ARCHITETTURA BIOCLIMATICA

Marco Piana

PREMESSA

A. IL QUADRO DI RIFERIMENTO

01. L'emergenza ambientale. Il ruolo dell'edilizia

02. Le esperienze europee

03. Le soluzioni tecnologiche

04. Gli strumenti della scelta

B. LA PROGETTAZIONE BIOCLIMATICA

01. L'architettura e il clima

02. Progettare energia – ambiente

03. I sistemi passivi

04. Accumulare energia

05. Geometria della radiazione solare

06. Superfici selettive

C. LE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEI SERRAMENTI E DEI COMPONENTI OPACHI SECONDO LE DIRETTIVE COMUNITARIE

01. La situazione generale

02. Il comportamento del serramento

03. La legge 10/91

04. Le normative UNI e CEN

05. La direttiva europea sul rendimento energetico in edilizia

06. Edifici a Energia "0"

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".

A. IL QUADRO DI RIFERIMENTO

01. L'EMERGENZA AMBIENTALE

IL RUOLO DELL'EDILIZIA

Gli edifici residenziali sono responsabili del 21 % delle emissioni di CO_2 e quelli terziari del 10,5 %; la maggior parte dei consumi sono imputabili alle necessità di riscaldamento degli ambienti.

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 22%, rispetto ai livelli attuali, da qui al 2010.

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'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.

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.

LE STRATEGIE GENERALI

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.

02. LE ESPERIENZE EUROPEE

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 Passivhaus*.

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,

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 legeg n. 10/91 (il cui consumo tipico può essere individuato fra i 100 e i 150 kWh/m^2.anno).

Accorgimenti tecnici

Lo standard *Passivhaus* 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

Il rispetto dello standard Passivhaus, nel contesto tedesco, richiede valori di termotrasmittanza U attorno ai 0,10 W/m²K per la copertura, 0,13 W/m²K per le pareti perimetrali verticali e 0,20 W/m²K 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.

Finestre ad elevate prestazioni

Nel clima tedesco, alle finestre viene generalmente richiesta una termotrasmittanza U non superiore a 0,80 W/m²K, 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.

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.

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)	

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^{2}K	1,6 W/m^{2}K
Standard Minergie	45 kWh/m2 (160 MJ/M^2)	0,2 W/m^{2}K	1,3 W/m^{2}K
Standard Passivhaus	15 kWh/m2 (53 MJ/M^2)	0,1 W/m^{2}K	0,8 W/m^{2}K

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 CO2 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:

Definizione del sistema di classificazione esigenziale

La definizione del sistema esigenziale di riferimento per la valutazione è effettuata tenendo conto sia delle fasi del processo edilizio, sia degli obiettivi strategici, identificati come classi di esigenze – connessi al raggiungimento della compatibilità ambientale delle operazioni di progetto.

Tabella 1. Definizione delle esigenze

Classe d'esigenze	Esigenza (classe dei requisiti)	Fasi
Salvaguardia dell'ambiente	Salvaguardia della salubrità dell'aria e del clima	PFO, POE, POM, POD, FAF
	Salvaguardia dell'integrità del suolo e del sottosuolo	PFO, POE, POM, POD, FAF
	Salvaguardia della qualità dell'acqua	FAF
	Salvaguardia dei sistemi naturalistici e paesaggistici	PFO, POE, POD, FAF
	Salvaguardia del sistema del verde	FAF
	Salvaguardia dei caratteri storico-culturali del sito	FAF
Uso razionale delle risorse	Uso razionale delle risorse di materia prima	PFO, POE, POM
	Uso razionale delle risorse climatiche ed energetiche	PFO, POE, POM, POD, FAF
	Uso razionale delle risorse idriche	PFO, POE, POM, POD, FAF
	Uso razionale delle risorse derivanti da scarti e rifiuti	PFO, POE, POM, POD, FAF
Benessere, igiene e salute dell'utenza	Benessere termico, visivo e acustico negli spazi esterni	FAF
	Benessere connesso con i caratteri geo-biofisici del sito	FAF
	Condizioni d'igiene ambientale connesse con le variazioni del campo elettromagnetico da fonti artificiali	FAF
	Condizioni d'igiene ambientale connesse con l'esposizione ad inquinanti dell'aria interna	FAF

PFO = Fase produttiva fuori opera; POE = Fase produttiva in opera: esecuzione; POM = Fase produttiva in opera: manutenzione; POD = Fase produttiva in opera: demolizione; FAF = Fase funzionale (d'uso)

Esempio di pesatura del sistema di classificazione esigenziale

Pesi relativi alle fasi %

	PFO	POE	POM	POD	FAF		PFO	POE	POM	POD	FAF
Tot. fasi	20	15	15	10	40		20	15	15	10	40
Classe						**Esigenza**					
Salvaguardia dell'ambiente	40	35	30	50	30	Aria e clima	35	35	85	35	25
						Suolo e sottosuolo	35	30	35	35	10
						Qualità dell'acqua	-	-	-	-	-
						Sist.nat. e paesaggistici	30	35	-	30	15
						Sistema del verde	-	-	-	-	20
						Car.storico-culturali	-	-	-	-	10
						Totali classe	100	100	100	100	100
Uso razionale delle risorse	60	65	70	50	40	Risorse di materia prima	26	22	22	-	-
						Risorse clima ed energia	26	26	22	35	50
						Risorse idriche	26	26	22	25	25
						Risorse da scarti e rifiuti	22	26	34	40	25
						Totali classe	100	100	100	100	100
Benessere, igiene e salute dell'utenza	-	-	-	-	30	Benessere spazi interni	-	-	-	-	60
						Benessere geo-biofisico	-	-	-	-	15
						Igiene ambientale (campi elettromagnetici artificiali)	-	-	-	-	10
						Igiene ambientale (qualità dell'aria interna)	-	-	-	-	15
Totali classe	100	100	100	100	100	**Totali classe**	-	-	-	-	100

Nota: il peso, rispetto al totale delle esigenze, di ogni esigenza (classe di requisiti specifica di una determinata fase, si ottiene moltiplicando il peso della fase stessa (terza riga) per quello dell'esigenza (rispetto alla classe) per quello della classe rispetto al totale delle classi nella fase).

Fig. 1 – Schema della sequenza operativa per l'attribuzione del punteggio

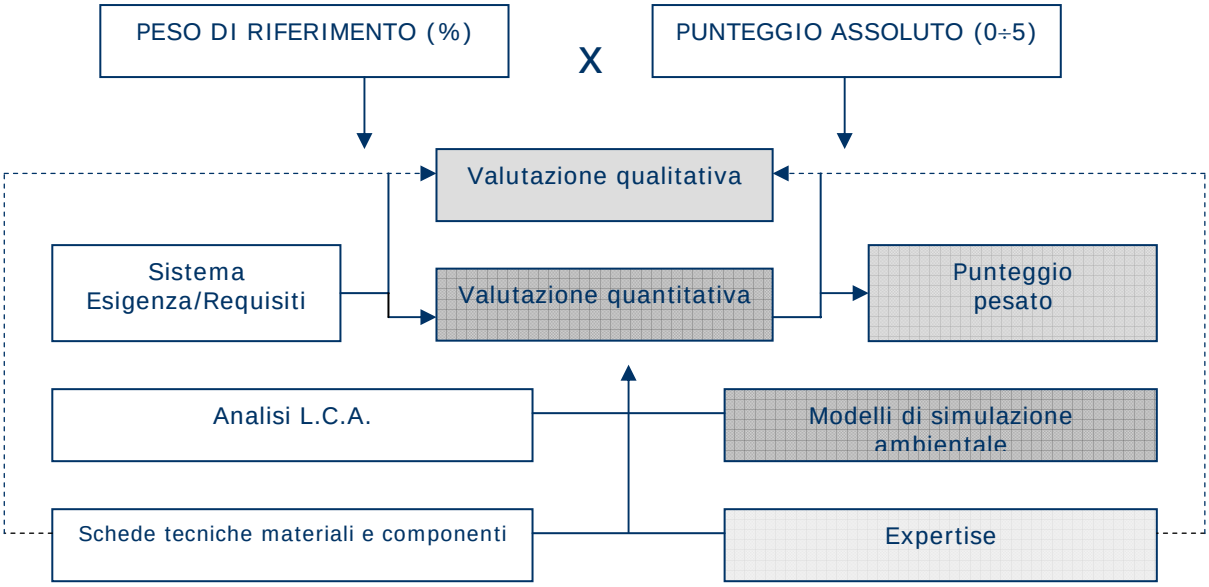
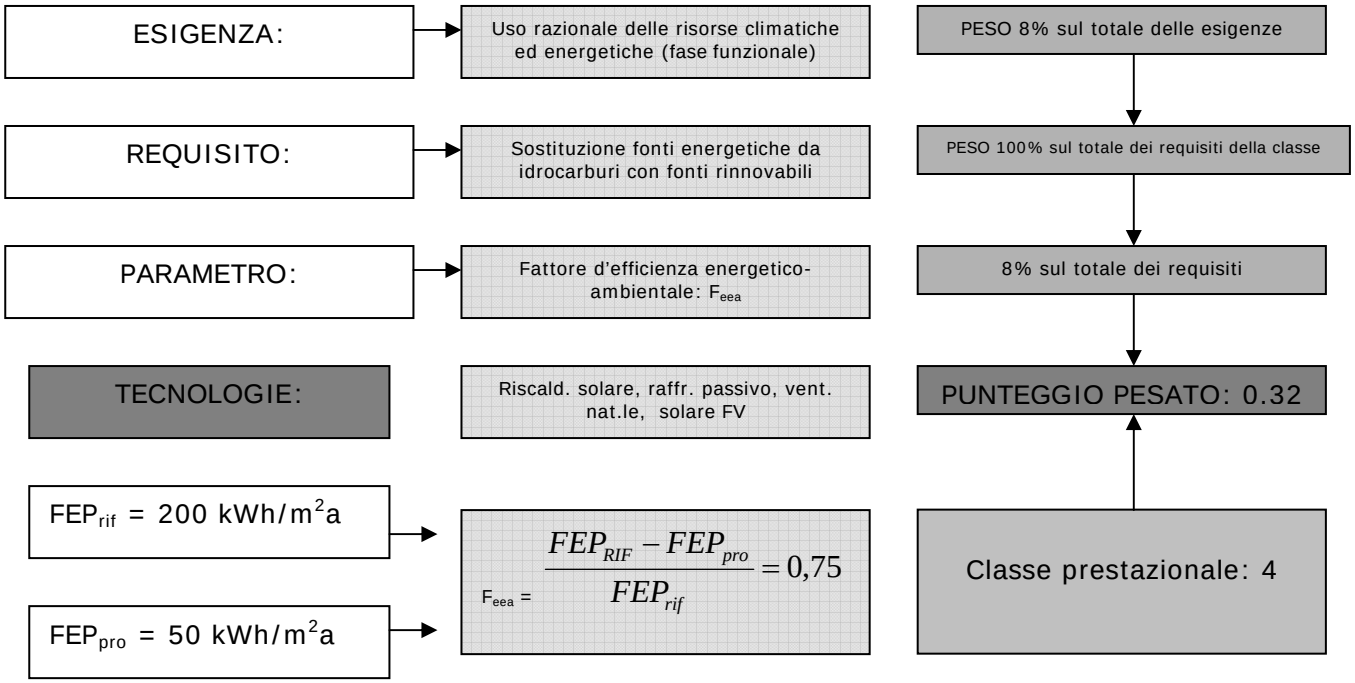


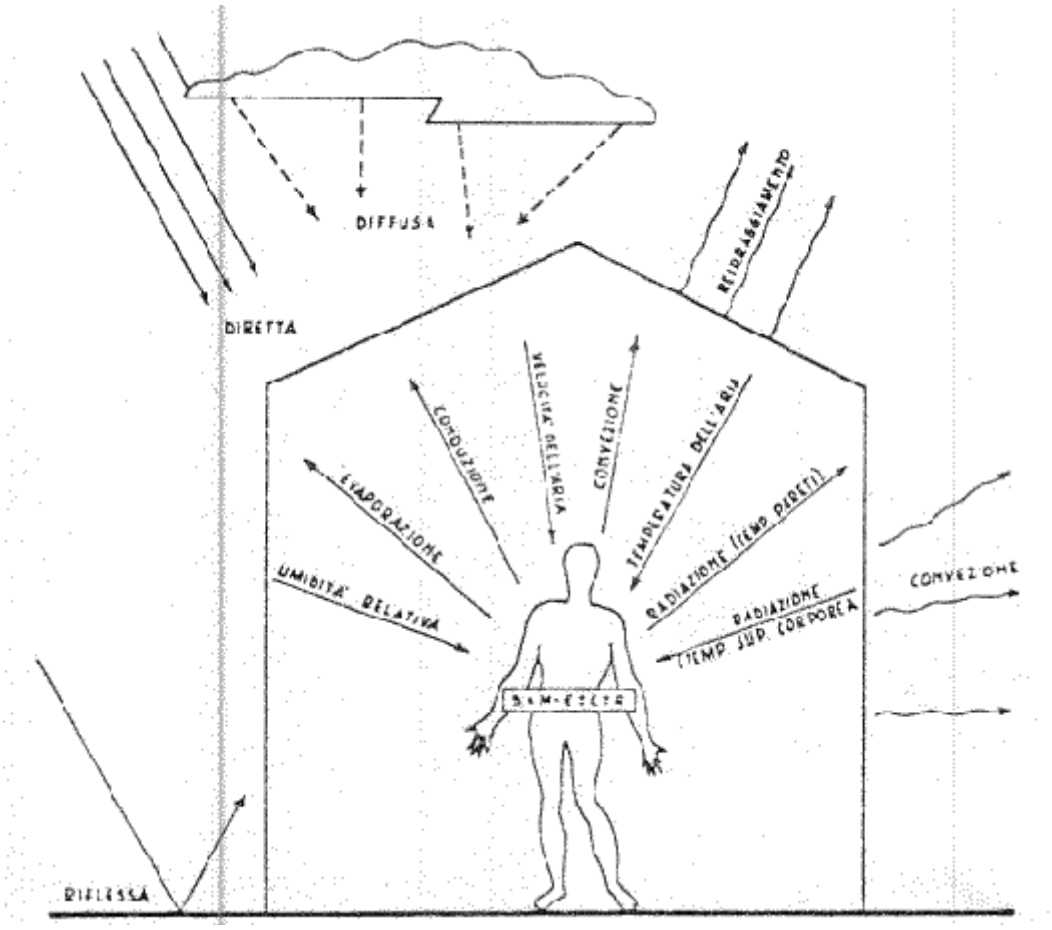
Fig. 2 – Sequenza relativa all'attribuzione di punteggio con l'utilizzo di un indicatore d'ecoefficienza



B. 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.



L'equilibrio termico casa-ambiente esterno, è determinato dai seguenti fenomeni:

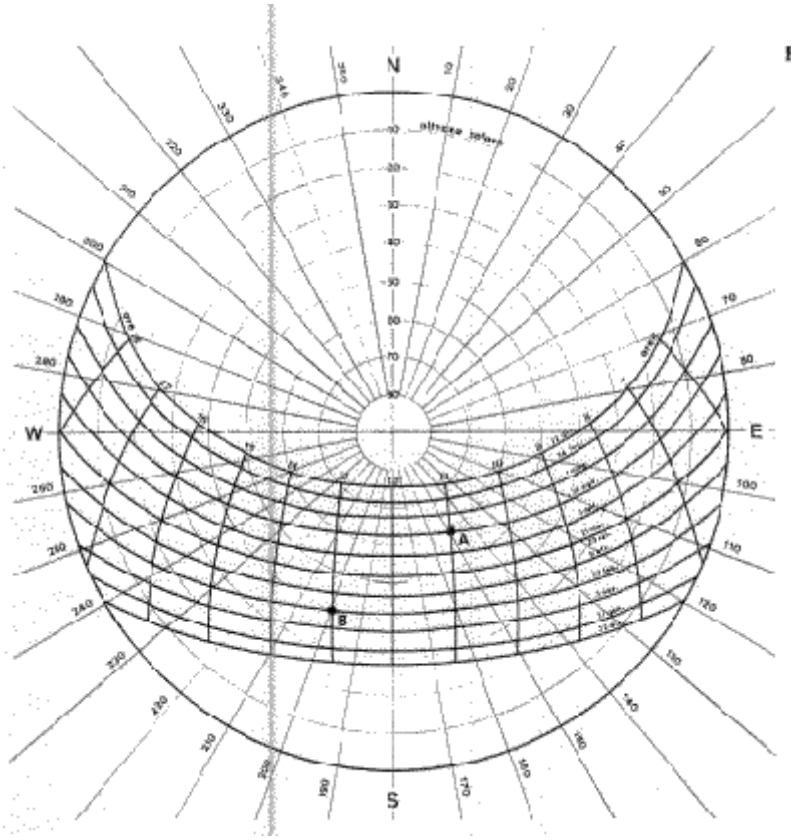
- riscaldamento delle superfici esterne dovuto all'irraggiamento solare (diretto, diffuso, riflesso);
- guadagni di calore attraverso le finestre dovuti all'irraggiamento solare (diretto, diffuso, riflesso);
- scambi convettivi fra superfici esterne ed aria ambiente (dipentemente dalla temperatura dell'aria, 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).

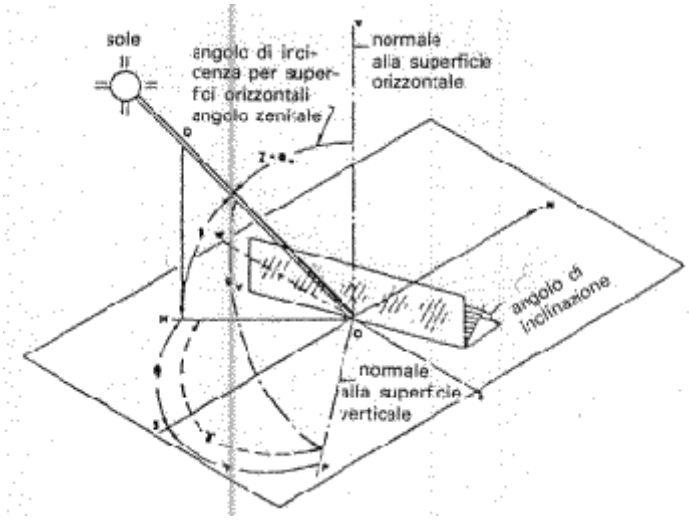
Scambi radiativi edificio-ambiente

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.

I valori di irraggiamento teorico per giornate limpide su superfici a diverse orientazioni ed inclinazione sono disponibili sotto forma di tabella in alcuni manuali.





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.

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;

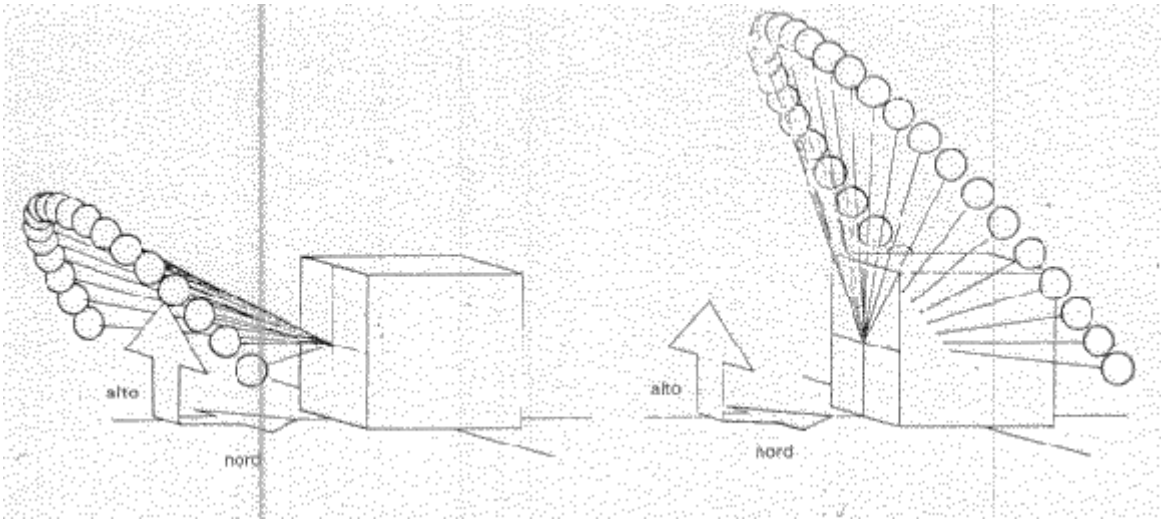
2. il modo di cui l'energia viene diffusa nello spazio climatizzato:

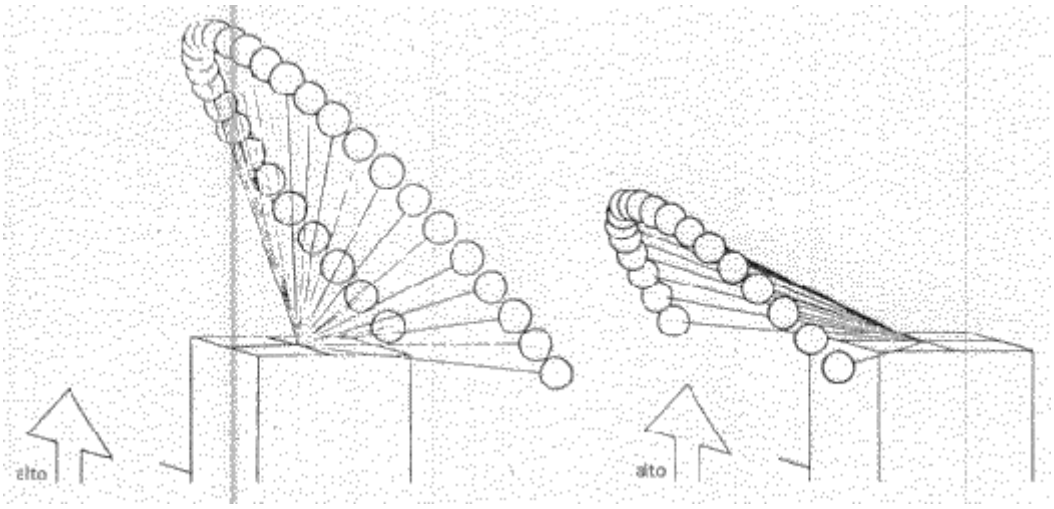
° il meccanismo, o i meccanismi, energetici,

° 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.





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

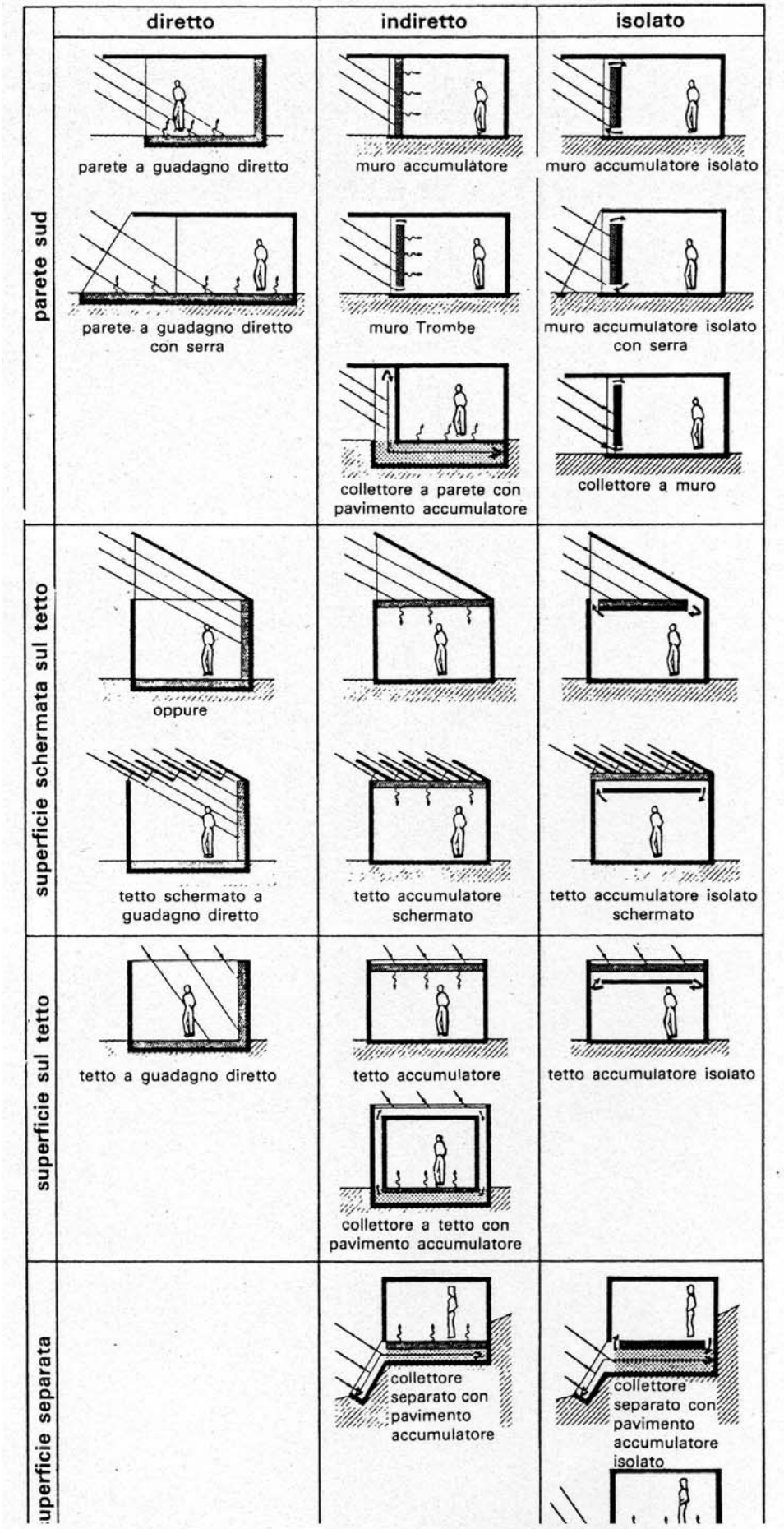
° un'apertura a sud è costituita da elementi vetrati verticali nella parete sud dell'edificio. Un'apertura di questo tipo riceve la radiazione solare prevalentemente dalla parte meridionale del cielo (sole invernale).

° 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.

Questa figura introduce anche una nomenclatura generale per la descrizione dei sistemi passivi.


diretto
indiretto
isolato
parete sud
parete a guadagno diretto
muro accumulatore
muro accumulatore isolato
parete a guadagno diretto con serra
muro Trombe
muro accumulatore isolato con serra
collettore a parete con pavimento accumulatore
collettore a muro
superficie schermata sul tetto
oppure
tetto schermato a guadagno diretto
tetto accumulatore schermato
tetto accumulatore isolato schermato
superficie sul tetto
tetto a guadagno diretto
tetto accumulatore
tetto accumulatore isolato
collettore a tetto con pavimento accumulatore
uperficie separata
collettore separato con pavimento accumulatore
collettore separato con pavimento accumulatore isolato

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.

Muro termo accumulatore

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.

04. ACCUMULARE ENERGIA

Si distinguono tre principi di immagazzinamento del calore:

° a calore sensibile

° a calore latente

° termochimica

A calore sensibile

Proprietà	*Acqua*	*Pietra*	
		Con 30% di vuoti	*Con 40% di vuoti*
Calore specifico (Kcal/Kg °C)	1	0.2	0.2
Densità (Kg/m³)	1000	1900	1600
Capacità termica (Kcal/m³ °C)	1000	400	350
Corrosione	possibile	no	no

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)	48	35	29	32	8-70
Densità (Kg/m³)	1700	1500	1500	1400	800-900
Calore specifico (Kcal/Kg)					
H (Kcal/Kg)	.36	.41	.38	.78	.58
(Kcal/m³)	48	67	41	56	35-60
Costo Lit/Kg	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

$AB + \text{Calore} \longrightarrow A + B$

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.

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:

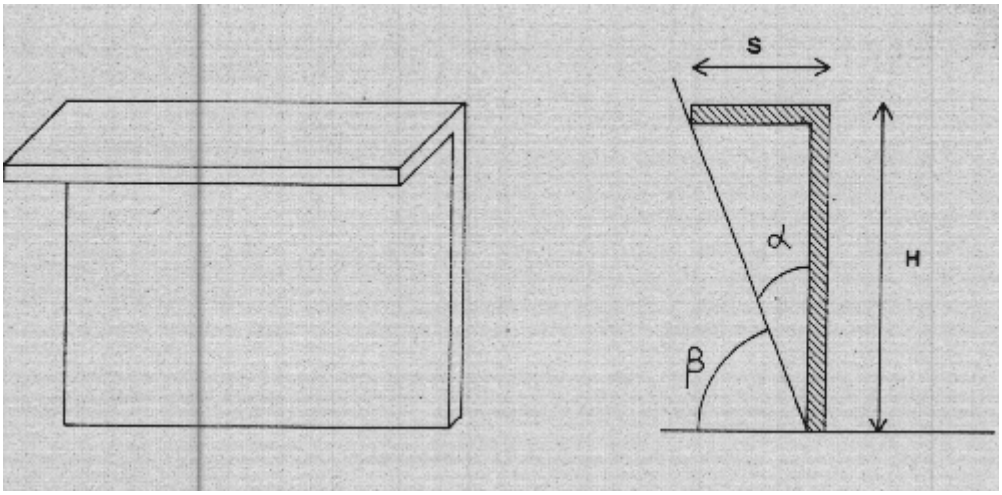
° 0,2-0,4 m^2 di vetro per m^2 di pavimento in climi freddi, ove cioè le temperature medie invernali siano di qualche °C sotto zero;

° 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

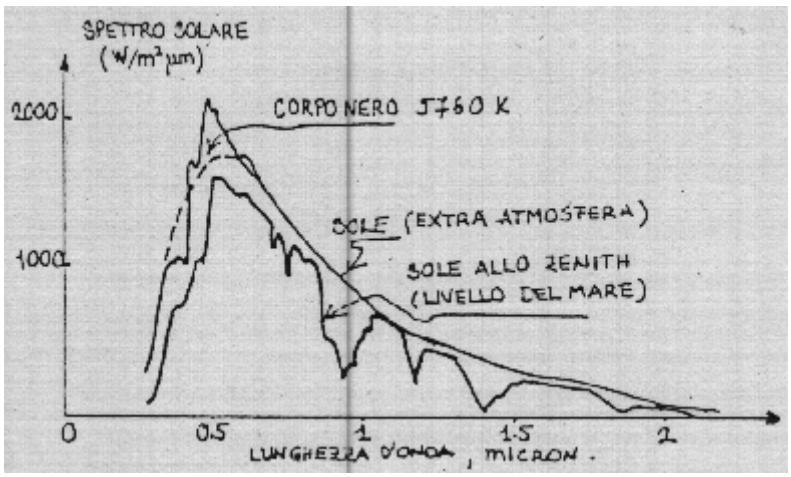
In figura è mostrato il caso di una parete verticale sormontata da una tettoia sporgente. Come si è già visto la parete stessa impedisce la vista di metà della volta celeste.



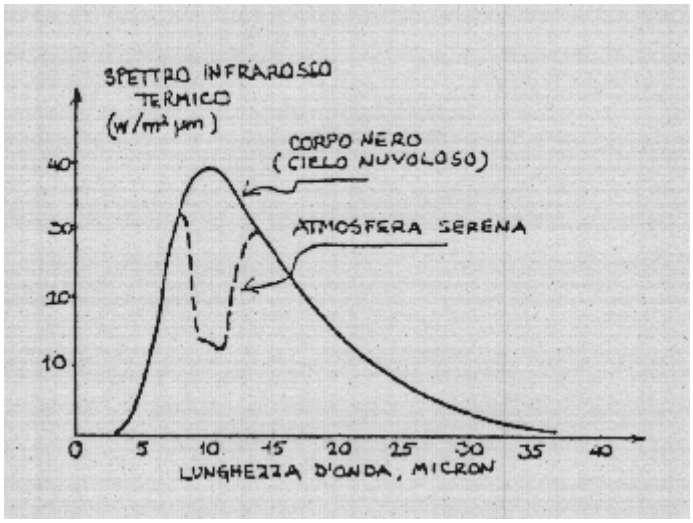
06. SUPERFICI SELETTIVE

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.



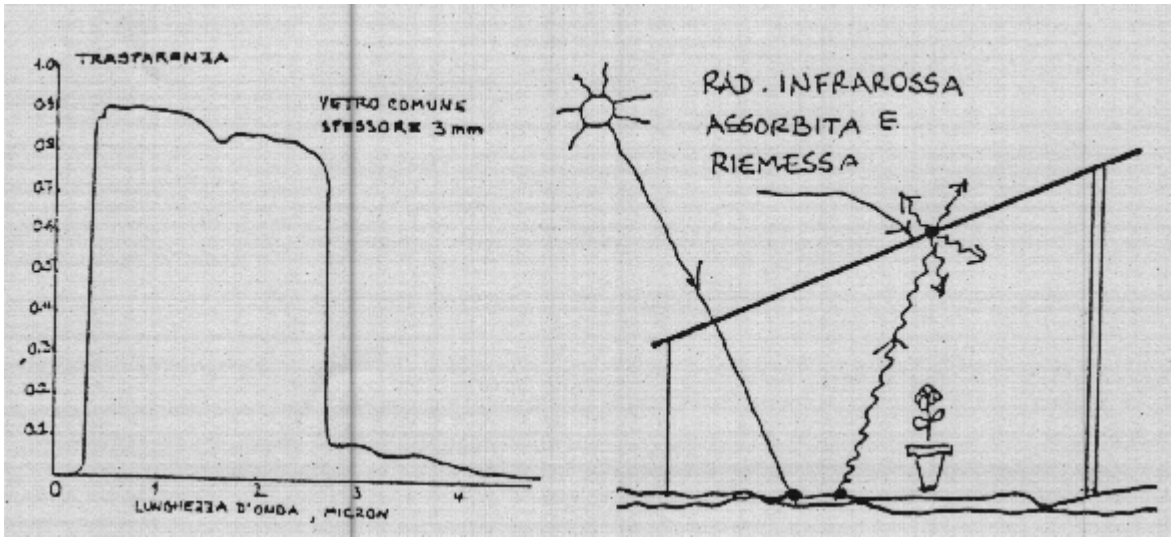
L'atmosfera. Se questa si comportasse come un corpo nero alla temperatura ambiente T_a, lo spettro di radiazione da essa emesso sarebbe quello rappresentato dalla curva continua del grafico (area totale circa 450 W/m^2) . Se il cielo è nuvoloso, lo spettro di radiazione emesso dall'atmosfera è in effetti 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 opco in questa zona di lunghezza d'onda, e lo spettro da essa emesso è del tipo di quello indicato dalla curva tratteggiata del grafico.

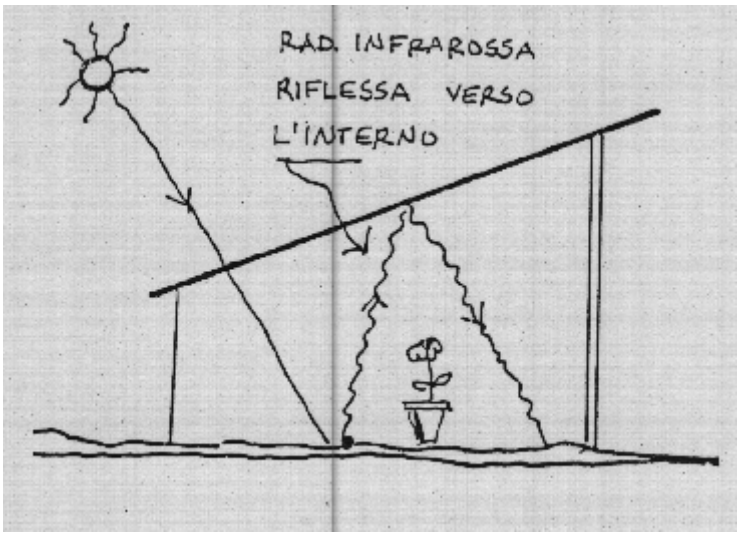


Lo spazio freddo extratmosferico. Questo ha una temperatura molto bassa, prossima allo zero assoluto. Pertanto non emette radiazione infrarossa, ma è solo in grado di assorbirne. Questo è il motivo per cui, nella zona della finestra atmosferica 8-13 μm, lo spettro di radiazione emesso dal cielo resta 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

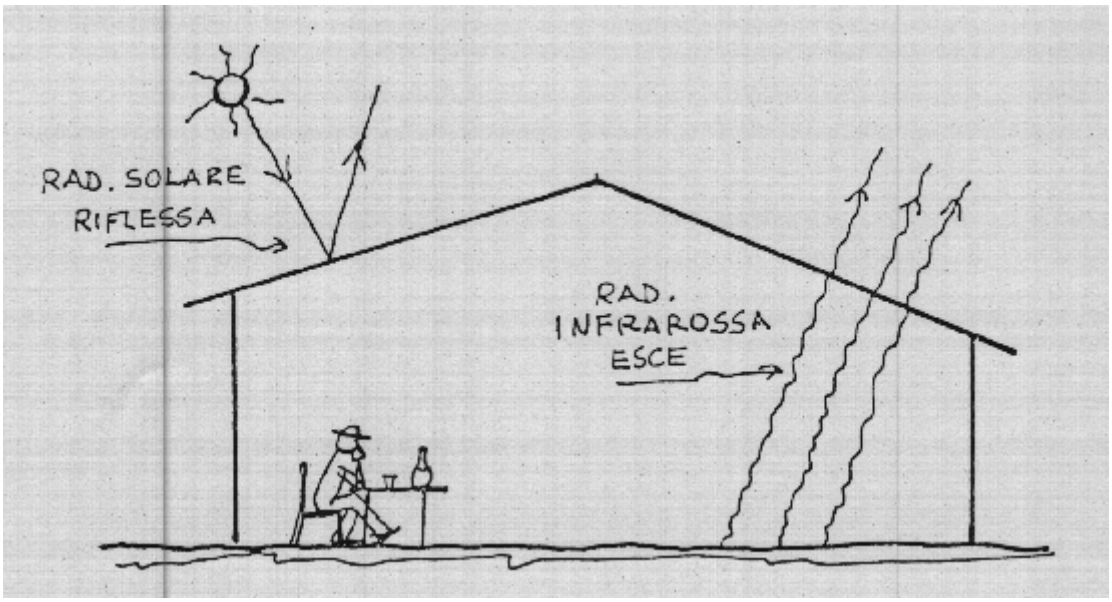
Il vetro, pur essendo trasparente alla radiazione dello spettro solare, è opaco alla radiazione infrarossa. Uno spazio protetto da un vetro riceve la radiazione dal sole; ma la radiazione infrarossa da esso emessa verso il cielo – radiazione che tende a raffreddarlo – viene intercettata e assorbita dal 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).

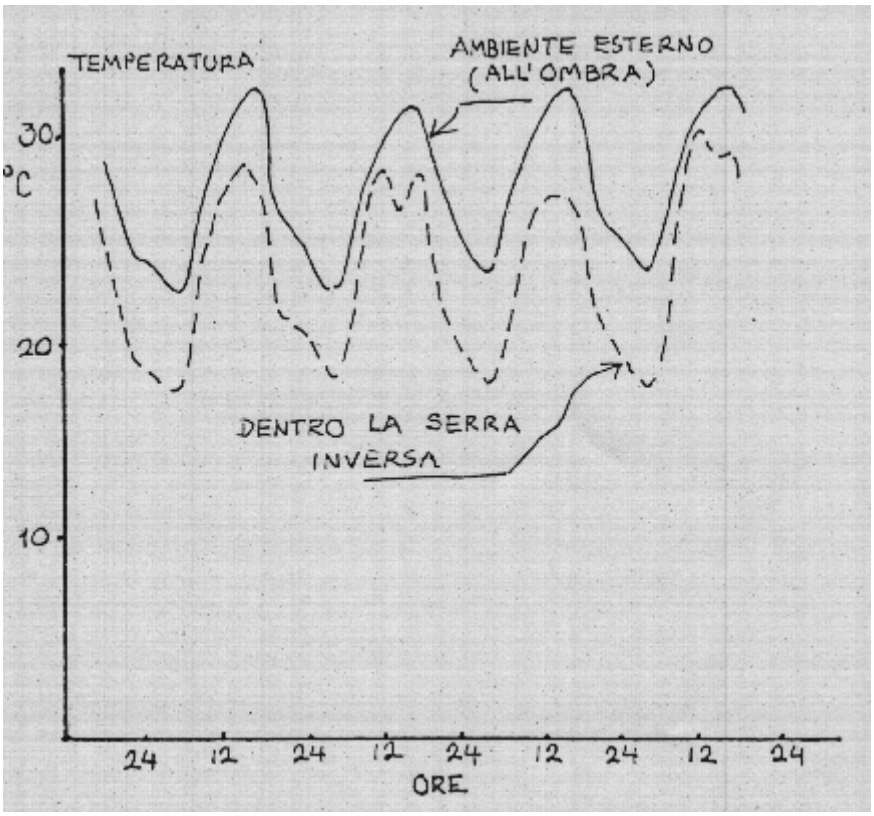


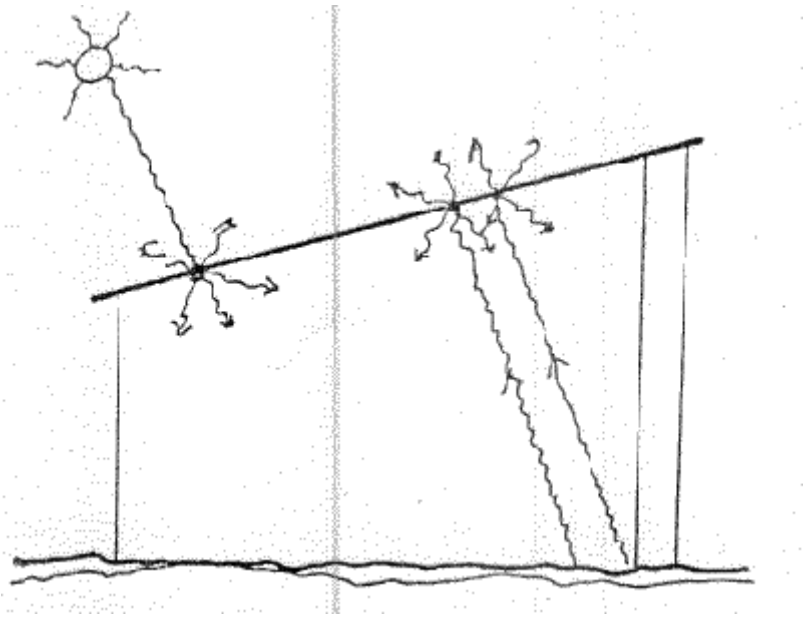


Effetto serra inverso

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

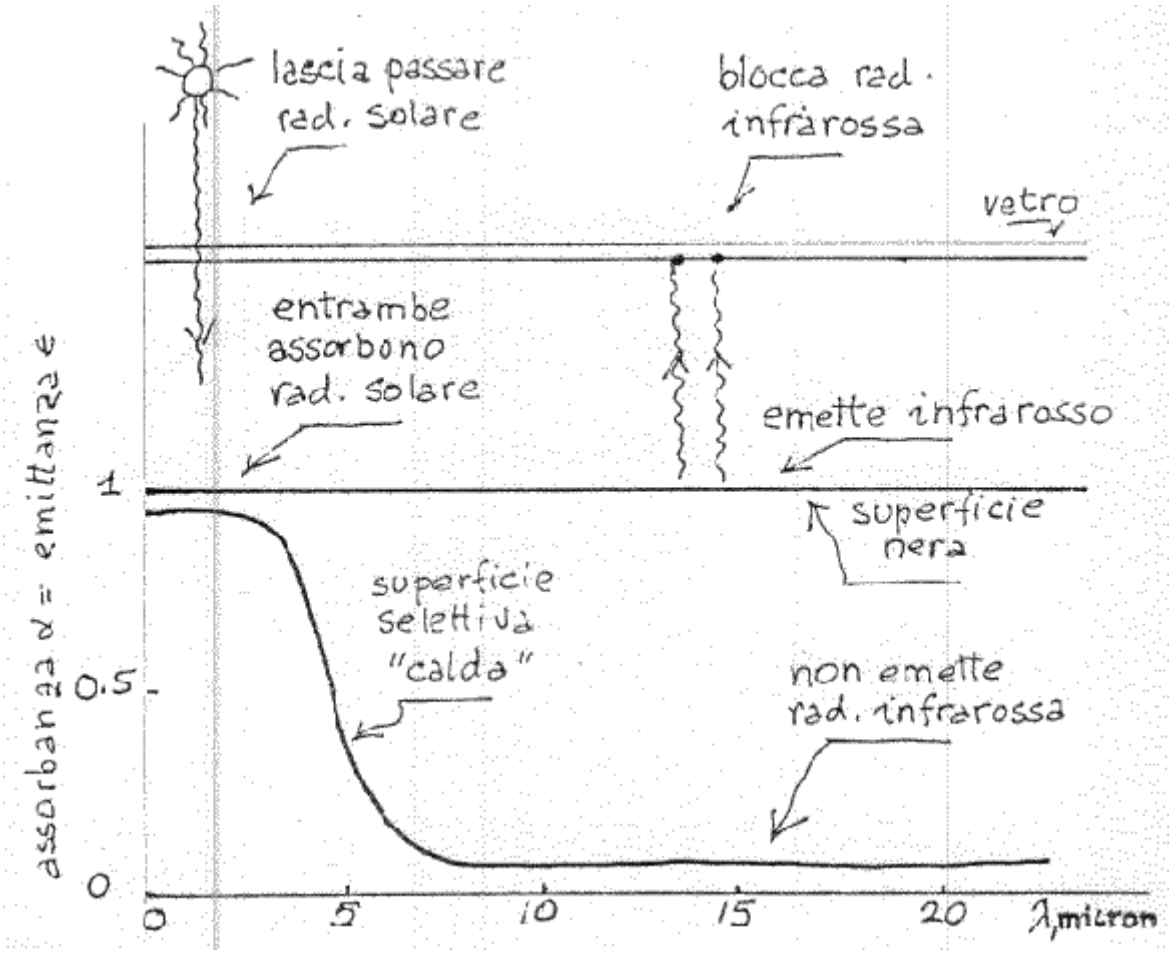


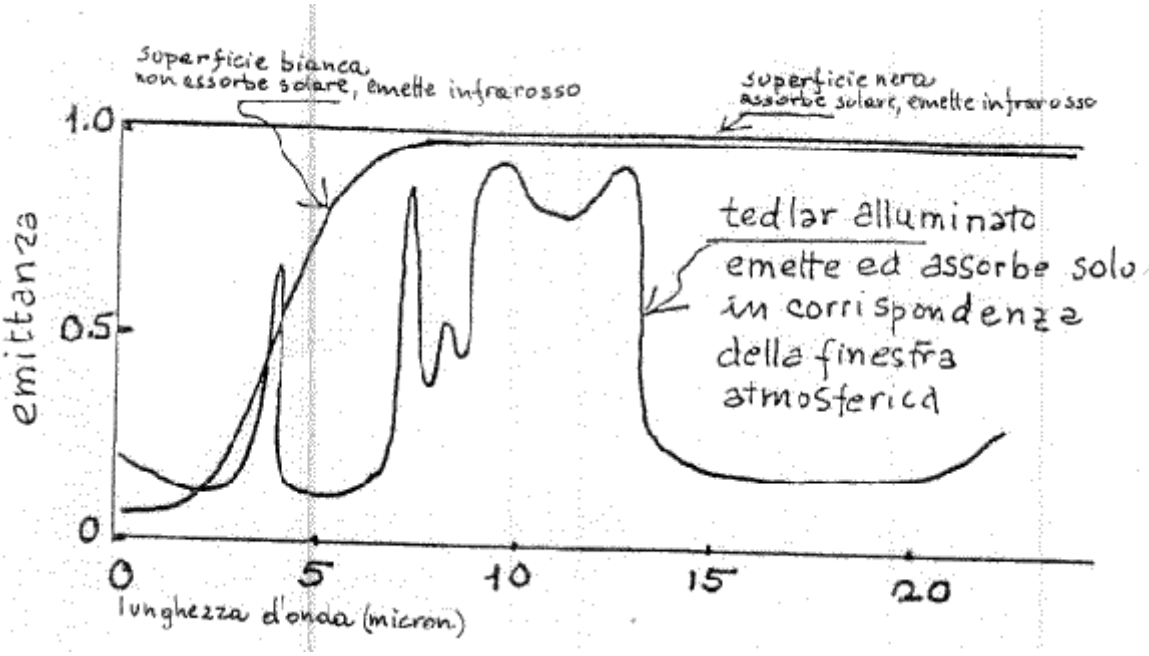
Superfici selettive "calde"

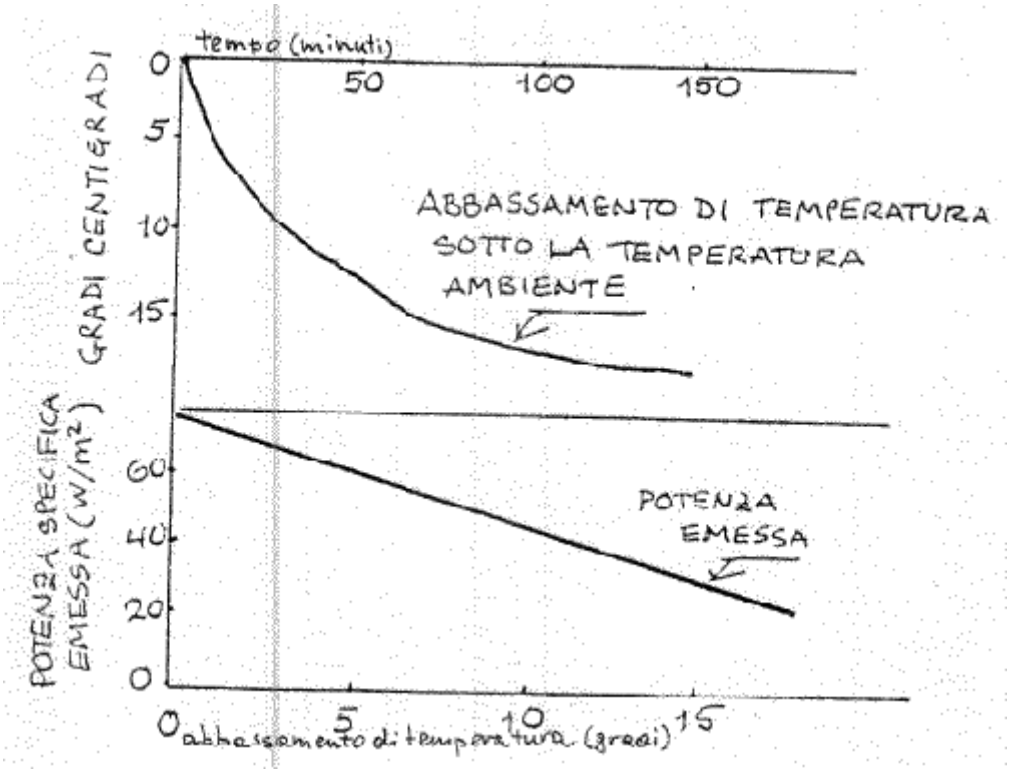
Una superficie nera esposta al sole, assorbe la radiazione solare ed emette radiazione infrarossa verso il cielo. La prima domina sulla seconda e la superficie si riscalda. Una superficie di rame lucidato assorbe solo una parte della radiazione solare (50-60%), ma poiché il suo coefficiente di emissione 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.

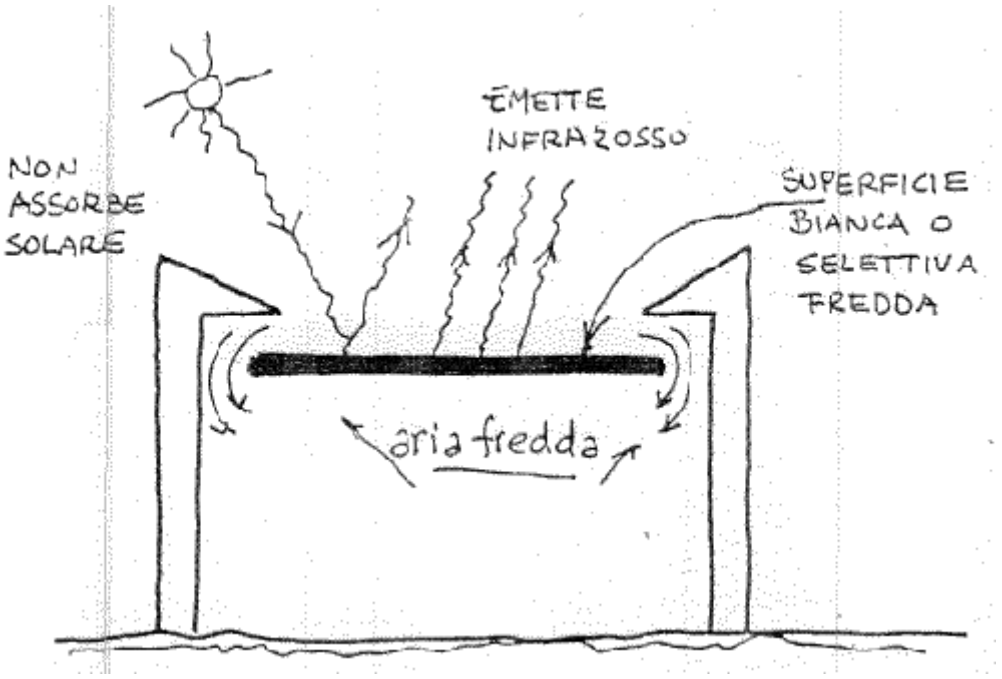
Superfici selettive “fredde”

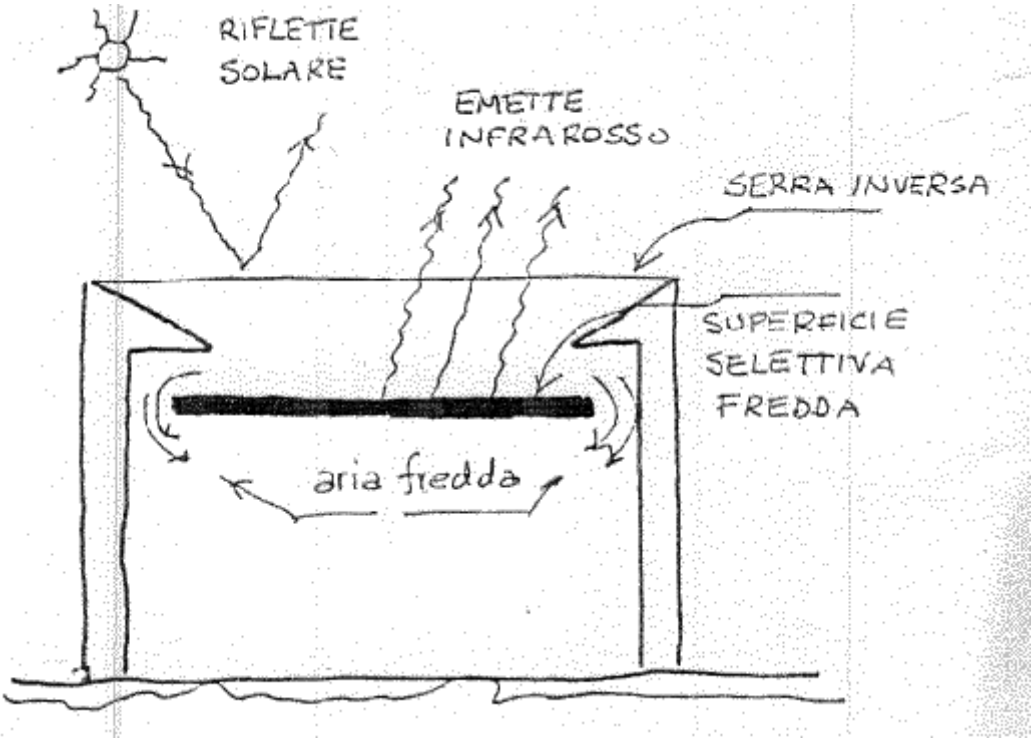
Una superficie trattata con pittura bianca rappresenta la più semplice superficie selettiva fredda. Essa infatti assorbe solo una piccola parte della radiazione solare (un buon bianco può assorbire dal 5 al 10% della radiazione incidente); mentre emette radiazione infrarossa tramite cui interagisce con 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
5
10
15
GRADI CENTIGRADI
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

C. LE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEI SERRAMENTI E DEI COMPONENTI OPACHI

SECONDO LE DIRETTIVE COMUNITARIE

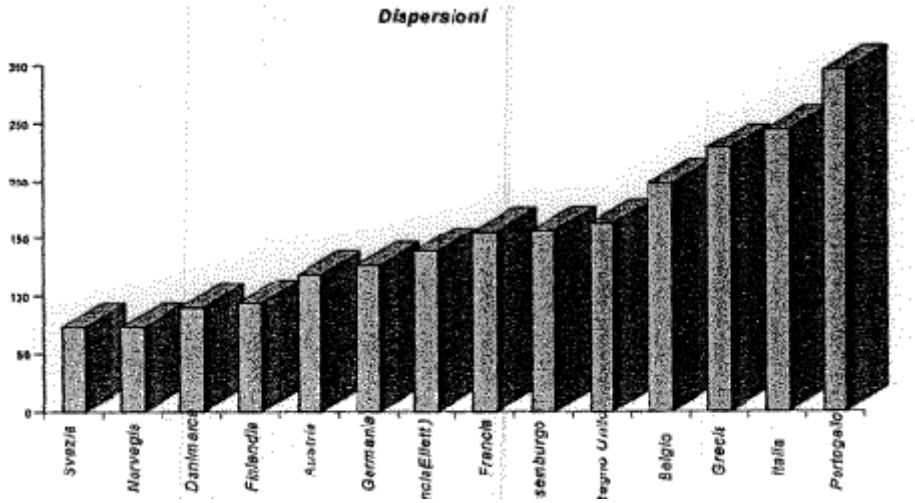
Confronto tra i livelli di isolamento termico per gli edifici in Europa

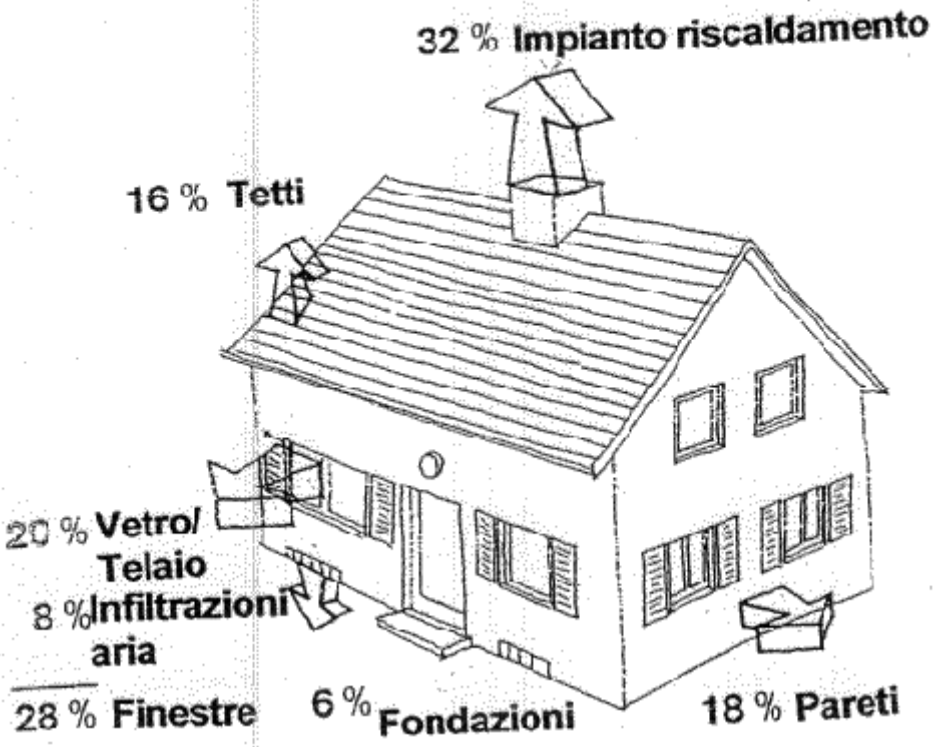
È pervenuto lo studio effettuato da COSTIC per conto di EDF (Electricité de France) nell'ambito di un programma europeo, sul livello di isolamento termico dei paesi europei.

Il rapporto è redatto sulla base del calcolo per il rispetto delle leggi di ciascun paese effettuato secondo le regole e le tecniche vigenti in ogni paese, su un edificio campione. Lo studio riporta due grafici riassuntivi che dimostrano come l'Italia sia il paese dove si isola meno e si consuma di più (a eccezione del Portogallo).

Dispersioni in (W/K)

Paesi	Muri esterni	Finestre	Porte	Muri su locali non scaldati	Soffitti	Pavimenti	TOT.
Germania	35.92	22.56	4.08	7.23	21.92	34.87	127
Austria	25.14	23.24	3.47	7.23	19.93	39.85	119
Belgio	35.92	47.84	7.15	7.23	39.85	59.78	198
Danimarca	21.55	24.61	3.67	5.78	14.94	19.93	90
Finlandia	20.12	24.61	1.43	4.05	21.92	21.92	94
Francia	37.01	33.49	2.65	6.38	19.93	56.04	156
Francia (Elett.)	29.11	33.49	2.65	4.79	19.93	49.07	139
Grecia	43.10	47.85	7.14	10.12	59.78	59.78	228
Italia	41.67	37.59	7.47	8.38	74.72	73.73	244
Lussemburgo	28.74	27.34	4.08	7.23	39.85	49.82	157
Norvegia	15.80	21.87	3.26	3.18	14.94	14.94	74
Portogallo	68.25	57.41	7.14	13.73	74.72	74.72	296
Regno Unito	32.33	45.11	6.73	8.67	24.91	44.83	163
Svezia	15.80	21.87	3.26	3.18	14.94	14.94	74




32 % Impianto riscaldamento
16 % Tetti
20 % Vetro/
Telaio
8 % Infiltrazioni
aria
28 % Finestre
6 % Fondazioni
18 % Pareti

03. LA LEGGE 10/91

Con la legge 10/91 è stato introdotto il concetto molto importante che la legge traccia la filosofia e le indicazioni generali del risparmio energetico, i decreti attuativi contengono le cosiddette "regole tecniche" e le norme UNI-CTI riportano le metodologie di calcolo richieste.

Per quanto riguarda i decreti di applicazione della Legge 10/91, quelli di maggiore interesse per il contenimento del consumo energetico degli edifici sono:

- il DPR 26/8/1993 n. 412 pubblicato sulla G.U. del 14/10/93
- il DM 13/12/93 pubblicato sulla G.U. del 24/08/94
- il DM 02/04/98 attuativo art. 32 "Certificazioni dei componenti e dei materiali"
- il DPR attuativo art. 4 comma 1 "Criteri tecnico-costruttivi e tipologie per l'edilizia sovvenzionata e convenzionata, per l'edilizia pubblica e privata, anche riguardo alla ristrutturazione degli edifici esistenti"

  (da emanare in data di pubblicazione)
- il DM attuativo art. 4 comma 2 "norme al cui rispetto è condizionato il rilascio delle autorizzazioni e la concessione e l'erogazione dei finanziamenti e contributi per la realizzazione di opere pubbliche"

  (da emanare in data di pubblicazione)
- il DPR attuativo art. 30 "Certificazione energetica degli edifici"
- (da emanare in data di pubblicazione)

Il DPR n. 412 stabilisce le norme relative alla progettazione, all'installazione, all'esercizio e alla manutenzione degli impianti termici.

Il DPR 13/12/93 riguarda i modelli tipo per la compilazione della relazione tecnica da presentare al Comune, secondo schemi precisi differenziati per le diverse tipologie di edifici.

Il DM 02/04/98 attuativo dell'art. 32 fissa le modalità di certificazione dei materiali e dei componenti che assolvono una o più funzioni energeticamente significative all'interno dell'edificio.

Il DM 06/08/94 sancisce il recepimento della normativa tecniche UNI attuative del DPR citato sopra e dettagliate nel seguito e precisa che nella formula del valore limite del FEN il Cd sta per Cd limite del coefficiente di dispersione volumica.

Il DPR attuativo dell'art. 4 comma 1 fisserà i criteri tecnico-costruttivi e le caratteristiche tipologiche di intervento idonei a facilitare l'impiego di fonti rinnovabili e il risparmio di energia: il DM attuativo dell'art. 4 comma 2 riguarderà per gli stessi aspetti le opere pubbliche e gli edifici a uso pubblico.

Il DPR attuativo dell'art. 30 dovrà stabilire i criteri e le procedure per la redazione della cosiddetta "pagella energetica" degli edifici, la quale si baserà su un sistema di controllo non solo della relazione tecnica di progetto, ma anche della rispondenza in cantiere mediante sopralluoghi, dei materiali previsti.

Gli edifici verranno così classificati in base al loro consumo di energia e saranno riconoscibili, energeticamente, dalla classe di merito alla quale appartengono.

In sintesi, fino alla emanazione dei decreti relativi alla progettazione dell'involucro edilizio (art. 4 comma 1 e 2) per effettuare i calcoli inerenti agli impianti di riscaldamento il progettista dovrà fare riferimento , (oltre che al DPR n. 412 al DM

31/12/93 e al DM 06/08/94), al DPR 1052/77 (per le parti non abrogate dalla legge 10/91) e al DM 30/07/86. questi decreti riguardano rispettivamente il riferimento al calcolo del Cd e i valori limite ammessi.