. Se alcuni degli scambi rilevanti che collegano i tre elementi di un sistema di riscaldamento o di raffrescamento implicano flussi prevalentemente naturali, ma il sistema comprende anche dispositivi meccanici per il trasferimento dell'energia, il sistema viene classificato come ibrido.

Riscaldamento

Qualsiasi schema di classificazione dei sistemi passivi di riscaldamento solare deve tener conto di due fattori particolarmente importanti:

1. le caratteristiche dell'apertura di captazione:

° orientazione rispetto al sud e alla verticale,

° posizione rispetto al resto della struttura dell'edificio;

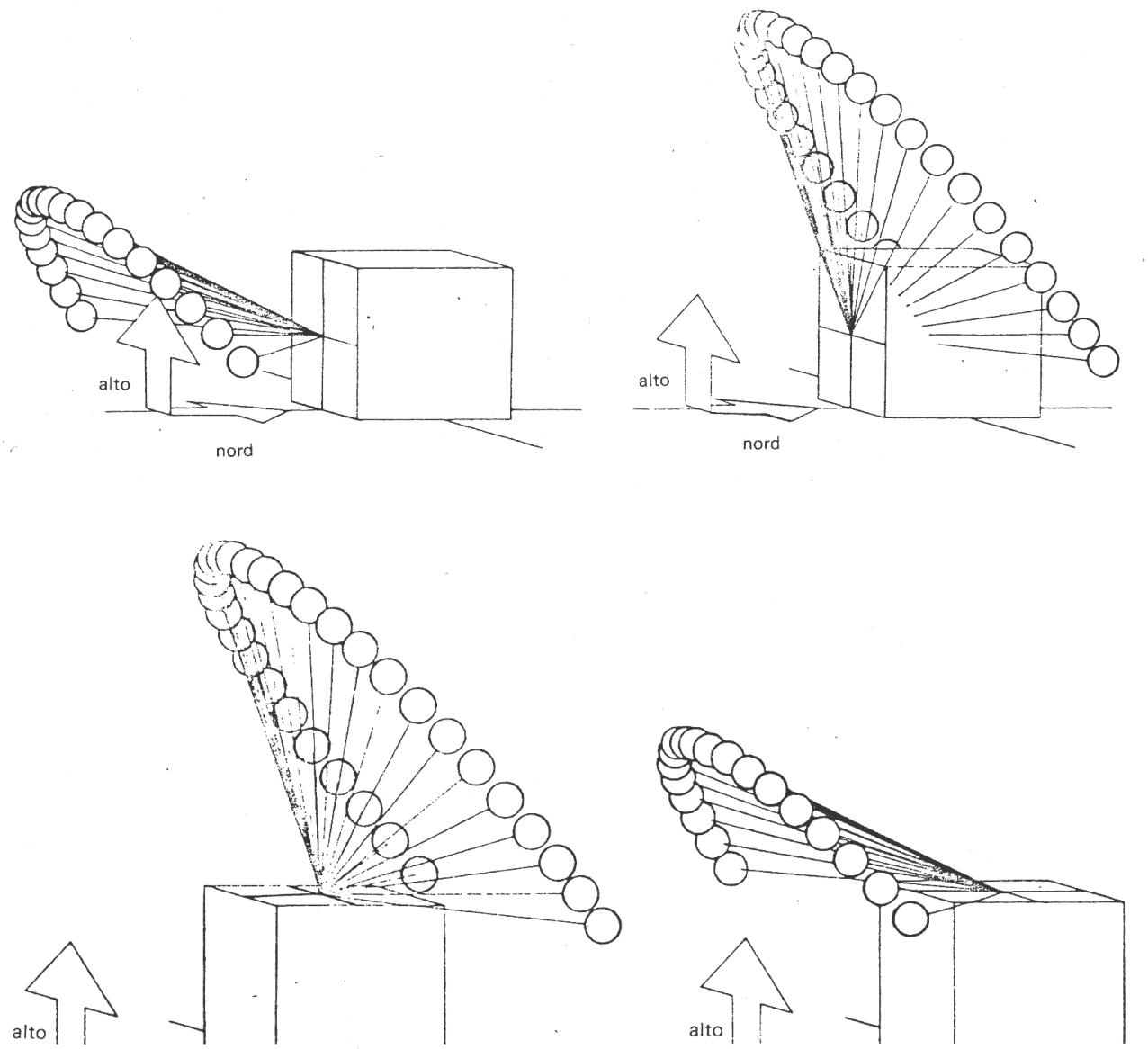
2. il modo di cui l'energia viene diffusa nello spazio climatizzato:

° il meccanismo, o i meccanismi, energetici,

° il grado di controllo termico.

Caratteristiche relative all'apertura di captazione

Nelle zone temperate dell'emisfero boreale, d'inverno il sole sorge a sud dell'est e rimane generalmente basso nel cielo meridionale per poi tramontare a sud dell'ovest. D'estate, al contrario, il sole sorge a nord dell'est e si leva a notevole altezza prima di tramontare a nord dell'ovest.



D'altra parte, la metratura verticale rivolta a sud non è esposta ai raggi diretti del sole estivo per gran parte del giorno, e durante le ore in cui rimane esposta, l'angolo di incidenza è sfavorevole alla penetrazione. Inoltre, modesti aggetti possono eliminare completamente qualsiasi esposizione ai raggi diretti del sole estivo. In questo senso, la metratura verticale rivolta a sud può rappresentare la "tecnica passiva fondamentale". All'interno dell'ambiente dell'edificio, il moto del sole viene usato per "neutralizzare le stagioni" che quel moto ha generato. Il moto del sole è il principale fattore di regolazione dell'ambiente termico dell'edificio. Andando all'estremo opposto,

una vetratura orizzontale riceve modeste quantità di radiazione solare diretta durante l'inverno, generalmente ad angoli di incidenza sfavorevoli, ed è invece soggetta a una forte radiazione solare diretta durante l'estate, generalmente ad angoli di incidenza corrispondenti ad un'elevata trasmissività della vetratura. Di per se stessa, la vetratura risponde al movimento del sole in un modo che amplifica la variazione termica stagionale. Evidentemente, bisogna usare qualche metodo speciale per regolare il flusso di energia attraverso l'apertura (ad esempio, un isolamento mobile). Tali sistemi saranno più complicati di quelli che usano semplicemente una vetratura verticale rivolta a sud, ma la maggiore complessità può essere giustificata in termini di un maggior controllo del sistema o di vantaggi per quanto riguarda il raffrescamento. Importante è anche la posizione dell'apertura relativamente al resto della struttura dell'edificio. Nei comuni sistemi passivi di riscaldamento, le tre posizioni possibili sono la parete sud, il tetto, o in una posizione separata dall'involucro vero e proprio dell'edificio. I sistemi di riscaldamento sulla parete sud hanno il vantaggio della semplicità e dell'economia. I sistemi di riscaldamento sul tetto funzionano bene in situazioni in cui vincoli relativi al terreno limitano l'esposizione della parete sud o impediscono una giusta orientazione dell'edificio. Essi hanno anche il vantaggio di trattare tutte le zone allo stesso modo. I sistemi di riscaldamento separati possono essere progettati in modo da ottenere un semplice sistema di controllo che limita guadagni o perdite termiche indesiderate. Essi hanno anche il vantaggio di fornire una superficie di captazione supplementare che si aggiunge all'energia captata attraverso l'involucro vero e proprio dell'edificio.

C'è un numero limitato di combinazioni vantaggiose di orientazione e di posizione dell'apertura.

° un'apertura a sud è costituita da elementi vetrati verticali nella parete sud dell'edificio. Un'apertura di questo tipo riceve la radiazione solare prevalentemente dalla parte meridionale del cielo (sole invernale).

° un'apertura schermata sul tetto consiste di elementi vetrati verticali e di elementi opachi inclinati sul tetto dell'edificio. Un'apertura di questo tipo riceve la radiazione solare prevalentemente dalla parte meridionale del cielo (sole invernale).

° un'apertura sul tetto è costituita da elementi vetrati orizzontali sul tetto dell'edificio. A meno che non sia controllata con metodi speciali, ad esempio un isolamento mobile, un'apertura di questo tipo riceve la radiazione solare prevalentemente dalla parte superiore del cielo (sole estivo).

° un'apertura separata, cioè che non fa parte dell'involucro vero e proprio dell'edificio, può essere disposta a qualsiasi angolo per ricevere la radiazione solare da qualsiasi parte del cielo.

Metodi di erogazione dell'energia

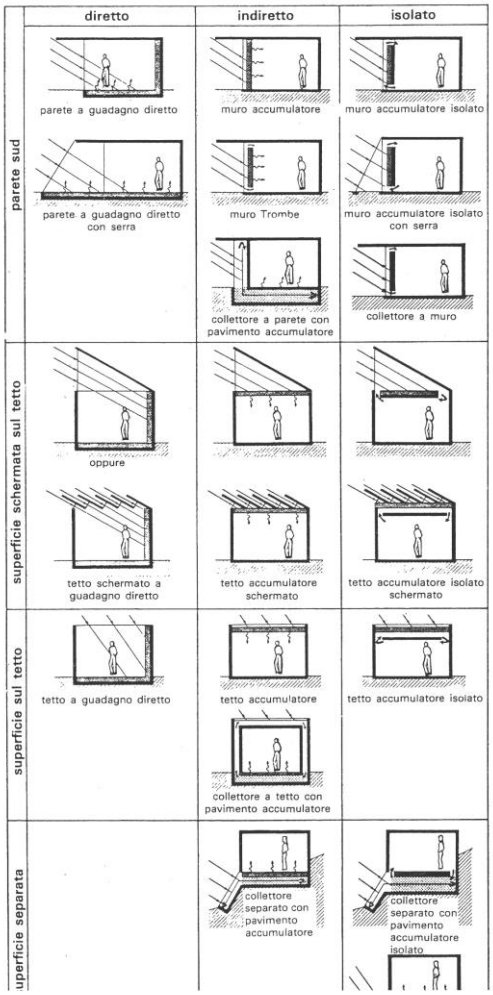
Il modo in cui l'energia viene erogata allo spazio climatizzato ha una profonda incidenza sul grado di uniformità termica che si può importare. La scelta del sistema più efficiente, temuto conto del costo, per qualsiasi applicazione è fortemente influenzata dal rigore dei requisiti termici. Vi sono tre ampie categorie di sistemi passivi di riscaldamento solare in base al modo in cui l'energia viene erogata allo spazio.

° nel riscaldamento diretto, la radiazione solare entra direttamente nello spazio, dove viene convertita in calore per assorbimento sulle superfici interne dello spazio e gli oggetti in esso contenuti (persone, mobili, piante, ecc.). Gli oggetti o le superfici dello spazio devono essere esposti alla luce. Affinché il sistema possa captare l'energia, la temperatura dell'aria dello spazio "fluttua" con quella delle superfici assorbenti e/o dell'accumulatore termico.

° nel riscaldamento indiretto, la radiazione solare viene convertita in calore per assorbimento su una superficie esterna allo spazio. Gli oggetti contenuti nello spazio non sono direttamente esposti alla luce del sole. La temperatura dell'aria nello spazio "fluttua" con quella dell'assorbitore e/o dell'accumulatore termico.

° nel riscaldamento isolato, la radiazione solare viene convertita in calore per assorbimento su una superficie esterna allo spazio. Gli oggetti contenuti nello spazio non sono direttamente esposti alla luce del sole. La temperatura dell'aria nello spazio può essere regolata indipendentemente da quella dell'assorbitore e dell'accumulatore termico. Date queste definizioni fondamentali, possiamo classificare i comuni sistemi passivi di riscaldamento nei termini della seguente matrice.

Nella figura sono mostrate schematicamente varie combinazioni di posizioni dell'apertura e di meccanismi di trasferimento dell'energia. Le configurazioni mostrate comprendono i sistemi passivi di riscaldamento più comuni e forniscono un campione rappresentativo di sistemi meno comuni che possono avere un potenziale altrettanto buono. Queste combinazioni non esauriscono in alcun modo l'elenco delle possibilità. Questa figura introduce anche una nomenclatura generale per la descrizione dei sistemi passivi.



Raffrescamento

Il raffrescamento passivo implica lo scarico di energia mediante un collegamento selettivo del sistema con le parti più fredde dell'ambiente. Se le condizioni ambientali sono corrette, questo flusso energetico avverrà per mezzi naturali. I possibili pozzi ambientali in cui scaricare il calore dal sistema sono il cielo, l'atmosfera e il suolo. Il raffrescamento radiativi verso il cielo funziona bene in ambienti con cielo limpido, e può raffreddare il sistema al di sotto della temperatura dell'aria esterna. Il principale limite di questo meccanismo di raffrescamento è costituito dal guadagno termico convettivo e radiativi dall'atmosfera circostante. L'energia del sistema può anche essere scaricata direttamente nell'atmosfera in quei periodi in cui le condizioni dell'aria esterna sono favorevoli a tale scambio. Il calore può venire disperso aumentando il calore sensibile dell'aria circostante (ad esempio, raffrescamento mediante l'aria notturna) o aumentando il suo calore latente (ad esempio, raffrescamento per evaporazione). In entrambi i casi, il trasferimento di energia può essere notevolmente aumentato aumentando il movimento dell'aria. La forza usata per creare questo movimento può provenire dal vento, da ventilatori, o da speciali meccanismi convettivi. Negli ambienti secchi, il raffrescamento evaporativi ha la possibilità , come il raffrescamento per irraggiamento nel cielo, di ridurre la temperatura del sistema al di sotto della temperatura dell'aria ambiente. Il raffrescamento evaporativi ha lo svantaggio di consumare acqua, una risorsa naturale che può scarseggiare proprio nei climi in cui il raffrescamento evaporativi è più efficace. Grazie alla grande massa termica della terra, la temperatura del suolo durante l'estate sarà normalmente diversi gradi più bassa di quella dell'aria ambiente. A differenza del raffrescamento evaporativi o di quello radiativi, che richiedono speciali condizioni climatiche, come aria secca o cielo limpido, il raffrescamento con scarico al suolo può essere usato per eliminare una parte notevole del normale carico di raffrescamento anche in ambienti umidi e

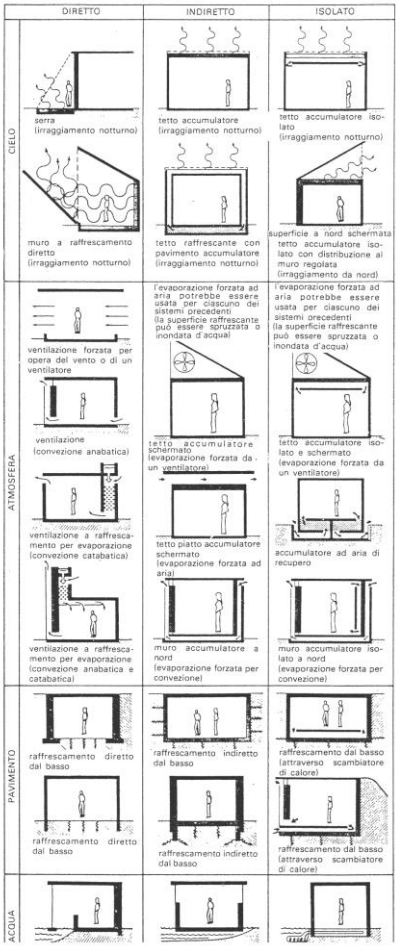
molto nuvolosi. In analogia con i sistemi di riscaldamento, vi sono processi di raffrescamento diretti, indiretti e isolati.

° il raffrescamento diretto si ha quando le superfici interne e gli oggetti contenuti nello spazio sono esposti direttamente al pozzo o ai pozzi energetici ambientali.

° il raffrescamento indiretto si ha quando lo spazio viene raffrescato per irraggiamento incontrollato verso l'accumulatore.

° il raffrescamento isolato si ha quando viene raffrescato mediante trasferimento convettivo o radiativi controllato verso l'accumulatore (o qualche superficie di scambio) che è a sua volta raffrescato mediante esposizione al pozzo o ai pozzi energetici ambientali.

Nella prossima figura è mostrato un campione rappresentativo di combinazioni di pozzi termici ambientali e di meccanismi per il trasferimento dell'energia dallo spazio abitato. Le configurazioni mostrate includono i sistemi passivi di raffrescamento più comuni e un campione rappresentativo di sistemi meno comuni che possono avere un potenziale altrettanto buono. Queste combinazioni non esauriscono in alcun modo l'elenco delle possibilità. La figura introduce una nomenclatura generale per la descrizione dei sistemi passivi di raffrescamento.



Caratteristiche di diversi sistemi passivi comuni

Ogni sistema passivo di riscaldamento e raffrescamento ha specifiche limitazioni e possibilità progettuali. Piuttosto che scegliere un sistema e cercare di integrarlo con il progetto architettonico, si dovrebbe lasciare che siano i requisiti progettuali dell'edificio, o di ciascuno spazio dell'edificio, a determinare il sistema o i sistemi passivi più appropriati. Tra i fattori che contribuiscono a identificare il sistema passivo, o la combinazione di sistemi, più appropriato, vi sono: la posizione dello spazio nell'edificio (accesso a risorse ambientali), il fabbisogno termico dello spazio, il suo fabbisogno di illuminazione naturale, le vedute che è desiderabile siano visibili dallo spazio, le caratteristiche materiali dello spazio, il grado di controllo termico richiesto, considerazioni relative alla privacy, e considerazioni di carattere elastico. Sono qui sotto descritte le caratteristiche di quattro comuni sistemi passivi che mettono in luce alcuni dei fattori testé citati.

Muro ad apporto diretto

Il sistema di riscaldamento a muro ad apporto diretto è semplicemente lo spazio abitato usato come un collettore solare. Per fornire comfort e risparmi energetici adeguati, il sistema deve comprendere un metodo per assorbire e accumulare il calore captato durante il giorno per usarlo nelle fredde notti invernali. Inoltre, per evitare il surriscaldamento durante i mesi estivi, si dovrebbe usare un aggetto che schermi la vetratura, ed è consigliabile un isolamento mobile per ridurre le perdite termiche durante l'inverno. Il sistema di riscaldamento a muro ad apporto diretto ha le seguenti caratteristiche:

° La vetratura è una forma poco costosa di collettore solare. Essa è disponibile in grandi dimensioni e le sue proprietà termico-fisiche sono ben note.

° Con un'appropriata orientazione e organizzazione degli spazi dell'edificio, i costi complessivi del sistema possono essere molto simili a quelli di un edificio tradizionale.

° Poiché lo spazio è collegato direttamente alla radiazione solare entrante, la vetratura svolge molteplici funzioni: captazione solare, illuminazione naturale, e collegamento visivo con l'esterno.

° Per basse percentuali di riscaldamento solare (fino a 25%), non è necessario nessun accumulo termico addizionale oltre a ciò che vi è nell'edificio.

° La radiazione ultravioletta può rovinare i tessuti, i mobili e le opere d'arte esposte direttamente alla luce del sole.

° Per ottenere maggiori percentuali di riscaldamento solare (più del 50%), è necessaria una massa termica addizionale per ridurre le fluttuazioni di temperatura. Questo termoaccumulatore termico addizionale può comportare una notevole spesa.

° Escursioni termiche dello spazio interno di 6-8 °C sono comuni, anche in edifici ben progettati.

° I sistemi di isolamento mobile per ridurre le perdite termiche notturne attraverso la vetratura possono essere costosi e ingombranti per grandi superfici.

° La vetratura è un elemento familiare che i progettisti conoscono molto bene e quindi dovrebbe minimizzare la riluttanza o l'incertezza nell'usare sistemi ad apporto diretto.

Muro termoaccumulatore

Invece di distribuire uniformemente l'accumulatore termico sulle superfici dello spazio in un sistema ad apporto diretto, un sistema di riscaldamento a muro termoaccumulatore pone la massa termica direttamente dietro la vetratura. La massa intercetta la radiazione solare sulla sua superficie esterna e poi trasmette attraverso il muro per conduzione il calore così ottenuto. Aprendo nel muro dei passaggi per l'aria, il calore può venire trasmesso immediatamente nello spazio per convezione. I sistemi di riscaldamento a muro termoaccumulatore hanno le seguenti caratteristiche:

° L'accumulatore termico è unificato in un solo elemento dell'edificio, riducendo il suo impatto sul progetto complessivo dell'edificio.

° L'erogazione dell'energia allo spazio è maggiormente controllabile che non in un sistema ad apporto diretto. Essa può avvenire immediatamente per convezione per far fronte ai carichi termici diurni, o essere ritardata, mediante conduzione e reirraggiamento dalla superficie interna dei muri.

° L'escursione termica nello spazio è ridotta grazie all'accumulo termico interposto.

° Luce eccessiva, deterioramento a causa dei raggi ultravioletti e riduzione della privacy non costituiscono un problema con questo sistema, ma l'accesso visivo all'esterno viene perduto.

° Le prestazioni dei muri termoaccumulatori sono ben caratterizzate per una varietà di parametri di progettazione e climatici.

° A differenza dei sistemi ad apporto diretto, si deve dedicare un certo spazio agli elementi di captazione ed accumulo, facendo così aumentare il costo per metro quadrato dell'edificio.

Tetto termoaccumulatore

Il sistema a tetto termoaccumulatore è simile a quello a muro termoaccumulatore, salvo che la massa termica intercettante è situata sul tetto dell'edificio. La massa termica è usualmente acqua chiusa in sacchi di plastica. È richiesto un isolamento mobile per controllare i guadagni e le perdite di calore. Il sistema è altrettanto adatto per fornire sia il riscaldamento che il raffrescamento. Il sistema a tetto termoaccumulatore ha le seguenti caratteristiche:

° Poiché la massa termica è uniformemente distribuita sopra l'intera superficie dell'edificio, il calore o il freddo è distribuito più uniformemente agli spazi dell'edificio.

° Le escursioni termiche dello spazio interno sono generalmente molto piccole, dell'ordine di 1-2 °C.

° Luce eccessiva e raggi ultravioletti non sono un problema con questo sistema.

° Altre aperture si possono praticare sui muri per sfruttare ulteriori guadagni termici e per poter guardare fuori.

° La struttura dell'edificio deve essere rinforzata per sostenere il grande carico strutturale dell'accumulatore termico. Ciò riguarda sia gli elementi strutturali orizzontali del tetto sia i muri o le colonne di sostegno verticali.

° Poiché questo sistema funziona al meglio quando lo spazio è in contatto termico diretto con l'accumulatore termico, esso non è adottato per gli edifici a molti piani.

Spazio solare addossato

Tecnicamente, uno "spazio solare" è uno spazio a riscaldamento diretto con un'apertura inclinata verso sud. Esso viene generalmente aggiunto per temperare la parete sud di uno spazio abitato primario. In questo sistema, la temperatura dello spazio solare fluttua d'inverno su un intervallo abbastanza ampio, e d'estate il surriscaldamento viene parzialmente controllato per ventilazione.

Se si vogliono coltivare piante e ortaggi, bisogna includere nello spazio solare un accumulatore termico per impedire che la temperatura scenda sotto lo zero.

04. ACCUMULARE ENERGIA

Si distinguono tre principi di immagazzinamento del calore:

° a calore sensibile

° a calore latente

° termochimica

A calore sensibile

Sono i sistemi in cui l'immagazzinamento del calore avviene mediante l'innalzamento della temperatura di una sostanza. I più diffusi sistemi sono il serbatoio d'acqua e il letto di pietra. Il primo è di solito usato nei sistemi attivi a liquido il secondo in quelli ad aria. Le caratteristiche dei due sistemi sono confrontate in tabella seguente:

		Pietra	
Proprietà	***Acqua***	***Con 30% di vuoti***	***Con 40% di vuoti***
Calore specifico (Kcal/Kg °C)	1	0.2	0.2
Densità (Kg/m^3)	1000	1900	1600
Capacità termica (Kcal/m^3 °C)	1000	400	350
Corrosione	possibile	no	No

Le pietre che si impiegano hanno diametri di 2-4 cm. Diametri più piccoli ridurrebbero le dimensioni degli spazi tra pietra e pietra, con un aumento delle perdite di carico; diametri più grandi renderebbero troppo lenta la diffusione all'interno delle singole pietre, data la loro bassa conduttività (0,2 Kcal/m °C)

A calore latente

Sono i sistemi in cui si sfrutta la grande quantità di calore a temperatura costante che viene assorbita, o rilasciata, a seconda del verso della trasformazione, nei passaggi di fase: solido-solido, solido-liquido, liquido-gas, solido-gas.

Le caratteristiche richieste alle sostanze o miscele di sostanze sono:

° che la transizione avvenga alla temperatura desiderata;

° che il calore di trasformazione per unità di peso e di volume sia alto;

° che il calore specifico sia alto, così da accumulare calore anche sotto forma sensibile;

° che abbiano alta conducibilità;

° che non cambino, o cambino poco, il loro volume nella trasformazione;

° che siano stabili nel tempo e dopo molti cicli di trasformazione;

° che non siano corrosive, velenose, infiammabili, ecc.;

° che costino poco.

Le sostanze più comunemente usate – o studiate – sono:

Sali idrati, quali il tiosolfato di sodio pentaidrato, $NaS_2O_3 \cdot 5H_2O$, o il cloruro di calcio esaidrato, $CaCl_2 \cdot 6H_2O$, o il solfato di sodio decaidrato, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, detto anche sale di Glauber, e altri. Le proprietà di questa famiglia di composti sono: temperatura di fusione 20-80 °C e più; calore di transizione 30-60 Kcal/Kg, densità 1500-2500 Kg/m^3.

Il maggior problema legato a queste sostanze è che tendono a perdere le loro caratteristiche in seguito a numerosi cicli, a causa di fenomeni di sopraffusione e di fusione non conseguente, cioè di separazione delle fasi, per cui una parte, solida, depositata e non partecipa più al percorso di fusione. Per evitare ciò si stanno studiando diversi additivi, che favoriscono la enucleazione e che "ispessiscono" la miscela.

Paraffine, sono composti organici, o miscele di questi, del tipo CnH_{2n+2} . Hanno temperature di fusione molto diverse (da pochi °C a 70-80 °C), calori di fusione di 50-60 Kcal/Kg, densità di 750-900 Kg/m^3, fusione congruente, non sono tossiche né corrosive. Sono però infiammabili, hanno bassa conducibilità, e cambiano molto di volume quando fondono (anche il 20%). Per rimediare a ciò si stanno studiando sistemi di incapsulamento in microsfere di plastica (diametro 500 mm) sospese in acqua.

Proprietà di alcuni materiali usati per l'accumulo di calore latente

	Sali idrati				
	$NaS_2O_3.5H_2O$	*$Na_2HPO_4.12H_2O$*	*$CaCl_2.6H_2O$*	*$Na_2SO_4.10H_2O$*	Paraffine
Temperatura cambiamento fase (°C)					
Densità (Kg/m^3)	48	35	29	32	8-70
Calore specifico (Kcal/Kg)	1700	1500	1500	1400	800-900
H (Kcal/Kg)					
(Kcal/m^3)	.36	.41	.38	.78	.58
Costo Lit/Kg	48	67	41	56	35-60
	82,000	100,000	61,000	78,000	40,-60,000
	200	300	80	20	200

Termochimica

Sono sistemi in cui si sfruttano reazioni chimiche endotermiche reversibili, cioè del tipo

AB + Calore A + $\longrightarrow$ B

Le capacità di immagazzinamento sono grandissime, e consentirebbero, tenendo i prodotti A e B separati – se stabiliti – un accumulo stagionale e una restituzione a temperatura costante.

Solo per citare due esempi

a – $CH_4 + H_2O$ + Calore $\longrightarrow CO + 3H_2$

Che avviene a 800 °C, con un calore di reazione di ben 1500 Kcal/Kg, ovvero 5800 Kcal/m^3.

b – $Ca\,(OH)_2$ + Calore $\longrightarrow C_aO + H_2O$ (gas)

che avviene a 520 °C, con un calore di reazione di 315 Kcal/Kg, ovvero 350,000 Kcal/m^3 (la densità è di 1100 Kg/m^3).

Le difficoltà sono qui molteplici: le alte temperature di reazione, la difficoltà, e spesso pericolosità, dello stoccaggio dei due prodotti della reazione, la necessità di impulsi di calore per avviare la reazione di ricombinazione. Tutto ciò rende questi processi non adatti, per il momento, all'uso nel settore edilizio.

Guadagno diretto

Con questi sistemi si possono avere rendimenti pari a 35-70%.

Supponiamo di restare nei limiti, circa le dimensioni degli ambienti, suggeriti dall'esperienza acquisita nella pratica, e cioè di riferirci ad ambienti la cui profondità non ecceda 2 volte e mezzo l'altezza della superficie vetrata (dal pavimento). Questo significa che, per finestre che arrivino a 2,10 m dal pavimento, si abbiano ambienti profondi a 5 m circa. L'esperienza suggerisce, come prima approssimazione, che il rapporto tra superficie vetrata e superficie della stanza sia:

° 0,2-0,4 m^2 di vetro per m^2 di pavimento in climi freddi, ove cioè le temperature medie invernali siano di qualche °C sotto zero;

° 0,1-0,25 per climi temperati, con temperature invernali di qualche °C sopra lo zero.

Normalmente il bisogno di calore di un edificio è ripartito in un 35% di giorno e un 65% di notte, come si può vedere in tabella seguente dove sono riportati i gradi-giorno diurni e notturni per alcune località italiane.

	GG diurni	***GG notturni***
Bari	366	759
Palermo	210	445
Roma	570	866
Venezia	925	1169
Milano	998	1319
Torino	1137	1414

Questo significa che l'accumulo dovrà immagazzinare e cedere calore in queste proporzioni, se si vuole che l'edificio non richieda energia ausiliaria durante la notte. I parametri che regolano il funzionamento dell'accumulo sono:

° l'area esposta alla radiazione solare;

° il calore delle superfici;

° il loro spessore;

° il materiale di cui sono costituite.

Gli effetti che derivano da diverse scelte riguardano:

° la quantità di calore immagazzinato;

	Densità *C* *Kg/m^3*	*Conducibilità* *X* *Kcal/h °C m*	*Calore specifico* *C* *Kcal/Kg °C*
Calcestruzzo	2300	1.1	0.24
Mattoni	1800	0.7	0.22
Mattoni + Mg	1800	3.5	0.22

Consideriamo tre materiali tipici e cioè calcestruzzo, mattoni e mattoni con aggiunta di magnesio, e vediamo come da essi dipenda l'andamento delle temperature. In tabella precedente sono riportate le proprietà dei tre materiali. Per quanto riguarda il calore, si riportano in tabella seguente alcuni tipici valori del coefficiente di assorbimento a per la radiazione solare (piccole lunghezze d'onda).

Colore	***a***
Bianco	0.12
Grigio chiaro	0.40
Verde chiaro	0.40
Verde scuro	0.70
Nero comune	0.85

Muro di accumulo

Può essere in muratura o d'acqua. I rendimenti ottenibili sono di 30-45%. Si suggerisce di non superare i 6 m di profondità per gli ambienti.

Le considerazioni seguenti sono state ricavate assumendo che l'edificio abbia una dispersione termica, prescindendo da quelle attraverso la parete – accumulo, di 0,5-0,6 Kcal/m^3 °C h. La Tabella seguente fornisce i valori suggeriti per il rapporto superficie muro/superficie del pavimento, per diverse situazioni climatiche, individuate attraverso la temperatura media nel mese di gennaio, per pareti in muratura e in acqua.

Temperatura media Gennaio (°C)	Muratura (Superficie muro/ Superficie pavimento)	Acqua
-9	0.7-1.0	0.55-1.0
-6	0.6-1.0	0.45-0.85
-4	0.5-0.9	0.4-0.7
-1	0.4-0.8	0.3-0.55
2	0.35-0.6	0.25-0.4
4	0.3-0.5	0.2-0.3
7	0.2-0.35	0.2-0.25

Come esempio, per unità di 90 m^2, a Bari , dove la temperatura media a gennaio è di 8°C, con una dispersione volumetrica di 0,5 Kcal/m^3.h.°C servirebbero 18 m^2 di muro in muratura, mentre a Milano (temp. Gennaio 1,5 °C) ne servirebbero 30 m^2 (vedi fig. 10.2). Come verifica, e ricordando che siamo nelle condizioni peggiori, e assumendo un rendimento del 40%:

Bari

Insolazione su superficie verticale in gennaio: 1935 Kcal/m^2g;

fabbisogno di calore: 0,5 x 180 x 24 x 12 = 25.920 Kcal/g;

Milano

Insolazione su superficie verticale in gennaio: 1720 Kcal/m^2g;

fabbisogno di calore: 0,5 x 180 x 24 x 18,5 = 39.960 Kcal/g;

contributo solare: 0,4 x 1720 x 30 = 20.640 Kcal/g;

cioè un contributo di circa il 52%.

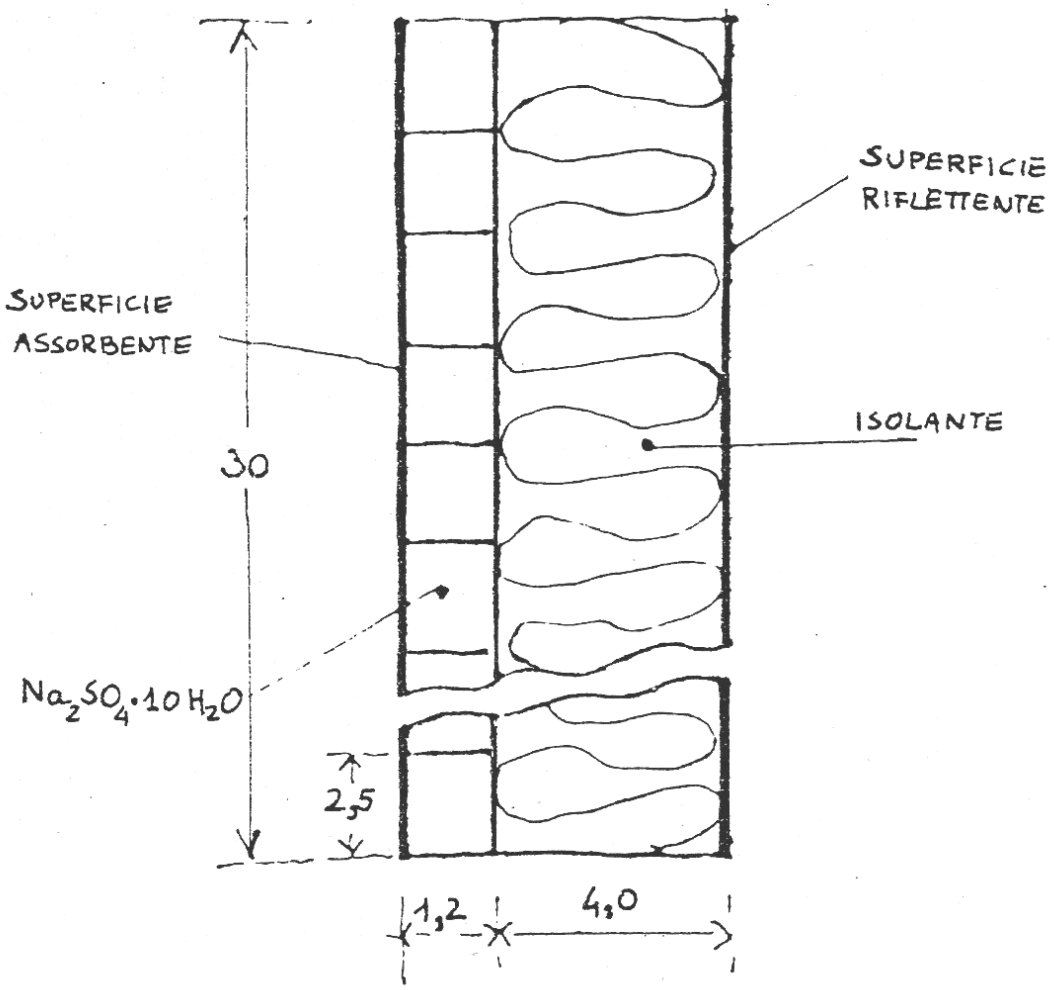
Un elemento importante è lo spessore della parete, che varierà al variare del materiale.

Materiale	*Spessore (cm)*
Calcestruzzo	30-45
Mattoni	25-35
Mattoni + Mg	40-60
Acqua	15 o più

Materiali e soluzioni più complesse

In questo capitolo presentiamo alcune soluzioni, proposte o allo studio, per il problema dell'accumulo nei sistemi passivi. Sono tutte caratterizzate dalla ricerca di risposte ai principali problemi tipici di questo settore: grandi capacità termiche in piccoli volumi e masse, integrazione nella struttura, rapidità di carica e scarica.

° *Tubi d'acqua in pareti di blocchetti di calcestruzzo.* È una soluzione proposta per accrescere la capacità termica.



° *Pannello accumulatore.* In figura è mostrato un esempio di componente con più funzioni, tra le quali quella di accumulare calore. Sono componenti cellulari di policarbonato estruso, con celle di 2,5 x 1,23 cm contenenti solfato di sodio decaidrato, $Na_2SO4 . 10H_2O$.

Il pannello, alto 30 cm, ha uno strato isolante di 4 cm su un lato, e superfici assorbenti e riflettenti rispettivamente, come mostrato in figura. Nella posizione 1, notturna invernale (o diurna estiva) l'accumulatore riflettente e quello isolante riducono le dispersioni (o impediscono l'ingresso della radiazione d'estate). Nella posizione 2, i pannelli, motrici, assorbono la radiazione solare, pur lasciandone entrare una parte per illuminazione. La capacità termica di questi componenti è di 88 kcal/m^2 a 32 °C.

° *Parete accumulatore.* Altra soluzione nello spirito delle precedenti: pareti contenenti sostanze che cambiano stato, con conseguente assorbimento o cessione del calore latente. In questo caso si tratta di mattoncini contenenti ancora $Na_2SO4 . 10H_2O$.

05 GEOMETRIA DELLA RADIAZIONE SOLARE

Come è noto la terra ruota attorno al sole, percorrendo una traiettoria ellittica, con i due fuochi vicini, cosicché la si può considerare una circonferenza di raggio di 150 10^6 Km, con un errore di solo ± 3%. Oltre a questo movimento, la terra ruota su se stessa, da ovest verso est, intorno ad un asse che non è perpendicolare al piano su cui avviene il moto attorno al sole. In conseguenza di questa inclinazione (pari a 23 ° 27') la lunghezza del giorno e della notte varia nel corso dell'anno, in dipendenza della posizione della terra rispetto al sole e della latitudine della località che si considera. La terra compie un giro su se stessa in 24 ore, quindi la sua velocità angolare è di 15° all'ora. Questo dato si indica anche definendo un angolo orario, w, tale che:

w = 0 a mezzogiorno

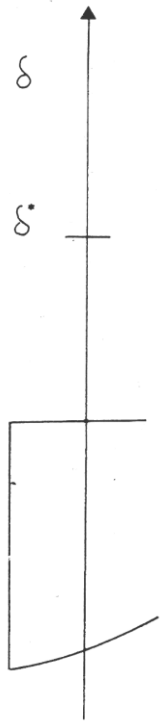
Per indicare la posizione della terra rispetto al sole si usa un angolo, detto declinazione, δ.

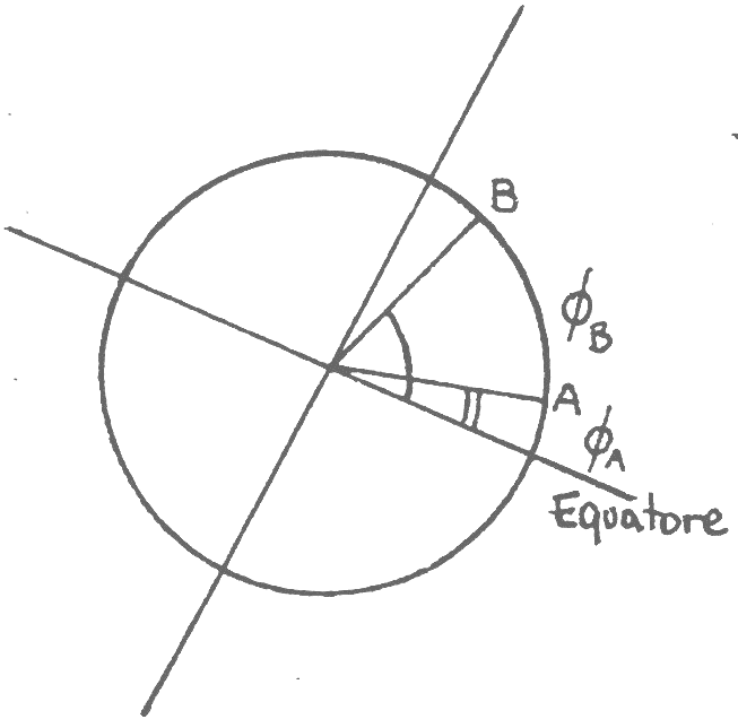
Questo angolo è definito come l'angolo tra la retta che unisce la terra al sole ed il piano equatoriale. Per quanto detto prima si vede che la declinazione varia tra il valore – 23°27', che si ha quando il sole arriva più "da sotto", cioè il giorno in cui, nel nostro emisfero, la notte è più lunga (21 dicembre, solstizio d'inverno) ed il valore +23°27', quando si ha il giorno più lungo (21 giugno, solstizio d'estate). Negli altri giorni dell'anno il valore di δ si ricava dalla:

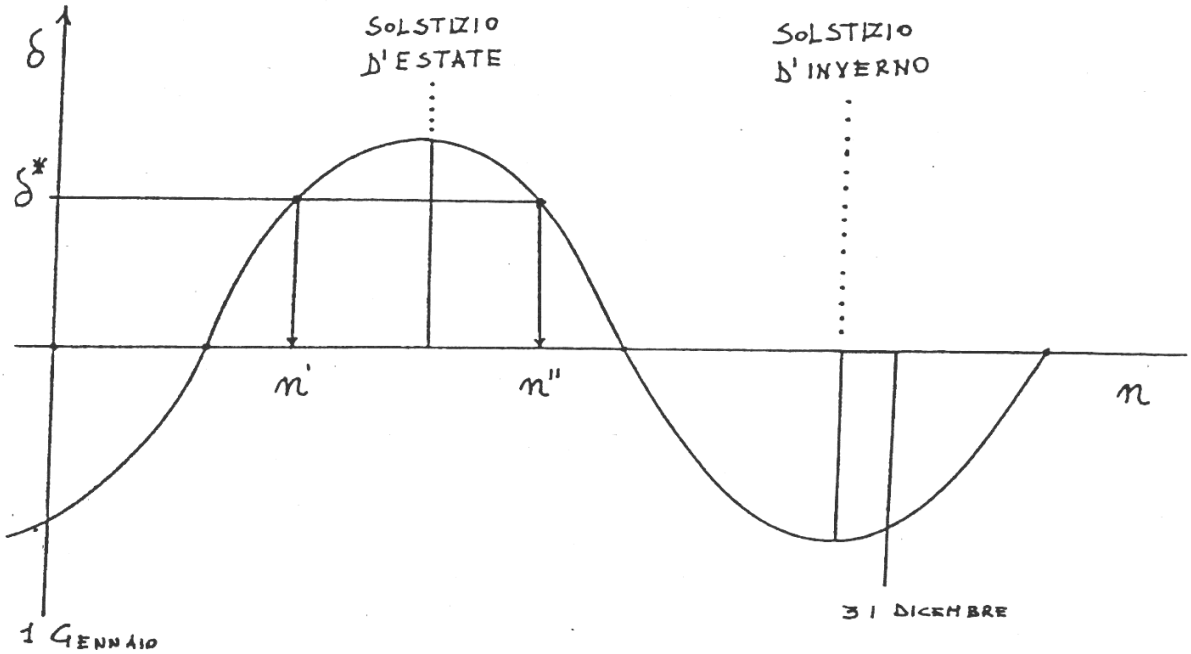
$$\delta = 23{,}45 \text{ sen } (360 \frac{284+n}{365})$$

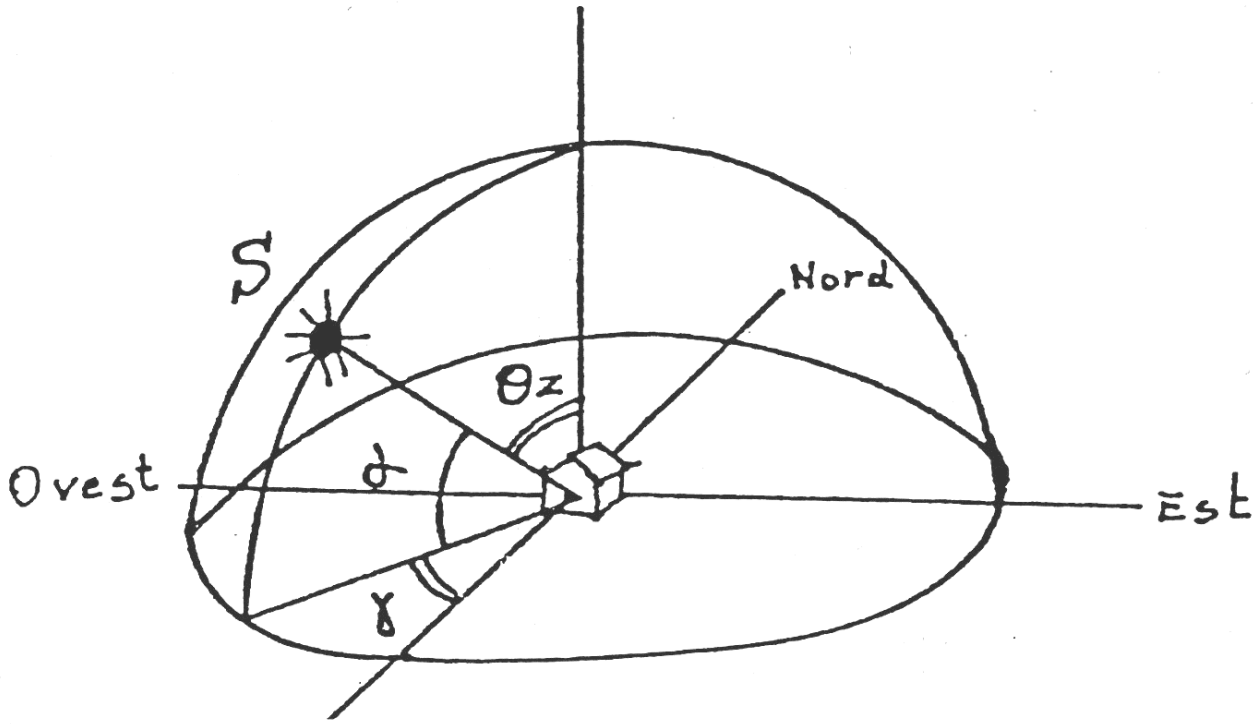
dove n è il numero progressivo che indica il giorno dell'anno (n = 1 il 1° gennaio, n = 32 il 1° febbraio e così via, n = 365 il 31 dicembre). Come si vede si tratta di una funzione periodica, il che significa che ha un andamento del tipo mostrato in figura, per cui ogni valore δ* della declinazione

si ha due giorni all'anno, n' e n'', simmetrici rispetto al solstizio d'estate per i valori positivi e al solstizio d'inverno per quelli negativi, che sono i due unici giorni in cui δ ha un valore unico, come si è visto. Questo significa che, dal punto di vista della posizione del sole, i giorni dell'anno sono, a due a due, uguali, salvo i due giorni dei solstizi.







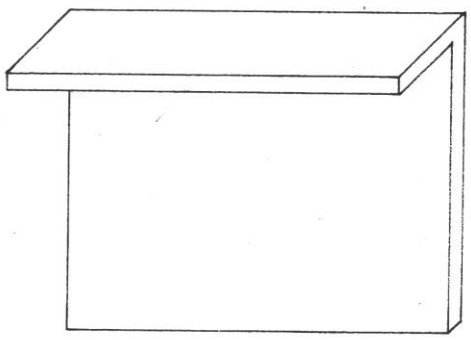


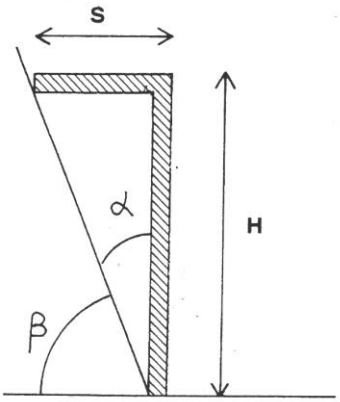
Di primavera e di autunno, giorni in cui in tutte le località della terra il giorno è lungo quanto la notte. Per indicare una località, ai fini che ci proponiamo in questo capitolo, e cioè definire la posizione del sole, è sufficiente specificarne la latitudine L, cioè l'angolo formato dalla retta che congiunge la località al centro della terra con il piano equatoriale. La declinazione definisce la

posizione del sole rispetto alla terra nei diversi giorni dell'anno; l'angolo orario la posizione del sole rispetto a tutte le località che si trovano su un meridiano per le diverse ore del giorno; la latitudine la posizione di una località su un meridiano. Vogliamo ora definire gli angoli che descrivono la posizione del sole rispetto ad una data località , per le diverse ore dei diversi giorni. E' evidente che i tre angoli sopra definiti dovranno comparire in queste espressioni. Se ci riferiamo ad una località, e consideriamo una immaginaria emisfera, che, come una cappa, ricopra il piano dell'orizzonte,c cioè la porzione di terra, che supponiamo piana, compresa entro la linea dell'orizzonte, il punto S, intersezione tra questa emisfera e la retta che unisce il punto al sole, può essere assunto a rappresentare la posizione del sole. Per descrivere il punto S è sufficiente, stabilito un sistema di riferimento, quale quello dei punti cardinali segnati in figura, definire due angoli, α e γ.

α, chiamato altezza del sole, è l'angolo tra la retta sole-punto ed il piano orizzontale.

γ, angolo azimutale, è l'angolo tra i due piani passanti per la verticale del luogo, uno contenente il sole, l'altro passante per il sud, cosicché γ sarà uguale a zero quando il sole è sul piano meridiano, cioè a mezzogiorno, e avrà valori positivi verso ovest, negativi verso est. Il complemento a 90° di α, cioè l'angolo tra la retta sole- punto e la verticale locale, è indicato come θ_z ed è chiamato angolo zenitale. In figura è mostrato il caso di una parete verticale sormontata da una tettoia sporgente. Come si è già visto la parete stessa impedisce la vista di metà della volta celeste.

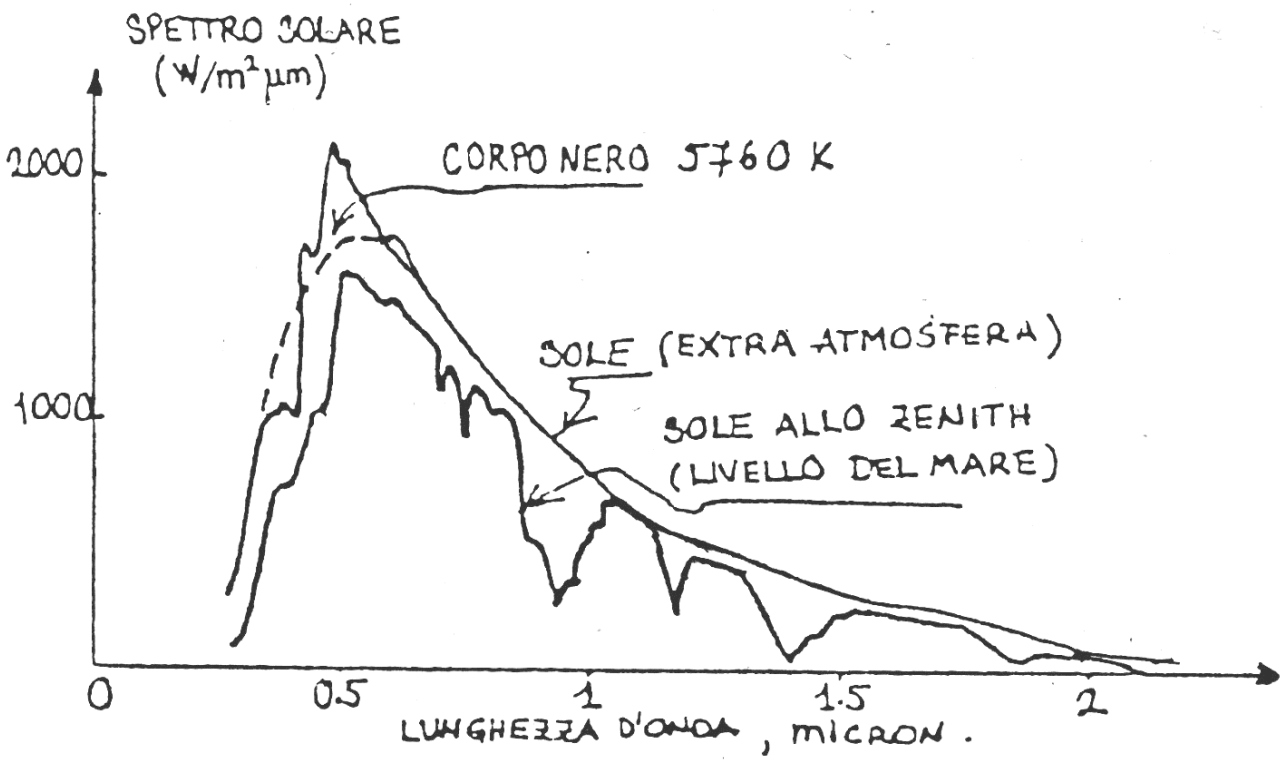




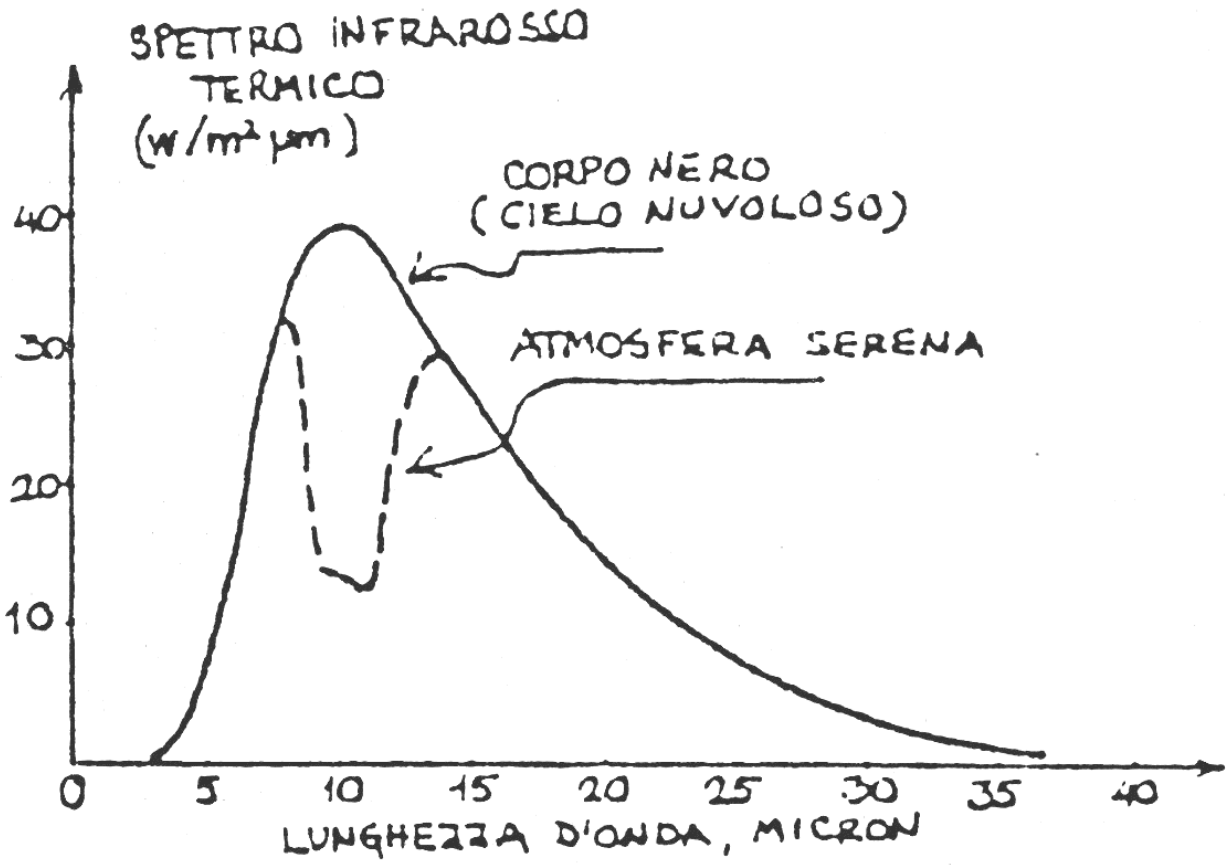
06. SUPERFICI SELETTIVE

Le proprietà radiative del cielo sono determinate da tre principali sorgenti termiche che in esso hanno sede.

Il sole. Questa sorgente si comporta approssimativamente come un corpo nero alla temperatura di 5760 gradi di Kelvin. La radiazione che da esso proviene (circa 1 kW/m2 al livello del suolo) è praticamente compresa fra lunghezze d'onda di 0,3 e 3 μm.



L'atmosfera. Se questa si comportasse come un corpo nero alla temperatura ambiente T_a, lo spettro di radiazione da essa emesso sarebbe quello rappresentato dalla curva continua del grafico (area totale circa 450 W/m^2) . Se il cielo è nuvoloso, lo spettro di radiazione emesso dall'atmosfera è in effetti prossimo a quello di corpo nero. Se però il cielo è sereno, la atmosfera è sostanzialmente trasparente alla radiazione di lunghezza d'onda compresa fra 8 e 13 μm (finestra di trasparenza atmosferica); essa emette quindi opaco in questa zona di lunghezza d'onda, e lo spettro da essa emesso è del tipo di quello indicato dalla curva tratteggiata del grafico.

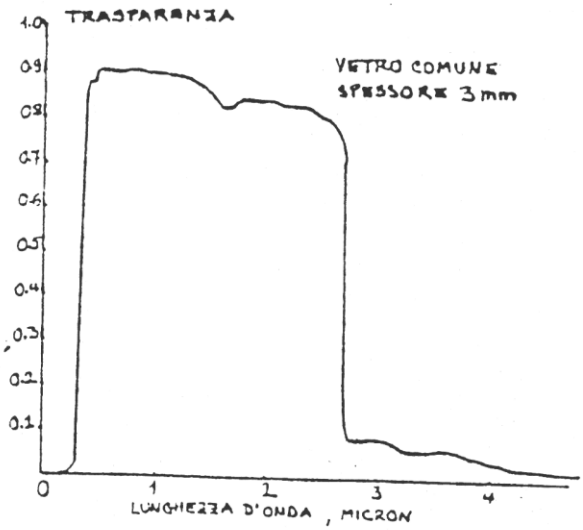


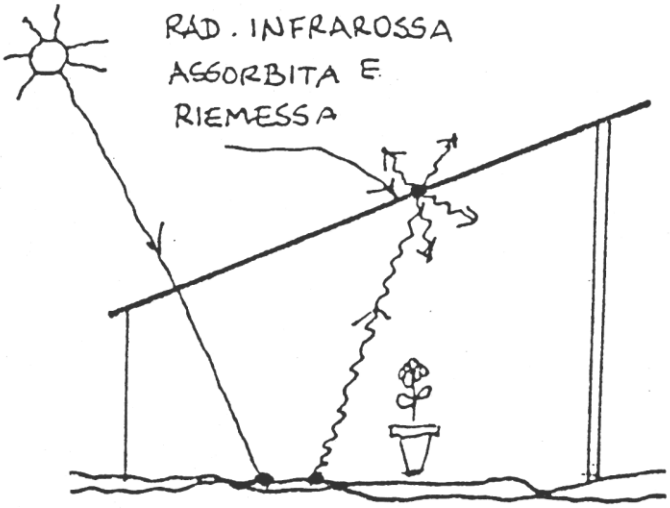
Lo spazio freddo extratmosferico. Questo ha una temperatura molto bassa, prossima allo zero assoluto. Pertanto non emette radiazione infrarossa, ma è solo in grado di assorbirne. Questo è il motivo per cui, nella zona della finestra atmosferica 8-13 µm, lo spettro di radiazione emesso dal cielo resta quello emesso dall'atmosfera (curva tratteggiata dal grafico): ciò che sta "oltre" l'atmosfera, lo spazio, appunto, non emette infatti radiazioni. Rozzamente parlando, possiamo dire che il cielo è caldo (quando c'è il sole) nella zona di lunghezze d'onda inferiori a 3 µm; esso è freddo nella zona di lunghezze d'onda compresa fra 8 e 13 µm; ed è alla temperatura ambiente in corrispondenza delle radiazioni infrarosse di lunghezza d'onda diverse da queste. Usando superfici con proprietà ottiche opportune, è possibile privilegiare lo scambio termico radiativo con ciascuna

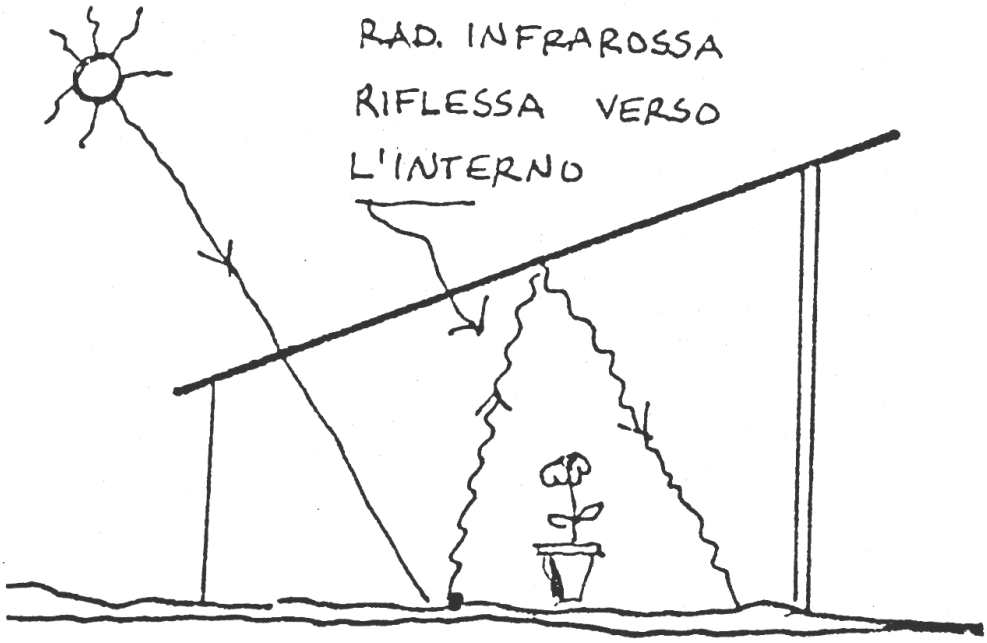
di queste tre sorgenti, ottenendo effetti di riscaldamento o raffreddamento naturale. Vediamo come.

Effetto serra

Il vetro, pur essendo trasparente alla radiazione dello spettro solare, è opaco alla radiazione infrarossa. Uno spazio protetto da un vetro riceve la radiazione dal sole; ma la radiazione infrarossa da esso emessa verso il cielo – radiazione che tende a raffreddarlo – viene intercettata e assorbita dal vetro; una metà circa viene riemessa verso il basso. Lo spazio tende quindi a riscaldarsi (effetto serra). L'effetto serra viene esaltato se il vetro è internamente reso speculare alla radiazione infrarossa (ad esempio mediante trattamento con ossido di stagno). Anche un doppio vetro esalta l'effetto serra. Molte materie plastiche (metacrilati, PVC, ecc.) hanno proprietà ottiche simili a quelle del vetro e fanno effetto serra. Altre invece (esempio polietilene) sono trasparenti alla radiazione infrarossa e non fanno effetto serra (nonostante siano spesso usate a questo scopo).

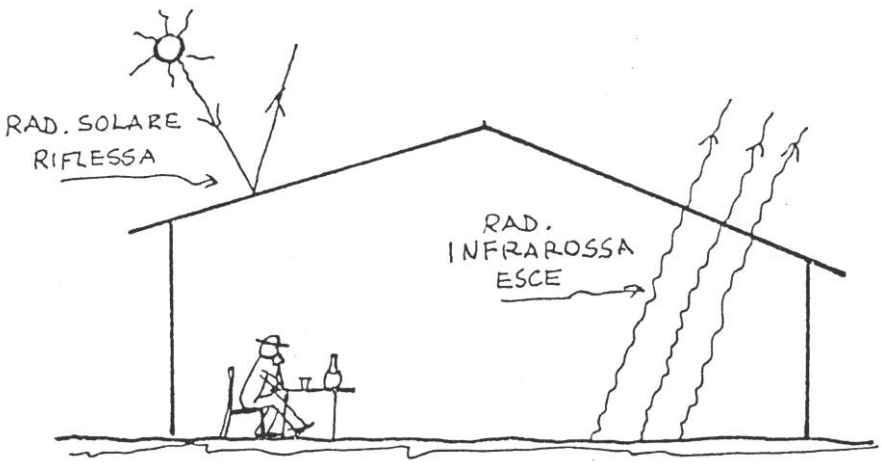


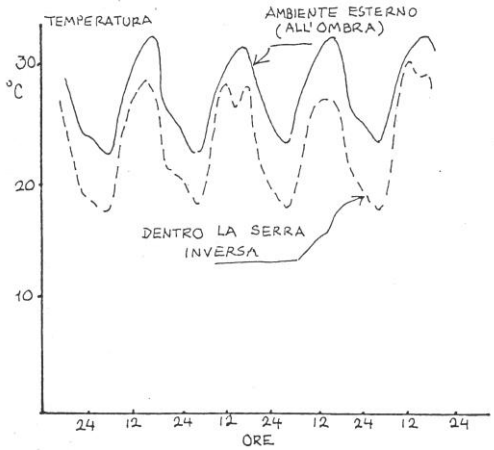


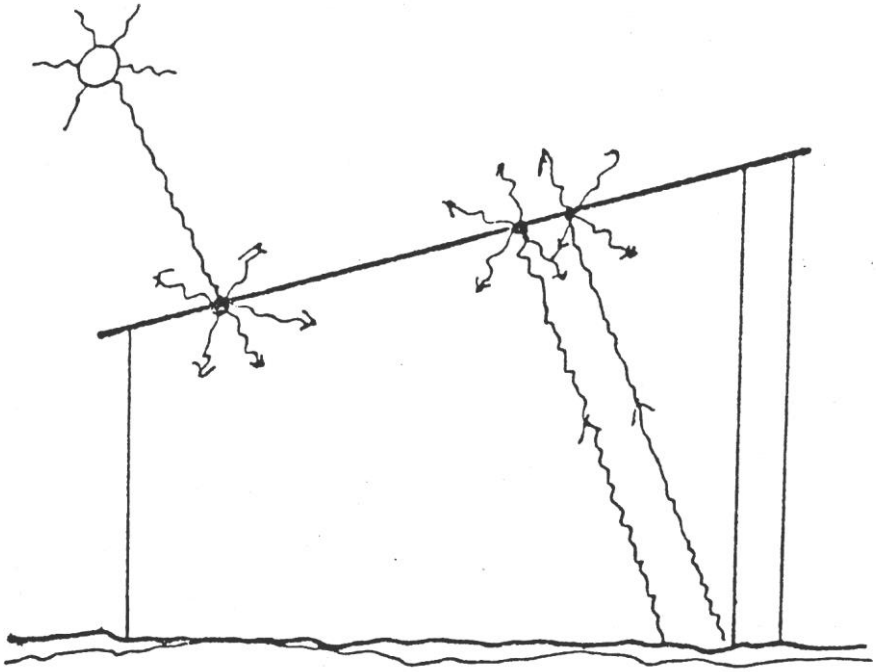


Effetto serra inverso

E'stato recentemente da noi sviluppato un materiale con proprietà ottiche simmetriche rispetto a quelle di un vetro trattato con ossido di stagno. Questo materiale infatti riflette la radiazione solare, ed è trasparente alla radiazione infrarossa. Un ambiente protetto con questo materiale non riceve energia dal sole, mentre interagisce radiativamente con il cielo che, a causa dello spazio freddo retrostante, si trova a temperatura media inferiore rispetto a quella ambiente. La temperatura è di 4-5 °C al di sotto della temperatura all'ombra. Notare che sotto un tendone normale per ombreggiatura si ha una temperatura superiore rispetto a quella dell'aria all'ombra. La radiazione solare assorbita dal tendone, lo riscalda infatti; e questo emette radiazione infrarossa calda verso l'ambiente protetto.


RAD. SOLARE
RIFLESSA
RAD.
INFRAROSSA
ESCE


TEMPERATURA
AMBIENTE ESTERNO
(ALL'OMBRA)
30
°C
20
10
DENTRO LA SERRA
INVERSA
24
12
24
12
24
12
24
12
24
ORE

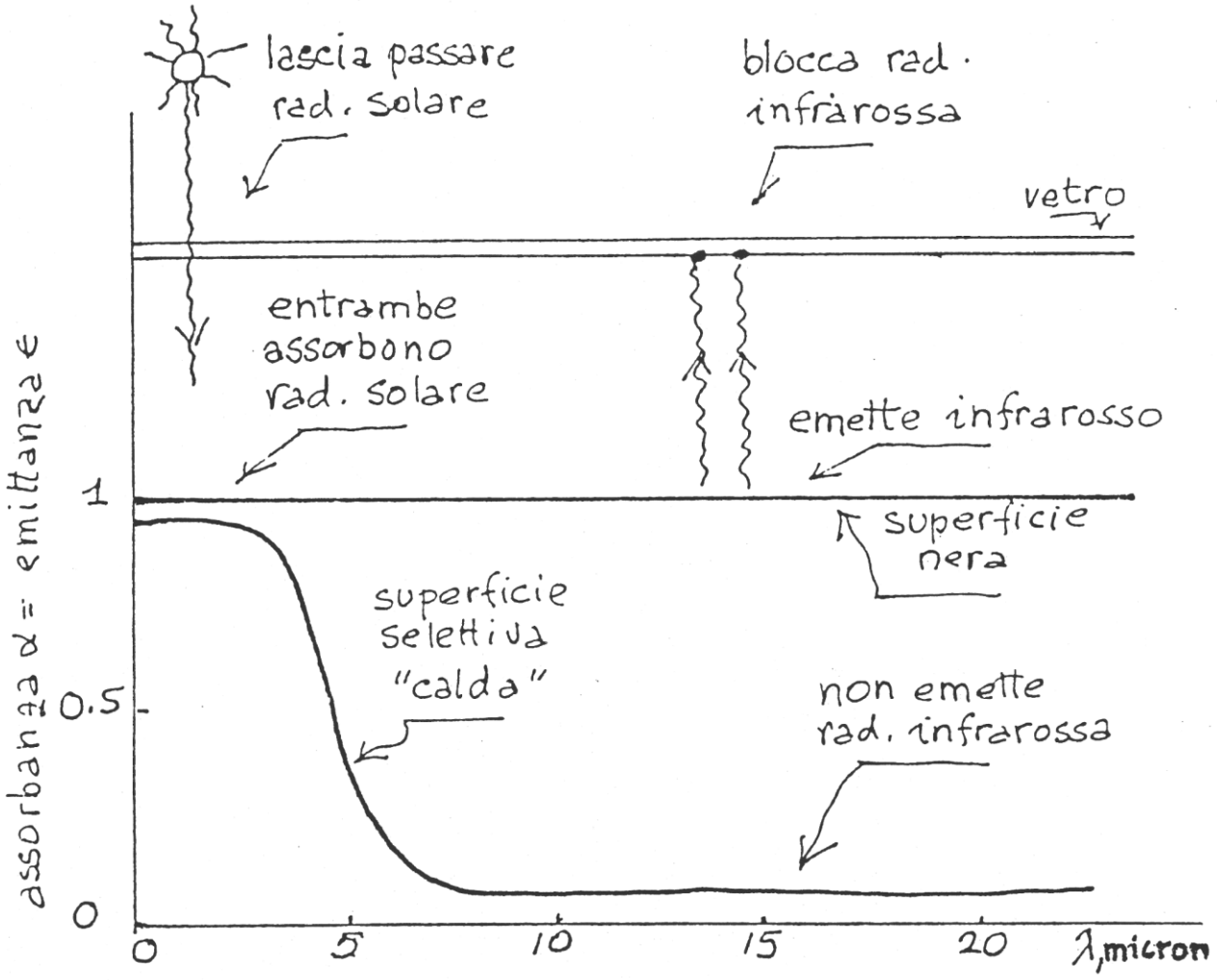


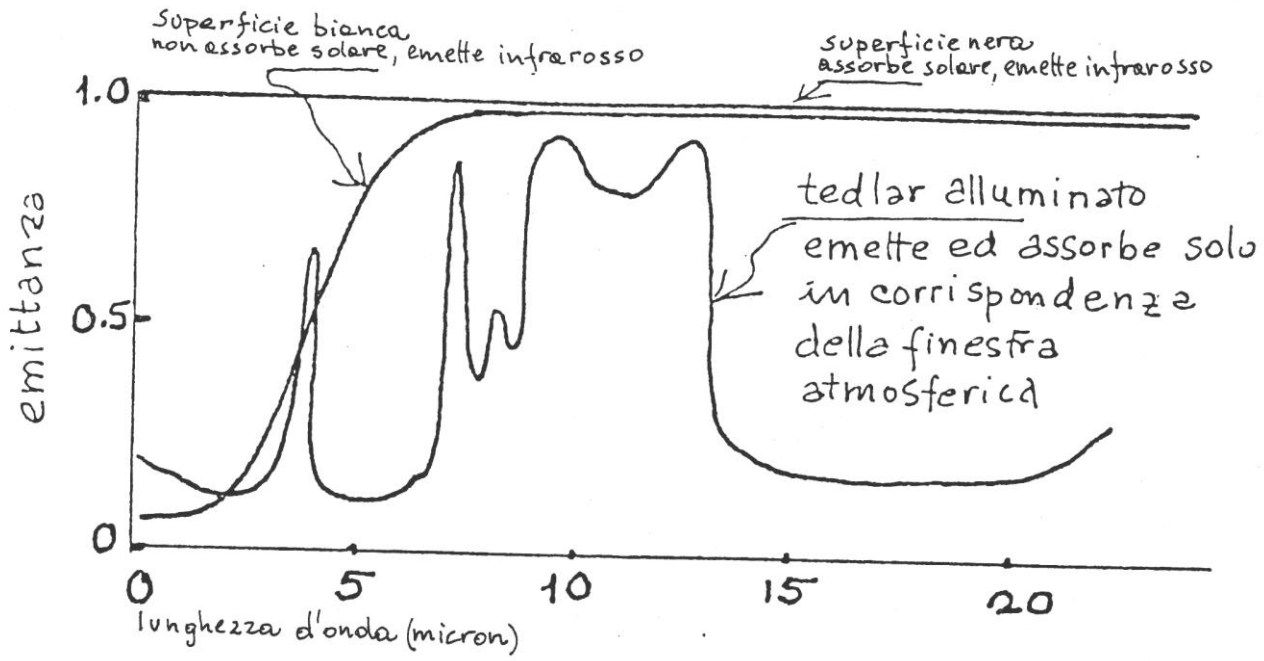
Superfici selettive "calde"

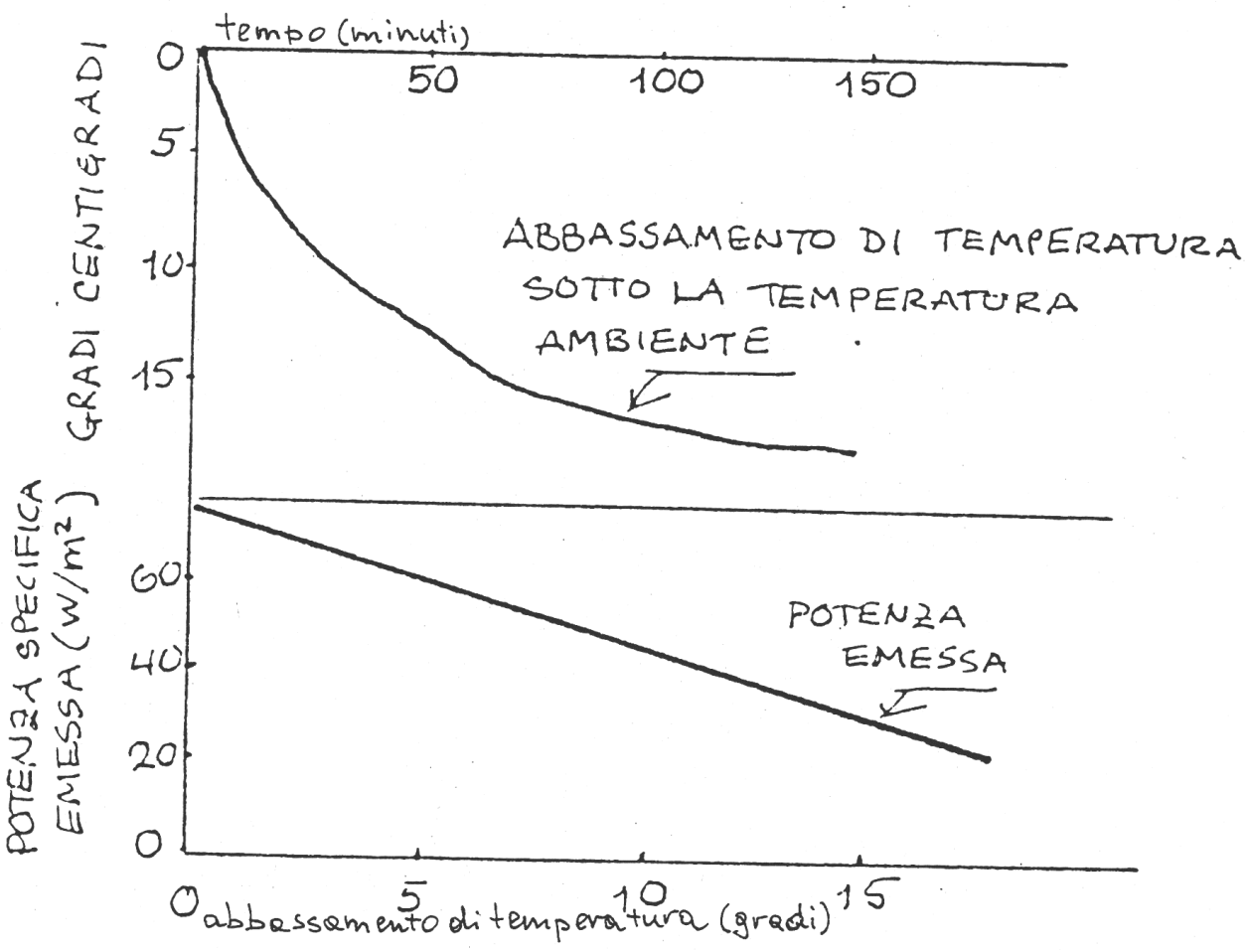
Una superficie nera esposta al sole, assorbe la radiazione solare ed emette radiazione infrarossa verso il cielo. La prima domina sulla seconda e la superficie si riscalda. Una superficie di rame lucidato assorbe solo una parte della radiazione solare (50-60%), ma poiché il suo coefficiente di emissione infrarossa è piccolo ($\varepsilon \cong 0{,}10$), esso emette poco verso il cielo. Essa si porta di conseguenza ad una temperatura più elevata della superficie nera. Opportuni trattamenti su superfici metalliche (ossidi di rame, di nickel, di cromo) esaltano questo effetto: essi aumentano l'assorbimento solare senza che venga aumentata l'emissione infrarossa ("selettività"). Il riscaldamento delle superfici selettive è favorito se la selettività è accoppiata con l'effetto serra. Molti collettori solari sono basati su questo principio.

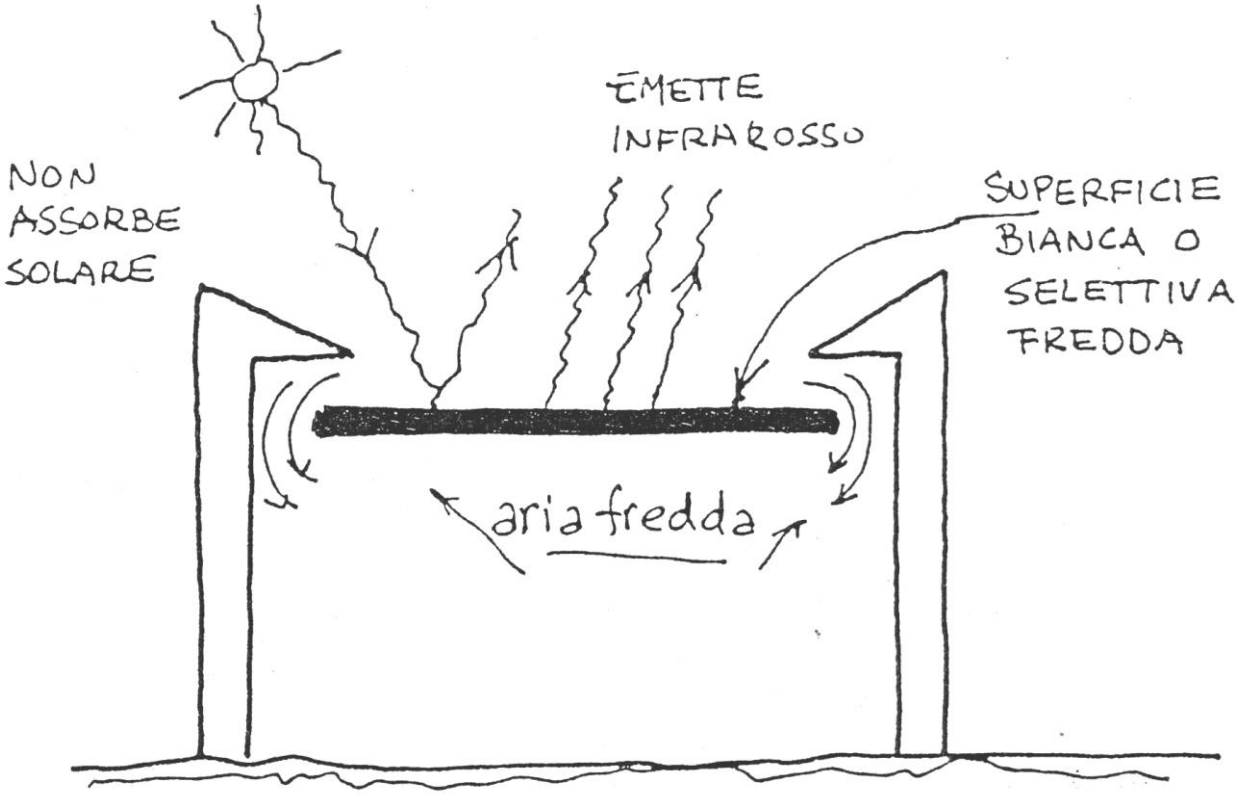
Superfici selettive "fredde"

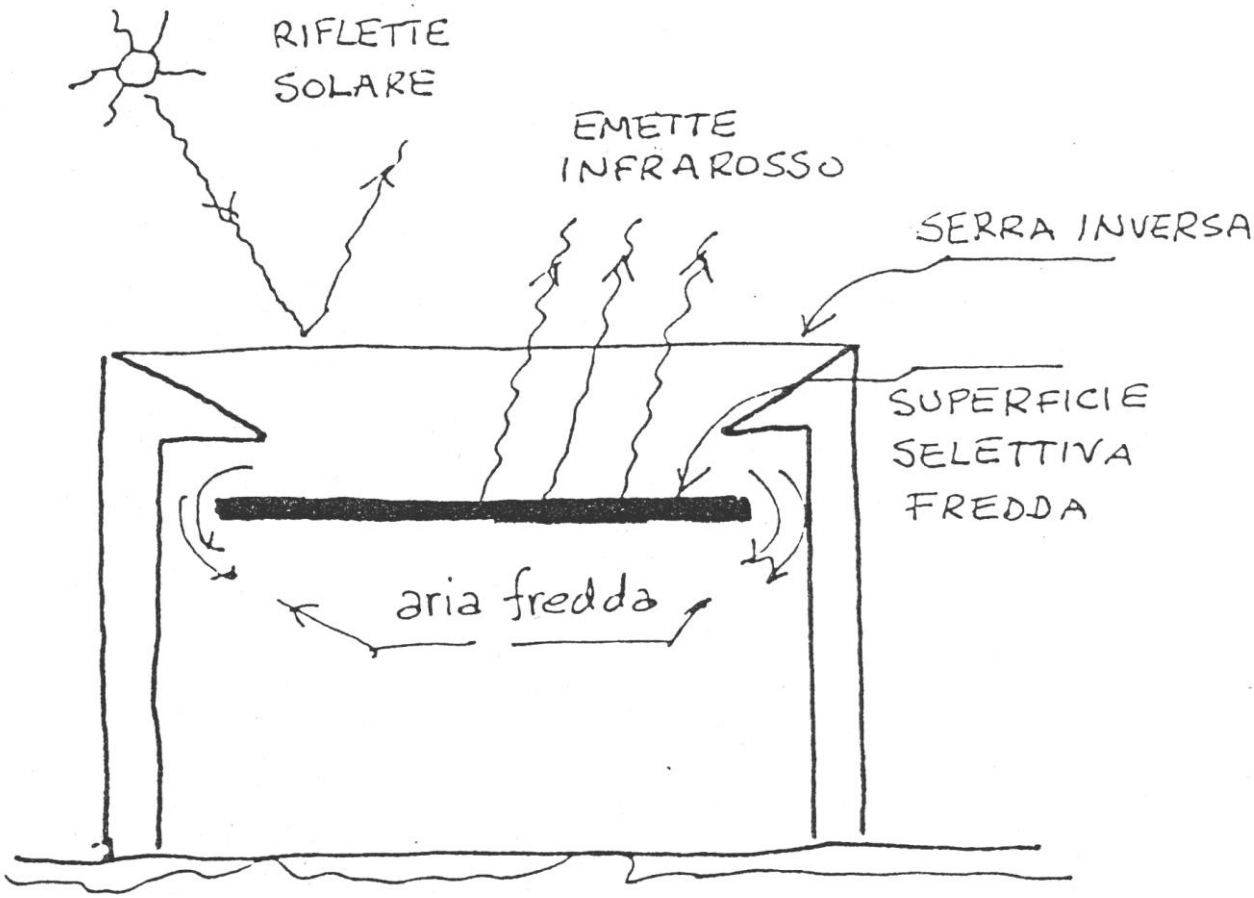
Una superficie trattata con pittura bianca rappresenta la più semplice superficie selettiva fredda. Essa infatti assorbe solo una piccola parte della radiazione solare (un buon bianco può assorbire dal 5 al 10% della radiazione incidente); mentre emette radiazione infrarossa tramite cui interagisce con il cielo che, in virtù della finestra atmosferica, si trova a una temperatura media inferiore rispetto a quella dell'aria ambiente. In climi secchi, in cui l'atmosfera è particolarmente trasparente, la temperatura di equilibrio può essere di diversi gradi inferiore rispetto a quella della temperatura ambiente. Una superficie il cui potere emissivo abbia l'andamento mostrato in figura seguente (si tratta di tedlar alluminato) rappresenta una superficie selettiva "fredda" con caratteristiche ancora più convenienti; essa va in equilibrio a temperature notevolmente inferiori (15-20 °C) rispetto a quella ambiente. Esempi di risultati da noi ottenuti anche in un clima umido come quello di Napoli sono mostrati successivamente. Proteggendo queste superfici con il materiale per effetto serra inverso di cui al precedente punto 15.12, l'effetto di raffreddamento naturale risulta ancor più esaltato.


lascia passare
rad. solare
blocca rad.
infrarossa
vetro
entrambe
assorbono
rad. solare
emette infrarosso
superficie
nera
superficie
selettiva
"calda"
non emette
rad. infrarossa
assorbanza α = emittanza ε
1
0.5
0
0
5
10
15
20
λ,micron


Superficie bianca
non assorbe solare, emette infrarosso
superficie nera
assorbe solare, emette infrarosso
tedlar alluminato
emette ed assorbe solo
in corrispondenza
della finestra
atmosferica
emittanza
1.0
0.5
0
0
5
10
15
20
lunghezza d'onda (micron)

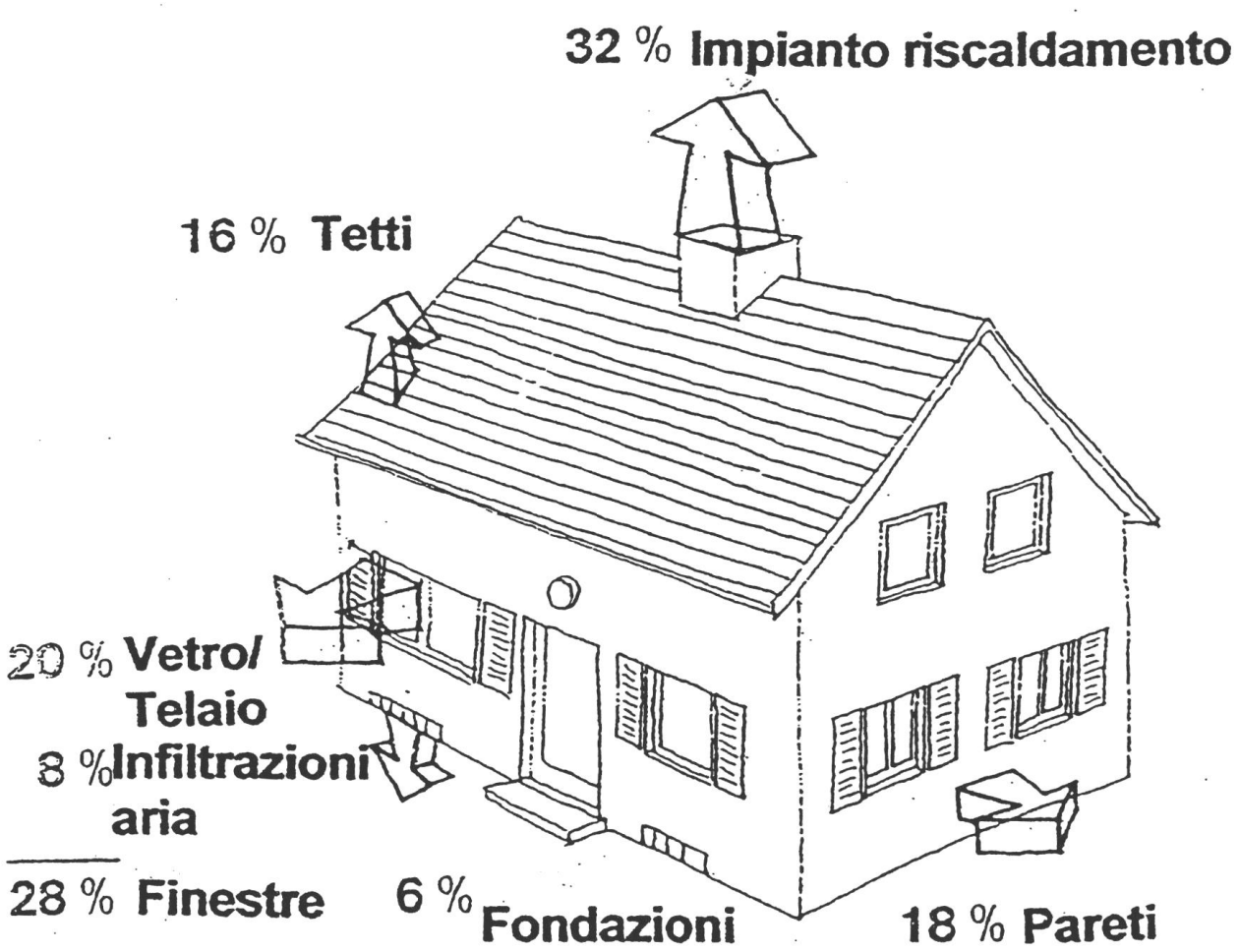

tempo (minuti)
0
50
100
150
GRADI CENTIGRADI
0
5
10
15
ABBASSAMENTO DI TEMPERATURA
SOTTO LA TEMPERATURA
AMBIENTE
POTENZA SPECIFICA
EMESSA (W/m²)
60
40
20
0
POTENZA
EMESSA
0
5
10
15
abbassamento di temperatura (gradi)


EMETTE
INFRAROSSO
NON
ASSORBE
SOLARE
SUPERFICIE
BIANCA O
SELETTIVA
FREDDA
aria fredda


RIFLETTE
SOLARE
EMETTE
INFRAROSSO
SERRA INVERSA
SUPERFICIE
SELETTIVA
FREDDA
aria fredda

4.

Edifici a energia “0”



Ripartizione delle perdite di energia da edifici costruiti in Italia a metà anni 90

Che cosa si potrebbe fare per migliorare le prestazioni :

Se la casa fosse un'auto verrebbe scelta anche per i consumi di energia:

Km/l = AUTOMOBILE

m² anno/l = EDIFICIO

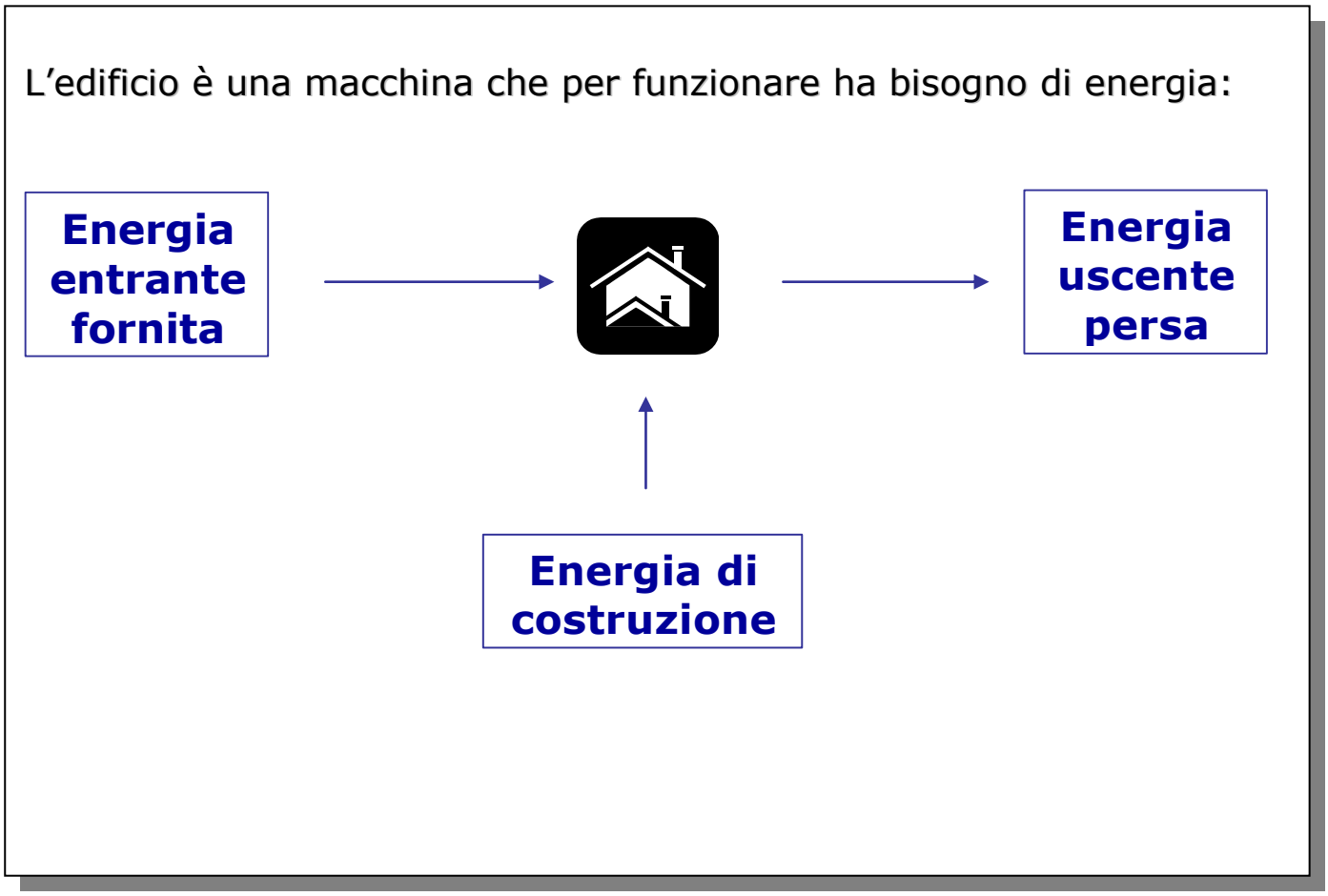
Auto valori di riferimento

5 Km/l costosa
25 Km/l risparmiosa

In edilizia non abbiamo valori di riferimento

Chi vende non ha un dépliant della casa con le caratteristiche più importanti

Consumo auto	velocità
Consumo casa	clima
Indice di consumo di un edificio	GG Gradi giorno



1.ESEMPI E REGOLAMENTI

Alcune esperienze sono state realizzate per verificare sperimentalmente quanto è possibile risparmiare con metodi costruttivi innovativi e con materiali isolanti a caratteristiche migliorate oppure con grandi spessori.

Anche l'Italia conta alcune realizzazioni applicando i concetti base della progettazione ECO – sostenibile.

Un elenco delle esperienze (non esaustivo ma indicativo) può essere il seguente:

1.MINERGIE

2.PASSIVHAUS

3. ITACA

4. LEED

5. CASACLIMA

2. MINERGIE

E' un marchio rilasciato in Svizzera per edifici nuovi o ristrutturati solo se questi consumano < 45 KW/m² anno per riscaldamento, acqua calda e ventilazione

Caratteristiche edificio:

Pareti, tetto e pavimenti U = 0.30 W/m²K

Pareti, tetto e pavimento
con sistema integrato di
riscaldamento U = 0.25 W/m²K

2. PASSIV HAUS

Regole costruttive adottate in Germania

Consumo energia per riscaldamento, per acqua calda e per ventilazione

10 ÷ 15 KWh/m² anno

Caratteristiche sistemi costruttivi:

Pareti U = 0.13 W/m²K

Tetto U = 0.10 W/m²K

Serramenti U = 0.80 W/m²K

3. ITACA

Il protocollo individua 5 aree di valutazione, ciascuna suddivisa in categorie le quali a loro volta prevedono una serie di criteri: questi ultimi sono descritti in schede di valutazione e sono completate da elementi informativi, quali i riferimenti normativi, tecnici e il peso che a ciascuno viene assegnato.

5 AREE DI VALUTAZIONE, 19 CATEGORIE, 34 CRITERI

A. QUALITÀ DEL SITO

B. CONSUMO DI RISORSE

C. CARICHI AMBIENTALI

D. QUALITA' AMBIENTALE INDOOR

E. QUALITA' DEL SERVIZIO

Ad ogni requisito si assegna un punteggio variabile da -1 a +5.

I punteggi ottenuti per ogni criterio sono successivamente sommati per determinare il punteggio relativo alle diverse aree di valutazione per poi infine confluire in un punteggio totale dell'edificio nel suo complesso.

4. LEED

Con il termine LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) si intende un sistema di certificazione, su base volontaria, della qualità energetico – ambientale per lo sviluppo di edifici "verdi", eco-compatibili, capaci di "funzionare" in maniera sostenibile e autosufficiente a livello energetico.

SISTEMA DI CERTIFICAZIONE VOLONTARIO A PUNTEGGIO, nato in America, promosso dall'US GBC, costituito da più protocolli in funzione della tipologia di edificio.

Classificazione LEED

Platino con un punteggio > 80%	**PLATINO**	(oltre gli 80 punti)
Oro con un punteggio > 60%	**ORO**	(60 - 79 punti)
Argento con un punteggio > 50%	**ARGENTO**	(50 - 59 punti)
Base con un punteggio > 40%	**CERTIFICATO**	(40 - 49 punti)

5. CASACLIMA

La certificazione CasaClima classifica gli edifici rispetto all'efficienza energetica dell'involucro con cui vengono definite le classi CasaClima.

Classe CasaClima	Efficienza Energetica Involucro
GOLD	**≤10 kWh/m²a**
A	**≤30 kWh/m²a**
B	**≤50 kWh/m²a**
C	≤70 kWh/m²a
D	≤90 kWh/m²a
E	≤120 kWh/m²a
F	≤160 kWh/m²a
G	Più di 160 kWh/m²a

Inoltre nel certificato energetico CasaClima l'edificio viene classificato mediante l'efficienza complessiva.

Classe CasaClima	Efficienza Complessiva
GOLD	≤ 5 kg CO_2/m^2a
A	≤10 kg CO_2/m^2a
B	≤20 kg CO_2/m^2a
C	≤30 kg CO_2/m^2a
D	≤40 kg CO_2/m^2a
E	≤75 kg CO_2/m^2a
F	≤100 kg CO_2/m^2a
G	Più di 100 kg CO_2/m^2a

5.

Presentazione AIPE

L'AIPE è l'Associazione Italiana Polistirene Espanso costituita nel 1984 per promuovere e tutelare l'immagine del polistirene espanso sinterizzato (o EPS) di qualità e per svilupparne l'impiego.

L'EPS è un polimero resistente, versatile, leggero e sicuro per chi lo lavora e per l'utente finale. Mantiene inalterate nel tempo le sue eccellenti proprietà isolanti che, unite ad un rapporto costo/beneficio altamente competitivo sia dal punto di vista ambientale che economico, lo rendono la migliore soluzione per l'isolamento termico e acustico in edilizia e per l'imballaggio di prodotti alimentari, industriali, orto-frutticoli e farmaceutici.

A livello internazionale l'Associazione rappresenta l'Italia in seno all'EUMEPS – European Manufacturers of Expanded Polystyrene, organizzazione europea che raggruppa le associazioni nazionali dei produttori di EPS - tra i fondatori del network INEPSA (International EPS Alliance) che garantisce il recupero e il riciclo di imballi e scarti in polistirene a livello mondiale.

I principali obiettivi di AIPE sono sostenere e promuovere l'EPS di qualità attraverso molteplici attività svolte ogni anno con il prezioso sostegno delle aziende associate divise per specifici Gruppi di Lavoro (SAAD, Cappotto, Sistemi e Componenti per l'Edilizia, Macchine e Imballaggio).

www.aipe.biz