

Architettura climatica

Concetto, procedimento e dimensionamento

Gruppo di lavoro

- J.-L. Badoux, 1095 Lutry
- D. Chuard, Sorane SA, 1018 Lausanne
- J.-P. Eggimann, EPFL-LESO, 1015 Lausanne
- C. Scaler, 1246 Corsier-Village

Direttore del corso

- J.-P. Eggimann, EPFL-LESO, 1015 Lausanne

**Traduzione in lingua italiana
(dall'edizione originale francese)**

- Ursula Bolli, architetto, Lugano

Associazioni sostenitrici

SIA Società svizzera degli ingegneri e
architetti

ASIC Associazione svizzera degli ingegneri
consulenti

ISBN 3-905232-86-3

Edizione originale: ISBN 3-905232-51-0

Copyright © Ufficio federale dei problemi congiunturali
3003 Berna, 1996.

Riproduzione di estratti autorizzata con indicazione
della fonte.

Ottenibile presso l'Ufficio federale degli stampati e del
materiale, 3000 Berna (N° d'ordine 724.217 i).

Premessa

Il programma d'azione «Costruzione ed energia» ha una durata di 6 anni (1990-1995) e comprende tre programmi d'impulso:

- PI EDIL – Manutenzione e rinnovamento delle costruzioni
- RAVEL – Uso razionale dell'elettricità
- PACER – Energie rinnovabili

I tre programmi d'impulso vengono realizzati in stretta collaborazione con l'economia privata, gli istituti universitari e la Confederazione. Loro obiettivo è incentivare una crescita economica qualitativa. In quest'ottica, devono favorire una riduzione dell'impiego di materie prime e di energie non rinnovabili e, come corollario, una maggiore attenzione al «know-how» e all'apprendimento.

Fino ad oggi, fatta eccezione del potenziale idroelettrico, il contributo delle energie rinnovabili al bilancio energetico è rimasto quasi inesistente. Anche per rimediare a questa situazione è stato creato il programma PACER. Per questo il programma PACER tenta di:

- favorire l'utilizzazione in funzione del rapporto costo/sfruttamento;
- trasmettere agli ingegneri, architetti e installatori le necessarie cognizioni;
- introdurre un altro metodo di analisi economica che considera i costi esterni;
- formare e informare le autorità e i committenti.

Corsi, manifestazioni, pubblicazioni, cassette video, ecc.

Il programma PACER si dedica essenzialmente alla formazione continua e all'informazione. La divulgazione delle conoscenze si basa anzitutto sulla pratica, sulle pubblicazioni, sui corsi e altri tipi di manifestazioni. Il pubblico cui si rivolge è quello degli ingegneri, architetti e installatori ma anche degli specialisti di un settore specifico. Un altro punto importante del programma è la sua divulgazione attraverso l'informazione generale. Deve essere uno stimolo per committenti, architetti, ingegneri e autorità.

Il bollettino «IMPULSO» che appare due, tre volte l'anno, informa in modo dettagliato sulle varie attività. È ottenibile gratuitamente su semplice richiesta. Ogni partecipante a un corso o ad altre manifestazioni del programma riceve una pubbli-

cazione redatta appositamente. Tutte queste pubblicazioni sono ottenibili anche indirizzandosi direttamente all'Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale (UCFSM), 3000 Berna.

Competenze

Per assolvere al meglio questo ambizioso progetto di formazione è stato fatto appello a specialisti di diversi settori interessati; appartengono al settore privato, alle scuole o alle associazioni professionali. Questi specialisti sono appoggiati da una commissione che comprende rappresentanti di associazioni, istituti universitari e settori professionali interessati.

Le associazioni professionali si prendono carico dell'organizzazione dei corsi e delle altre attività. Per la preparazione di queste attività è stata costituita una direzione responsabile del programma; la compongono il Dott. Jean-Bernard Gay, il Dott. Charles Filleux, Jean Graf, il Dott. Arthur Wellinger e Irène Wuillemin con Eric Mosimann dell'Ufficio federale dei problemi congiunturali. La preparazione delle diverse attività è affidata a gruppi di lavoro responsabili del contenuto, in tempi e costi determinati.

Documentazione

Un edificio riuscito è un edificio adatto al luogo, al clima e alle esigenze del committente. Qui l'architetto ha un ruolo centrale.

Questa documentazione che procura all'architetto, sin dall'inizio dell'elaborazione del progetto, conoscenze e strumenti utili è divisa in quattro parti:

- a) i primi capitoli analizzano l'ambiente circostante e il programma del progetto;
- b) il capitolo 5 spiega i principi base del concetto energetico;
- c) il capitolo 6 dimostra come, in funzione della strategia scelta dall'architetto, analisi e principi si integrino nella procedura architettonica;
- d) gli allegati (ognuno riferito a un capitolo) informano dettagliatamente sugli strumenti presentati nei capitoli.

Questa pubblicazione è un complemento alla documentazione PACER «Sole e architettura - Guida pratica per la progettazione» (1992) e

«Energie rinnovabili e architettura - interrogativi da porsi durante la fase di progettazione - un filo conduttore» (1995).

Questa documentazione è stata accuratamente verificata e sottoposta al giudizio dei partecipanti al primo corso pilota. Ciò ha permesso agli autori di effettuare le modifiche necessarie pur restando liberi di decidere sulle correzioni da apportare ai loro testi. Eventuali miglioramenti sono ancora possibili e il direttore del corso o l'Ufficio federale dei problemi congiunturali prendono volentieri nota dei vostri suggerimenti.

Ringraziamo vivamente tutte le persone che hanno contribuito alla realizzazione di questa pubblicazione.

Ufficio federale dei problemi congiunturali
Settore delle tecnologie
Dott. B. Hotz-Hart
Vicedirettore

Indice

| | | |
|-----------|---------------------|----------|
| 1. | Introduzione | 7 |
|-----------|---------------------|----------|

| | | |
|-----------|--|----------|
| 2. | Analisi del luogo | 9 |
| 2.1 | Introduzione | 10 |
| 2.2 | Temperatura | 14 |
| 2.3 | Irraggiamento solare (senza ombra) | 16 |
| 2.4 | Ombra dell'ambiente circostante distante | 19 |
| 2.5 | Ombra di oggetti vicini | 21 |
| 2.6 | Ombra propria | 25 |
| 2.7 | Vento | 28 |
| 2.8 | Analisi globale | 35 |
| 2.9 | Bibliografia | 36 |

| | | |
|-----------|----------------------------------|-----------|
| 3. | Analisi del programma | 37 |
| 3.1 | Introduzione | 38 |
| 3.2 | Benessere igrotermico | 40 |
| 3.3 | Aerazione | 45 |
| 3.4 | Benessere visuale | 46 |
| 3.5 | Carichi interni, apporti interni | 49 |
| 3.6 | Bibliografia | 52 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4. | Prestazioni | 53 |
| 4.1 | Introduzione | 54 |
| 4.2 | Prestazioni energetiche, regolamenti | 56 |
| 4.3 | Prestazioni economiche: prezzo e costi dell'energia | 59 |
| 4.4 | Prestazioni di benessere | 60 |
| 4.5 | Prestazioni di illuminazione naturale | 61 |
| 4.6 | Bibliografia | 62 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5. | Concetto energetico: principi | 63 |
| | Periodo freddo (inverno) | |
| 5.1 | Captare il sole | 66 |
| 5.2 | Immagazzinare il calore | 74 |
| 5.3 | Distribuire il calore | 80 |
| 5.4 | Conservare il calore | 86 |
| | Periodo caldo (estate) | |
| 5.5 | Minimizzare gli apporti solari | 96 |
| 5.6 | Ventilazione naturale | 106 |
| 5.7 | Sfasamento degli apporti e ventilazione notturna | 116 |
| 5.8 | Illuminazione naturale | 118 |
| 5.9 | Bibliografia | 127 |

| | | |
|-----------|---------------------------------|------------|
| 6. | Procedimento e strategia | 129 |
| 6.1 | Procedimento | 130 |
| 6.2 | Strategia | 130 |

| | | |
|-----------|-----------------|------------|
| A. | Allegati | 139 |
|-----------|-----------------|------------|

| | | |
|-----------|---------------------|------------|
| A1 | Bibliografia | 141 |
|-----------|---------------------|------------|

| | | |
|-----------|---|------------|
| A2 | Analisi del luogo | 145 |
| A2.1 | Regioni climatiche della Svizzera | 146 |
| A2.2 | Variazioni della temperatura media in funzione della regione climatica e dell'altitudine | 148 |
| A2.3 | Variazioni dell'irraggiamento globale orizzontale in funzione della regione climatica e dell'altitudine | 151 |
| A2.4 | Moto del sole nella proiezione cilindrica | 154 |
| A2.5 | Moto del sole nella proiezione stereografica | 155 |
| A2.6 | Moto del sole: valori numerici | 156 |
| A2.7 | Quadrante solare | 157 |
| A2.8 | Calcolatrice dell'ombra nella proiezione cilindrica | 158 |
| A2.9 | Calcolatrice dell'ombra nella proiezione stereografica | 159 |
| A2.10 | Programma di calcolo METEONORM'95 | 160 |
| A2.11 | Studio dell'irraggiamento solare con il programma AUTOCAD | 162 |
| A2.12 | Studio dell'irraggiamento solare con il programma ARCHICAD | 164 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| A4 | Prestazioni | 167 |
| A4.1 | Programma di calcolo secondo le norme e raccomandazioni | 168 |
| A4.2 | Programma di calcolo LESOSAI 4.0 | 170 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------|------------|
| A5 | Concetto energetico: principi | 173 |
| A5.1 | Shed verso sud - tracciato regolatore | 174 |
| A5.2 | Programma di calcolo DIAS | 176 |
| A5.3 | Abaco per l'acqua calda solare | 178 |
| A5.4 | Effetto camino | 179 |
| A5.5 | Temperatura di uno spazio cuscinetto | 180 |
| A5.6 | Ventilazione e vento: metodo | 182 |

1. Introduzione

Questo corso si rivolge agli architetti-costruttori e si propone di divulgare cognizioni e strumenti di lavoro semplici e efficaci tali da permettere di integrare, sin dall'inizio della progettazione, le componenti climatiche locali per l'insediamento della futura costruzione.

La presa in conto di questi elementi dovrebbe essere un riflesso naturale; è come lo sciatore che supera con più o meno destrezza gli ostacoli.

Se ci riferiamo al celebre disegno di Le Corbusier che rappresenta la giornata solare di 24 ore come la chiave dell'architettura e dell'urbanismo, e se a questo disegno sovrapponiamo il tempo reale di occupazione dell'alloggio a parte il fine settimana, ci accorgiamo che i locali più usati, dall'alba al tramonto, e che potrebbero intrattenere un rapporto privilegiato di luce e clima, vengono relegati al centro dell'edificio con scopi unicamente funzionali, inadatti ad offrire un ambiente piacevole alle attività che vi si svolgono.

L'insegnamento che emerge ad esempio, dallo studio dell'architettura vernacolare, è la risposta alle costrizioni dovute al luogo, sia in montagna, sia nel deserto. Il periodo recente, detto anche «tecnologico» o «architettura internazionale», ha fatto astrazione dell'ambiente circostante e delle relative conseguenze.

L'integrazione degli apporti e delle costrizioni dell'ambiente circostante arricchisce l'elaborazione del progetto e favorisce l'armonizzazione delle attività svolte. Ciò si traduce in un elevato benessere degli utenti e in un'ottima resistenza dell'edificio alle sollecitazioni esterne. L'organizzazione dello spazio si farà in funzione del sole e della luce, dell'esposizione ai venti dominanti o termici stagionali, della topografia del terreno, della vista, degli inquinamenti fonici, ecc. e del programma fornito dal committente.

Il risparmio energetico non è lo scopo principale di questo corso: ma sarà la conseguenza naturale di una risposta adeguata al programma, al clima e all'ambiente circostante.

L'ambizione di questo corso è stimolare l'architetto alla curiosità e all'interesse verso l'ambiente circostante. L'architettura climatica detta anche «architettura solare», è stata considerata per molto tempo come una caricatura rappresentata da collettori solari posati con un'inclinazione di 45 gra-

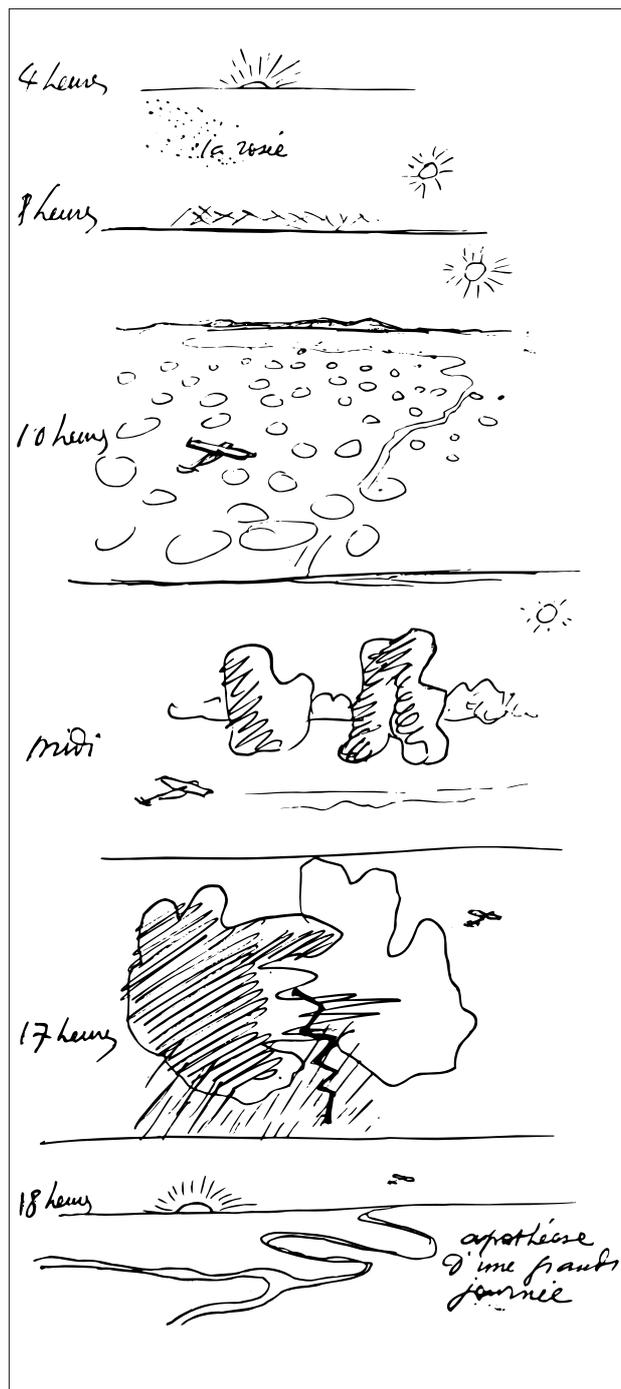


Illustrazione 1.1: une grande journée [Le Corbusier, *la ville radieuse*, Editions de l'architecture d'aujourd'hui, Boulogne, 1936 (?)].

di, da una facciata sud vetrata e una facciata nord ermeticamente chiusa. Questa estrema semplificazione ha portato a un rifiuto generale da parte degli architetti di contemplare più accuratamente i fattori climatici durante la fase della progettazione.

I dati climatici e ambientali devono integrarsi in modo naturale nella fase della progettazione. Scopo di questo corso è acquisire una nozione di procedura per:

- la comprensione del fenomeno di base;
- l'integrazione del clima e della topografia nella progettazione attraverso l'analisi congiunta del luogo e del programma;
- la capacità di scegliere definendo una gerarchia delle priorità;
- sottrarsi alle norme restrittive e
- alla strategia del formalismo.

Questo procedimento più completo, integrato nella fase della progettazione (illustrazione 1.2) si traduce in un maggiore benessere per l'utente, in qualità di illuminazione dello spazio interno, in risparmio e conservazione dell'edificio nel tempo.

Questo corso avrà raggiunto il suo scopo se riuscirà a trasmettere le conoscenze e gli strumenti che conferiranno all'architetto la libertà di realizzare un edificio concettualmente integrato, in armonia con il programma e il clima.

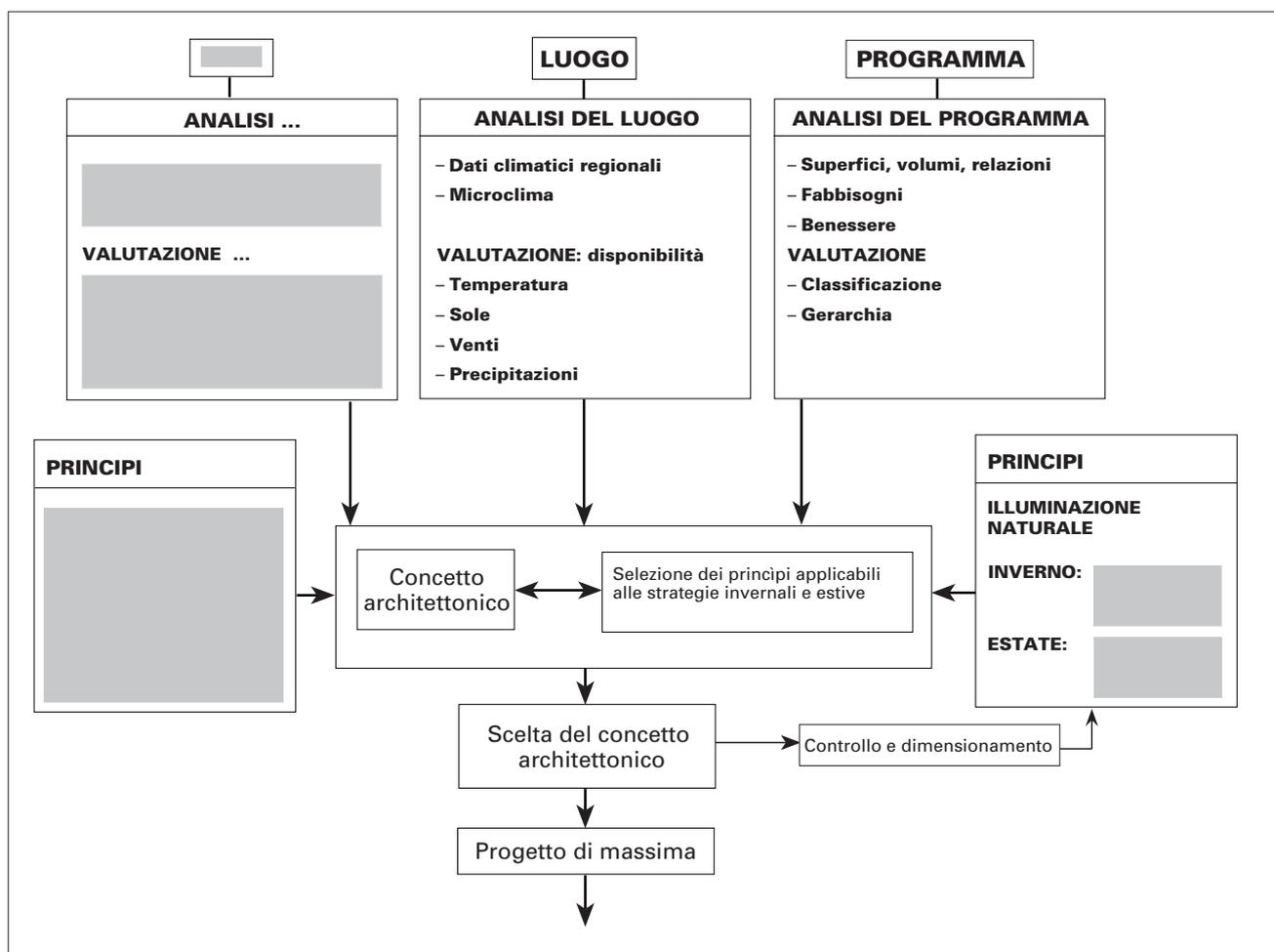


Illustrazione 1.2: rappresentazione schematica dell'approccio proposto.

2. Analisi del luogo

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.1 | Introduzione | 10 |
| 2.2 | Temperatura | 14 |
| 2.3 | Irraggiamento solare (senza ombra) | 16 |
| 2.4 | Ombra dell'ambiente circostante distante | 19 |
| 2.5 | Ombra di oggetti vicini | 21 |
| 2.6 | Ombra propria | 25 |
| 2.7 | Vento | 28 |
| 2.8 | Analisi globale | 35 |
| 2.9 | Bibliografia | 36 |

2.1 Introduzione

La ricognizione iniziale del sito, per il quale l'architetto elabora il suo progetto, rimane soggettiva. Apprezzerà la vista, la vegetazione e le costruzioni circostanti, le strade a prossimità, ecc.

È fondamentale, ma non sufficiente, considerare tutti questi aspetti per integrarli nel progetto.

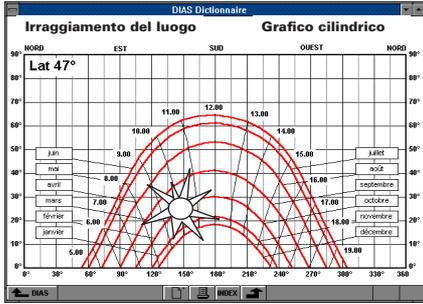
È essenziale integrare anche il clima nel progetto.

Questo capitolo riguarda la raccolta di dati climatici che permetteranno in seguito di scegliere una strategia energetica adatta al luogo.

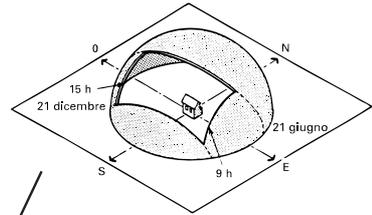
Regole

- I dati climatici principali si determinano progressivamente iniziando dalla regione climatica per terminare sul luogo.
- I dati dei mesi di gennaio e luglio sono generalmente sufficienti per l'elaborazione del progetto.
- Se la temperatura media di gennaio è inferiore a 0°C, occorrerà isolare con molta cura l'edificio. Se la temperatura di luglio è superiore a 20°C, bisognerà prendere misure (protezioni solari, ventilazione notturna) per evitare il rischio di surriscaldamento.
- Se la «finestra solare» del luogo è libera (senza ombra riportata da ostacoli più elevati di 10° tra SE e SO), il sito è favorito per l'utilizzazione di energia solare.
- Determinare i venti dominanti (direzione, forza, regolarità) sul posto. Proteggersi dai venti d'inverno, utilizzarli per la ventilazione naturale d'estate.

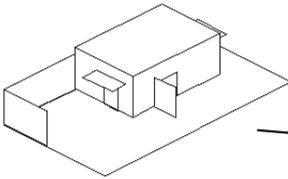
Sole
Capitolo 2.3
Pagina 16



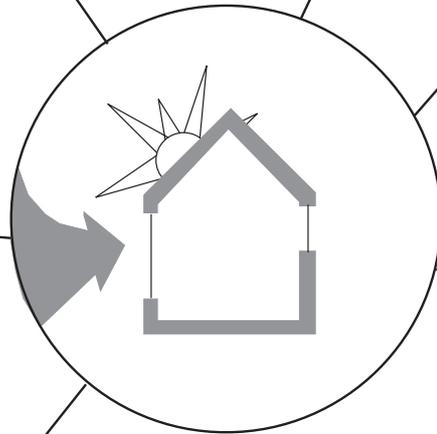
Ombra dell'ambiente circostante
Capitolo 2.4
Pagina 19



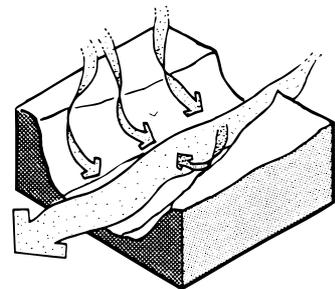
Ombra propria
Capitolo 2.6
Pagina 25



Ombra di oggetti vicini
Capitolo 2.5
Pagina 21



Vento
Capitolo 2.7
Pagina 28
(v. anche capitolo 5.6)



Temperatura
Capitolo 2.2
Pagina 14



Quali dati per quali scopi?

In Svizzera esistono circa cento stazioni meteorologiche dirette dall'Istituto svizzero di meteorologia (ISM) che misurano i seguenti dati:

- temperatura;
- umidità relativa;
- durata dell'irraggiamento solare;
- irraggiamento globale orizzontale;
- nuvolosità;
- forza del vento;
- direzione del vento;
- precipitazioni;
- pressione atmosferica.

Questi dati sono generalmente disponibili sotto forma di medie mensili. Per oltre venti stazioni si possono pure ottenere i valori orari.

L'interazione di ogni dato con l'edificio è molto diversificato e all'architetto è necessaria solo una minima parte di queste informazioni.

Di primaria importanza è la temperatura dell'aria esterna che è strettamente collegata alla durata del periodo invernale. Dal suo valore medio dipende l'importanza dell'isolamento termico. In funzione dei suoi valori estremi, invernali o estivi, si dimensionerà il riscaldamento e il raffreddamento, naturale oppure no.

L'irraggiamento solare del luogo è fondamentale. In funzione del sole l'edificio si aprirà verso l'esterno o si proteggerà dall'esterno. La sua regolarità inciderà direttamente sul riscaldamento.

Il sole creerà l'ambiente nell'edificio attraverso l'apporto di luce. L'illuminazione naturale contribuirà al fabbisogno di luce in modo decisivo, riducendo così il consumo di elettricità.

Benché l'influenza del vento non sia così importante dal punto di vista del consumo energetico, non è da sottovalutare. Un concetto giudizioso permetterà di proteggersi dal vento in inverno e di beneficiarne in estate.

Le precipitazioni sono secondarie. Ci si proteggerà sia in inverno sia in estate. La descrizione del loro impiego, ad esempio per l'irrigazione, i WC o per le pulizie, non è contemplato in questo fascicolo.

Nella fase della formulazione del concetto, l'umidità relativa non è influente, soprattutto nei nostri climi.

Quanto alla pressione atmosferica non è rilevante per le prestazioni dell'edificio.

Clima

Tutti i dati climatici variano nello spazio e nel tempo.

La Svizzera si situa al confine tra una zona climatica oceanica e una zona climatica continentale. Ma dato la sua esiguità, il clima di un luogo dipende poco dalle coordinate geografiche (latitudine e longitudine).

Le catene delle montagne hanno molta più influenza. Sono principalmente le Alpi, secondariamente il Giura, che delimitano le regioni climatiche della Svizzera (allegato 2.1).

La determinazione dei dati climatici avviene a livello mesoclimatico o regionale. In seguito si effettuano correzioni microclimatiche (altitudine, situazione locale) e infine correzioni per il luogo stesso (tabella 2.1.1).

La conoscenza dell'evoluzione giornaliera di un dato climatico è importante perché la sua escursione è generalmente tanto elevata quanto la variazione annuale, e più elevata della variazione spaziale.

I dati di una stagione o di un intero anno sono necessari per valutare le prestazioni energetiche globali dell'edificio.

Fonte dei dati

Diversi programmi e norme [1 a 7] permettono di calcolare il clima locale. Alcuni di essi sono in grado di determinare l'irraggiamento solare di una finestra tenendo conto dell'ombra riportata.

Ad esempio, il programma METEONORM [7] (allegato 2.10) permette di determinare direttamente la temperatura e l'irraggiamento solare per ogni luogo della Svizzera. Il luogo è definito dalle sue coordinate topografiche X e Y o dal comune e dall'altitudine.

| | Temperatura | Irraggiamento | Vento | |
|------------------------------|-------------|---------------|-------|-------------------------|
| Variazione spaziale: | | | | |
| – regione | * | * | * | |
| – altitudine | *** | ** | * | |
| – situazione locale | *** | – | **** | – = molto debole |
| – luogo | * | **** | ** | * = debole |
| – orientamento | – | ** | ** | ** = media |
| | | | | *** = rilevante |
| | | | | **** = molto importante |
| Variazione temporale: | | | | |
| – annuale | *** | ** | – | |
| – nittotemerale | *** | **** | ** | |

Tabella 2.1.1: importanza delle variazioni di dati climatici basilari in funzione della scala d'osservazione. La variazione nittotemerale definisce la variazione tra il giorno e la notte.

2.2 Temperatura

Temperatura media dell'aria

Per conoscere la temperatura media dell'aria esterna si applica il procedimento descritto nel capitolo 2.1.

La temperatura media corrispondente alla regione e all'altitudine del luogo si trova nell'illustrazione 2.2.1 o nell'allegato 2.2 (per tutte le regioni climatiche della Svizzera).

In seguito si corregge questa temperatura in funzione della situazione locale. Ogni situazione locale è unica. Fenomeni molteplici, ad esempio una depressione del rilievo (illustrazione 2.2.3), influiscono sulla temperatura. La tabella 2.2.2 ne fornisce un riassunto.

Ad esempio, per ottenere la temperatura media in gennaio di Ouchy (Losanna, riva del lago, 375 m):

- temperatura a 375 m nella regione climatica del bacino lemanico: 1,0°C;
- correzione della temperatura per situazione in riva del lago: + 1,2°C;
- temperatura di Ouchy: $1,0 + 1,2 = 2,2^\circ\text{C}$.

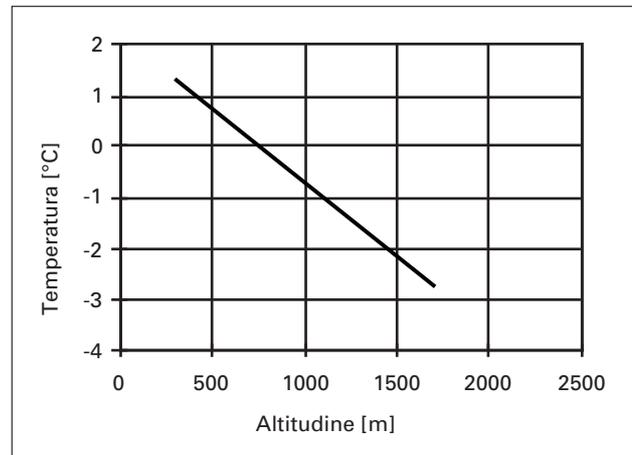


Illustrazione 2.2.1a: variazione della temperatura nel mese di gennaio in funzione dell'altitudine nel bacino lemanico e nel Giura vodese.

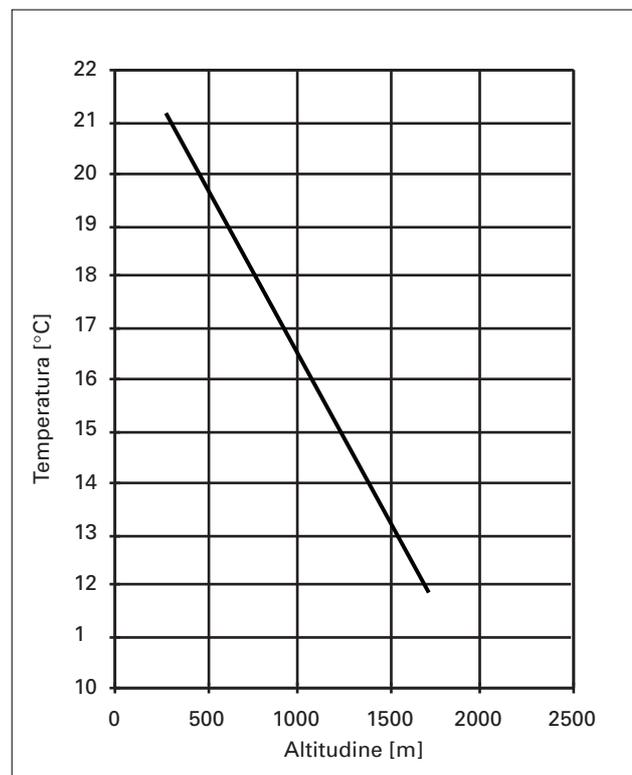


Illustrazione 2.2.1b: variazione della temperatura nel mese di luglio in funzione dell'altitudine nel bacino lemanico e nel Giura vodese.

| | Nord delle Alpi | | Sud delle Alpi Sud del Vallese | |
|--------------------|-----------------|--------|-----------------------------------|--------|
| | Gennaio | Luglio | Gennaio | Luglio |
| Depressione | -1,6 | -0,3 | -1,6 | -0,3 |
| Lago aria fredda | -3,9 | -0,3 | -3,9 | -3,9 |
| Grande lago | +1,2 | -0,4 | +1,2 | -0,4 |
| Grande città | +1,1 | +0,8 | +1,1 | +0,8 |
| Versante sud | +1,8 | +0,8 | +3,4 | +1,5 |
| Versante est/ovest | +0,9 | +0,3 | +1,7 | +0,8 |
| Fianco della valle | +0,3 | +0,1 | +1,8 | +0,9 |

Illustrazione 2.2.2: correzione della temperatura (°C) in funzione della situazione locale.

Depressione (ad esempio la Chaux-de-Fonds, Viège, Hinterrhein) e lago d'aria fredda (ad esempio Alta Engadina, valle di Conches) concernono solo le regioni di montagna. Il grande lago comprende i luoghi con una distanza superiore di un chilometro da un grande lago. Grande città indica i centri delle città di Ginevra, Losanna, Berna, Basilea e Zurigo.

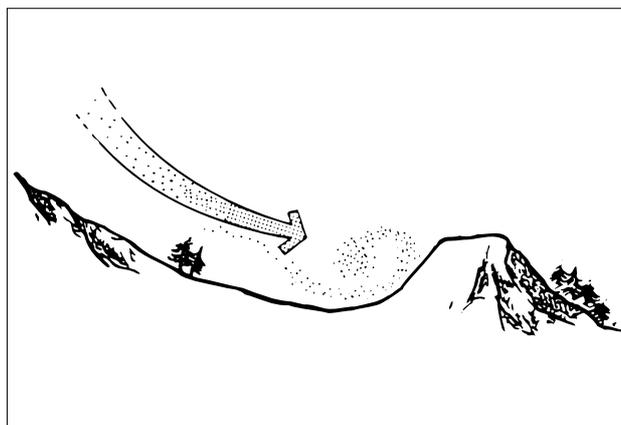


Illustrazione 2.2.3: una depressione del rilievo blocca l'aria fredda.

Variazione nittotemerale

La variazione della temperatura durante un periodo di 24 ore dipende molto dalla nuvolosità e dalla durata dell'irraggiamento solare. Di conseguenza, l'ampiezza della variazione sarà più importante in estate e minore in inverno (illustrazione 2.2.4). E nettamente più pronunciate in una bella giornata che non durante una giornata grigia.

Temperatura del cielo

La temperatura apparente del cielo è inferiore alla temperatura dell'aria. Questa differenza è debole quando è nuvoloso, ma può raggiungere 25°C quando il cielo è limpido.

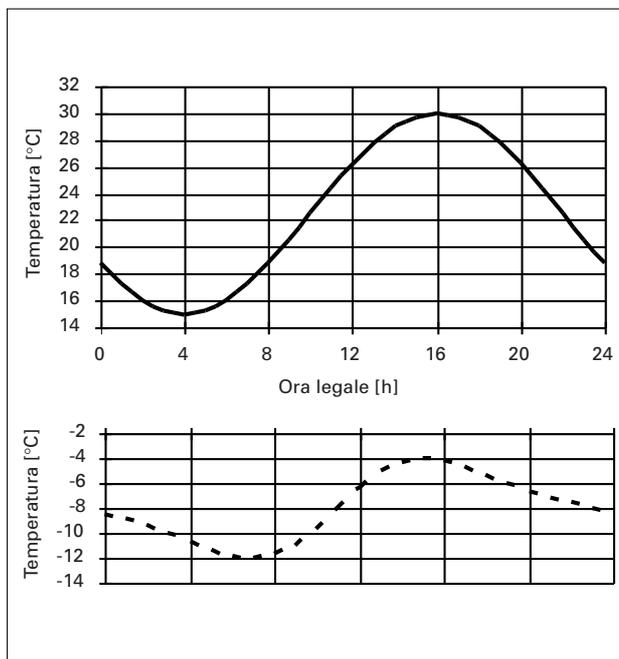


Illustrazione 2.2.4: variazione della temperatura esterna in una bella giornata estiva (linea continua), rispettivamente invernale (linea puntinata).

2.3 Irraggiamento solare (senza ombra)

L'irraggiamento solare è una grandezza vettoriale perché per un punto fisso il suo valore dipende dalla direzione. Il più delle volte le stazioni climatiche misurano solo l'irraggiamento globale ricevuto da un piano orizzontale. È quello che si determinerà per primo per il luogo. In seguito si calcolerà l'irraggiamento globale su dei piani (facciate, tetti) per qualsiasi orientamento e inclinazione.

Irraggiamento globale orizzontale

Come per la temperatura, l'irraggiamento solare è funzione della regione climatica e dell'altitudine (illustrazione 2.3.1 e allegato 2.3 per tutte le regioni climatiche svizzere). Non esiste invece una correzione per la situazione locale. Una correzione interverrà a un livello più complesso: l'ombra proiettata sul luogo (§§ 2.4-2.5).

Si potrà osservare che durante l'inverno l'irraggiamento aumenta con l'altitudine, a causa delle frequenti nebbie in pianura. Per contro, in estate diminuisce con l'altitudine, perché si formano più nuvole in montagna.

L'irraggiamento globale su un piano qualsiasi

Per un orientamento e un'inclinazione fissi, l'irraggiamento globale può essere determinato in funzione dell'irraggiamento globale orizzontale, partendo dai fattori di correzione nell'illustrazione 2.3.2.

Ad esempio, se un piano orizzontale riceve 150 MJ/m^2 , allora un tetto orientato sud-est (=azimut di -45°) e inclinato di 30° riceverà d'inverno $1,20 \times 150 = 180 \text{ MJ/m}^2$.

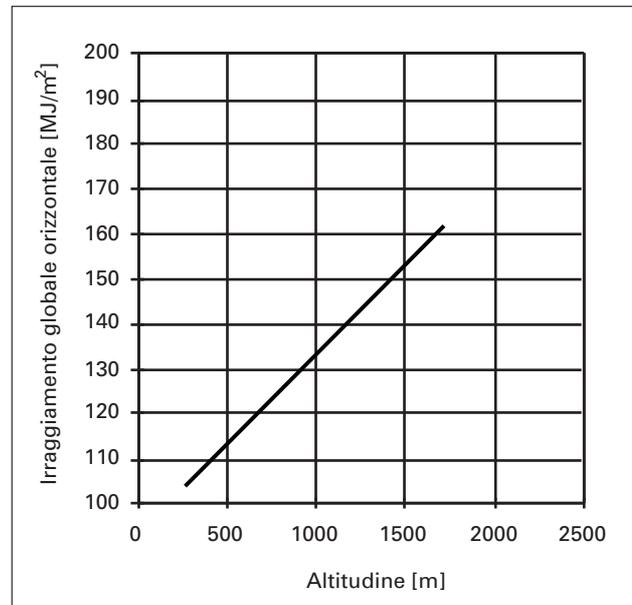


Illustrazione 2.3.1a: variazione dell'irraggiamento globale orizzontale in gennaio in funzione dell'altitudine per il bacino lemanico e il Giura vodese.

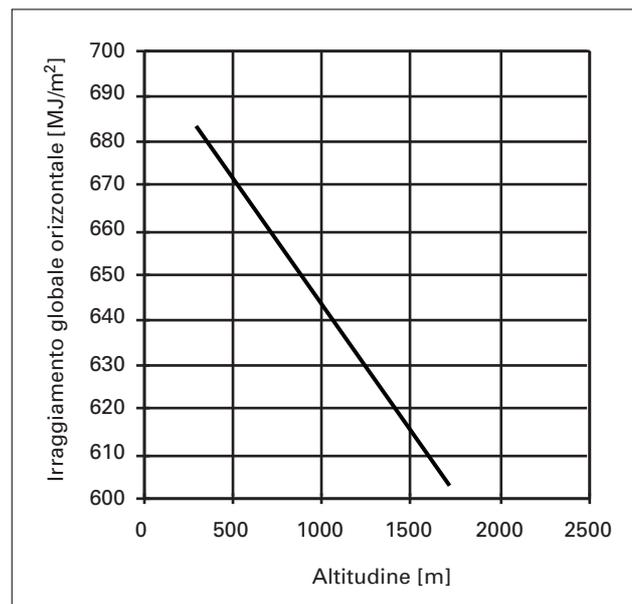


Illustrazione 2.3.1b: variazione dell'irraggiamento globale orizzontale in luglio in funzione dell'altitudine per il bacino lemanico e il Giura vodese.

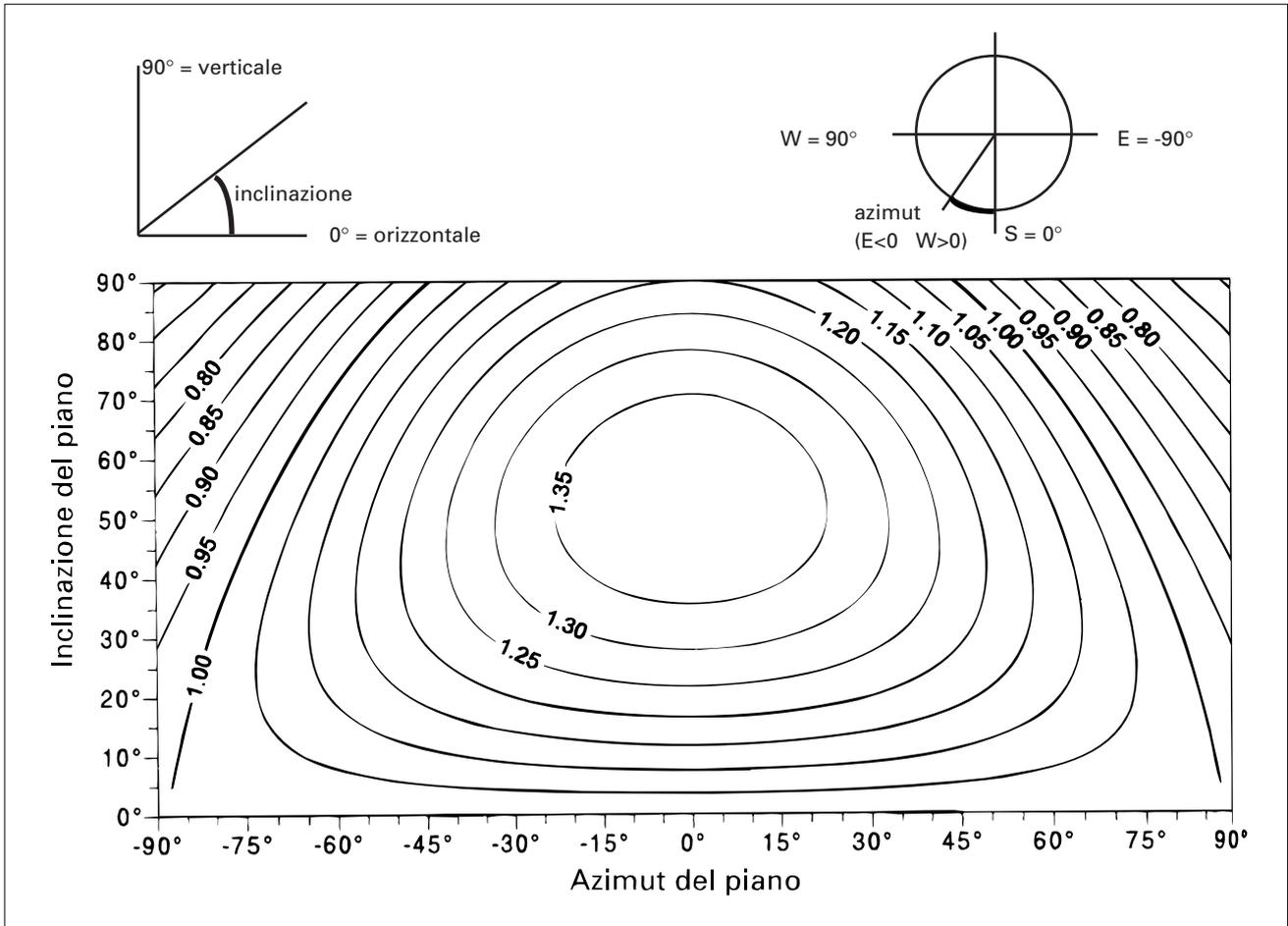


Illustrazione 2.3.2a: fattore di correzione dell'irraggiamento solare durante il semestre invernale (da ottobre a marzo) per Pully.

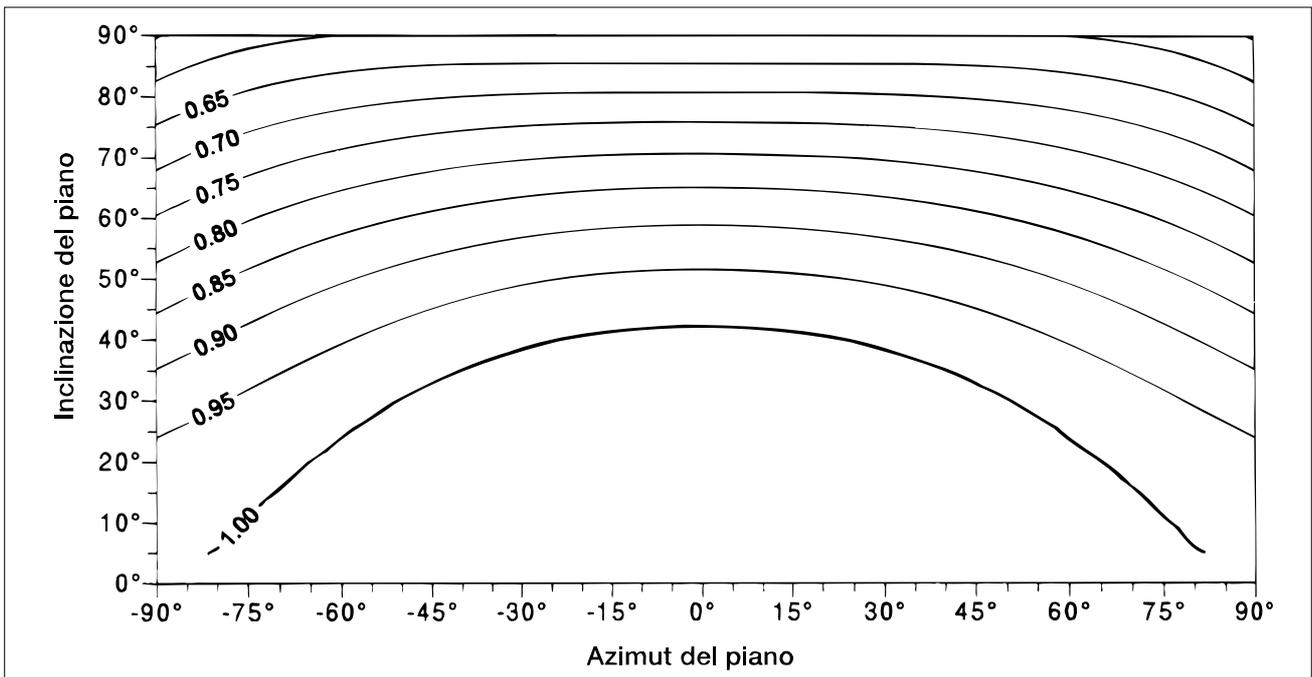


Illustrazione 2.3.2b: fattore di correzione dell'irraggiamento solare durante il semestre estivo (da aprile a settembre) per Pully.

Variazione nittotemerale

L'evoluzione oraria dell'irraggiamento fornisce indicazioni preziose. Permette infatti di conoscere l'ora e l'intensità del sole su una facciata.

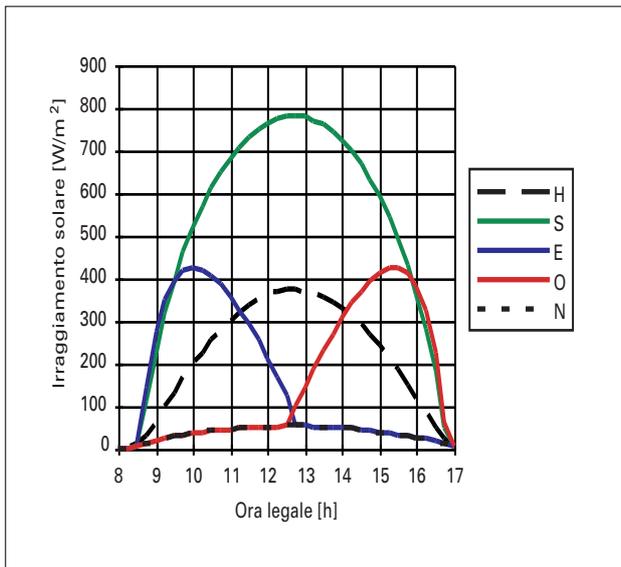


Illustrazione 2.3.3a: evoluzione dell'irraggiamento solare durante una bella giornata invernale. Si osserverà che una facciata esposta verso nord riceve solo un irraggiamento diffuso e che, per via dell'altezza minima del sole, la facciata esposta verso sud riceve il doppio di sole rispetto a un tetto orizzontale.

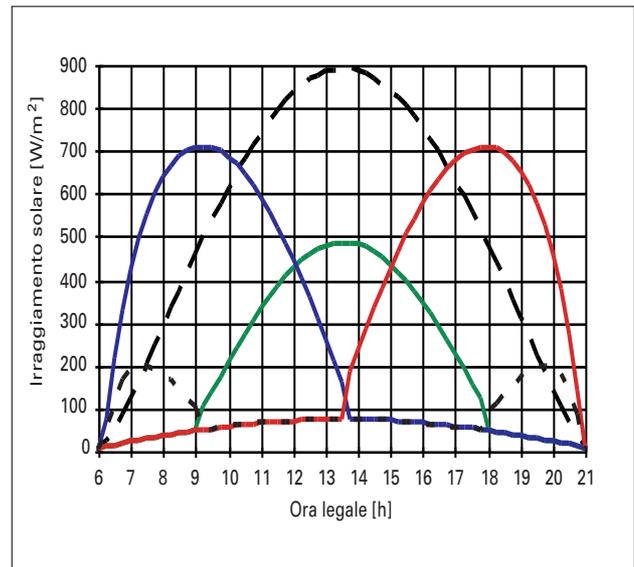


Illustrazione 2.3.3b: evoluzione dell'irraggiamento solare durante una bella giornata estiva. Si potrà osservare che una facciata esposta verso nord riceve due volte un irraggiamento diretto e che, per via dell'altezza massima del sole, un tetto orizzontale riceve il doppio di sole di una facciata esposta verso sud.

2.4 Ombra dell'ambiente circostante distante

Determinare l'ombra proiettata sul luogo ha due funzioni:

- verificare se, per un'ora e un giorno determinati, un punto del luogo o una finestra dell'edificio rimane all'ombra o no;
- calcolare la parte di energia solare (irraggiamento globale) non ricevuta dal luogo o dalla finestra durante un mese stabilito o durante la stagione riscaldata.

In quest'ultimo caso, ci si può riferire agli scritti [7] (allegato 2.10), [8], [9] o [10]. METEONORM è stato utilizzato ad esempio per determinare la riduzione dell'irraggiamento su una facciata sud in una strada orientata est-ovest (illustrazione 2.4.1).

Nel primo caso, il calcolo dell'ombra proiettata di un luogo e delle finestre dell'edificio si esegue in tre tappe:

- 1) ombra dell'ambiente circostante distante: si tiene conto di oggetti sufficientemente lontani (montagne, edifici, boschi) per poter considerare il luogo come un tutto: l'insieme del luogo è all'ombra o no;
- 2) ombra degli oggetti vicini: gli oggetti vicini (edifici dall'altra parte della strada, alberi) proiettano ombra su ogni punto del luogo in modo diverso a ore diverse;
- 3) ombra «propria»: elementi propri al progetto (gronda, muro, sporgenza, ...) creano un'ombra su ogni finestra in modo diverso a ore diverse.

Attraverso i calcoli dell'ombra proiettata dovuta all'ambiente circostante (tappe 1 e 2) si cercherà di determinare se il luogo, o quale parte del luogo, ha una «finestra solare» ben esposta (illustrazione 2.4.2).

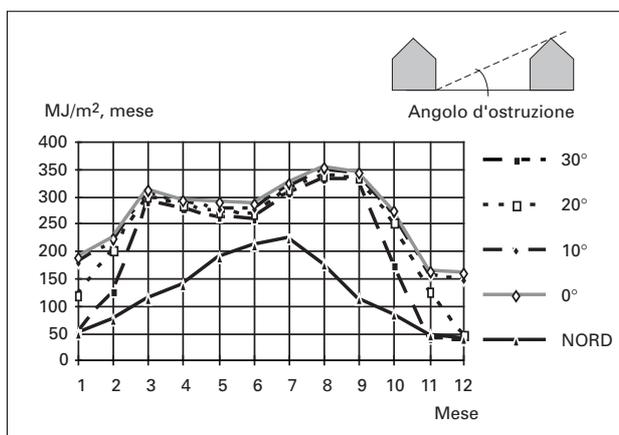


Illustrazione 2.4.1: riduzione dell'irraggiamento su una facciata esposta a sud dovuto a un ostacolo lineare (case a schiera). La riduzione è data per 3 angoli. L'effetto è minimo in estate, ma in inverno per angoli che superano 20°, questa facciata sud non riceve più sole della facciata nord.

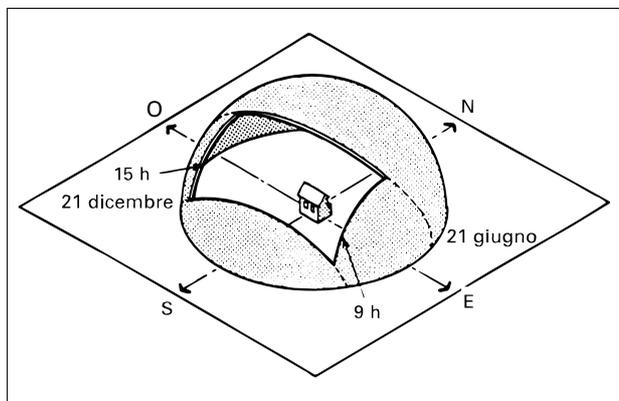


Illustrazione 2.4.2: la «finestra solare» è la porzione di cielo che idealmente non dovrebbe essere all'ombra: niente ostacoli che superano i 10° e un orientamento a $\pm 45^\circ$ verso sud.

2. Analisi del luogo

Per calcolare l'ombra dell'ambiente circostante occorre conoscere per ogni direzione l'altezza angolare degli ostacoli.

L'altezza angolare dei mascheramenti si rileva sul posto. Diversi strumenti permettono questa misurazione:

- una bussola e un teodolite;
- un clisimetro (illustrazione 2.4.3);
- un héliocron (illustrazione 2.4.4);
- un apparecchio fotografico munito di obiettivo grandangolare (molto caro!).

Quando queste schermature sono note si possono riportare su uno dei due grafici seguenti (illustrazione 2.4.5 e 2.4.6 e allegati A2.4 e A2.5) per ottenere i periodi (stagioni e ore) ombreggiati del luogo.

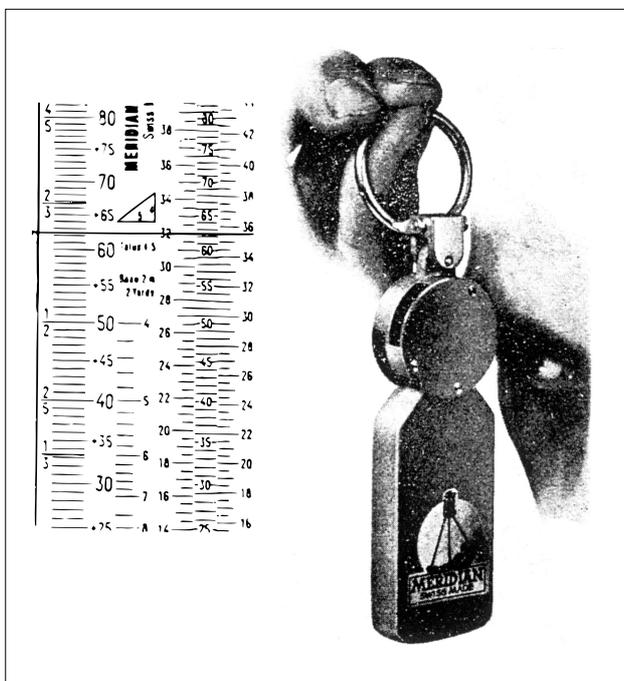


Illustrazione 2.4.3: clisimetro

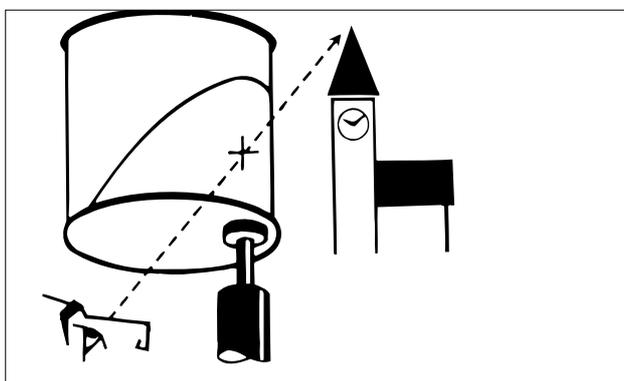


Illustrazione 2.4.4: héliocron.

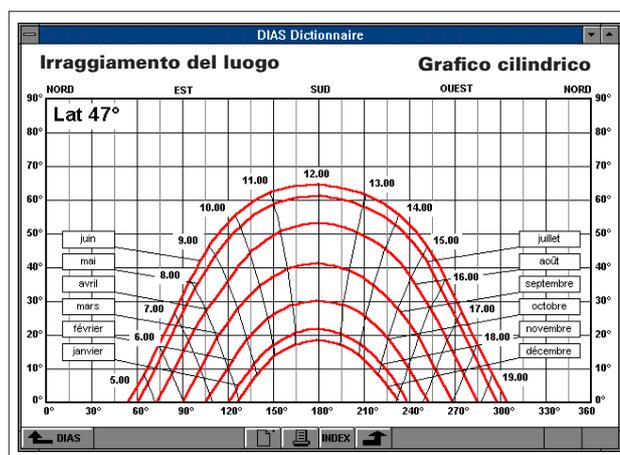


Illustrazione 2.4.5: moto del sole nella proiezione cilindrica.

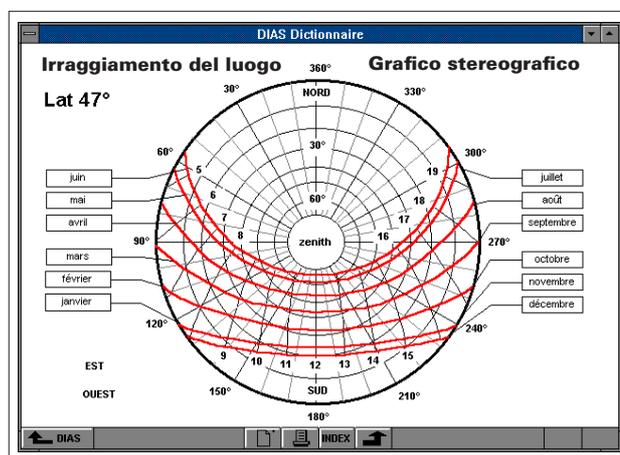


Illustrazione 2.4.6: moto del sole nella proiezione stereografica

2.5 Ombra di oggetti vicini

Edifici vicini o alberi ombreggiano solo una parte del luogo. Vari metodi possono essere utilizzati per il calcolo:

- da punti diversi del luogo rilevare gli azimut e le altezze degli ostacoli e procedere come per l'ambiente circostante lontano (può essere fastidioso!);
- piazzarsi in un punto dove dovrà sorgere l'edificio e determinare quale zona del sito non deve avere ostacoli di una certa altezza;
- mettersi al posto dell'ostacolo mascherando il sole e determinare la zona d'ombra;
- utilizzare un modellino dell'edificio e del luogo e sistemarlo sotto una fonte di luce.

Gli ultimi tre metodi sono descritti qui sotto.

Punto di vista dell'edificio

Perché il futuro edificio sia soleggiato, occorre evitare che sia contornato da ostacoli vicini e alti. Il periodo più critico è quando il sole è basso, cioè in dicembre. L'illustrazione 2.5.1 mostra un metodo semplice per determinare la zona che dovrebbe rimanere senza ostacoli.

Basta calcolare per le 9h, 12h e 15h del 21 dicembre. In inverno queste 6 ore rappresentano più dell'80% dell'irraggiamento solare totale.

L'inclinazione del terreno ha molta importanza: se il terreno scende verso sud, l'altezza tollerabile degli ostacoli può essere aumentata; se il terreno sale verso sud, l'altezza tollerabile è ridotta.

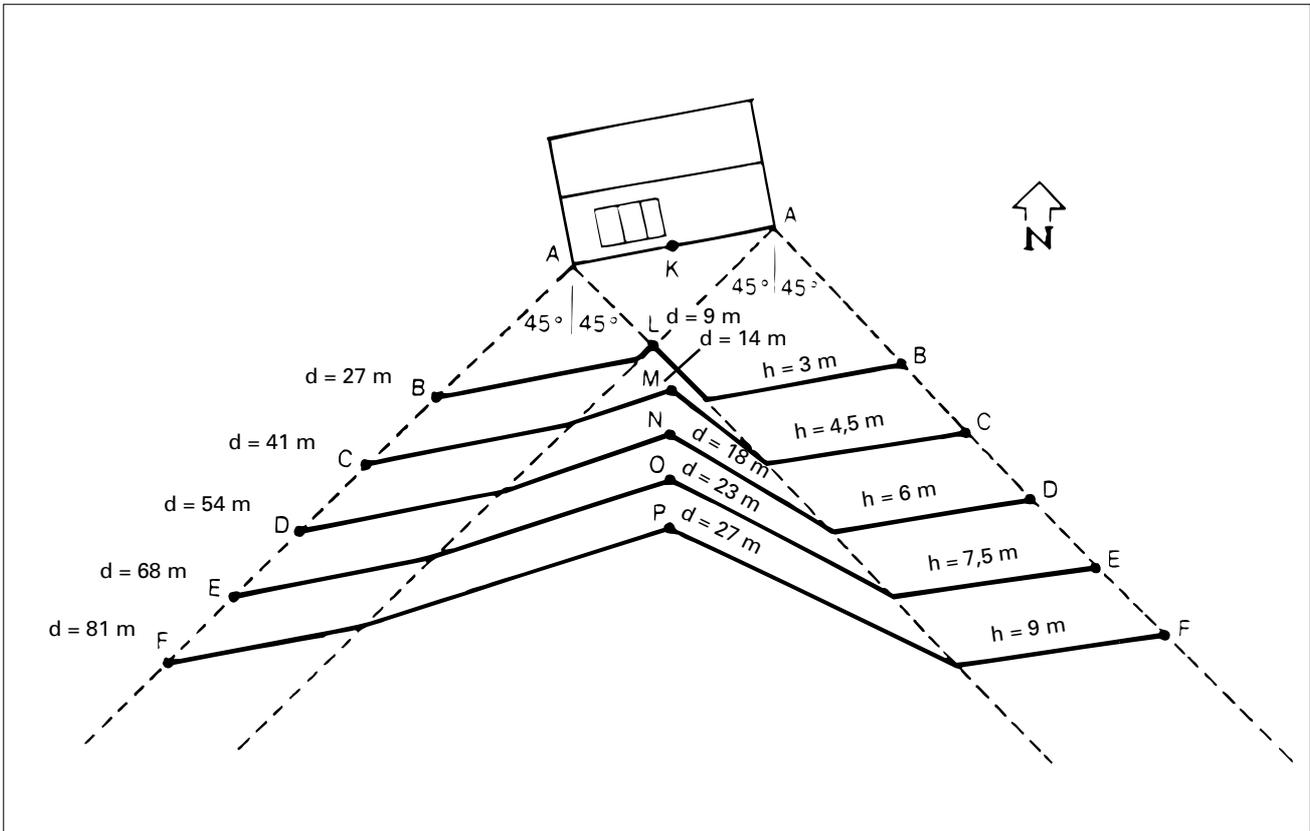


Illustrazione 2.5.1: distanza minima degli ostacoli in funzione della loro altezza affinché l'edificio non sia ombreggiato nel mese di dicembre. La linea KL... corrisponde a 12h (sole a sud), le linee AB... corrispondono a 9h (sud-est) e 15h (sud-ovest).

Procedura

Per ostacoli di 3m di altezza (h), rispettivamente di 4,5m, 6m, 7,5m, 9m, ecc.:

- 1) prendere la facciata più orientata verso sud;
- 2) tracciare a partire dalla metà (K) della facciata una linea orientata verso sud;
- 3) su questa linea un ostacolo deve essere a una distanza di almeno 3 volte la sua altezza: situare i punti L, M, N, O, P, ecc., corrispondenti alle diverse altezze degli ostacoli, a questa distanza (rispettivamente 9, 14, 18, 23, 27m, ecc.);
- 4) tracciare da una estremità (A) della facciata una linea orientata verso sud-ovest;
- 5) su questa linea un ostacolo deve situarsi a una distanza di almeno 9 volte la sua altezza: situare i punti B, C, D, E, F, ecc., corrispondenti alle diverse altezze degli ostacoli, a questa distanza (rispettivamente 27, 41, 54, 68, 81m, ecc.);
- 6) ripetere la tappa 5 su una linea orientata verso sud-est;
- 7) ripetere le tappe 4, 5 e 6 per l'altra estremità di facciata
- 8) congiungere i 4 punti B passando dal punto L: questa linea determina la distanza minima di un ostacolo alto 3m;
- 9) ripetere la tappa 8 per i punti corrispondenti alle altre altezze degli ostacoli.

Punto di vista dell'ostacolo

Ogni ostacolo genera un'ombra che si sposta sul luogo (illustrazioni da 2.5.2 a 2.5.6).

La zona ombreggiata può essere definita come un insieme di ombre a ore diverse della giornata.

Come prima, un calcolo fatto per 9h, 12h e 15h del 21 dicembre è sufficiente a ottenere la zona ombreggiata.

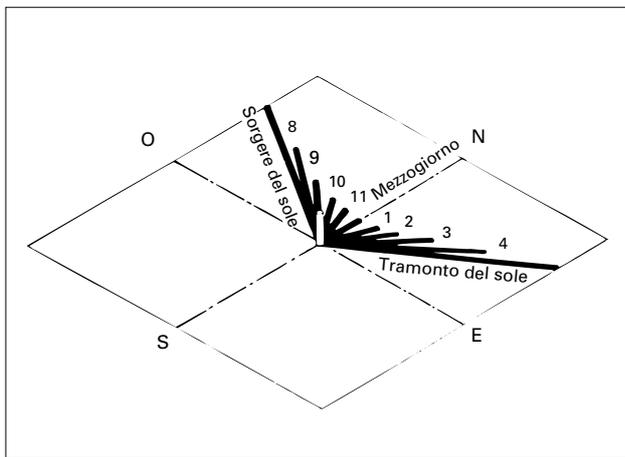


Illustrazione 2.5.2: spostamento dell'ombra di un pilastro verticale.

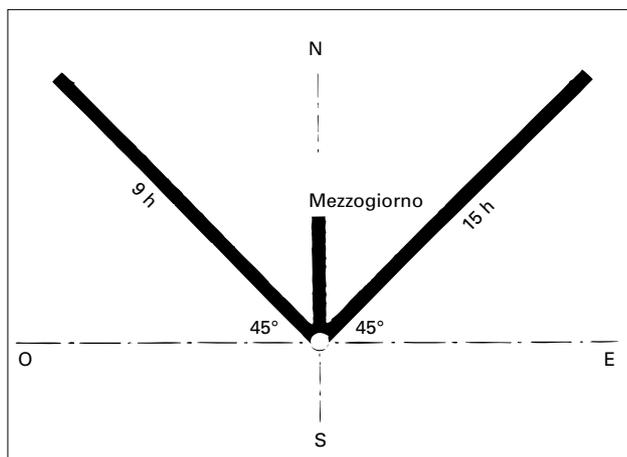


Illustrazione 2.5.3: ombra di un pilastro verticale il 21 dicembre:

- alle 9h: l'ombra è orientata verso nord-ovest e ha una lunghezza di 9 volte la sua altezza;
- alle 12h: l'ombra è orientata verso nord e ha una lunghezza di 3 volte la sua altezza;
- alle 15h: l'ombra è orientata verso nord-est e ha una lunghezza di 9 volte la sua altezza.

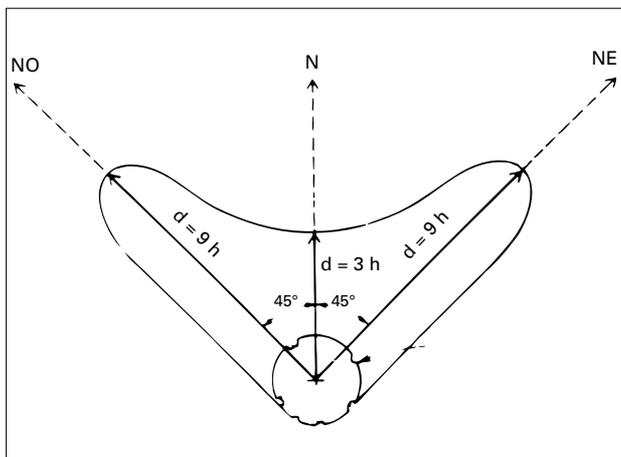


Illustrazione 2.5.4: ombra riportata da un albero (21 dicembre).

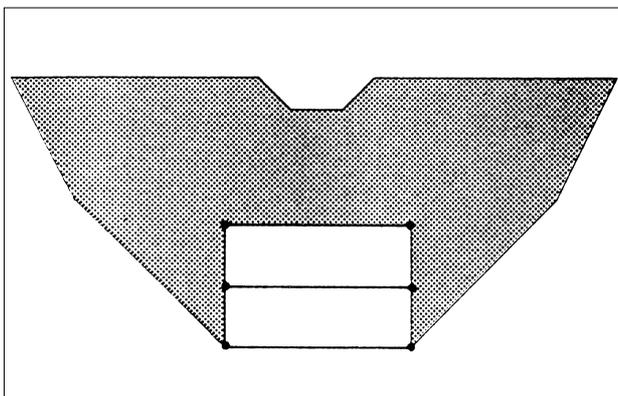


Illustrazione 2.5.5: ombra riportata da un edificio.

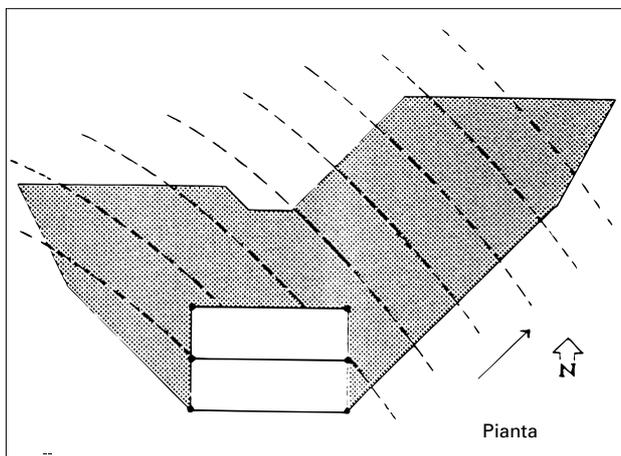


Illustrazione 2.5.6: ombra di un edificio su un terreno inclinato.

L'ombra di un ostacolo è sempre più importante in inverno che non in estate. Mentre si desidererebbe il contrario. Ciò può succedere con alberi ad alto fusto (illustrazione 2.5.7). Gli alberi che perdono le foglie, in inverno lasciano passare circa metà del sole.

Quando si calcola la lunghezza dell'ombra di un oggetto non bisogna dimenticare di aggiungere, o di sottrarre, alla sua altezza l'effetto dell'inclinazione del terreno (illustrazione 2.5.8).

Modellino

Se si dispone di un modellino del luogo e dell'edificio si possono osservare le ombre riportate direttamente su di esso. Basta procedere nel modo seguente:

- 1) illuminare il modellino posandolo all'esterno in un giorno soleggiato o sotto una luce molto forte (una lampada da ufficio non basta);
- 2) posare sul modellino una meridiana (fotocopiare quella allegata A2.7), incollarla su una carta resistente, ritagliarne il contorno, piegarla seguendo il puntinato e regolare l'angolo a 47° , tagliare i due lati grandi del triangolo centrale poi piegarlo ortogonalmente, la sua ombra indicherà l'ora solare e la data);
- 3) inclinare e orientare il modellino o la lampada fino ad ottenere per la data e l'ora scelta che i raggi luminosi arrivino con la stessa angolazione di quella del sole; la meridiana ce li indica direttamente;
- 4) è possibile posare sul modellino un foglio di carta e disegnarci le ombre per il 21 dicembre alle 9h, 12h e 15h.

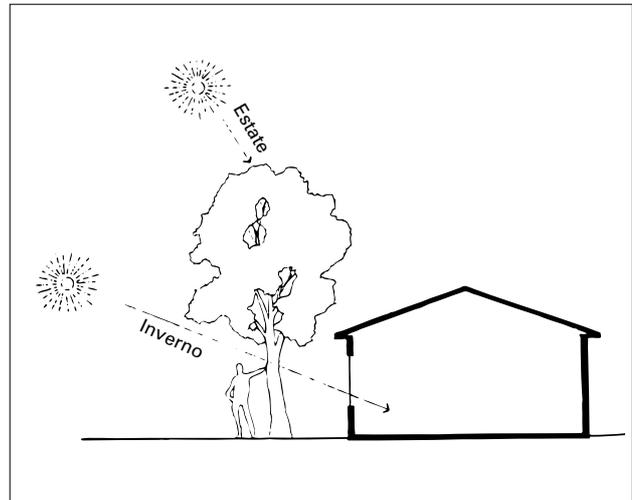


Illustrazione 2.5.7: ombra estiva grazie alla presenza di un albero ad alto fusto piantato vicino all'edificio.

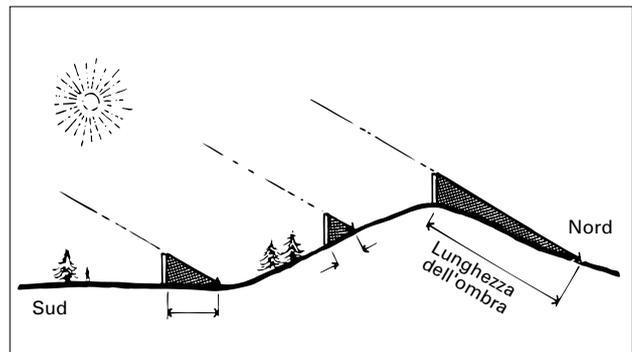


Illustrazione 2.5.8: effetto dell'inclinazione del terreno sulla lunghezza dell'ombra riportata.

2.6 Ombra propria

Tre metodi sono possibili per determinare quando e quanto una finestra viene ombreggiata da elementi appartenenti all'edificio stesso (tetto sporgente, facciata sporgente,...) o da ostacoli vicini:

- calcolare la parte di finestra ombreggiata per una data e un'ora predisposta;
- determinare il periodo dell'anno quando la finestra è ombreggiata al 100% o al 50%;
- rappresentare graficamente la finestra come la «vede» il sole.

Parte di finestra ombreggiata

La raccomandazione SIA V382/2 [6] illustra un metodo di calcolo. È anche possibile impiegare il programma DIAS (allegato 5.2), ma unicamente nel caso della presenza di una gronda.

Periodo ombreggiato

In funzione degli angoli dell'ostacolo in rapporto alla finestra si disegna un grafico (vedi illustrazione 2.6.1 e 2.6.2) che, sovrapposto al diagramma del moto solare, permette di leggere direttamente le date e ore nelle quali la finestra rimane in ombra.

Vista dal sole

I programmi assistiti da ordinatore (CAO/CAD) generalmente usati negli studi di architettura, sono perfettamente in grado di disegnare l'edificio con le sue finestre e i suoi ostacoli come li vedrebbe il sole. Le parti di finestre nascoste dagli ostacoli sono ombreggiate! (Vedi allegati A2.11 e A2.12.).

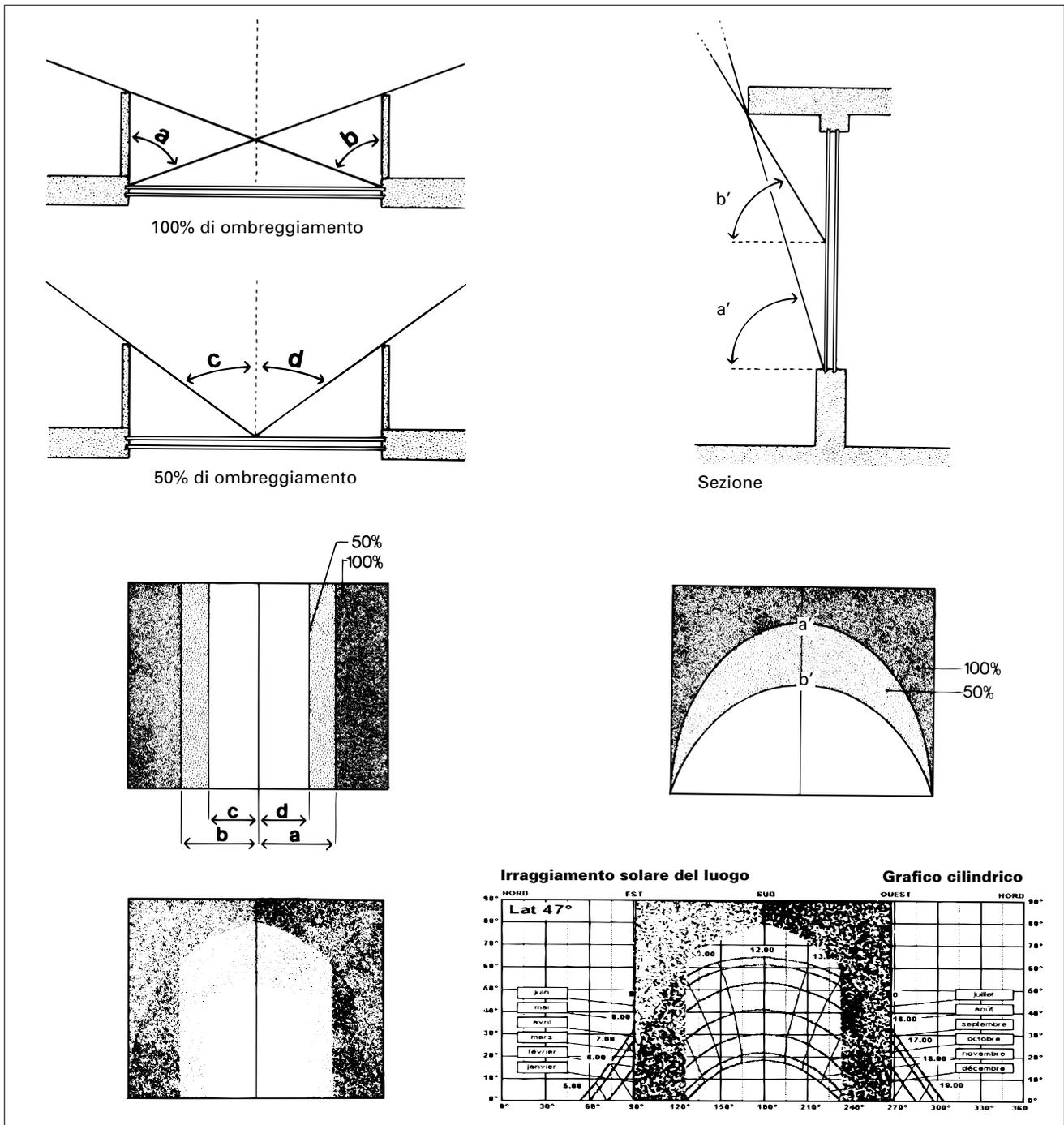


Illustrazione 2.6.1: ombra riportata nella proiezione cilindrica (calcolatrice dell'ombra si trova nell'allegato A2.8).

Procedimento

In pianta:

- 1) dal bordo sinistro della finestra misurare l'angolo di apertura (a) tra gli ostacoli a destra e a sinistra;
- 2) ripetere la tappa 1 per il bordo destro della finestra (angolo b);
- 3) dal centro della finestra misurare l'angolo di apertura (c) e l'ostacolo a sinistra;
- 4) ripetere la tappa 3 per l'ostacolo a destra (angolo d);
- 5) riportare sulla calcolatrice dell'ombra gli azimut c e b (a sinistra del centro e d e a (a destra);

in sezione:

- 6) dalla parte inferiore della finestra misurare l'angolo di apertura (a') tra l'orizzontale e l'ostacolo superiore;
- 7) ripetere la tappa 6 a metà altezza della finestra (angolo b');
- 8) riportare sulla calcolatrice dell'ombra le altezze a' e b';
- 9) riportare la calcolatrice dell'ombra sul diagramma del moto solare: la zona all'esterno della curva a-b-a' è completamente ombreggiata, la curva c-d-b' indica un ombreggiamento del 50%.

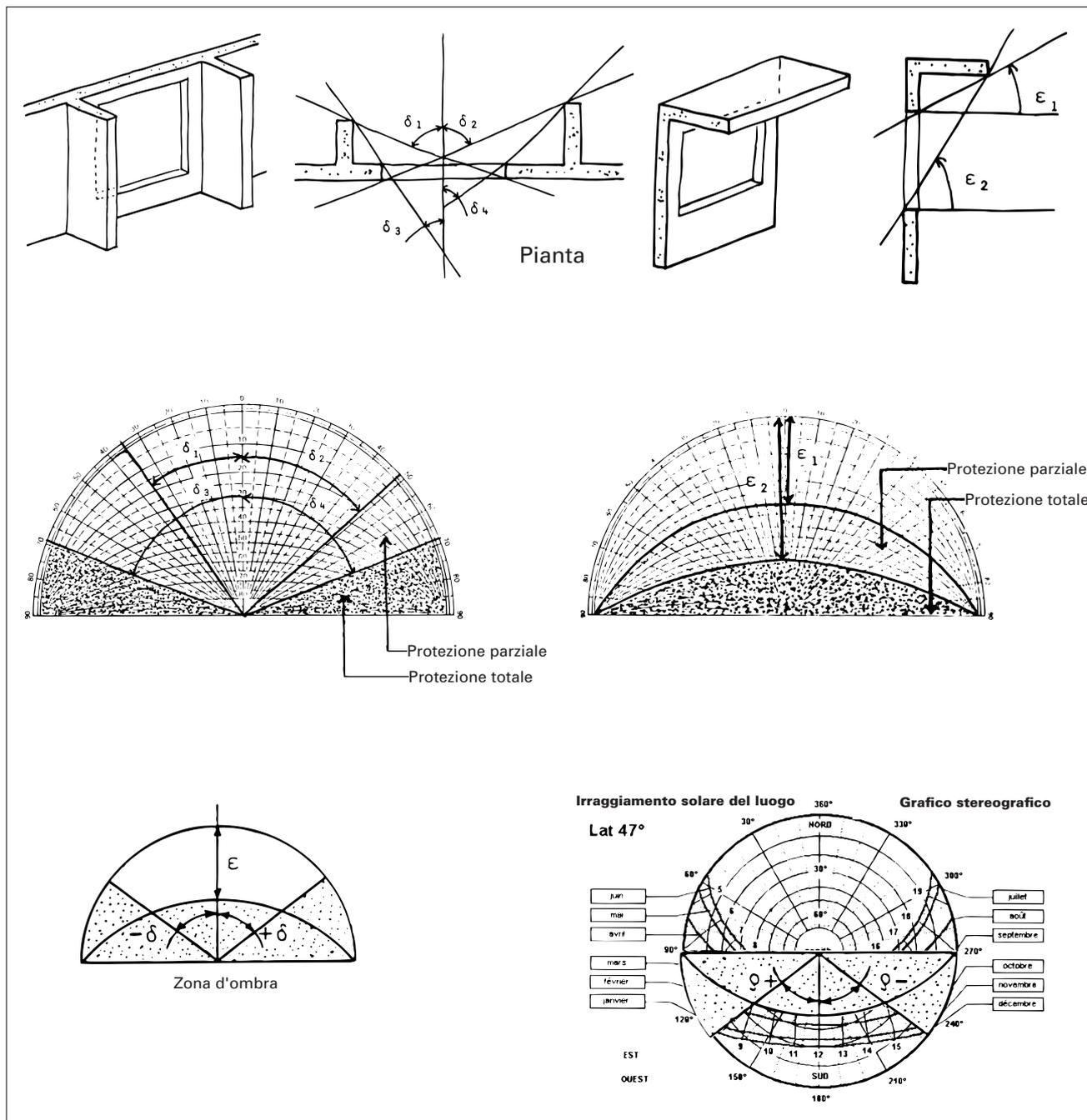


Illustrazione 2.6.2: ombra riportata nella proiezione stereografica (la calcolatrice dell'ombra si trova nell'allegato A2.9).

Procedimento

In pianta:

- 1) dal bordo destro della finestra misurare l'angolo di apertura (δ_1) e l'ostacolo a sinistra, poi l'ostacolo a destra (δ_4);
- 2) ripetere la tappa 1 per il bordo sinistro della finestra (angolo δ_2 a destra e δ_3 a sinistra);
- 3) riportare sulla calcolatrice dell'ombra gli azimut (rappresentati dai raggi) δ_1 e δ_3 (a sinistra del centro) e δ_2 e δ_4 (a destra);

in sezione:

- 4) dalla parte superiore della finestra misurare l'angolo di apertura (ε_1) tra l'orizzontale e l'ostacolo superiore;
- 5) dalla parte inferiore della finestra misurare l'angolo di apertura (ε_2) tra l'orizzontale e l'ostacolo superiore;
- 6) riportare sulla calcolatrice dell'ombra le altezze (rappresentate dagli archi del cerchio) ε_1 e ε_2 partendo dal bordo superiore (90° è al centro!);
- 7) riportare la calcolatrice dell'ombra sul diagramma del moto solare: la zona all'interno della curva δ_3 - ε_2 - δ_4 è completamente all'ombra, la zona all'esterno della curva δ_1 - ε_1 - δ_2 non è mai all'ombra.

2.7 Vento

Il vento è l'unità più sofisticata della climatologia, la più variabile nel tempo e nello spazio. È anche una grandezza vettoriale: per caratterizzare il vento bisogna indicarne la velocità e la direzione.

Una semplice carta dei venti (illustrazione 2.7.1) non può che dare una visione parziale della situazione e necessita quindi di uno studio più approfondito.

Per determinare le condizioni del vento sul posto non basta usare i dati della stazione di misurazione più vicina. La disposizione delle montagne e delle valli, gli ostacoli naturali (viali alberati) o costruiti hanno un'influenza maggiore della lontananza della stazione. L'osservazione del rilievo attorno al luogo sarà importante per avere maggiori indicazioni.

Velocità del vento

Le unità di misura usate variano a seconda della fonte dei dati. La tabella 2.7.2 ne indica le equivalenze. Spesso si indica la forza del vento invece della sua velocità (tabella 2.7.3).

In Svizzera la velocità media (mensile) del vento rimane debole, circa 2 m/s. Ciò spiega la quasi totale assenza di mulini a vento. Fatta eccezione per le vette delle montagne, non esiste regione né situazione locale che si distingua per una velocità maggiore.

Le differenze si fanno sentire in modo più sottile.

La velocità media varia poco durante l'anno. Si nota una debole punta massima durante i mesi di marzo, aprile e maggio e una debole punta minima durante i mesi di ottobre, novembre e dicembre.

Le cose cambiano, trattandosi delle variazioni sull'arco di una giornata. Fenomeni locali a orari particolari si sovrappongono a fenomeni di scala più vasta. In generale, dopo mezzanotte la velocità è più debole (da 1 a 1,5 m/s) mentre è più elevata durante il pomeriggio (da 3 a 3,5 m/s).

| | | | | |
|--------|---|------------|---|------------|
| 1 nodo | = | 1,852 km/h | = | 0,514 m/s |
| 1 km/h | = | 0,278 m/s | = | 0,540 nodo |
| 1 m/s | = | 3,600 km/h | = | 1,944 nodo |

Tabella 2.7.2: equivalenze delle unità di misura della velocità del vento.



Illustrazione 2.7.1: direzione e frequenza principali dei venti in Svizzera.

| Forza [grado Beaufort] | Velocità [km/h] | Velocità [m/s] | Qualificazione | Caratteristiche |
|------------------------|-----------------|----------------|-------------------|---|
| 0 | <2 | <0,5 | Calmo | Il fumo sale verticalmente. |
| 1 | 3 | 1 | Quasi calmo | Direzione del vento appena riconoscibile dal fumo. |
| 2 | 7 | 2 | Fievole | Percettibile a occhio. Agita leggermente le foglie degli alberi. Laghi e stagni leggermente crespi. |
| 3 | 14 | 4 | Debole | Foglie, piccoli rami e gagliardetti in continuo movimento. Piccole onde di aspetto vitreo sui laghi e stagni. |
| 4 | 23 | 6 | Moderato | Polveri e carte sollevate. Piccoli rami, anche senza foglie, agitati. |
| 5 | 32 | 9 | Abbastanza forte | Piccoli alberi, foglie e rami medi agitati, gagliardetti tesi. Formazione di onde sull'acqua. Pecorelle sparse sui laghi. |
| 6 | 42 | 12 | Forte | Grandi rami e piccoli alberi più agitati. Si sente fischiare attorno alle case e altri oggetti fissi. Sulle onde si formano creste di schiuma bianca, alcuni spruzzi. |
| 7 | 53 | 15 | Molto forte | Alberi medi agitati. Formazione di numerose creste bianche sulle onde. Difficoltà di avanzamento contro il vento. La schiuma bianca viene soffiata in scie nella direzione del vento. |
| 8 | 67 | 19 | Tempestoso | Grandi alberi agitati, piccoli rami spezzati. Andamento difficoltoso contro vento. |
| 9 | 81 | 23 | Tempesta | Rami medi spezzati. Piccoli danni alle case, tegole asportate. Molte scie di schiuma nella direzione del vento sui laghi. |
| 10 | 95 | 27 | Forte tempesta | Alberi interi spezzati o sradicati. Danni ingenti alle case. |
| 11 | 110 | 31 | Tempesta violenta | Distruzioni gravi. |
| 12 | 125 | 35 | Uragano | Distruzioni catastrofiche. |

Illustrazione 2.7.3: velocità e forza del vento secondo la scala di Beaufort.

La velocità del vento viene abitualmente misurata in un luogo piano e esposto fino a 10 m sopra il suolo. L'urbanizzazione e la vegetazione del luogo ne riducono la velocità. Più ci si alza sopra il suolo e più l'effetto degli ostacoli diminuisce (illustrazione 2.7.4).

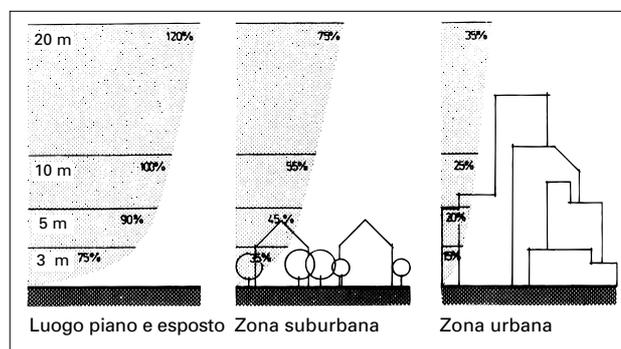


Illustrazione 2.7.4: velocità del vento in funzione dell'altezza e dell'occupazione del luogo in rapporto al luogo standard di misurazione del vento (10 m sopra il suolo in un luogo piano e esposto).

Gli ostacoli possono rallentare il vento e creare delle «zone d'ombra». Queste dipendono dalla densità degli ostacoli e dalle loro dimensioni (illustrazioni 2.7.5 e 2.7.6).

In certi casi possono anche accelerare il vento, quando creano dei restringimenti (illustrazione 2.7.7).

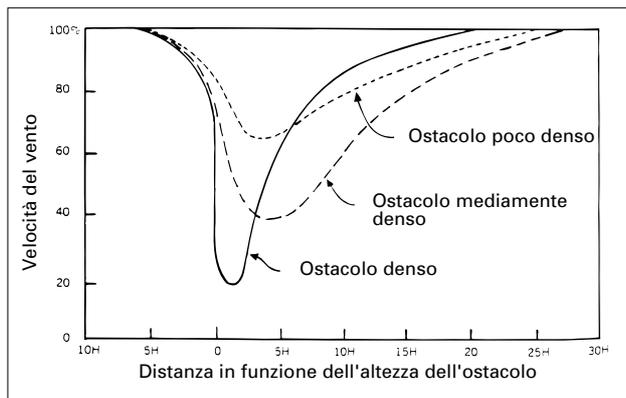


Illustrazione 2.7.5: velocità del vento dopo un ostacolo di altezza H in funzione della distanza e densità dell'ostacolo. La larghezza dell'ostacolo è di circa 10 volte la sua altezza.

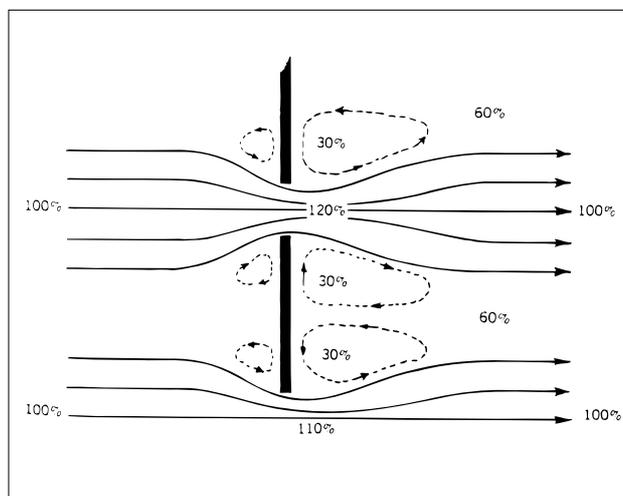


Illustrazione 2.7.7: accelerazione del vento causata da un ostacolo che crea un restringimento.

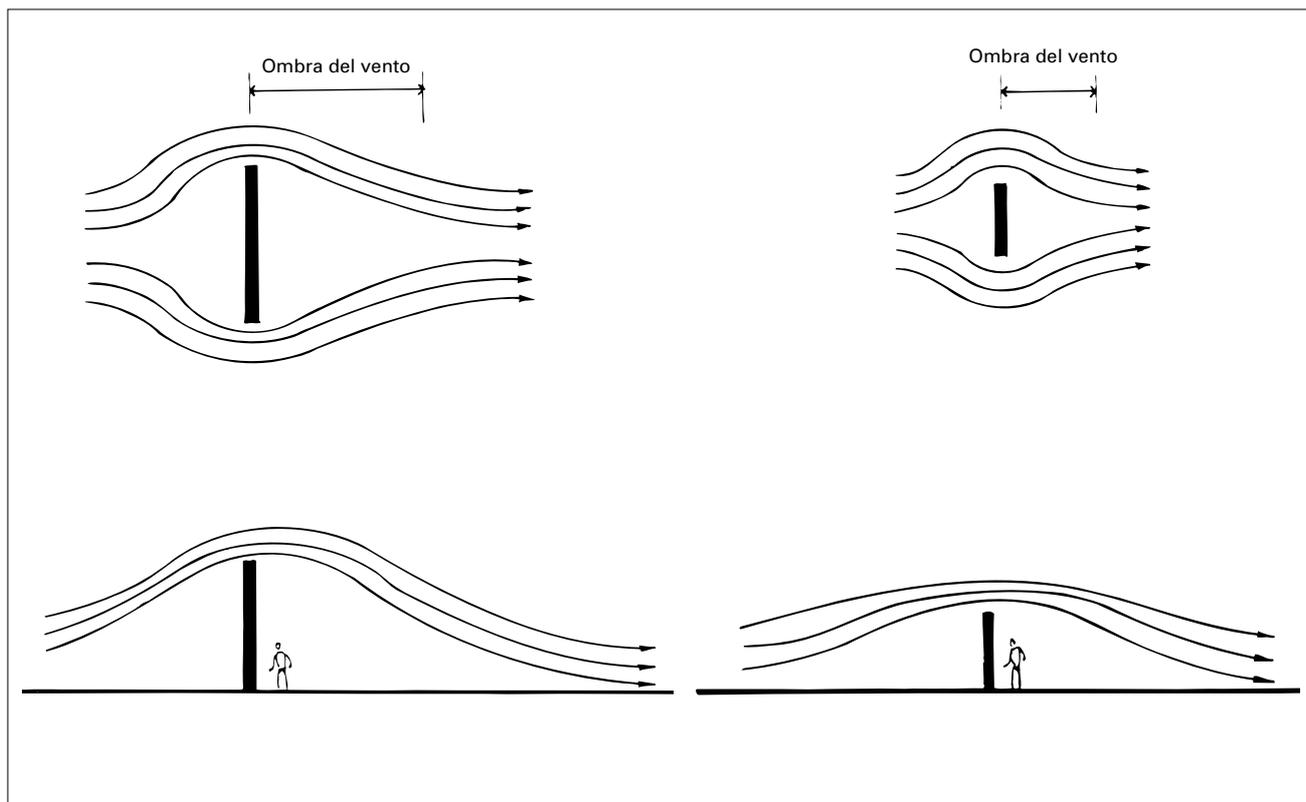


Illustrazione 2.7.6: zona d'ombra del vento in funzione della dimensione dell'ostacolo; la dimensione dell'ombra è proporzionale all'altezza dell'ostacolo, alla sua densità e larghezza.

Direzione e frequenza dei venti

I venti possono essere suddivisi in tre categorie.

- 1) I grandi venti e i venti regionali: sono prodotti da fenomeni meteorologici su scala continentale: anticiclone e depressione. Sono percepiti in vaste regioni e possono durare più giorni con una certa regolarità. I venti regionali sono spesso una modifica locale, dovuta alle catene di montagne e alle valli, dei grandi venti.
- 2) I venti temporaleschi: la loro origine è locale e di brusca apparizione. Portano sovente lo stesso nome dei venti regionali.
- 3) Le brezze: sono venti molto locali creati dalle differenze di temperature. La loro direzione cambia di giorno e di notte.

Uno stesso vento avrà spesso un nome differente a seconda delle regioni.

Lo studio dei venti dimostra che la Svizzera romanda è divisa in due grandi regioni:

- 1) il Giura, l'Altipiano, il bacino lemanico e il basso Vallese;
- 2) il Vallese (salvo il basso Vallese).

La raccomandazione SIA 384/2 [3] indica delle classi di esposizione al vento durante l'inverno (tabella 2.7.8) per molte località.

| Forza | Velocità [m/s] | Caratteristiche | |
|-------|----------------|-----------------|------------------|
| I | 2 | debole | |
| II | 4 | medio | Beaufort 2 > 25% |
| III | 6 | forte | Beaufort 2 > 50% |
| IV | 8 | molto forte | Beaufort 3 > 25% |

Tabella 2.7.8: classe d'esposizione al vento secondo la raccomandazione SIA 384/2.

Venti del Giura, dell'Altipiano, del bacino lemanico e del basso Vallese

Questa regione conosce due grandi venti, il «sudois» e la «bise» e due venti regionali principali, il «joran» e la «vaudaire».

Il «sudois» o vento dell'ovest

Il «sudois», chiamato anche semplicemente vento, è relativamente caldo. Proviene da S a O ma più sovente da SO. Soffia in tutte le stagioni e ha una velocità molto variabile. È spesso accompagnato o seguito da pioggia.

La «bise»

È un vento freddo, accompagnato da pioggia solo nel 6% dei casi. Soffia da NNE a Ginevra, da NNE a NE a Losanna e da NE a Neuchâtel. Dal settore NO soffia raramente sulla Riviera vodese. Sulla piana del Rodano soffia da NNO. Da giugno a settembre è raro.

Il «joran»

Questo termine definisce due tipi di vento.

Il «joran» dal fronte freddo, è un vento freddo. Proviene dal settore NO ed è generalmente moderato. Soffia soprattutto in primavera.

Il «joran» temporalesco è un vento violento e soffia soprattutto ai piedi del Giura.

La «vaudaire»

Anche questo termine definisce due tipi di vento, tutti e due provenienti dai settori SSE a SE.

La «vaudaire» di «föhn» è un vento caldo. Soffia soprattutto in primavera e si fa sentire nella piana del Rodano e nella Riviera vodese. Quando è molto violento, questo vento giunge fino a Losanna.

La «vaudaire» temporalesca è un vento freddo che soffia da aprile a settembre nella piana del Rodano e sul lago alto.

Venti del Vallese (salvo basso Vallese)

Questa regione conosce due grandi venti, il vento dalla valle e il «föhn», e un vento regionale, la «lombarde».

Il vento dalla valle

È un vento chiamato anche «vento d'ovest» e proviene dal settore da SO a OSO. Soffia soprattutto in primavera, e in estate può raggiungere una velocità di 6 m/s.

Il «föhn»

È il più forte e frequente del Vallese. Questo vento caldo e secco proviene dal settore da NE a ENE. La sua velocità media è di 6 m/s e soffia soprattutto in primavera. È 10 volte più frequente nel pomeriggio che al mattino.

La «lombarde»

È un vento temperato dal settore E a ENE che soffia soltanto sulla riva destra del Rodano e sopra i 1000 m di altitudine. È legato al «föhn» e soffia soprattutto in primavera.

Venti dal Giura, dall'Altipiano, dal bacino lemanico e dal basso Vallese

Le brezze locali

Questi venti esistono dappertutto ma sono conosciuti soprattutto nelle regioni lacustri.

Sono brezze ascendenti (dal lago verso terra) di giorno e discendenti (dalla terra verso il lago) di notte. Il cambiamento di direzione si chiama la «reverse». Sono venti deboli, da 2 a 5 m/s, salvo in inverno dove sono inesistenti. La loro direzione dipende dalla situazione locale.

Nel basso Vallese, la brezza diurna proviene dal settore da N a NNO e la brezza notturna da SO.

Venti del Vallese (salvo basso Vallese)

Le brezze locali

La configurazione locale influenza la direzione di questi venti.

La brezza diurna proviene dal settore SO a OSO. È quasi inesistente in inverno; in estate può raggiungere 5 m/s. La brezza notturna, dal settore NE, è debole (circa da 1 a 1,5 m/s) in tutte le stagioni.

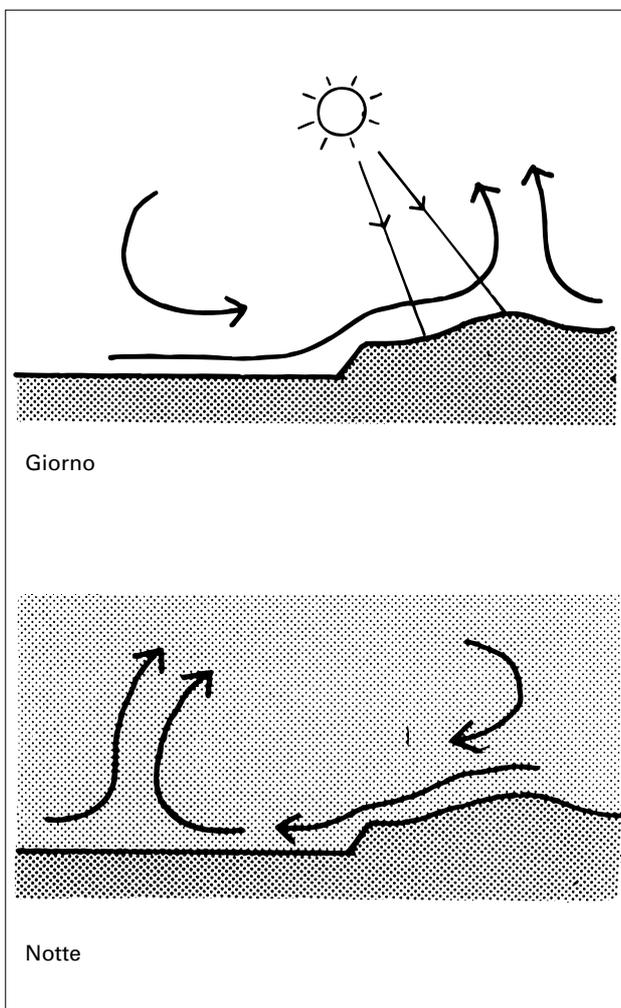


Illustrazione 2.7.9: brezze locali in una regione lacustre. In estate, il cambiamento di direzione («reverse») delle brezze avviene a Losanna il mattino verso le 10h e la sera tra le 20h e le 21h.

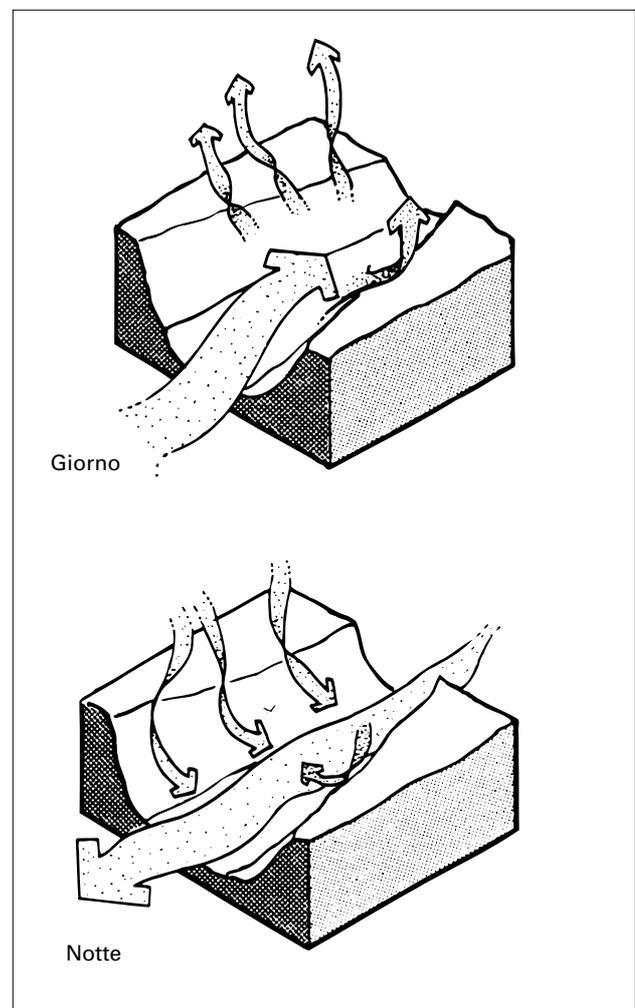


Illustrazione 2.7.10: brezze locali in una valle. In estate, il cambiamento di direzione («reverse») delle brezze avviene nel Vallese il mattino tra le 9h e le 10h e la sera tra le 19h e le 22h.

2.8 Analisi globale

La vegetazione reagisce globalmente all'insieme dei parametri climatici. Osservarla permette quindi di determinare rapidamente il microclima locale.

Lo sviluppo di una cinquantina di piante è stato osservato in dettaglio sull'insieme del territorio svizzero. Ne è risultata una carta dei livelli termici [11].

Quando è noto l'insieme delle caratteristiche climatiche del luogo, è utile disegnare una carta. L'illustrazione 2.8.1 mostra un luogo con una collina e i suoi diversi microclimi.

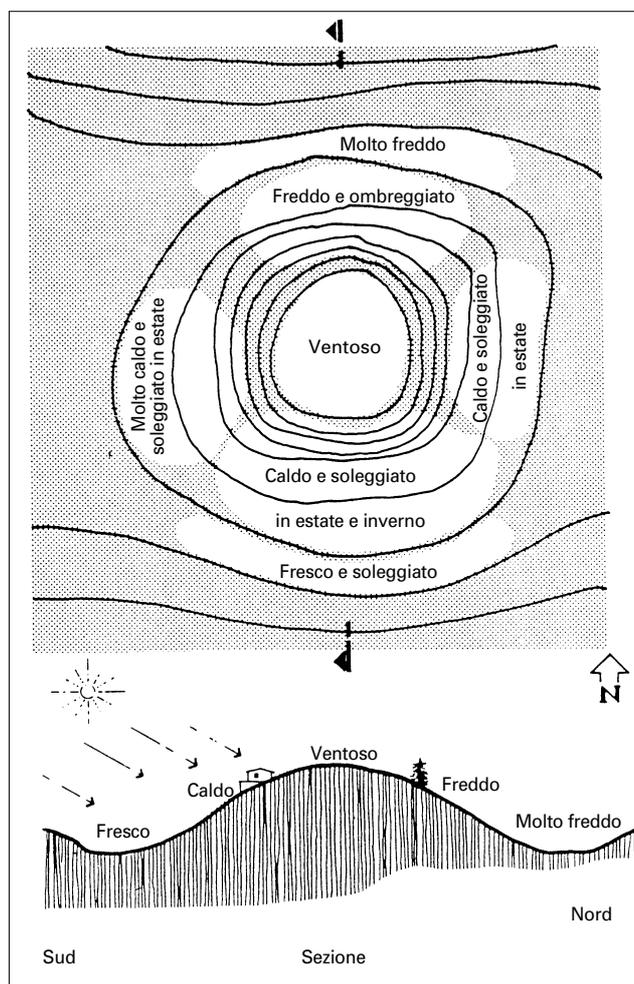


Illustrazione 2.8.1: pianta e sezione di un luogo con una collina e i suoi diversi microclimi.

2.9 Bibliografia

- [1] Raccomandazione SIA 381/2
«Données climatiques relatives à la recommandation 380/1 "L'energia nell'edilizia"»
SIA, Zurigo, 1991
- [2] Norma SIA 180
«Isolamento termico degli edifici»
SIA, Zurigo, 1988
- [3] Raccomandazione SIA 384/2
«Fabbisogno di potenza termica degli edifici»
SIA, Zurigo, 1982
- [4] Documentazione SIA D012
«Meteodaten für die Haustechnik»
SIA, Zurigo, 1987
- [5] Documentazione SIA D012a
«Anhang zu Meteodaten für die Haustechnik»
SIA, Zurigo 1987
- [6] Raccomandazione SIA V382/2
«Puissance de réfrigération à installer dans le bâtiment»
SIA, Zurigo, 1992
- [7] METEONORM – Energie solaire et météorologie – Notions de base, logiciel et manuel du concepteur
OFEN, Berna, giugno 1995
- [8] Norma europea prEN832
«Performance thermique des bâtiments – Calcul des besoins d'énergie de chauffage»
Comité européen de normalisation (CEN), Bruxelles, 1995
- [9] Sole e architettura – Guida pratica per la progettazione
PACER, UFPC, Berna, 1992
- [10] Documentazione SIA D010
«Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung»
SIA, Zurigo, 1986
- [11] Livelli termici della Svizzera (sulla base di rilievi fenologici effettuati dal 1969 al 1973), 4 carte in scala 1 : 200 000
Servizio topografico federale, Wabern, 1975

3. Analisi del programma

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.1 | Introduzione | 38 |
| 3.2 | Benessere igrotermico | 40 |
| 3.3 | Aerazione | 45 |
| 3.4 | Benessere visuale | 46 |
| 3.5 | Carichi interni, apporti interni | 49 |
| 3.6 | Bibliografia | 52 |

3.1 Introduzione

Scopo primordiale nella costruzione di un edificio è assicurare protezione, benessere e sicurezza.

Soddisfare queste tre esigenze richiede all'architetto di risolvere una quantità di problemi. Questo va ben oltre l'obiettivo del presente manuale. Il capitolo seguente si accontenta di proporre nozioni in questo campo che aiuteranno l'architetto a integrare al meglio il suo edificio all'ambiente circostante e al suo clima. Presenterà nozioni di benessere e di perturbazione di esso per cause interne dell'edificio.

Generalmente l'individuo desidera condizioni diverse da quelle del suo clima circostante. La costruzione di un edificio crea allora un clima interno proprio a soddisfare il benessere dell'individuo stesso (abitazioni, uffici,...) o delle sue attività (fabbriche, depositi,...).

Un clima interno è soddisfacente quando, simultaneamente, assicura:

- il benessere igrotermico;
- il benessere olfattivo;
- il benessere visuale;
- il benessere acustico;
- ecc.

Il capitolo 3.2 descrive il benessere igrotermico.

Il benessere olfattivo e la qualità dell'aria sono trattati nel capitolo 3.3 «Aerazione».

Il capitolo 3.4 riassume le condizioni di benessere visuale.

Il benessere acustico e i mezzi per ottenerlo non sono descritti in questo capitolo. Occorre consultare ad esempio i fascicoli [1], [2] e [3] elencati nella bibliografia.

Il capitolo 3.5 parla di fonti interne di calore. A seconda della loro importanza e il periodo di presenza saranno considerate come carichi interni - fonte di malessere oppure come apporti interni - fonte di energia utilizzabile per il riscaldamento.

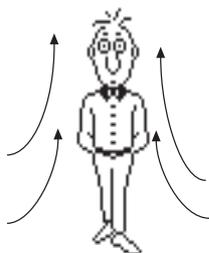
Regole

- In funzione del tipo di attività e del livello medio di abbigliamento, si determinerà la temperatura interna desiderata. Questa temperatura sarà generalmente da 3 a 5 °C più elevata in inverno che in estate per un abbigliamento più leggero.
- Durante la giornata si ammetterà una variazione della temperatura per poter beneficiare degli apporti solari passivi in inverno e della ventilazione notturna in estate. Questa variazione non supererà mai i 3-5 °C nei locali occupati permanentemente; potrà invece superare i 10 °C nei locali di passaggio (corridoio) e nei locali non riscaldati (serra).
- Nell'abitazione un tasso di ricambio d'aria dello 0,4-0,6h⁻¹ è sufficiente. Nei locali molto occupati si conteranno, secondo il benessere richiesto, da 13 a 30 m³/h per ogni non fumatore e 20 a 70 m³/h per ogni fumatore.
- La luce naturale è la fonte luminosa più efficace. Un dimensionamento e una ripartizione corretti delle aperture permetterà di limitare i fabbisogni in luce artificiale:
 - superficie delle finestre: da 10 a 25% della superficie del pavimento;
 - finestre alte;
 - vetri chiari.
- Se conosciuti, i carichi interni previsti nel futuro edificio saranno determinanti per la scelta costruttiva. Se il carico interno è:

| | |
|----------|--|
| debole: | l'accento verrà messo sulla copertura dei fabbisogni in riscaldamento dell'edificio; |
| medio: | ci si trova in una situazione intermedia. Bisognerà esaminare la ripartizione dei carichi nel tempo; |
| elevato: | l'accento verrà posto sulla protezione solare in estate. |

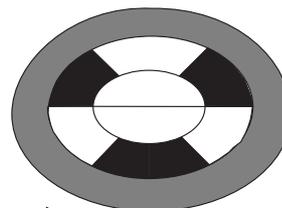
Benessere igrotermico

Capitolo 3.2
Pagina 40



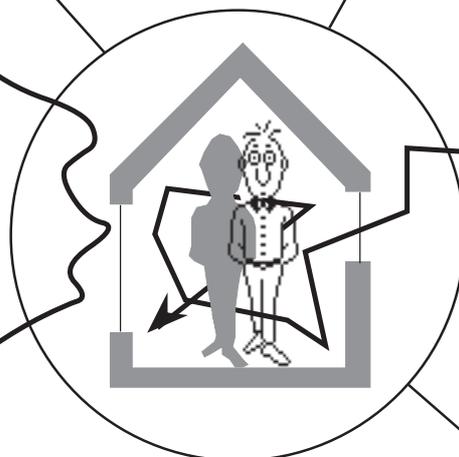
Benessere visuale

Capitolo 3.4
Pagina 46



Carichi interni, apporti interni

Capitolo 3.5
Pagina 49

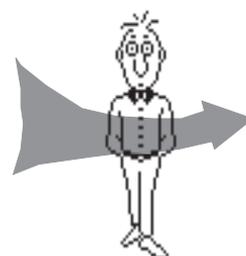


Concetto energetico: principi

Perturbazioni esterne del benessere
Capitolo 5

Aerazione

Benessere olfattivo
Capitolo 3.3
Pagina 45



3.2 Benessere igrotermico

Il benessere e l'uomo

La nozione di benessere termico può apparire soggettiva! Certe condizioni possono essere confortevoli per un individuo e non confortevoli per un altro.

Analisi molto approfondite sono state eseguite da Fanger [4] per determinare quali sono i parametri del benessere e cosa differenzia gli individui tra di loro.

È apparso che un essere umano in buona salute è molto simile indipendentemente dalla razza, dall'età, dal sesso, dalla forma del corpo, dall'ora, ecc. È quindi possibile creare delle condizioni di benessere che soddisfino la maggior parte delle persone, al massimo però il 95%.

In seguito parleremo quindi di:

- benessere ottimale quando il 95% degli individui sono soddisfatti;
- benessere quando il 90% delle persone sono soddisfatte;
- malessere quando più del 25% delle persone sono insoddisfatte (o meno del 75% soddisfatte).

La zona situata tra 75% - 90% verrà giudicata piuttosto confortevole o piuttosto non confortevole a seconda dei casi.

Il corpo umano scambia continuamente energia con il suo ambiente circostante attraverso i quattro seguenti processi (illustrazione 3.2.1):

- l'irraggiamento;
- la conduzione;
- la convezione e
- l'evaporazione.

La parte rispettiva dei vari processi dipende da più parametri. Due sono direttamente legati all'individuo:

- il suo tasso di metabolismo (attività) e
- il suo abbigliamento.

Gli altri sono legati al suo ambiente circostante:

- la temperatura dell'aria;
- la temperatura delle superficie circostanti (pavimento, soffitto, muro, finestra, radiatore, mobilio,...);
- l'irraggiamento solare;
- la velocità dell'aria e
- l'umidità relativa dell'aria.

L'attività dell'individuo (tabella 3.2.2) si misura di solito in met (metionina) e il suo abbigliamento (tabella 3.2.3) in clo.

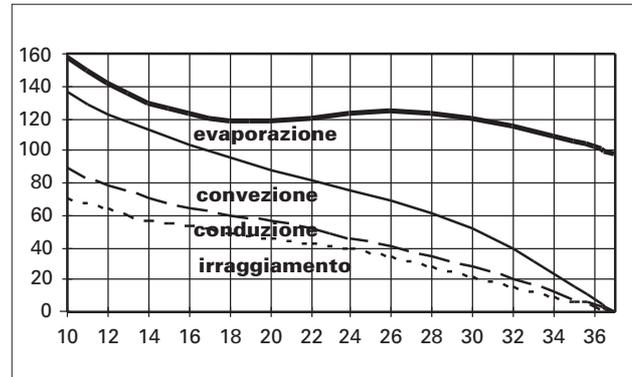


Illustrazione 3.2.1: diffusione del calore (W) di un individuo in funzione della temperatura dell'ambiente circostante.

| Attività | Tasso [met] | Diffusione di calore [W] |
|-----------------------|-------------|--------------------------|
| Sonno | 0,8 | 85 |
| Seduto tranquillo | 1,0 | 105 |
| Lavoro di orologeria | 1,1 | 115 |
| In piedi tranquillo | 1,2 | 125 |
| Lavoro di ufficio | 1,2 | 125 |
| Lavoro di laboratorio | 1,6 | 165 |
| Insegnante | 1,6 | 165 |
| Fare la spesa | 1,6 | 165 |
| Venditore | 2,0 | 210 |
| Lavori domestici | 2 a 3,5 | 210 a 365 |
| Danza | 2,5 a 4 | 260 a 420 |

Tabella 3.2.2: tasso del metabolismo medio dell'individuo adulto corrispondente a diverse attività.

1 met = 58,15 W/m² (= 50 kcal/h m²).

La superficie media del corpo umano è di circa 1,80 m², 1 met corrisponde a 105 W.

| Abbigliamento | Resistenza termica [clo] |
|------------------------------|--------------------------|
| Nudo | 0 |
| In pantaloncini | 0,1 |
| In tenuta estiva corta | 0,3 |
| In tenuta estiva lunga | 0,5 |
| In tenuta cittadina leggera | 0,8 |
| Completo - giacca - cravatta | 1,0 |
| Idem con mantello di cotone | 1,5 |
| Tenuta invernale imbottita | 3,0 |

Tabella 3.2.3: resistenza termica degli abiti.
1 clo = 0,155 m²K/W (= 0,18 °C m² h/kcal).

Con un clima interno usuale, in un edificio confortevole, la velocità dell'aria è inesistente (non esistono correnti d'aria), l'abitante è protetto dall'irraggiamento solare (tende) e la temperatura delle superfici circostanti è molto vicina a quella dell'aria. A ogni abbinamento di attività – abbigliamento corrisponde una temperatura ottimale (illustrazione 3.2.4) [5, 6].

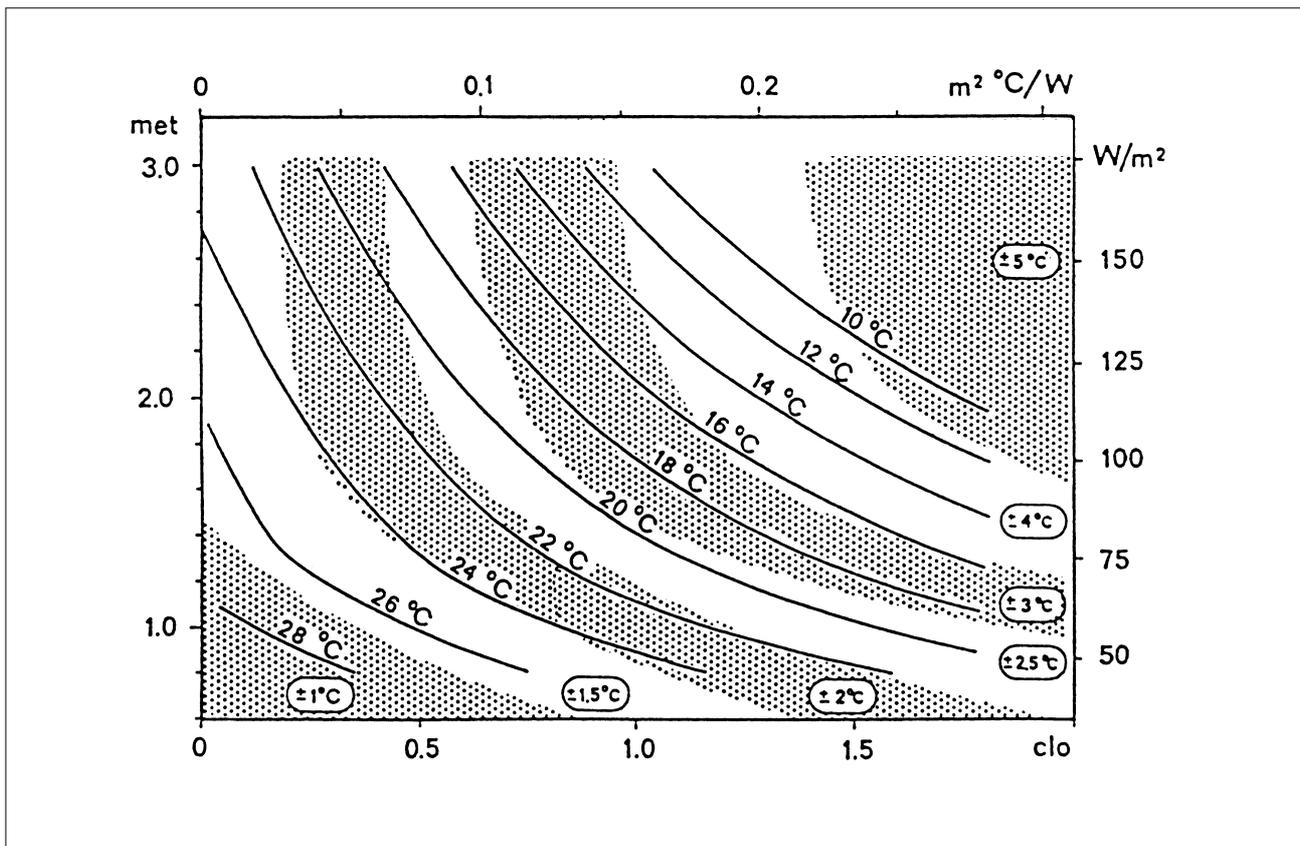


Illustrazione 3.2.4: temperatura interna (aria e superfici) in funzione dell'attività e dell'abbigliamento (per un'umidità relativa del 50%).

Le linee indicano il valore ottimale. Le zone grigie rappresentano lo sbalzo di temperatura tollerabile per restare nella zona di benessere. Ad esempio, per un'attività di ufficio (1,2 met) e un abbigliamento estivo leggero (0,5 clo) la temperatura ottimale (95% delle persone soddisfatte) è di 24,5°C, ma il benessere rimane assicurato (90% delle persone soddisfatte) fintanto che la temperatura rimane tra 23°C e 26°C (24,5 ± 1,5°C).

La variazione di umidità relativa dell'aria modifica leggermente la scala delle temperature confortevoli (illustrazione 3.2.5).

Quando ci si allontana da questa scala è ancora possibile assicurare il benessere cambiando altri parametri.

In inverno ad esempio, l'irraggiamento solare può compensare una temperatura debole (illustrazione 3.2.6). Questo si percepisce naturalmente quando si esce senza mantello all'esterno in un luogo protetto dal vento e esposto al sole.

In estate, il movimento dell'aria ci dà una sensazione di freschezza anche se l'aria è calda.

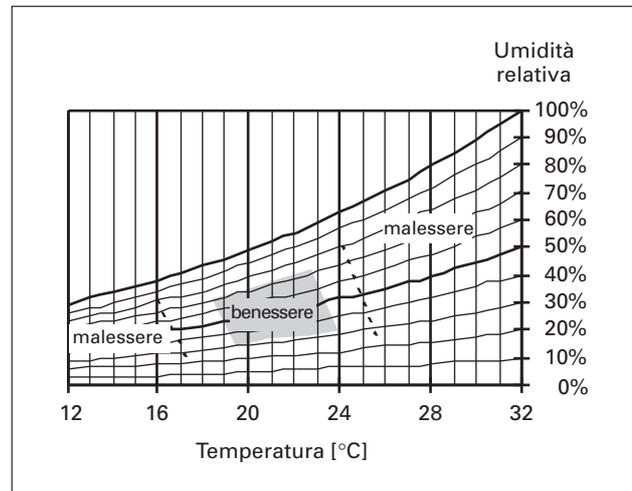


Illustrazione 3.2.5a: condizioni invernali di benessere: per un'attività di 1,2 met e un abbigliamento di 1 clo. Ad esempio, un'umidità relativa del 40% e una temperatura tra 19,5 e 23,5°C vengono percepite come confortevoli da più del 90% delle persone.

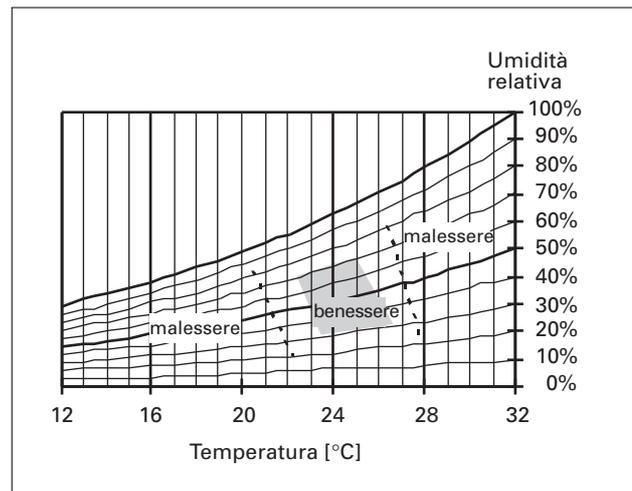


Illustrazione 3.2.5b: condizioni estive di benessere: per un'attività di 1,2 met e un abbigliamento di 0,5 clo. Ad esempio, un'umidità relativa del 60% e una temperatura tra 22,5 e 25,5°C sono percepite come confortevoli da più del 90% delle persone.

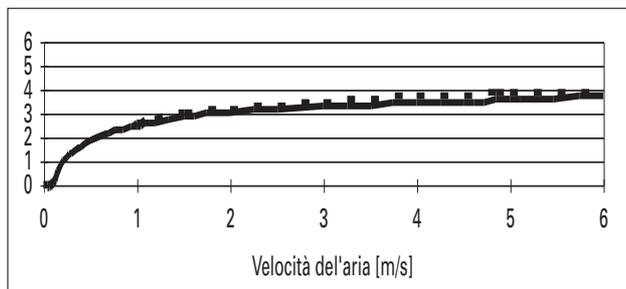


Illustrazione 3.2.6a: correzione da apportare alla temperatura interna (temperatura dell'aria e temperatura delle superfici) in funzione di una corrente d'aria (linea continua: inverno; puntinata: estate) per dare la stessa sensazione di benessere.

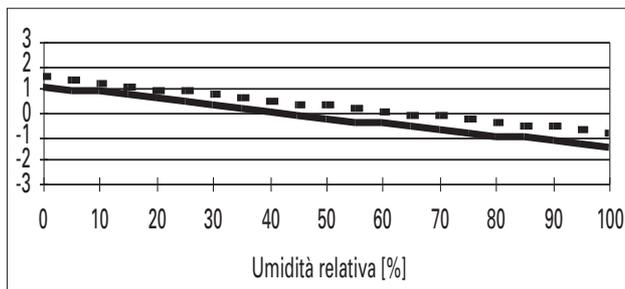


Illustrazione 3.2.6b: correzione da apportare alla temperatura interna (temperatura dell'aria e temperatura delle superfici) in funzione dell'umidità relativa (linea continua: inverno; puntinata: estate) per dare la stessa sensazione di benessere.

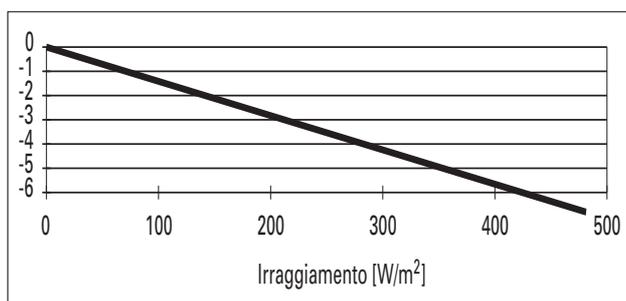


Illustrazione 3.2.6c: correzione da apportare alla temperatura interna (temperatura dell'aria e temperatura delle superfici) in funzione dell'irraggiamento solare direttamente assorbito dall'individuo per dare la stessa sensazione di benessere.

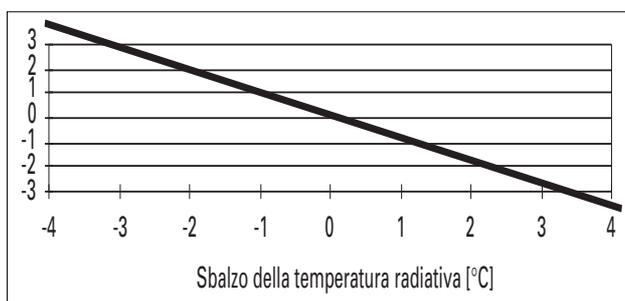


Illustrazione 3.2.6d: correzione da apportare alla temperatura dell'aria in funzione dello sbalzo della temperatura media delle superfici (temperatura radiativa) e della temperatura dell'aria per dare la stessa sensazione di benessere. Questo sbalzo di temperatura può ad esempio venire da una finestra poco isolata (vetro semplice o vetro doppio normale).

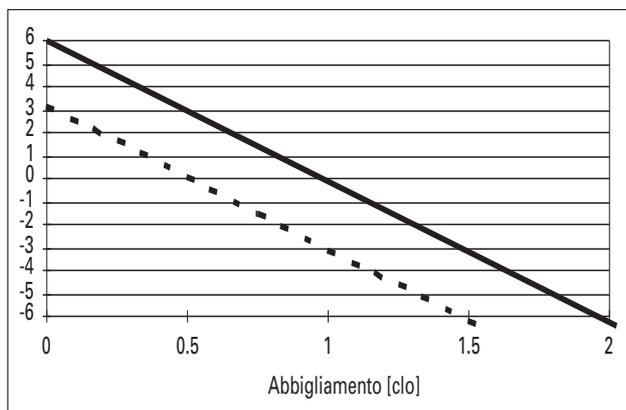


Illustrazione 3.2.6e: correzione da apportare alla temperatura interna (temperatura dell'aria e temperatura delle superfici) in funzione di un cambiamento dell'abbigliamento (linea continua: inverno; puntinata: estate) per dare la stessa sensazione di benessere.

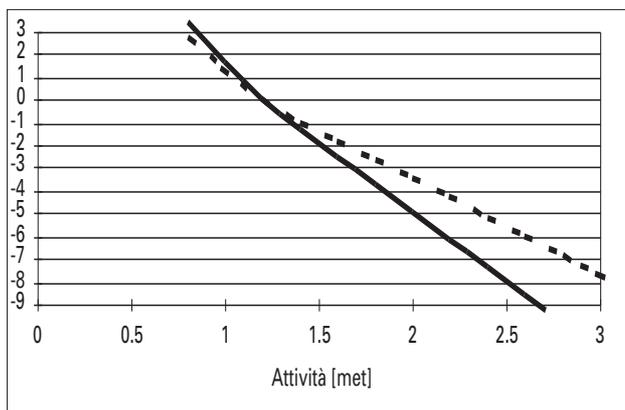


Illustrazione 3.2.6f: correzione da apportare alla temperatura interna (temperatura dell'aria e temperature delle superfici) in funzione di un cambiamento di attività (linea continua: inverno; puntinata: estate) per dare la stessa sensazione di benessere.

Le condizioni base delle illustrazioni 3.2.6 a-f sono: un'attività di ufficio standard di 1,2 met, un abbigliamento di 1,0 clo in inverno e 0,5 clo in estate, una umidità relativa di 40% in inverno e 60% in estate, un irraggiamento solare inesistente, correnti d'aria assenti. La temperatura delle superfici circostanti è uguale a quella dell'aria.

Il benessere e l'edificio

In Svizzera, le condizioni climatiche spesso non corrispondono alle zone di benessere. Si utilizzano quindi diversi mezzi per differenziare il clima interno da quello esterno e per preservare il nostro benessere. Prima di ricorrere al riscaldamento o alla climatizzazione ci sono varie possibilità (illustrazione 3.2.7):

- utilizzare gli apporti interni;
- favorire gli apporti solari passivi;
- aumentare la massa termica dell'edificio;
- ventilare di notte;
- ...

Temperatura interna

La temperatura interna dei locali verrà adeguata all'attività, all'abbigliamento usuale, al tempo di occupazione del locale e al livello di benessere richiesto (tabella 3.2.8). Ogni edificio sarà diviso in zone, tutte con una temperatura e un livello di benessere differenti.

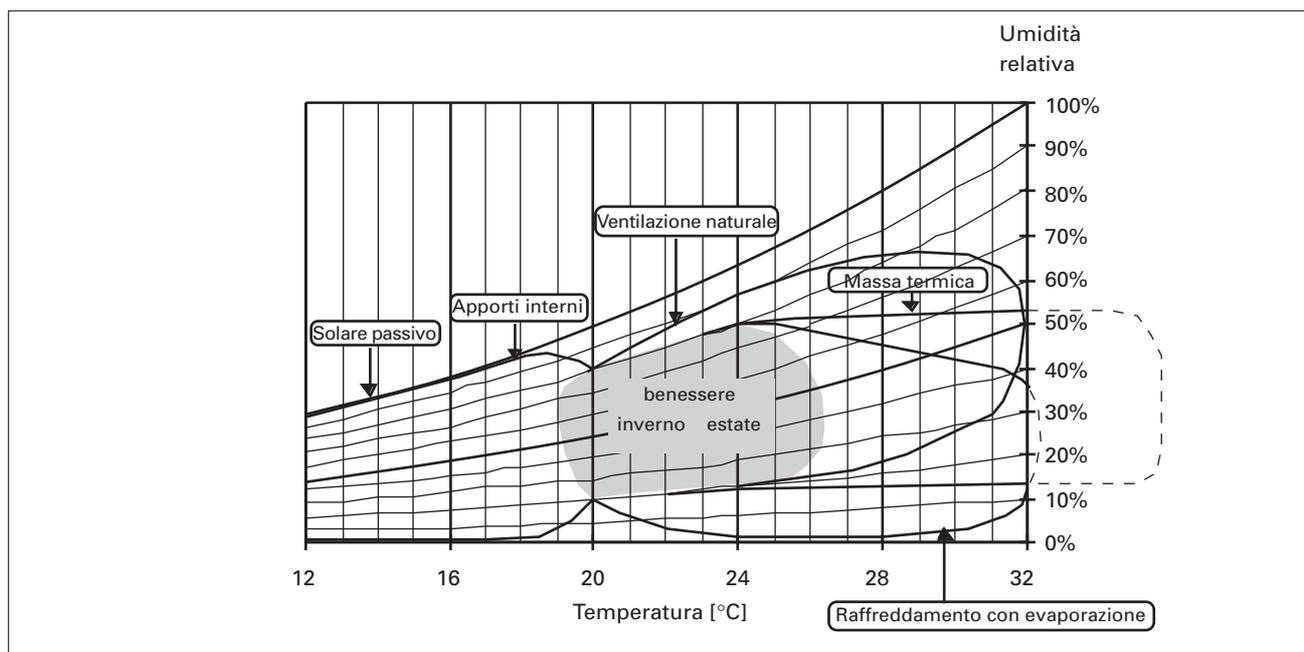


Illustrazione 3.2.7: in funzione del clima esterno, fattori di correzione per riportare il clima interno nella zona di benessere.

| Livello di benessere | | Scala di temperatura ammissibile | |
|------------------------|--|---|-----------|
| | | Inverno | Estate |
| Debole | Vano scala, locali di passaggio | 12 - 28°C | 16 - 32°C |
| Medio | Corridoio WC | 15 - 28°C | 16 - 32°C |
| | | 18 - 26°C | 20 - 30°C |
| Elevato | Locali di soggiorno, uffici, scuole, | 20 - 24°C | 22 - 27°C |
| Condizioni particolari | Ristoranti, ecc. | | |
| | Bagni | 22 - 26°C | 23 - 30°C |
| | Ospedale Centro informatico Macchina | Secondo direttive particolari del committente | |

Tabella 3.2.8: temperature interne raccomandate; per utilizzare al meglio gli apporti solari passivi in inverno e la ventilazione notturna in estate verranno usate variazioni ammissibili.

3.3 Aerazione

Varie ragioni possono indurci a aerare un edificio:

- la voglia di avere un contatto più stretto con il mondo esterno;
- creare un movimento d'aria (anche calda) per migliorare la sensazione di benessere;
- creare una corrente d'aria (fredda) per rinfrescare l'edificio o
- cambiare l'aria per migliorare la sua qualità.

La prima ragione è un benessere «psicologico»... Gli effetti della seconda sono trattati nel capitolo 3.2. I mezzi e l'efficacia di una corrente d'aria sull'edificio sono elencati nel capitolo 5.

Migliorare la qualità dell'aria ha tre scopi:

- prevenire la salute dell'occupante;
- soddisfare il benessere olfattivo;
- contribuire alla conservazione dell'edificio.

In pratica significa portare ossigeno agli occupanti e diluire diversi fattori di inquinamento:

- gas carbonico (biossido di carbonio CO_2) dovuto alla respirazione umana;
- odori e impurità diversi (fumo, solventi, ecc.) dovuti all'individuo e alla sua attività;
- umidità dovuta all'attività umana (respirazione, doccia, cucina, piante, ...);
- gas carbonico, umidità, ... dovuti alla combustione (fonte di calore);
- diverse sostanze provenienti dall'edificio (radon) o dal suo arredamento (formaldeide).

I bisogni vitali di ossigeno vengono colmati velocemente perché per persona bastano circa $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$.

La sensazione di benessere olfattivo è legata, tra l'altro, alla concentrazione di gas carbonico. Per evacuare questo gas occorre un apporto di aria fresca per persona di:

- $15 \text{ m}^3/\text{h}$ per evitare il malessere (meno di 25% di persone insoddisfatte);
- $30 \text{ m}^3/\text{h}$ per assicurare il benessere (più di 90% di persone soddisfatte).

L'umidità portata dall'individuo viene evacuata come descritto sopra. Nel caso delle altre numerose fonti di umidità un'aerazione supplementare, variabile secondo le stagioni, è necessaria per evitare danni all'edificio.

In funzione della quantità di sigarette fumate, questi valori vengono largamente superati (fino a $70 \text{ m}^3/\text{h}$ in più).

Con un tempo molto freddo (metà inverno) si ammette generalmente un malessere superiore per ridurre le perdite termiche dovute all'aerazione. In questi casi, il tasso di ricambio dell'aria è di almeno $0,3 \text{ h}^{-1}$. Oppure, se si tratta di un locale fortemente occupato, l'aerazione per persona è di $13 \text{ m}^3/\text{h}$ per un non fumatore e di $20 \text{ m}^3/\text{h}$ per un fumatore [7].

Allontanare i fattori di inquinamento prima che siano diluiti permette di assicurare una migliore qualità dell'aria con un minimo di aerazione.

Questi fattori hanno alcune conseguenze sull'organizzazione interna dell'edificio:

- i locali che necessitano di una aerazione importante devono essere in facciata;
- l'aria delle cucine (e dei bagni) riscaldata dall'irraggiamento solare o dagli apporti interni non può essere trasferita in locali più freschi;
- le cucine e i bagni devono essere disposti dove, attraverso una aerazione naturale, l'aria esce dall'edificio e non dove entra (vedi capitolo 5).

Se queste disposizioni non possono essere soddisfatte, per assicurare la qualità dell'aria occorrerà un'aerazione meccanica.

3.4 Benessere visuale

Assicurare all'individuo il benessere visuale è molto più difficile del benessere termico. Gli studi hanno dimostrato che le differenze tra gli individui possono essere molto grandi (illustrazione 3.4.1) e che statisticamente non è possibile soddisfare simultaneamente più del 75% delle persone (mentre invece questo massimo è del 95% per il benessere termico). Le valutazioni devono quindi essere ridefinite e parleremo di:

- benessere ottimale quando il 75% delle persone sono soddisfatte;
- benessere quando più del 60% delle persone sono soddisfatte;
- malessere quando più del 75% delle persone sono insoddisfatte (o meno del 25% soddisfatte).

Tre condizioni devono essere simultaneamente rispettate per assicurare il benessere visuale:

- un livello di illuminazione adeguato;
- contrasti ben misurati e
- una buona resa dei colori.

Illuminazione

L'illuminazione è la quantità di luce (flusso luminoso) che riceve una superficie (piano di lavoro) e si misura in lux (lx). Proviene da una fonte luminosa (sole, lampada) diretta o per riflessione su pareti e oggetti.

L'occhio, grazie all'iride che funge da diaframma, ha la facoltà di adattarsi a illuminazioni che possono variare molto (tabella 3.4.2).

Contrariamente al benessere termico, la sensazione di benessere visuale varia sensibilmente con l'età (illustrazione 3.4.3) e i valori d'illuminazione elencati qui sotto non sono che metodi da adattare in funzione degli occupanti previsti.

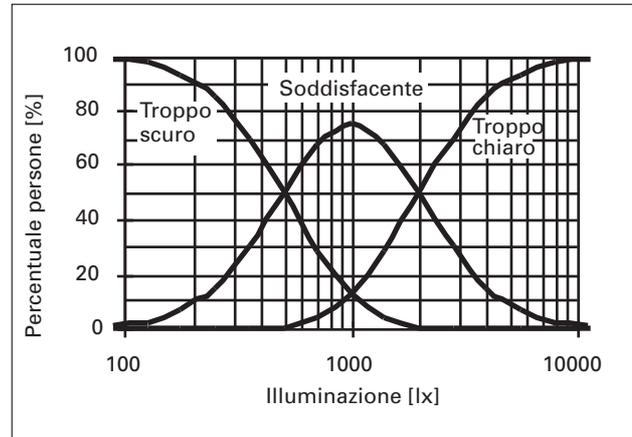


Illustrazione 3.4.1: percentuale di persone soddisfatte in funzione dell'illuminazione (in condizioni di contrasto eccellenti e di attività con esigenze medie).

| Situazione | Illuminazione [lx] |
|--|--------------------|
| Giornata estiva molto soleggiata (mezzogiorno) | 100 000 |
| Cielo coperto in giugno (mezzogiorno) | 20 000 |
| Cielo coperto in dicembre (mezzogiorno) | 7 000 |
| Cielo coperto 1h dopo il sorgere del sole | 3 500 |
| Interno degli edifici | 60 - 2 000 |
| Notte di luna piena | 0,25 |
| Notte di luna nuova | 0,01 |
| Limite di percezione dell'occhio | 10^{-9} |

Tabella 3.4.2: esempi di illuminazione.

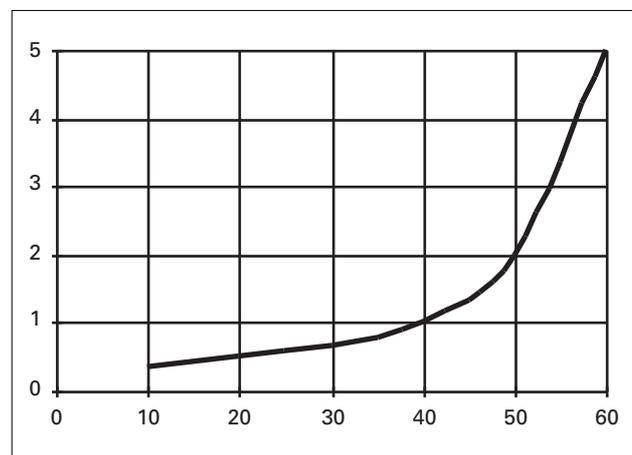


Illustrazione 3.4.3: variazione dell'illuminazione desiderata in funzione dell'età.

Fattore di luce diurna

Un'unità di misura utilizzata correntemente per l'illuminazione naturale è il fattore di luce diurna (FLD). È il rapporto tra l'illuminazione misurata all'interno dell'edificio e l'illuminazione misurata simultaneamente all'esterno su un piano orizzontale (illustrazione 3.4.4).

Questo valore permette di caratterizzare la luminosità di un locale (tabella 3.4.5).

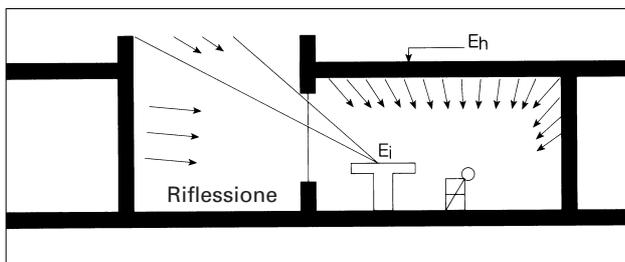


Illustrazione 3.4.4: definizione del fattore di luce diurna:
 E_h = illuminazione orizzontale all'esterno con cielo coperto
 E_i = illuminazione su un piano di lavoro all'interno
 $FLD = E_h/E_i =$ fattore di luce diurna

Contrasti

Per il benessere dell'occhio, i contrasti devono essere moderati.

Il contrasto è un rapporto di brillantezza (intensità luminosa), di superficie luminosa o illuminata.

I contrasti ammissibili non sono uguali per tutti i campi visivi (illustrazione 3.4.6). Nella parte centrale (campo di lavoro) la brillantezza non deve superare il rapporto 1 : 3. Questo vale anche per il lavoro svolto su ordinatore dove lo schermo e il documento (foglio di carta) fanno tutti e due parte del campo di lavoro.

| Fattore di luce diurna | Valutazione | Luminosità percepita nell'ambiente | Relazione con l'esterno |
|------------------------|----------------------------|------------------------------------|--|
| <1% 1 - 2% | Molto debole a debole | Scuro a poco illuminato | Chiuso su se stesso, isolato |
| 2 - 4% 4 - 7% | Medio a elevato | Poco illuminato a luminoso | In alcuni punti aperto verso l'esterno |
| 7 - 12% >12% | Elevato a molto elevato | Luminoso a molto luminoso | Molto aperto, legato al mondo esterno |

Tabella 3.4.5: luminosità percepita nell'ambiente e relazione del locale con l'esterno in funzione del fattore di luce diurna [8].

L'intensità luminosa è la quantità di luce emessa da una superficie direttamente o per riflessione. Si misura in candele per metro quadro (cd/m^2).

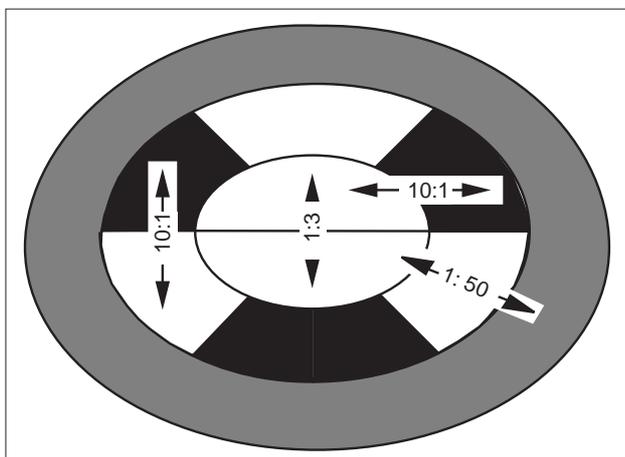


Illustrazione 3.4.6: contrasti ammissibili:
 - nel campo di lavoro: da 1 a 3,
 - nel campo visuale: da 1 a 10,
 - tra campo di lavoro e campo visuale: da 1 a 10,
 - tra campo di lavoro e il rimanente del locale: da 1 a 50.

La resa dei colori

Il fattore di resa dei colori (tabella 3.4.7) descrive come è percepito, rispetto al caso ideale, un colore illuminato da una fonte luminosa.

Tre elementi possono dare una resa di colore inferiore a 100:

- fonti di illuminazione artificiale;
- finestre con vetri tinteggiati;
- pareti con colori forti.

Per esigenze elevate, ad esempio l'ispezione di colore, il fattore di resa dei colori dovrebbe essere superiore a 90.

| Classe | Proprietà di resa | Fattore di resa (R) |
|--------|-------------------|---------------------|
| 1 | Molto buona | da 85 a 100 |
| 2 | Buona | da 70 a 84 |
| 3 | Sufficiente | da 40 a 69 |
| 4 | Mediocre | meno di 40 |

Tabella 3.4.7: fattore di resa del colore e proprietà corrispondenti.

Occorre notare che la luce ha anche effetti non visivi sull'individuo. Gli studi in questo campo sono ancora poco sviluppati. Sembrerebbe però che un'illuminazione da 1000 a 2500 lux sia necessaria un'ora al giorno per evitare cali di rendimento (psichici) stagionali.

Necessità di illuminazione

La necessità di illuminazione all'interno dei locali dipende dall'attività prevista. Le illuminazioni raccomandate dell'illustrazione 3.4.8 sono al di sotto dell'illuminazione ottimale. Questo perché risulta molto difficile, e costoso, assicurare contemporaneamente un'illuminazione ottimale con deboli contrasti.

Un'illuminazione debole diminuisce i contrasti e conduce a un benessere visuale migliore (ma non ottimale).

| Esigenze | Locali, attività | Illuminazione raccomandata [lux] | Fattore di luce diurna consigliato [%] | |
|----------------|--|----------------------------------|--|------------|
| | | | Minimo | Massimo |
| Ridotte | Circolazione, WC, cantina | meno di 120 | 1,5 | |
| Moderate | Atrio, camera da letto, soggiorno, ristorante, lavanderia, palestra | da 120 a 250 | 1,5 | da 6 a 10 |
| Medie | Cucina, bagno, piscina, locali da lavoro, sala riunione, albergo, scuola, appartamento, attività su ordinatore | da 250 a 500 | da 1,5 a 2,5 | da 6 a 10 |
| Sopra la media | Laboratorio, officina meccanica, negozio, sartoria, lettura, scrittura, disegno | da 500 a 1000 | da 2,5 a 5 | da 6 a 10 |
| Elevate | Lavoro manuale di precisione, officina meccanica di precisione, studio fotografico | 1000 e più | 5 e più | da 10 a 15 |

Tabella 3.4.8: illuminazioni raccomandate.

3.5 Carichi interni, apporti interni

Ogni edificio porta tre fonti di calore interne:

- gli occupanti;
- l'illuminazione e
- diversi apparecchi.

La liberazione di calore da parte di queste varie fonti può essere apprezzabile in inverno perché contribuisce al riscaldamento dell'edificio, ma può essere sgradevole in estate perché provoca surriscaldamento.

La stessa fonte di calore sarà quindi qualificata come apporto o carico.

Da notare che la quasi totalità dell'energia consumata dagli apparecchi elettrici si trasforma in calore. L'eccezione più notevole è la parte di luce (molto debole) che esce dall'edificio attraverso le finestre!

La sola conoscenza della densità dell'occupazione dell'edificio, o della potenza elettrica degli apparecchi non fornisce nessuna informazione significativa sulla liberazione del calore.

Bisogna sempre tenere conto degli orari di presenza e delle ore di funzionamento.

Persone

La liberazione di calore da parte delle persone dipende evidentemente dalla loro attività. La tabella 3.5.1 indica la potenza specifica dispersa dagli occupanti per locali e attività standard. Questi valori vanno corretti se l'attività è più intensa (vedi capitolo 3.2).

| Destinazione | Densità d'occupazione [m ² /P] | Tempo di presenza [h/d] | Carichi/apporti interni istantanei [W/m ²] | Carichi/apporti interni medi durante 24 h [W/m ²] |
|-----------------------------|---|-------------------------|--|---|
| Villa | 50 | 12 | 1,6 | 0,8 |
| Edificio d'abitazione | 30 | 12 | 2,7 | 1,3 |
| Ufficio occupazione debole | 20 | 8 | 4 | 1,3 |
| Ufficio occupazione media | 10 | 8 | 8 | 2,7 |
| Ufficio occupazione elevata | 5 | 8 | 16 | 5,3 |

Tabella 3.5.1: potenza specifica dovuta agli occupanti con un tasso di attività standard secondo SIA (80 W/persona).

Illuminazione

La potenza elettrica installata per l'illuminazione è direttamente funzione del livello di illuminamento richiesto (illustrazione 3.5.2).

La liberazione di calore che ne risulta è legata all'efficienza, o piuttosto all'inefficienza dell'illuminazione naturale. In funzione del grado di autonomia dell'illuminazione naturale (vedi §§ 4.5 e 5.8) si potranno determinare gli apporti interni dovuti all'illuminazione artificiale.

Apparecchi elettrici

A parte l'edificio sono la principale fonte di apporti/carichi interni. È un'unità di misura che può variare molto a seconda delle attività previste nei futuri locali.

È utile effettuare un'inchiesta approfondita presso il committente. Il quale, purtroppo, spesso non ne è a conoscenza.

Né la potenza dell'allacciamento elettrico (per l'AIL) né la somma delle potenze nominali (istruzioni) degli apparecchi, forniscono indicazioni utili.

Se l'edificio progettato è destinato ad accogliere le attività attuali del committente, le fatture di elettricità correnti forniranno preziose informazioni sulla liberazione interna di calore.

In rapporto a una situazione attuale, due fenomeni che agiscono in senso contrario possono modificarne l'importanza:

- un trasloco può portare un'informatizzazione o un'intensificazione delle apparecchiature e condurre a un aumento dei carichi interni;
- gli apparecchi moderni per ufficio consumano meno elettricità e questa tendenza continuerà nei prossimi anni (tabella 3.5.3).

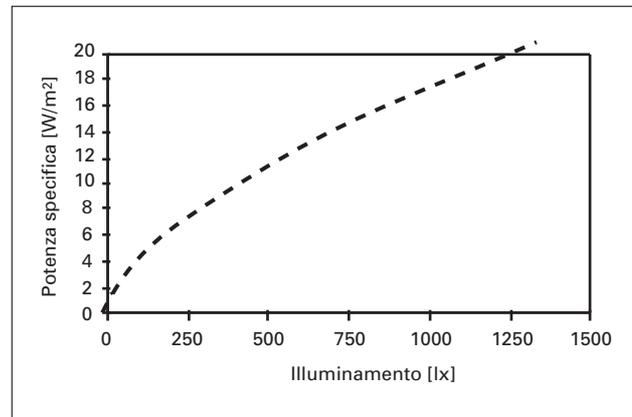


Illustrazione 3.5.2: potenza specifica installata per l'illuminazione in funzione dell'illuminamento (valori indicativi).

| | Valori medi tipici per impiego normale | Apparecchi attuali buoni* | | Apparecchi futuri buoni (1996-1999)* | |
|--|--|---------------------------|-------------|---|-------------|
| | | Accesso | in stand by | Accesso | in stand by |
| Ordinatore personale (senza schermo) | | 5 | 30 | 3 | 10 |
| Ordinatore personale (con schermo) | 150 | 5 | 60 | 3 | 13 |
| Schermo di ordinatore (fino a 21 pollici) | | 5 | 30 | | 3 |
| Stampante laser | 100 | 3 | 25 | 1 | 2 |
| Stampante (altri tipi) | 20 | 3 | 8 | 1 | 2 |
| Fotocopiatrice | 300 | 3 | 60 | 1 | 60 |
| Fax | 20 | – | 9 | – | 2 |

Tabella 3.5.3: valori di potenza (W) per apparecchi d'ufficio.

* = secondo i dati dell'Ufficio federale dell'energia (Energia 2000). Gli stessi dati esistono per apparecchi domestici.

3.6 Bibliografia

- [1] Norma SIA 181 «La protezione dal rumore nelle costruzioni edilizie»
SIA, Zurigo, 1988.
- [2] Manuale «Etudes et projets»
PI.1 Amélioration thermique des bâtiments,
UFPC, 1983
Pubblicazione N° 724.500 f.
- [3] «Les installations techniques dans la planification intégrale», volume A
PI.2 Installations techniques des bâtiments,
UFPC, 1987
Pubblicazione N° 724.608 f/1.
- [4] Fanger P.O
«Thermal Comfort»
Robert E. Krieger Publishing Company,
Malabar, Florida, 1982.
- [5] International Standard 7730 Moderate thermal environments - «Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort»
ISO, Ginevra, 1984.
- [6] Norma europea EN 27730
«Ambiances thermiques modérées - Détermination des indices PMV e PPD et spécifications des conditions de confort thermique»
CEN, Bruxelles, 1993.
- [7] Raccomandazione SIA 384/2
«Fabbisogno di potenza termica degli edifici»
SIA, Zurigo, 1982.
- [8] «L'électricité à bon escient»
RAVEL, UFPC, Berna, 1993
Pubblicazione N° 724.302 f.

4. Prestazioni

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.1 | Introduzione | 54 |
| 4.2 | Prestazioni energetiche, regolamenti | 56 |
| 4.3 | Prestazioni economiche: prezzo e costi dell'energia | 59 |
| 4.4 | Prestazioni di benessere | 60 |
| 4.5 | Prestazioni d'illuminazione naturale | 61 |
| 4.6 | Bibliografia | 62 |

4.1 Introduzione

Già durante la fase del progetto di massima bisogna fissare obiettivi chiari nel campo delle prestazioni. Tali obiettivi non devono essere ritenuti delle costrizioni ma piuttosto come guida che in ogni momento permette di situare il progetto rispetto agli scopi attesi.

Regole

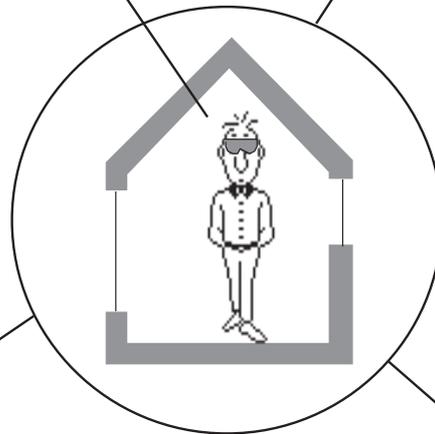
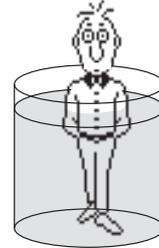
- A livello di energia, il calcolo dell'indice parziale di riscaldamento permette, con l'aiuto di un programma semplice, di situare ad ogni momento il progetto rispetto agli obiettivi o alle costruzioni circostanti.
- Una volta conosciuti i fabbisogni energetici, sarà possibile valutare i costi di sfruttamento (o perlomeno, la parte legata all'energia) dell'edificio. Non bisogna soltanto considerare il valore assoluto dei costi di acquisto dell'energia. Occorre tener conto anche delle conseguenze che produzione e consumo di questa energia provocano sull'ambiente circostante.
- In più dei fabbisogni energetici, alcuni programmi forniscono una valutazione dei rischi di surriscaldamento (temperatura media attesa o numero di ore di surriscaldamento). Queste previsioni sono utili per valutare la qualità del benessere termico e stimare, ad esempio, l'efficienza delle protezioni solari.
- Alcuni programmi simulano l'illuminazione naturale e riproducono un'immagine fotografica dell'interno del locale. Si ottiene così la quantità e la qualità dell'illuminazione naturale. Questi programmi sono ancora abbastanza complicati da usare. È possibile trovarli soprattutto negli studi di ingegneria e negli istituti universitari.

Prestazioni di illuminazione naturale

Capitolo 4.5
Pagina 61

Prestazioni di benessere

Capitolo 4.4
Pagina 60



Prestazioni energetiche

Capitolo 4.2
Pagina 56



Prestazioni economiche

Capitolo 4.3
Pagina 59



4.2 Prestazioni energetiche, regolamenti

Esistono vari modi per caratterizzare la prestazione energetica di un edificio. Citiamo ad esempio:

- il consumo energetico;
- la frazione solare;
- il coefficiente di trasmissione di calore medio (coefficiente k medio);
- il fabbisogno energetico di riscaldamento;
- l'indice energetico;
- ...

Consumo energetico

Il consumo energetico si misura secondo il vettore energetico utilizzato:

- in unità energetiche, chilowattora (kWh) o megajoule (MJ) per l'elettricità e il riscaldamento a distanza;
- in unità volumetriche, metri cubi (m^3), litro (l o L) o stero (st) per il gas, l'olio combustibile, il legno e il carbone;
- in unità di massa, chilogrammo (kg), per il legno o il carbone.

Il consumo energetico viene usato per determinare i costi dell'energia consumata, ma non permette di caratterizzare la prestazione dell'edificio perché dipende dalla sua grandezza.

Frazione solare

La frazione solare in percento indica la parte di perdite lorde coperte dall'energia solare. Questo valore non è significativo per la qualità della costruzione. Un edificio con una frazione solare elevata e un involucro pessimo può consumare più di un edificio simile con un buon involucro e una frazione solare debole.

| | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------|----|
| Elettricità | 1 kWh = | 3,6 | MJ |
| Riscaldamento a distanza | 1 kWh = | 3,6 | MJ |
| Gas naturale | 1 m ³ = | 36,3 | MJ |
| Olio combustibile extra-leggero | 1 l = | 36 | MJ |
| Legno (abete essiccato) | 1 st = | 5600 | MJ |
| Legno (latifoglio) | 1 st = | 6000 | MJ |
| Carbone | 1 kg = | 29,3 | MJ |
| Vecchie unità: | | | |
| Caloria | 1 cal = | 4186,8 | J |
| British thermal unit | 1 btu = | 1055,1 | J |

Tabella 4.2.1: corrispondenze delle unità di consumo energetico

Coefficiente k medio

Il valore medio del coefficiente di trasmissione del calore, detto coefficiente k o valore k (W/m^2K), caratterizza l'involucro dell'edificio. Non contempla la situazione dell'edificio (clima), la sua destinazione (abitanti) e non tiene conto degli apporti solari.

La raccomandazione SIA 180/1 «Verifica dei coefficienti k medio dell'involucro dell'edificio» [1] indica come calcolarlo e quali sono i valori ammissibili.

Fabbisogno energetico di riscaldamento

Il fabbisogno energetico di riscaldamento indica la quantità di energia che l'impianto di riscaldamento deve fornire all'edificio per mantenere la temperatura interna desiderata. Questa quantità è riferita alla superficie di riferimento energetico (somma di tutte le superfici lorde del pavimento che corrispondono ai locali riscaldati o climatizzati [2] e si esprime in MJ/m^2 .

La raccomandazione SIA 380/1 «L'energia nell'edilizia» [3] descrive il metodo di calcolo di questo fabbisogno energetico di riscaldamento ed elenca i valori ammissibili.

Il modello dell'ordinanza «Utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment» [4] precisa come applicare il metodo di calcolo definito nella SIA 380/1 secondo le specificità di ogni cantone.

Le leggi sull'energia di numerosi cantoni della Svizzera tedesca richiedono l'impiego del modello dell'ordinanza. In Svizzera romanda l'applicazione di questo modello è ancora in discussione.

Una norma, provvisoriamente codificata prEN832 e chiamata «Performance thermique des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage» [5], è in preparazione presso il comitato europeo di normalizzazione (CEN). Al contrario delle norme sopra citate, questa tiene conto di tutti gli elementi solari che comporta un edificio. Approvata, entrerà rapidamente in vigore anche in Svizzera e sostituirà probabilmente il metodo di calcolo della SIA 380/1 a partire dal 1997.

| | SIA 180/1 | SIA 380/1 | Modello dell'ordinanza |
|----|-----------|-----------|------------------------|
| ZH | | | X |
| BE | | | X |
| LU | | | X |
| UR | | | X |
| SZ | | | X |
| OW | | X | |
| NW | | X | |
| GL | | X | |
| ZG | | | X |
| FR | | X | |
| SO | | | X |
| BS | | | X |
| BL | | | X |
| SH | X | | |
| AR | | X | |
| AI | X | | |
| SG | | X | |
| GR | | | X |
| AG | X | | |
| TG | | X | |
| TI | | X | |
| VD | X | | |
| VS | X | X | |
| NE | X | x | x |
| GE | X | | |
| JU | | | X |

Tabella 4.2.2: prescrizioni di isolamenti termici secondo i cantoni (1.4.95).

Indice energetico

L'indice energetico, o indice di consumo d'energia [3], (E in MJ/m^2) viene calcolato dividendo il consumo annuale di energia globale (di tutti gli agenti energetici) per la superficie di riferimento energetico (SRE).

Si divide in:

- indice di consumo energetico per la parte di riscaldamento (E_r);
- indice di consumo energetico per la parte di acqua calda (E_{ac});
- indice di consumo energetico per la parte d'illuminazione, di forza motrice e di funzionamento degli apparecchi di produzione (E_{ifp});

o in:

- indice di consumo energetico termico (E_t);
- indice di consumo energetico elettrico (E_e).

A seconda del modo di produrre acqua calda l' E_{ac} risulta sotto l'indice di consumo energetico termico (E_t) o elettrico (E_e).

I valori ritenuti soddisfacenti si correggono in funzione del tipo di edificio (tabella 4.2.3).

Molti programmi eseguono i calcoli secondo le diverse raccomandazioni in vigore. Sono disponibili presso i fornitori di materiali da riscaldamento, i servizi cantonali dell'energia, le scuole specializzate o gli istituti federali. Una lista con una breve descrizione, una necessaria configurazione e con i costi si trova nella documentazione SIA D 503 «Catalogue du logiciel» [6] o presso l'Ufficio federale dell'energia.

Nell'allegato A.4.1 si trova una selezione di programmi in lingua francese.

| Destinazione | Indice di consumo energetico termico E_t [MJ/m^2] | Indice di consumo energetico elettrico E_e [MJ/m^2] |
|--|---|---|
| Ville e case bifamigliari | 400 *310 | 80 *130 |
| Casa d'abitazione | 410 *280 | 100 *150 |
| Case per anziani, per bambini, per giovani | 410 | 100 |
| Alberghi semplici | 410 | 200 |
| Edifici amministrativi: | | |
| – con ventilazione naturale | *240 | *80 |
| – con ventilazione meccanica nella maggior parte dell'edificio | *240 | *175 |
| – con climatizzazione (ad esempio banca senza centri informatici) | *240 | *250 |
| Scuole: | | |
| – asili, scuole elementari, scuole medie | 290 | 30 |
| – scuole medie superiori, scuole professionali e professionali superiori | 290 | 100 |
| Magazzini semplici (senza ventilazione, senza apparecchi frigoriferi) | *240 | *100 |
| Depositi, ateliers | *220 | *80 |
| Università | 320 | 200 |
| Grandi magazzini (con climatizzazione e freddo artigianale) | 260 | 600 |
| Stabilimenti di cura | 470 | 150 |
| Ospedali (generalisti) | 500 | 200 |
| Piscine coperte: | | |
| – piccole ($\text{SRE} < 3000 \text{ m}^2$) | 700 | 250 |
| – grandi ($\text{SRE} > 3000 \text{ m}^2$) | 1000 | 350 |

Tabella 4.2.3: valori soddisfacenti degli indici di consumo energetico per edifici da costruire (secondo SIA 380/1).

* significa che la produzione di acqua calda è effettuata da un dispositivo elettrico.

4.3 Prestazioni economiche: prezzo e costi dell'energia

Discutere dei costi di costruzione di un edificio non è lo scopo di questo capitolo. Si tratta unicamente di conoscere i valori energetici. Uno studio recente [7] dal quale sono tratte queste cifre, ci permette di vedere più chiaro.

Il prezzo è legato direttamente alla spesa per l'acquisto dell'energia. Comprende i costi interni, come i costi delle materie prime, di sfruttamento, di trasformazione, di immagazzinamento, di distribuzione, di capitale e della mano d'opera. In più dipende dall'offerta e dalla domanda. In questi ultimi anni i prezzi erano bassi (tabella 4.3.1).

Tutte le attività legate all'utilizzazione dell'energia provocano effetti secondari. I principali sono:

- l'inquinamento atmosferico che provoca danni alle foreste, perdite nella produzione agricola, malattie, degrado più veloce degli edifici, ecc.;
- l'inquinamento delle acque e del suolo;
- danni naturali;
- danni alle zone naturali;
- malattie e decessi dovuti alle attività di produzione normale dell'energia.

A questo si aggiunge da un lato l'effetto serra e dall'altro i rischi di incidenti rilevanti come la rottura di una diga o la fusione del cuore di un reattore nucleare.

Paghiamo in maniera indiretta i costi di alcuni effetti secondari:

- imposte supplementari;
- diverse tasse;
- assicurazioni malattia più care;
- prodotti agricoli più cari;
- affitti più cari.

Questi costi, non compresi nel prezzo dell'energia, vengono chiamati costi esterni.

Un recente studio ha determinato l'importo di questi costi esterni per i principali vettori energetici utilizzati nell'edilizia (tabella 4.3.2).

| Agente energetico | Variazione di prezzo |
|---------------------------------|----------------------|
| Elettricità | -15% |
| Gas naturale | -24% |
| Olio combustibile extra-leggero | -54% |
| Legno | -4% |
| Carbone | +2% |

Tabella 4.3.1: evoluzione dei prezzi reali dell'energia (prezzi nominali diminuiti del rincaro) dal 1980 al 1992.

| Agente energetico | Prezzo dell'energia [ct/kWh] | Costi esterni [ct/kWh] |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Gas naturale | 5,0 | 3,4 - 5,1 |
| Olio combustibile extra-leggero | 3,5 | 4,9 - 7,6 |
| Truciolli di legno umido | 4,0 | 0,9 - 2,1 |
| Elettricità: | | |
| - senza costi esterni a rischio | 14,5 | 0,7 - 1,6 |
| - con costi esterni a rischio | 14,5 | 0,8 - 15,6 |

Tabella 4.3.2: costi esterni tenendo conto dei costi dei danni e di eliminazione dell'effetto serra (ipotesi più favorevole!).

Per l'elettricità, tenere conto del rischio di incidente rilevante è molto difficile. Tradurre le conseguenze di un incidente importante (costi di circa 30'000 miliardi di franchi, ma con una probabilità di questo avvenimento ogni 10 milioni di anni) in costi esterni non è più soltanto dominio della matematica ma anche della sociologia (comportamento degli individui di fronte a tale rischio).

Un'architettura che si definisce climaticamente equilibrata, non deve solo essere in armonia con il clima locale, ma anche preservare questo clima, essere in accordo con uno sviluppo durevole (come lo definisce il Summit della Terra del giugno 1992 a Rio de Janeiro).

Un consumo misurato di energia sarà conseguenza naturale di un'architettura climatica equilibrata. E se anche i costi esterni fanno parte dei criteri di scelta dei vettori energetici, l'edificio sarà maggiormente in armonia con la natura.

Alcune autorità cantonali o federali richiedono, in maniera più o meno inflessibile, che i costi esterni siano parte integrante dei vari criteri decisionali.

4.4 Prestazioni di benessere

Come per l'energia, o i costi, è utile definire con il committente le prestazioni di benessere richieste.

Una temperatura continua e stabile è una nozione teorica che non è né auspicabile né realizzabile. In effetti, il nostro organismo si adatta perfettamente alle fluttuazioni di temperatura, sia giornaliere sia stagionali. Queste variazioni, se ragionevoli (alcuni gradi), non solo sono accettabili ma auspicabili.

Non è quindi ragionevole assicurare una temperatura perfettamente stabile di giorno e di notte; ancor meno ammissibile è una temperatura identica in inverno e in estate.

Per l'edificio, una leggera fluttuazione di temperatura tra giorno e notte permette in inverno di meglio servirsi degli apporti solari; la massa termica può così accumulare l'eccedenza di calore durante il giorno per restituirla di notte.

Questa stessa variazione permette, in estate, di approfittare della notte più fresca per raffreddare la struttura dell'edificio.

Durante i periodi estremi del clima (freddo prolungato in gennaio o febbraio, canicola in luglio o agosto), occorre andare oltre e determinare quale è il malessere tollerabile. Verrà definito, ad esempio, il periodo (numero di ore all'anno) nel quale si tollera che il benessere dei locali non venga assicurato.

Questa tolleranza di malessere definita permetterà:

- per l'inverno di dimensionare adeguatamente l'impianto di riscaldamento;
- per l'estate di evitare una climatizzazione o tende in facciate poco esposte al sole (nord-est, nord-ovest).

Occorre dire che la tolleranza, o l'intolleranza, del committente giocano un ruolo importante.

Ad esempio, per uno stesso edificio amministrativo e per uno stesso periodo di canicola:

- se si tollera una fluttuazione di temperatura, una buona ventilazione notturna potrà evacuare il calore immagazzinato durante il giorno precedente;
- se si impone un abbigliamento standard come completo-giacca-cravatta, una climatizzazione sarà necessaria per assicurare una temperatura sopportabile.

4.5 Prestazioni d'illuminazione naturale

Un'illuminazione naturale efficiente deve fornire un apporto di luce sufficiente per permettere di fare a meno dell'illuminazione artificiale durante un certo periodo di occupazione del locale.

Esiste un nesso tra fattore di luce diurna (FLD) e autonomia d'illuminazione (illustrazione 4.5.1): ad esempio, con un FLD del 5% e un'esigenza d'illuminazione di 500 lux c'è la possibilità di una autonomia durante le ore lavorative del 50%.

Questo valore (50% di autonomia) è auspicabile per il benessere visuale e il risparmio energetico.

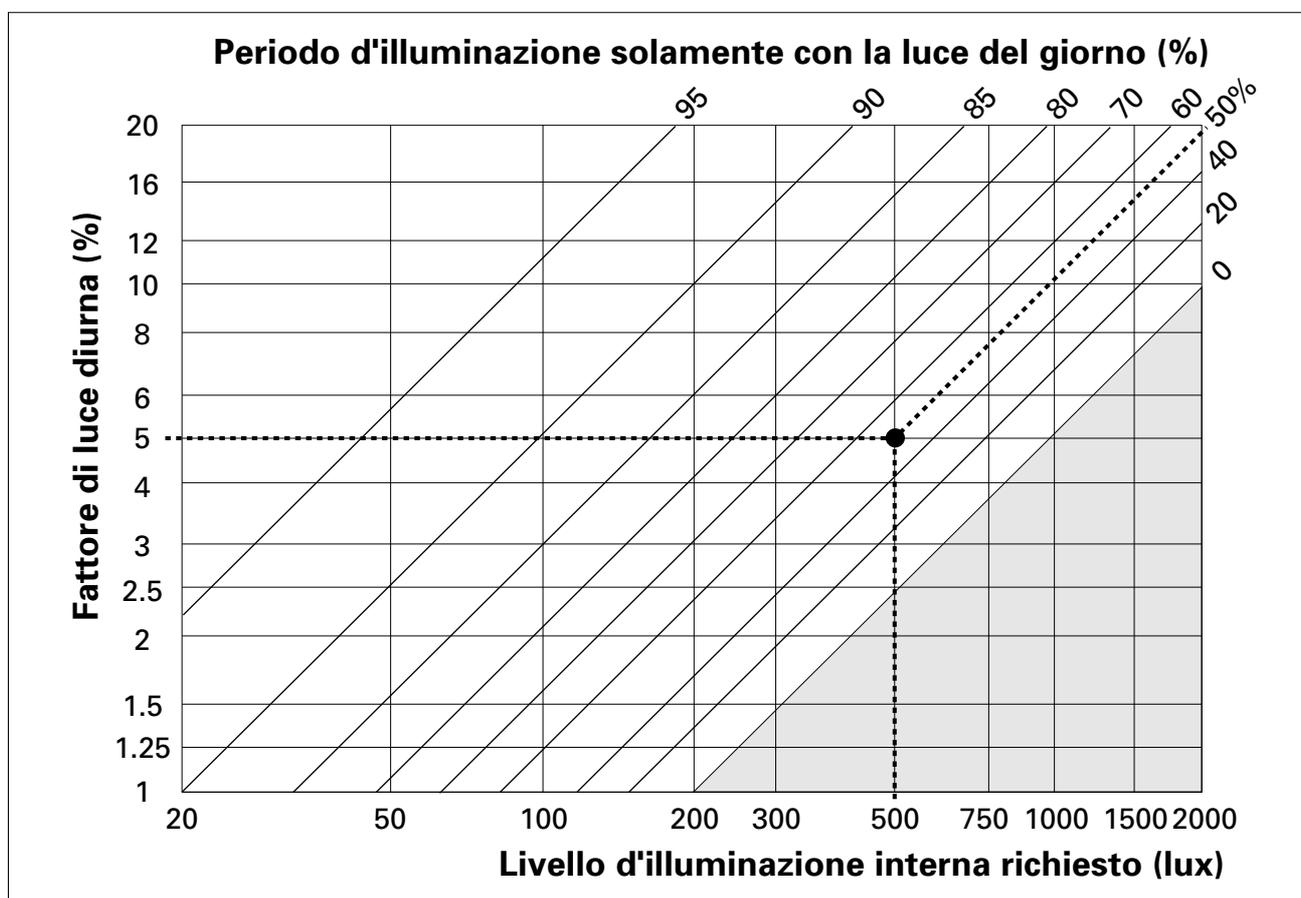


Illustrazione 4.5.1: periodo di occupazione dei locali con luce naturale (senza illuminazione artificiale) in relazione con il fattore di luce diurna del locale e l'illuminazione richiesta.

4.6 Bibliografia

- [1] Raccomandazione SIA 180/1
«Verifica del coefficiente k medio dell'involucro dell'edificio»
SIA, Zurigo, 1988.
- [2] Raccomandazione SIA 416
«Surfaces de plancher et cubes de construction»
SIA, Zurigo, 1975.
- [3] Raccomandazione SIA 380/1
«L'energia nell'edilizia»
SIA, Zurigo, 1988.
- [4] «Utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment - Modèle d'ordonnance»
OFEN, Berna, 1993.
- [5] Norma europea prEN832
«Performance thermiques des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie de chauffage»
Comité européen de normalisation (CEN), Bruxelles, 1995.
- [6] Documentazione SIA D053
«Catalogue du logiciel»
SIA, Zurigo, 1993.
- [7] «Costi esterni e supplementi calcolati dei prezzi dell'energia nel settore dell'elettricità e del calore»
PACER, UFPC, Berna 1995
Pubblicazione N° 724.270.7 i.

5. Concetto energetico: principi

| | | |
|------------|---|------------|
| 5.1 | Captare il sole | 66 |
| 5.2 | Immagazzinare il calore | 74 |
| 5.3 | Distribuire il calore | 80 |
| 5.4 | Conservare il calore | 86 |
| 5.5 | Minimizzare gli apporti solari | 96 |
| 5.6 | Ventilazione naturale | 106 |
| 5.7 | Sfasamento degli apporti e ventilazione notturna | 116 |
| 5.8 | Illuminazione naturale | 118 |
| 5.9 | Bibliografia | 127 |

I principi dell'utilizzazione dell'energia solare passiva e l'osservazione del clima per il concetto di un edificio, devono essere integrati in un processo logico.

L'analisi del luogo, del clima, del programma e delle sue esigenze devono aiutare il progettista a prendere partito e scegliere una strategia: il concetto energetico del progetto. Questo concetto mette in atto principi che saranno presentati in questo capitolo. Solo alcuni principi verranno usati per un concetto. Le prime analisi dovrebbero orientare verso una scelta di principi applicabili; alla fine l'architetto decide quali desidera integrare nel suo progetto.

Le strategie di controllo del clima si basano su principi fisici semplici che sono enumerati nell'illustrazione 5.0.1. I fenomeni di scambio termico avvengono sotto forma di conduzione, convezione, irraggiamento e evaporazione. Secondo la stagione e il clima, si useranno ognuno di questi principi di base per elaborare una strategia di controllo proprio al progetto di architettura.

Nella presentazione di questi principi, l'aspetto del dimensionamento di base (predimensionamento) viene accentuato di proposito. Per i dettagli esecutivi ci si riporta alla bibliografia dove sono presentate le opere di riferimento.

Parleremo quasi esclusivamente di sistemi detti passivi (immagazzinamento dell'energia solare o raffreddamento). Nell'allegato A5.3 c'è un diagramma che permette di stimare le dimensioni della superficie dei collettori solari necessari alla produzione di acqua calda sanitaria.

Per scegliere i principi adatti e dimensionarli si distinguono due periodi: inverno e estate. In pratica non sarà così semplice separare questi principi: la scelta di un concetto per il periodo freddo avrà conseguenze dirette sul comportamento dell'edificio nel periodo caldo.

| | | CONDUZIONE | CONVEZIONE | IRRAGGIAMENTO | EVAPORAZIONE | |
|-------------------------------|----------------|---|--|---|--|---|
| STRATEGIE DI CONTROLLO | INVERNO | FAVORIRE GLI APPORTI | | Minimizzare la velocità dell'aria sulla pelle esterna | Favorire gli apporti solari | |
| | | RESISTERE ALLE PERDITE | Minimizzare i flussi di calore dati dalla conduzione | Minimizzare le infiltrazioni d'aria | | |
| | ESTATE | RESISTERE AGLI APPORTI (PROTEGGERSI) | Minimizzare i flussi di calore dati dalla conduzione | Minimizzare le infiltrazioni d'aria | Minimizzare gli apporti solari | |
| | | FAVORIRE LE PERDITE (EVACUARE) | Favorire gli scambi con il suolo (terra) | Favorire la ventilazione | Favorire il raffreddamento con l'irraggiamento | Favorire il raffreddamento con l'evaporazione |

Illustrazione 5.0.1: principi fisici e strategici di controllo per l'architettura climatica [1].

Periodo freddo (inverno)

In un clima temperato come quello della Svizzera, l'energia solare può fornire un contributo importante al riscaldamento di un edificio. Per ottenere questo scopo bisogna conoscere a fondo i quattro principi base.

- **Captare il sole:** l'irraggiamento solare viene accumulato e trasformato in calore.
- **Immagazzinare il calore:** l'energia captata viene stoccata per un uso differito.
- **Distribuire il calore:** il calore captato e stoccato viene distribuito alle parti dell'edificio che richiedono il riscaldamento.
- **Conservare il calore:** il calore distribuito viene trattenuto nell'edificio.

Una prima distinzione: secondo il modo di captare/stoccare/distribuire il calore si parla di sistemi solari passivi con apporto diretto oppure indiretto.

Non è possibile, come si pensava all'inizio dell'utilizzazione dell'energia solare passiva, compensare una conservazione di energia insufficiente (involucro mal isolato) con un apporto di energia solare importante. Questo diventa fattibile alle latitudini più basse, ad esempio il Mediterraneo.

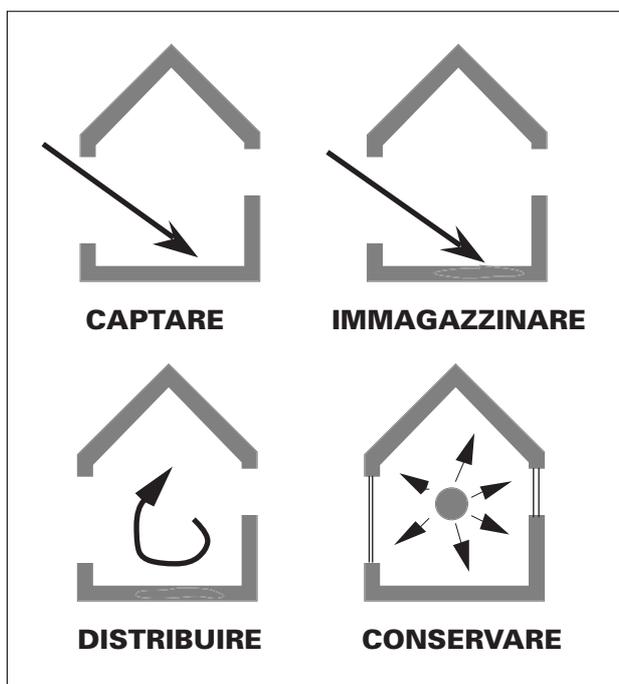


Illustrazione 5.0.2: periodo freddo: le 4 strategie di base [2].

5.1 Captare il sole

Base

L'apporto del sole avviene principalmente attraverso le superfici vetrate, siano esse finestre, muri-collettori o collettori solari.

L'energia solare intercettata da una superficie opaca isolata (muro, tetto) non penetra del tutto nell'edificio, ma viene per lo più ridiffusa verso l'esterno: questo apporto può essere ignorato d'inverno.

Quale unico elemento di captazione (facendo astrazione delle sue funzioni di apporto di luce e ventilazione naturale, vedi capitoli 5.6 e 5.8) la dimensione delle finestre deve corrispondere alla disponibilità di sole (luogo, orientamento, inclinazione) e al fabbisogno di calore (perdite dell'edificio: trasmissione e ricambio d'aria).

Solo uno studio del bilancio apporti/perdite permetterà di dimensionare in modo corretto una superficie di captazione. Negli apporti si integreranno gli apporti interni dovuti alla liberazione di calore degli apparecchi e delle persone (vedi capitolo 3, Analisi del programma).

Per edifici, o zone dell'edificio, con apporti interni importanti non è ragionevole prevedere superfici di captazione supplementari. Ci si atterrà al minimo necessario per l'illuminazione naturale.

Vedi anche

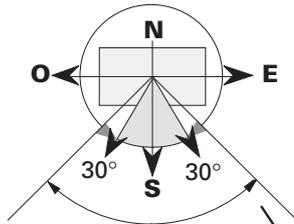
- Capitolo 2 Analisi del luogo
- Capitolo 5.2 Immagazzinare il calore
- Capitolo 5.3 Distribuire il calore
- Capitolo 5.4 Conservare il calore: la serra
- Capitolo 5.5 Minimizzare gli apporti solari
- Capitolo 5.8 Illuminazione naturale
- Allegato A4 Prestazioni

Regole

- Per permettere una captazione ottimale, il **luogo** deve essere libero da ostacoli vicini tra le 9 h e le 15 h d'inverno (da novembre a febbraio), o dagli azimut da $\pm 30^\circ$ a 45° sud.
- In facciata a sud, un **riflettore orizzontale** lungo da 1 a 2 volte l'altezza dell'elemento di captazione (finestra) aumenta l'irraggiamento invernale da 20% a 40%.
- La superficie di captazione (superficie vetrata) dovrebbe rappresentare il **20-30%** della superficie del pavimento per l'abitazione e per edificio amministrativo [1, 3, 5, 7, 12, 13, 14].
- Il **75% di questa superficie** dovrebbe trovarsi in orientamenti che vanno da sud-est a sud-ovest ($\pm 30^\circ$ sud).
- La preferenza dovrà sempre essere data ai sistemi di apporto diretto. Sono gli unici che mantengono buone prestazioni anche con poco irraggiamento.
- Se non è possibile lasciare **fluttuare la temperatura** interna per più di 4°C (ufficio, aula, camera d'albergo o ospedale, ecc.) bisogna superare il **15-20%** rispetto alla superficie del pavimento. Il 15-20% della captazione supplementare deve avvenire sotto forma di apporto indiretto.
- Se la superficie di captazione supera il 30% occorre:
 - **sfasare** gli apporti del giorno alla notte (vedi 5.2 Immagazzinare il calore);
 - **distribuire** l'energia captata ai locali lontani dalle facciate (vedi 5.3 Distribuire il calore).
- Se la captazione avviene esclusivamente attraverso un **apporto indiretto**, la superficie di captazione dovrebbe essere aumentata con un fattore 1.2 (+ 20%).
- Gli elementi di captazione con un **isolamento traslucido** devono avere le dimensioni standard delle finestre.
- Una **serra** verrà dimensionata allo stesso modo di un apporto diretto: la superficie di captazione sarà la superficie frontale della serra.
- Scegliere doppi **vetri** isolanti con uno strato IR (**$k \leq 1,5 \text{ W/m}^2, \text{ K}$**). Doppi vetri senza strato (**$k = 3 \text{ W/m}^2, \text{ K}$**) possono essere giustificati per locali poco o **non riscaldati** (spazio cuscinetto serra, veranda, chiusa, ecc.).

Situazione

Le superfici di captazione dovranno situarsi principalmente sull'arco soleggiato d'inverno. La sistemazione esterna sarà libera da ogni ostacolo nella zona di captazione ($\pm 45^\circ$ a est e a ovest dal sud).
Pagina 68



Orientamento - inclinazione

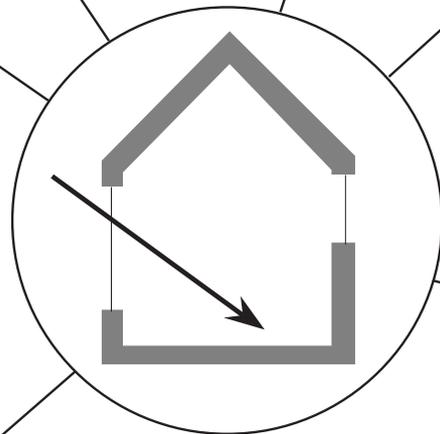
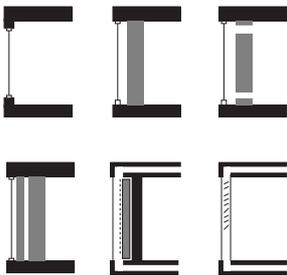
Privilegiare gli orientamenti verso sud e le posizioni verticali per la captazione. Si massimizza il sole che incide in inverno minimizzando i problemi di surriscaldamento in estate.
Pagine 68-70

Est Ovest Nord

Al di fuori dell'orientamento da sud-est a sud-ovest (sud $\pm 30^\circ$), le superfici di captazione non sono più efficienti: si posano finestre necessarie per la luce o la vista.
Capitolo 5.8

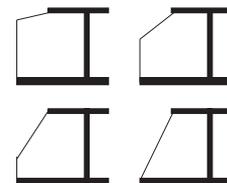
Tipi di elementi di captazione

Un elemento di captazione è quasi sempre una finestra classica. Esistono più varianti.
Pagina 70



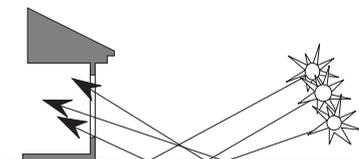
Serra

Anche una serra riscaldata o non è un elemento di captazione.
Pagina 73
(vedi anche capitolo 5.4)



Pavimento

Il trattamento della superficie della pavimentazione esterna davanti alle zone di captazione permette di aumentare l'irraggiamento attraverso la riflessione.
Pagina 68



Superficie di riferimento

La superficie del pavimento di riferimento è la superficie che può essere riscaldata con elementi di captazione: direttamente o indirettamente attraverso la distribuzione di calore.
Pagina 72



Situazione

Le superfici di captazione dovranno situarsi principalmente sull'arco soleggiato in inverno. La loro situazione integrerà l'effetto di mascheramento circostante e lontano che verrà evidenziato attraverso l'analisi del luogo.

La sistemazione esterna sarà libera da ogni ostacolo nella zona di captazione: $\pm 30^\circ$ a 45° a est e a ovest del sud.

Il trattamento della superficie della pavimentazione esterna davanti alle superfici di captazione permette di aumentare l'irraggiamento attraverso la riflessione (illustrazione 5.1.3).

Orientamento - inclinazione

Si cercherà sempre di privilegiare gli orientamenti verso sud e le posizioni verticali per gli elementi di captazione. Si massimizza così il sole che incide in inverno minimizzando i problemi di surriscaldamento in estate (illustrazione 5.1.4).

Le aperture sul tetto (illustrazione 5.1.5 e 6) dovrebbero possibilmente essere disposte in modo da evitare il sole orizzontale che in estate rappresenta la captazione massima. Si tenderà di privilegiare la captazione verticale sud. Per capannoni industriali, sale di ginnastica, atri, sistemi di aperture sul tetto orientati verso sud e equipaggiati con dispositivi non abbaglianti offrono prestazioni di captazione solare nettamente superiori rispetto ai sistemi aperti verso nord o ai lucernari, garantendo inoltre il benessere estivo.

Al di fuori degli orientamenti da sud-est a sud-ovest (sud $\pm 30^\circ$), le superfici di captazione non sono più efficienti: si parlerà di finestre necessarie per la luce (vedi 5.8 Illuminazione naturale) o di aperture per la vista ma non più di «elementi di captazione» solari.

| RIVESTIMENTO DEL SUOLO | ρ |
|---|----------------|
| Neve fresca | 0.70 ... 0.80 |
| Calcestruzzo grezzo | 0.30 ... 0.50 |
| Prato, erba | 0.10 ... 0.20 |
| Terra cotta | 0.20 ... 0.50 |
| Terra, sabbia | 0.15 ... 0.25 |
| Legno non trattato o tinteggiato | 0.05 ... 0.20 |
| Asfalto, rivestimenti, massiciata (macadam) | <0.10 ... 0.15 |
| Pietra | 0.15 ... 0.20 |
| Erba secca | 0.30 |
| Acqua, lago | .03 ... 0.10 |

Illustrazione 5.1.1: coefficienti di riflessione dell'irraggiamento solare globale per diversi rivestimenti del suolo esterno [1].

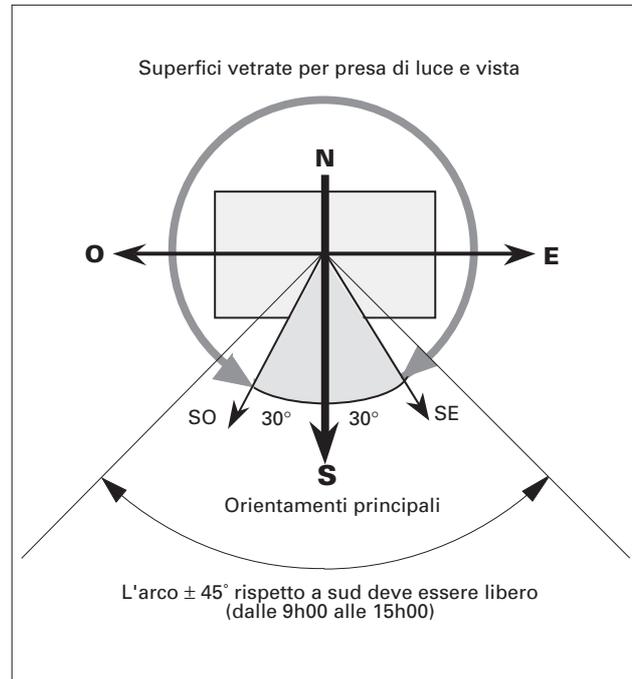


Illustrazione 5.1.2: orientamento privilegiato delle superfici di captazione [5].

Penalità per un orientamento che si allontana da sud di:

- $\pm 30^\circ \rightarrow -5\%$
- $\pm 40^\circ \rightarrow -10\%$
- $\pm 50^\circ \rightarrow -20\%$ (surriscaldamenti!)

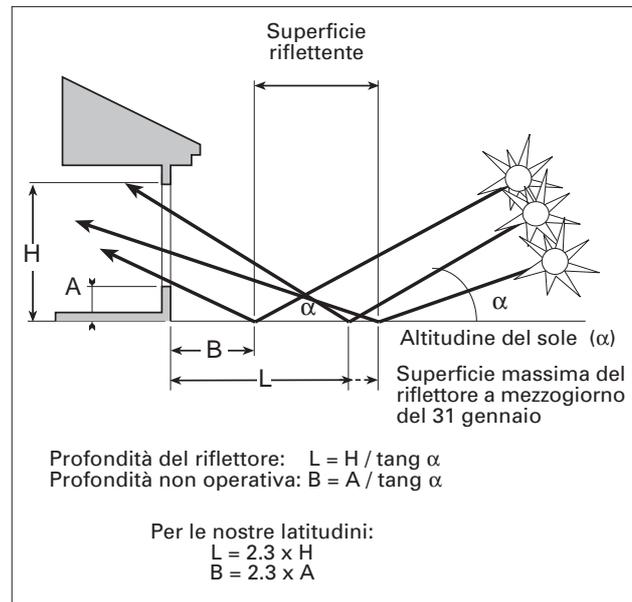


Illustrazione 5.1.3: una superficie del suolo «ad alta potenza di riflessione» davanti alle finestre (elementi di captazione) verticali illuminate dal sole invernale (sud) aumenta l'apporto solare [1].

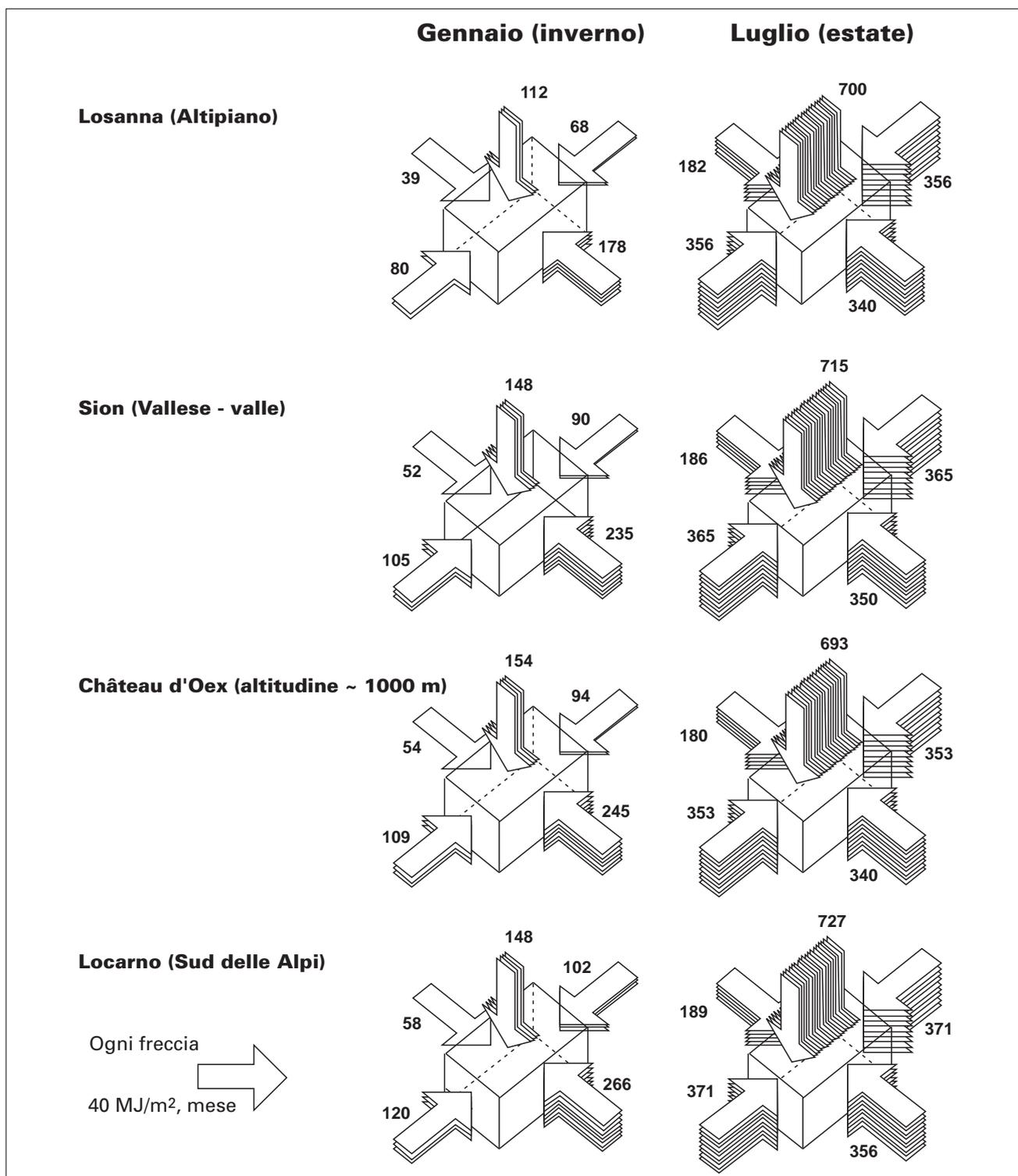


Illustrazione 5.1.4: irraggiamento solare incidente sui cinque lati di un cubo per quattro tipi rappresentativi di climi svizzeri per due mesi dell'anno. Ogni freccia rappresenta 40 MJ/m², mese. Le cifre sui diagrammi danno la somma mensile dell'irraggiamento incidente su ogni lato in MJ/m², mese [3, 4].

Si può osservare per tutte le stazioni il predominio del sole sulla facciata sud in inverno (più del doppio rispetto alle facciate est e ovest), l'equilibrio dell'irraggiamento delle facciate sud, est, ovest e, in estate, il predominio del sole sui piani orizzontali. In inverno, solo la facciata sud resta nettamente privilegiata. Il piano orizzontale (tetto) è abbastanza soleggiato in inverno (metà della facciata sud) ed è fortemente colpito in estate; questo provoca surriscaldamenti difficilmente controllabili.

La scelta dell'orientamento privilegiato per collettori-finestra non è condizionata dalla situazione climatica regionale (vedi punto 2, Analisi del luogo per influenze del microclima).

Tipo di captazione

Un elemento di captazione si riduce per lo più a una finestra classica. La scelta della qualità termica (coefficiente k) della finestra dovrebbe intervenire sulla base di un bilancio apporti/perdite di calore globale (finestre, muri, pavimenti, tetti, ecc.).

I sistemi con apporto indiretto hanno prestazioni (energia utile al metro quadro di superficie di captazione) meno efficienti dei sistemi con apporto diretto. Sono però gli unici sistemi che permettono un tasso di copertura solare che superi del 25-45% il fabbisogno energetico di riscaldamento. La loro complessità e il loro costo li rendono poco competitivi (illustrazione 5.1.7).

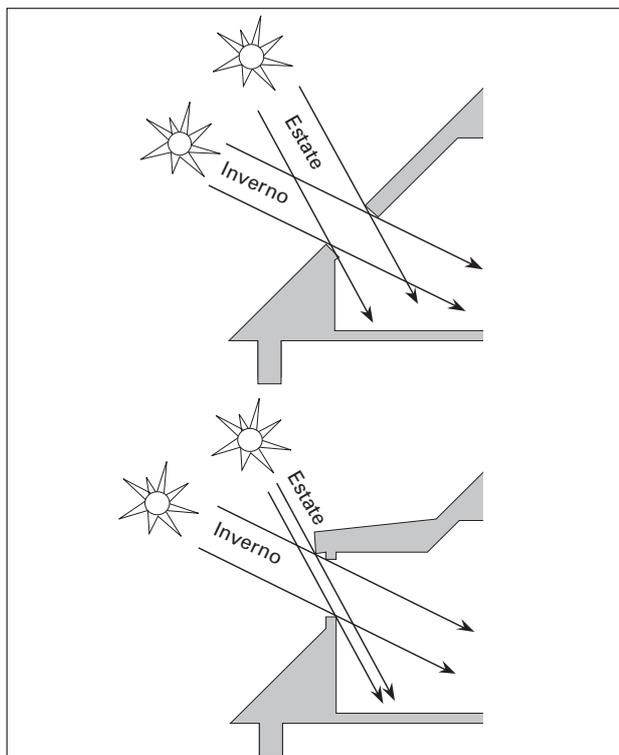


Illustrazione 5.1.5: captazione del sole dal tetto: una finestra inclinata offre la stessa penetrazione al sole in estate e in inverno. Ciò potrebbe provocare surriscaldamenti. Una finestra verticale orientata verso sud privilegia invece il sole in inverno [1].

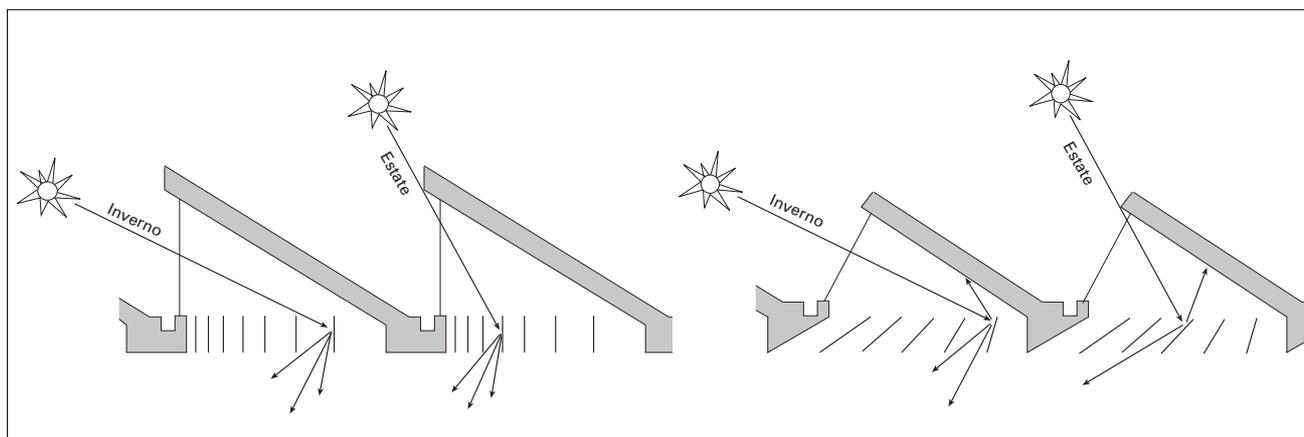


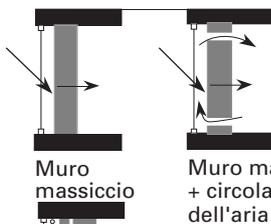
Illustrazione 5.1.6: la captazione di luce e sole dal tetto può abbinare efficienza energetica (captazione del sole in inverno) e benessere termico e visuale (protezione contro una penetrazione del sole verso il pavimento dell'atrio, uniformizzazione dell'illuminazione naturale). Sistemi di elementi del tetto aperti verso sud, e equipaggiati con lame verticali o inclinate, si prestano a questa funzione (vedi allegato A5.1 per il metodo di dimensionamento di questo tipo di shed) [6].



Finestra

Apporto diretto

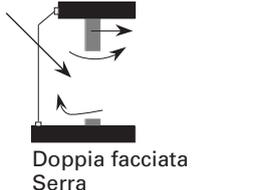
- Modo di captazione più semplice, sfasamento debole.
- Fluttuazione importante della temperatura interna giorno/notte.
- Immagazzinamento nell'involucro interno dei locali: costrizione.
- Prestazione elevata dovuta al fatto che ogni irraggiamento solare, anche debole, viene usato (non esiste irraggiamento della soglia).
- Basso costo.



Muro massiccio



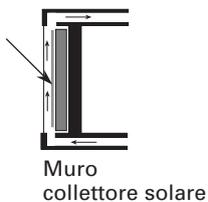
Muro massiccio + isolamento traslucido



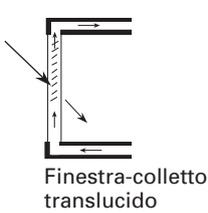
Doppia facciata Serra

Apporto indiretto

- Captare - stoccare: il calore è restituito ai locali adiacenti con uno sfasamento di alcune ore.
- Fluttuazioni della temperatura limitate nei locali adiacenti ma importanti nella zona di captazione.
- Prestazioni meno efficienti di quelle di un apporto diretto (fino a due volte).
- Sistemi spesso utilizzati come complemento a un apporto diretto per assicurare tassi di copertura solare superiori.
- Benessere maggiore dei locali adiacenti rispetto a un apporto diretto.
- Perdite di contatto diretto con l'esterno.



Muro collettore solare



Finestra-collettore traslucido

Elemento di captazione + anello convettivo

- L'elemento di captazione è posato in facciata o integrato nella finestra, una rete di tubazioni porta il calore captato verso un immagazzinamento da dove verrà distribuito nei locali. È l'aria che serve a veicolare il calore. Quest'aria viene messa in movimento da un ventilatore o, a volte, dalla termocircolazione naturale. Questi procedimenti si avvicinano ai sistemi solari attivi.
- L'elemento di captazione traslucido permette inoltre, con un irraggiamento debole, un apporto diretto alzando le lamelle.
- Prestazioni insufficienti, la captazione ad alta temperatura necessita un irraggiamento elevato della soglia.

- È difficile superare il 15-20% della superficie di captazione in rapporto alla superficie del pavimento senza generare surriscaldamenti estivi e invernali.
- Esposizione elevata all'irraggiamento solare dei mobili e oggetti (rischio di degrado dovuto ai raggi UV).
- Punto debole: perdite notturne dovute al vetro in contatto diretto con i locali riscaldati, in parte risolvibile con gli attuali vetri ad alta prestazione.
- Penetrazione del calore captato per una profondità da 6 a 10 m secondo il modo di distribuzione interno (superficie di passaggio, numero di piani).

- Costi nettamente più elevati di un apporto diretto. Sovraprezzo in parte compensato dalla serra (spazio supplementare a disposizione parzialmente riscaldato).
- Punto debole: la perdita di calore attraverso i vetri. Problema risolto con l'uso dell'isolamento termico traslucido per muri massicci, di un vetro con prestazioni elevate per le serre. In Svizzera i muri massicci, con o senza circolazione dell'aria, non offrono prestazioni sufficienti senza un dispositivo isolante supplementare.
- Profondità di penetrazione limitata del calore nei locali.

- Inoltre, l'elemento di captazione traslucido permette con un irraggiamento debole, un apporto diretto alzando le lamelle.
- Costi elevati.
- Distribuzione del calore per grandi profondità, l'alta temperatura della captazione permette di limitare la sezione delle tubazioni di distribuzione e la dimensione dell'immagazzinamento.
- Sistemi che permettono di raggiungere tassi di autonomia solari elevati, la gestione dell'energia solare captata è completamente controllata. Sono invece in concorrenza con sistemi solari attivi a acqua che sono spesso più flessibili e redditizi all'uso.

Illustrazione 5.1.7: elementi diversi di captazione: l'irraggiamento solare attraversa un materiale trasparente o traslucido (vetro, isolamento traslucido) e viene assorbito da una superficie scura (il pavimento e i muri del locale), una superficie di captazione specifica (lamiera, lamelle) o un elemento di captazione-immagazzinamento (muro). La differenza dei sistemi è legata più alla capacità di lasciare penetrare la luce e il calore che non alla prestazione [3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16].

Dimensionamento

Solo uno studio del bilancio apporti/perdite permetterà di ben dimensionare una superficie di captazione. Questo controllo può avvenire quando il concetto di base (captazione - immagazzinamento - distribuzione) è definito.

Le raccomandazioni si trovano nel paragrafo **Regole**. Il dimensionamento tiene conto dei locali realmente riscaldati dalle superfici di captazione messe in opera (illustrazione 5.1.9).

| Tipo di vetro | k W/m ² , K | g (%) | τ (α = 0°) (%) |
|---|---------------------------|-----------|----------------------|
| Semplice chiaro | 5.9 | 86 | 90 |
| Isolante doppio | 3.0 | 73 | 81 |
| Isolante triplo | 2.2 | 69 | 73 |
| Isolante doppio IR | 1.3 ... 1.6 | 65 | 78 |
| Isolante doppio + 2 strati selettivi IR | 0.6 ... 0.7 | 55 | 65 |
| Doppio + 2 strati selettivi IR (HIT) | 0.6 ... 0.7 | 20 ... 65 | 30 ... 60 |
| Isolante doppio antisolare | 2.0 ... 3.0 | 30 ... 60 | 25 - 50 |
| Vetro-cemento | 3.0 ... 3.5 | 60 | 55 |

Illustrazione 5.1.8: caratteristiche dei principali vetri in commercio [7].

k Coefficiente di trasmissione termica (solo vetro)

g Coefficiente di trasmissione energetica globale (sole)

τ Coefficiente di trasmissione luminosa

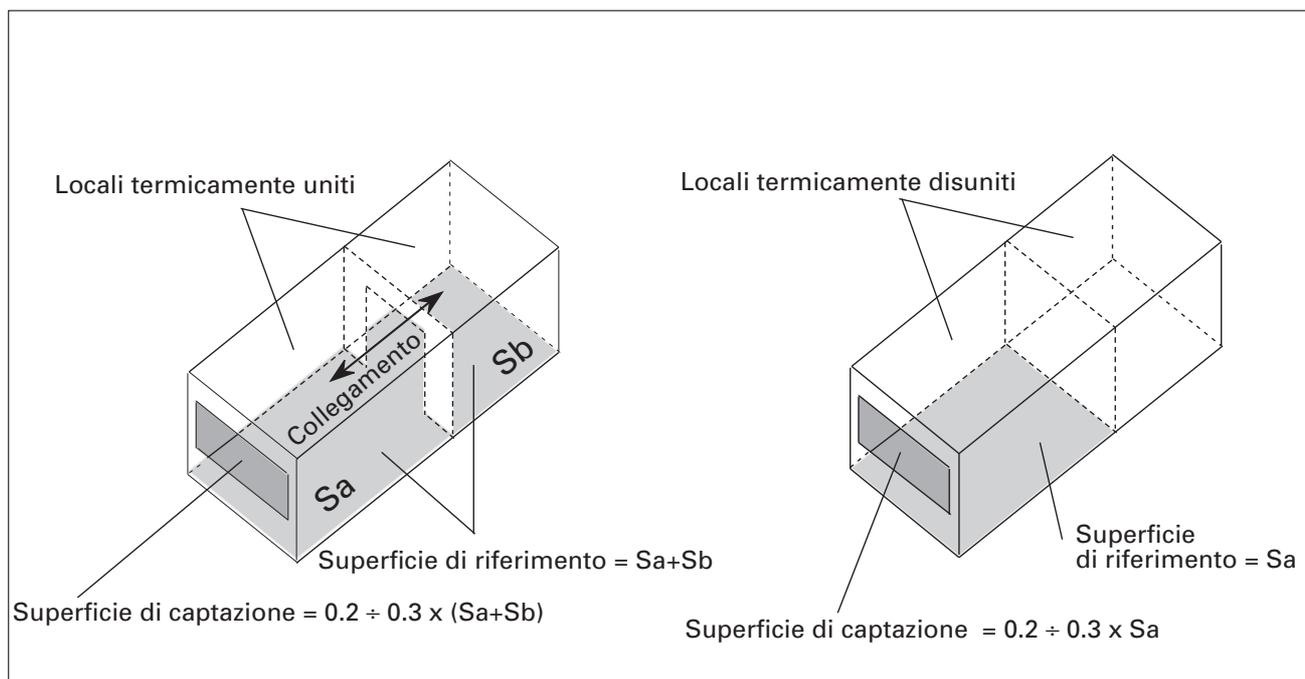


Illustrazione 5.1.9: la superficie del pavimento di riferimento è quella che può essere riscaldata dagli elementi di captazione: direttamente o indirettamente attraverso la distribuzione del calore. Il dimensionamento terrà conto dei locali realmente riscaldati dalle superfici di captazione messe in opera. Tutte le superfici di captazione supplementari devono essere collegate sia all'immagazzinamento che permette di sfasare gli apporti (vedi 5.2 Immagazzinare il calore), sia ad altri locali non riscaldati direttamente dal sole (vedi 5.3 Distribuire il calore). In caso contrario queste superfici di captazione supplementari non saranno usate direttamente e porteranno a surriscaldamenti (apporti solari in eccesso).

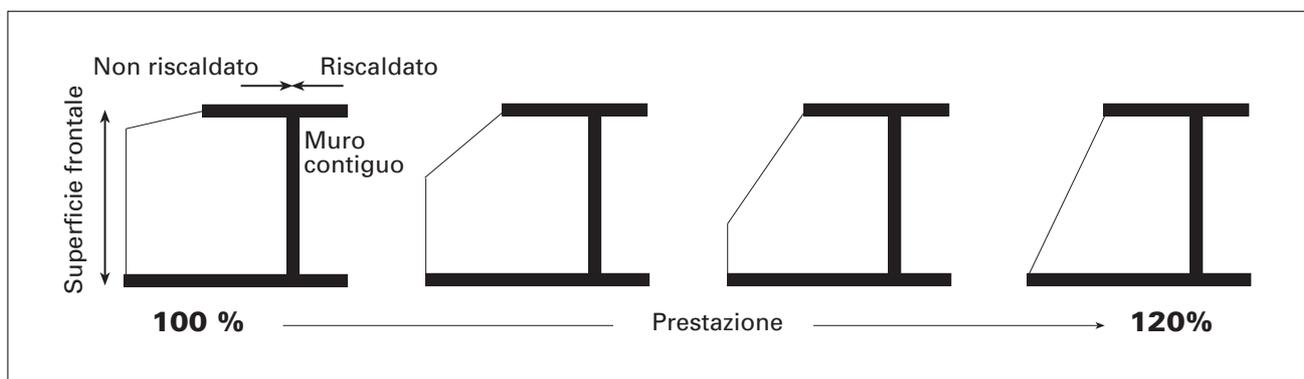


Illustrazione 5.1.10: con una superficie frontale equivalente a una serra aggiunta a sud di un edificio con una muratura contigua, le prestazioni variano del 20% al momento della variazione dell'angolo di inclinazione della facciata (pareti laterali della serra non isolate e non vetrate). Più l'inclinazione della facciata si avvicina a quella verticale, meno problemi sussistono in estate dovuti al surriscaldamento [5].

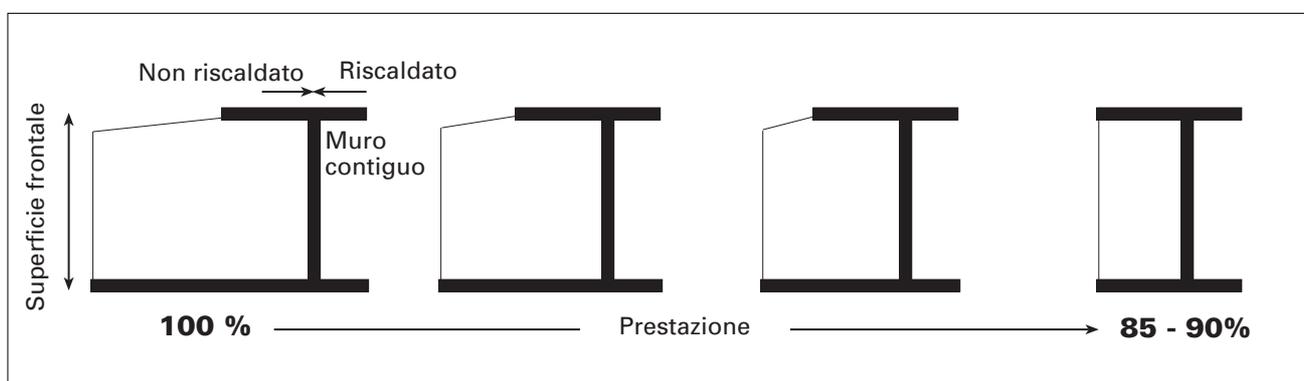


Illustrazione 5.1.11: con una superficie frontale equivalente a una serra aggiunta a sud di un edificio con una muratura contigua, le prestazioni variano dal 10 al 15% in funzione della grandezza e dell'angolo della parte vetrata del tetto della serra. La captazione verticale predomina nettamente. Più l'inclinazione della facciata si avvicina a quella verticale, meno problemi sussistono in estate dovuti al surriscaldamento [5].

5.2 Immagazzinare il calore

Base

Secondo il metodo di combinazione tra elemento di captazione solare e spazio da riscaldare si distinguono soprattutto due tipi di sistemi.

- **L'apporto diretto:** la captazione è direttamente legata allo spazio da riscaldare e che immagazzina il calore in eccesso. L'immagazzinamento avviene principalmente attraverso le pareti e le solette che costituiscono l'involucro del locale. Anche se una parte dell'irraggiamento captato riscalda direttamente l'immagazzinamento (ad esempio il pavimento) si parla di apporto diretto.
- **L'apporto indiretto:** la captazione è legata indirettamente allo spazio, l'energia captata transita attraverso l'immagazzinamento.

La scelta tra i due sistemi si effettua con criteri di «benessere», di **prestazione** e **tasso di copertura** dei fabbisogni attraverso il sole.

- Un apporto diretto subisce delle variazioni di temperatura più elevate rispetto a un apporto indiretto, per il fatto che l'occupante «abita nell'elemento di captazione e cammina sull'immagazzinamento».
- Un apporto diretto è più efficiente di un apporto indiretto: con la stessa superficie di captazione, un apporto diretto copre una parte più importante dei fabbisogni di calore. La maggior parte delle superfici di captazione di un apporto diretto servono anche da finestra (luce, ventilazione, contatto visuale) e quindi il loro costo non può essere addebitato unicamente al sistema solare.
- Con un apporto diretto non è possibile superare il 40% del tasso di copertura dei fabbisogni di calore, senza comportare un surriscaldamento difficilmente controllabile in tutte le stagioni.

Si trovano tutte le combinazioni possibili dei due sistemi.

Vedi anche

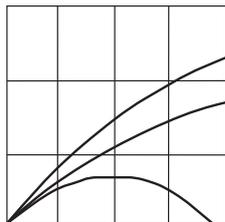
- Capitolo 5.1 Captare il sole
- Capitolo 5.3 Distribuire il calore
- Allegato A4 Prestazioni

Regole

- **L'immagazzinamento** è caratterizzato dalla sua **superficie di scambio** e la **massa totale**.
- Sotto il **10 - 15%** della superficie di captazione relativa (superficie di captazione riportata alla superficie del pavimento) **nessun immagazzinamento particolare è necessario** [14].
- Per un sistema di **apporto diretto**, il rapporto superficie di immagazzinamento - superficie vetrata dovrebbe essere almeno di 3 per il calcestruzzo. Questo rapporto dovrebbe essere portato a **4 per il mattone silico-calcare** e a **6 per il mattone di terracotta**. La superficie di immagazzinamento è la parte del muro, del pavimento o del soffitto in contatto diretto con la zona di captazione (il locale stesso per un apporto diretto, la vetrata o la serra per un apporto indiretto) [3, 5, 7].
- Per un sistema di **apporto indiretto** (muro, serra) si ammette normalmente che la superficie di immagazzinamento è **equivalente alla superficie di captazione** (ad esempio, la superficie frontale della serra) [5].
- Per un sistema di **apporto diretto**, se lo spessore supera i **10 - 15 cm** a seconda del materiale (calcestruzzo, terracotta), lo **spessore** non influisce più sulle prestazioni [5].
- Per un sistema di **apporto indiretto**, lo **spessore dovrebbe diventare, per il calcestruzzo di 25 cm, per i mattoni di terracotta o silico-calcare di 20 cm**. Il muro-collettore deve sfasare la variazione di calore dalla zona di captazione verso gli spazi da riscaldare (7).
- In una **serra il muro interfaccia** tra serra e locale riscaldato dovrebbe essere **massiccio** (10 - 20 cm). Verrà **isolato** secondo il tipo di **clima** e di vetro della **serra** (vedi illustrazione 5.4.10) [12].
- In un sistema di **apporto diretto**, il coefficiente di **assorbimento delle superfici pesanti** dovrebbe essere il più elevato possibile (colori scuri), quello degli elementi leggeri (tappeti, pareti divisorie leggere, mobili,...) il più basso possibile (colori chiari). Un coefficiente di assorbimento elevato è superiore allo **0,6** (colore del calcestruzzo grezzo) [3].
- In un sistema di **apporto diretto**, la **distribuzione delle masse** in uno spazio non è importante: le masse possono trovarsi a pavimento, a soffitto o nel muro [5].

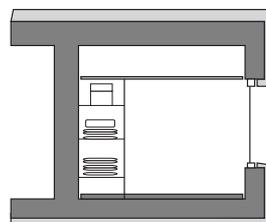
Massa / Collettore

L'immagazzinamento e la captazione sono strettamente legati.
Pagina 78 - 79



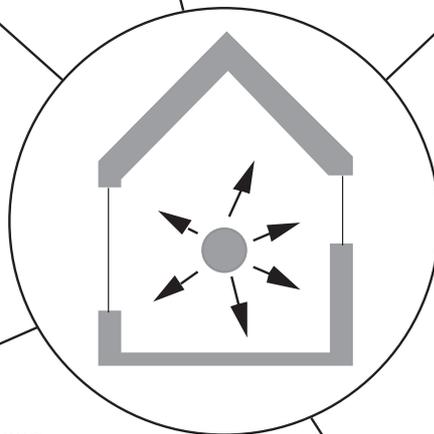
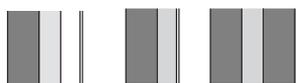
Isolamento della massa

La massa deve essere in contatto con il collettore o l'aria.
Pagina 77



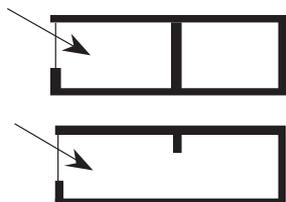
Massa

La superficie conta quanto lo spessore della massa.
Pagina 76



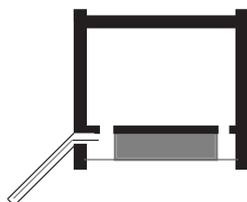
Immagazzinamento annesso

La massa dei locali annessi può partecipare all'immagazzinamento.
Pagina 78



Immagazzinamento dissociato

Due immagazzinamenti dissociati dalla struttura permettono sfasamenti più lunghi.
Pagina 79



Contemplare le masse

Chi partecipa all'immagazzinamento in un locale?

Nel paragrafo **Regole** sono definiti i coefficienti di assorbimento delle superfici di immagazzinamento, il loro spessore e la loro superficie.

La massa che partecipa all'immagazzinamento deve trovarsi all'interno dell'involucro isolato del locale; la distribuzione delle masse invece non ha molta importanza.

La superficie di immagazzinamento deve essere libera: tutti i rivestimenti poco conduttivi come tappeti, pavimenti di legno, controsoffitti attenuano o addirittura azzerano l'efficienza di queste masse. Per i controsoffitti acustici esistono soluzioni per mantenere una combinazione convettiva tra superficie di immagazzinamento e ambiente (illustrazione 5.2.4 - 5.2.6).

| RIVESTIMENTO | α |
|---------------------------------|----------|
| Pittura colore nero | 0.92 |
| Pittura colore grigio scuro | 0.91 |
| Pittura colore blu scuro | 0.91 |
| Pittura colore marrone scuro | 0.88 |
| Grigio argentato | 0.80 |
| Pittura colore grigio o marrone | 0.79 |
| Pittura colore grigio chiaro | 0.75 |
| Mattone rosso | 0.70 |
| Calcestruzzo grezzo | 0.65 |
| Pittura colore arancione | 0.58 |
| Pittura colore giallo | 0.57 |
| Pittura colore verde chiaro | 0.47 |
| Bianco sporco | 0.30 |
| Pittura colore bianco | 0.21 |

Illustrazione 5.2.2: assorbimento solare di materiali diversi: un coefficiente superiore allo 0,6 viene considerato elevato [1].

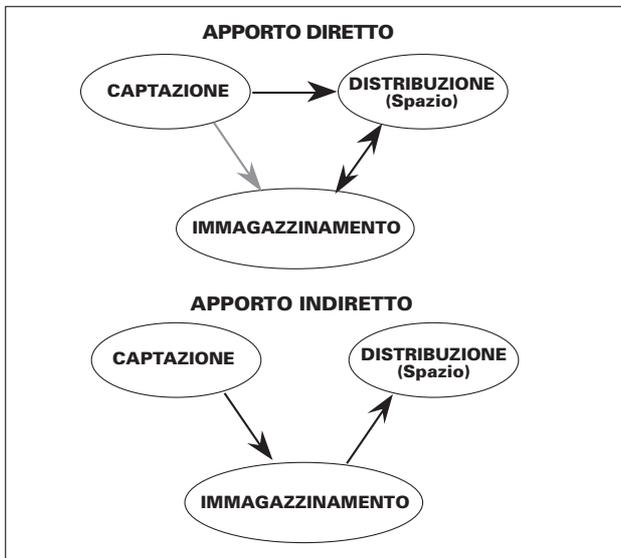


Illustrazione 5.2.1: classificazione di sistemi solari passivi in apporto diretto, collegamento diretto tra elemento collettore e spazio e apporto indiretto, collegamento indiretto tra elemento collettore e spazio; l'energia transita attraverso l'immagazzinamento.

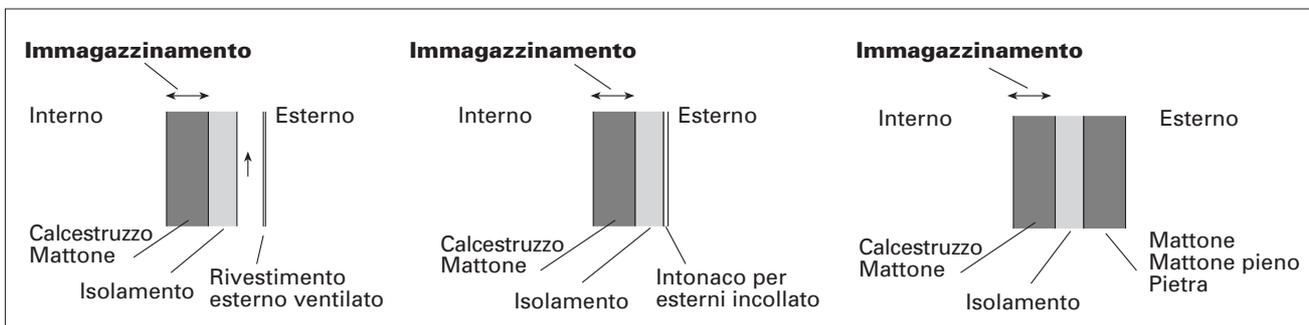


Illustrazione 5.2.3: tutti gli elementi pesanti e inerti situati all'esterno del rivestimento isolante non partecipano all'immagazzinamento del calore captato. Questi tre muri, con materiale e spessore identico all'interno dell'involucro isolato, offrono un immagazzinamento equivalente.

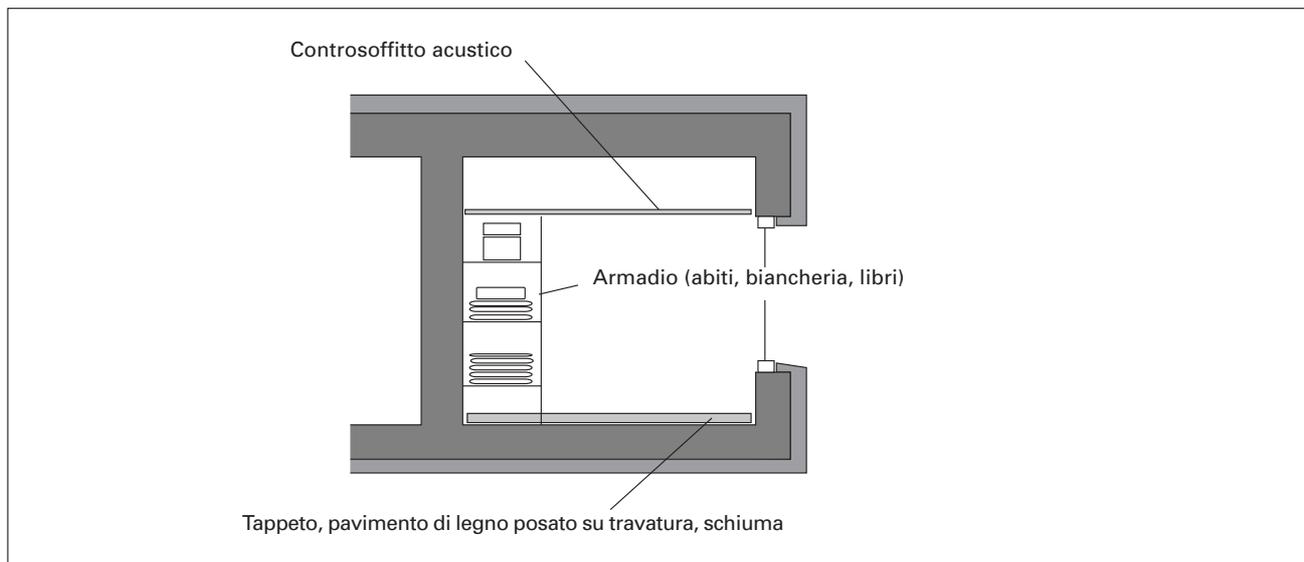


Illustrazione 5.2.4: per partecipare all'immagazzinamento, la massa deve essere in contatto con il collettore o l'espeditore dell'immagazzinamento (l'aria). Tutti i rivestimenti isolano la massa dal flusso di energia e le impediscono di partecipare pienamente.

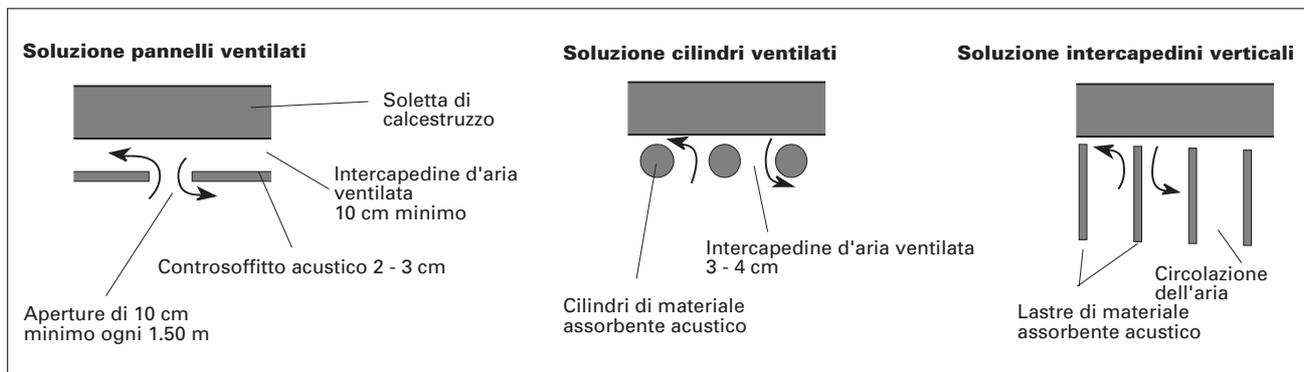


Illustrazione 5.2.5: combinazione convettiva tra soffitto (soletta) e ambiente risolvendo i problemi acustici.

Resistenza alla trasmissione termica del rivestimento ($R = m^2, K / W$)

| RIVESTIMENTO DEL PAVIMENTO | $R = s / \lambda$ $m^2, K / W$ | Spessore mm |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Mosaici di ceramica | 0.005 | 5 |
| PVC | 0.009 | 2 |
| Piastrelle di ceramica | 0.010 | 10 |
| Clinker | 0.019 | 20 |
| Betoncino | 0.022 | 30 |
| Calcestruzzo | 0.027 | 40 |
| Feltro | 0.043 | 5 |
| Asfalto colato | 0.043 | 30 |
| Marmo | 0.086 | 20 |
| Sughero | 0.157 | 10 |
| Pavimento di legno (pino) incollato | 0.170 | 24 |

| $R = < 0.05$ | $R = 0.05 - 0.09$ | $R = > 0.09$ |
|---|--|--|
| Materiale senza rivestimento: tutta la superficie partecipa all'immagazzinamento | Rivestimento poco conduttivo: la metà della superficie partecipa all'immagazzinamento | Rivestimento isolante: la superficie non partecipa all'immagazzinamento |

Illustrazione 5.2.6: considerare le superfici di immagazzinamento in funzione della resistenza alla trasmissione termica del loro rivestimento (vedi tabella) [15].

Dimensionamento

Diversi parametri determinano il dimensionamento di un immagazzinamento: la superficie di immagazzinamento rapportata alla superficie di captazione, lo spessore della parete, le caratteristiche termiche del materiale. La maggior parte di queste regole sono state elencate nel paragrafo **Regole**.

L'immagazzinamento si limita abitualmente allo sfasamento giorno-notte, cioè 12 ore di immagazzinamento e 12 ore di liberazione dell'immagazzinamento. Durate più importanti di immagazzinamento sono raramente utili nei nostri climi. Sono possibili solo con immagazzinamenti dissociati (ciottoli, acqua).

Le seguenti regole dovrebbero essere rispettate:

- la combinazione tra superfici diverse di immagazzinamento di uno stesso locale può essere

radiativa o convettiva. Si possono combinare le superfici di immagazzinamento con un altro locale per migliorare le prestazioni di un sistema: questa combinazione può solo essere convettiva. Le superfici di immagazzinamento del locale adiacente potranno partecipare solo minimamente all'immagazzinamento dell'energia captata nel primo locale: si ammette generalmente che questo immagazzinamento ausiliario rappresenti un terzo dell'efficienza del precedente (illustrazione 5.2.7);

- uno dei metodi per usare meglio la capacità di immagazzinamento di un locale consiste nell'aumentare le variazioni della temperatura tra giorno e notte: riduzione notturna del riscaldamento, accettazione di temperature più elevate di giorno. Queste variazioni accentuate non sono sempre compatibili con l'uso degli spazi.

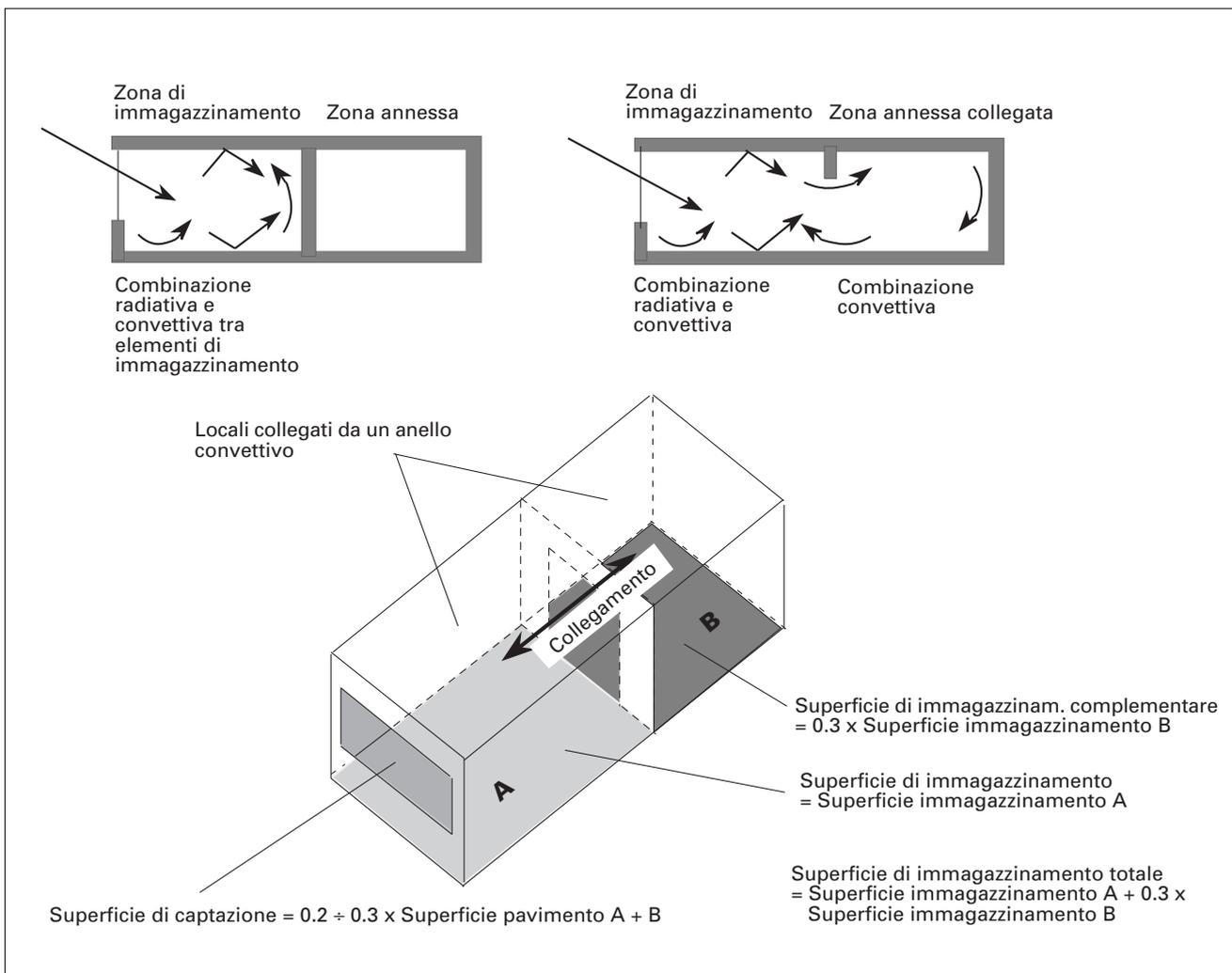


Illustrazione 5.2.7: combinazione tra superfici di immagazzinamento di una zona di captazione e superficie di immagazzinamento di una zona annessa (dimensionamento dello scambio tra i locali: vedi 5.3 Distribuire il calore).

Tipo di immagazzinamento

Di solito si usa la **struttura stessa dell'edificio** (solette, muri) per immagazzinare il calore solare captato. Il modo di costruire svizzero (solette in calcestruzzo, muri pesanti) non necessita una massa supplementare per immagazzinare il calore.

Solo alcune costruzioni (costruzioni in legno, strutture leggere con pareti divisorie flessibili) non mettono a disposizione dell'immagazzinamento una massa sufficiente: edifici amministrativi con pavimento tecnico e controsoffitto. In questi casi per limitare l'energia da immagazzinare occorre sia trovare un immagazzinamento supplementare dissociato dalla struttura, sia diminuire gli apporti solari e interni. Senza un immagazzinamento sufficiente potrebbero porsi problemi durante il periodo caldo (vedi 5.5 - 5.7).

Nei sistemi di apporto indiretto si utilizzano a volte **immagazzinamenti dissociati dalla struttura dei locali**: letto di ciottoli, bacino d'acqua, solette a pignatte. Il vantaggio è che questo immagazzinamento si trova nel cuore dell'edificio. Questi sistemi si avvicinano di più a sistemi solari attivi con collettori solari in facciata, un immagazzinamento separato e dei ventilatori per il trasferimento dell'aria. Per il loro dimensionamento ci si riferisce alle stesse tecniche dei sistemi attivi. Malgrado una maggiore sofisticazione, questi sistemi non offrono prestazioni superiori a quelli di un apporto diretto con immagazzinamento nella massa dei muri e delle solette.

In cambio, permettono una migliore gestione dell'energia accumulata. Il loro costo elevato e il metodo di sfruttamento complicato li rendono poco attrattivi.

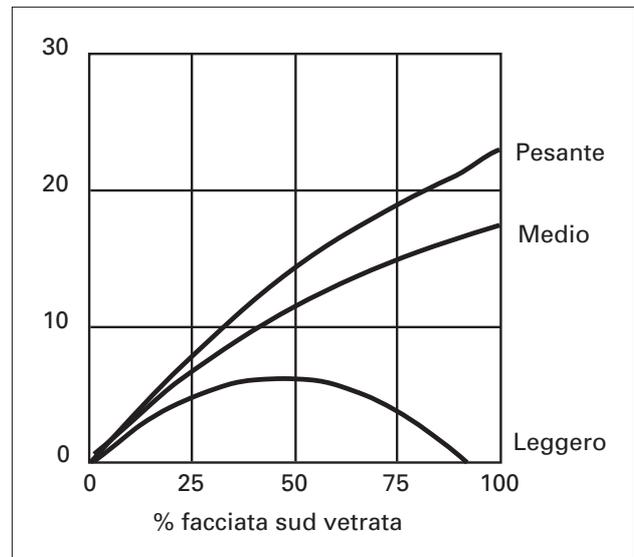


Illustrazione 5.2.8: interdipendenza tra superficie di captazione, immagazzinamento e prestazione per un sistema di apporto diretto. La superficie di captazione (vetrata sud) è legata alla grandezza dell'immagazzinamento. Le prestazioni sono limitate dall'immagazzinamento e dalla superficie di captazione [5].

Edificio ben isolato ($k_{medio} = 0.35 - 0.5 \text{ W/m}^2, \text{ K}$).

Leggero: costruzione in legno: struttura, pavimento, pareti.

Medio: come leggero con pavimento o muri in calcestruzzo (spessore 5 cm)
superficie di immagazzinamento calcestruzzo = 3 x superficie di captazione.

Pesante: come leggero, con pavimento o muri in calcestruzzo (spessore 10 cm)
superficie di immagazzinamento calcestruzzo = 3 x superficie di captazione.

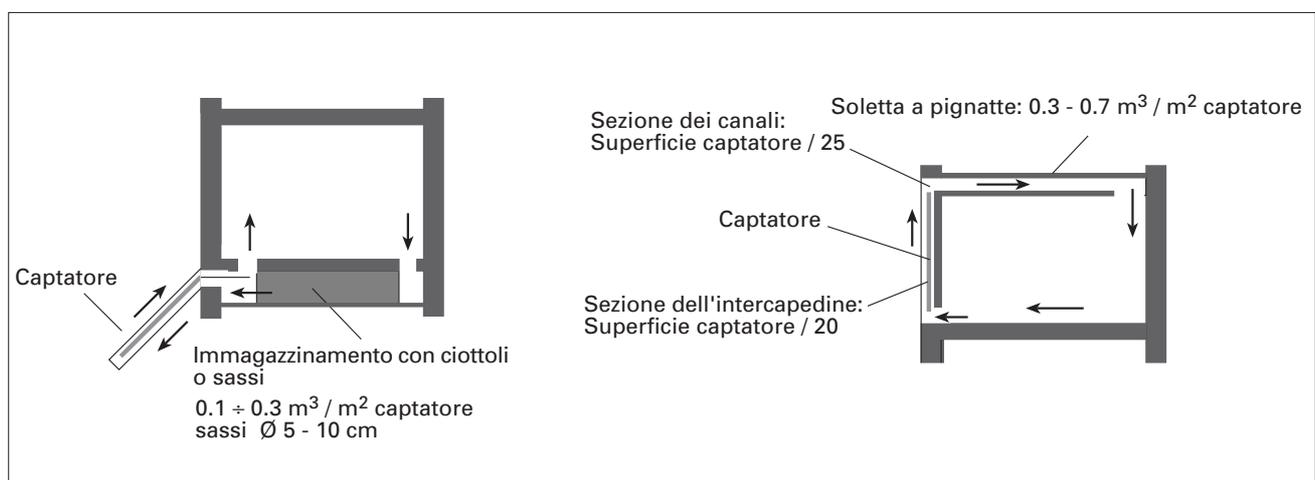


Illustrazione 5.2.9: immagazzinamento con letto di ciottoli o soletta a pignatte con collettori ad aria in facciata. Dimensionamento di base [4, 7, 13, 17].

5.3 Distribuire il calore

Base

Idealmente, un edificio solare passivo dovrebbe distribuire il calore direttamente alle zone dove viene usato senza bisogno di un sistema di distribuzione. Questo non è sempre possibile: in una zona nord dell'edificio il calore dovrà essere trasportato.

La distribuzione di calore necessita uno spostamento nello spazio (distribuzione) e nel tempo (sfasamento).

Regole

- In un **sistema di apporto diretto autonomo** (lo spazio captatore-immagazzinatore riscalda solo se stesso) la distribuzione del calore avviene con lo **stesso principio della captazione-immagazzinamento**. Il rispetto delle regole definite precedentemente (vedi 5.1 e 5.2) è sufficiente per assicurare una buona distribuzione del calore.
- In un **sistema di apporto diretto eccedente** (lo spazio captatore-immagazzinatore riscalda altri locali che non hanno accesso diretto al sole), se la distribuzione del calore avviene con uno scambio convettivo naturale (movimento dell'aria) la sezione del passaggio tra spazio primario (riscaldato direttamente) e spazio secondario (riscaldato dal primo) rappresenta circa il 10% della superficie di captazione aggiunta (vedi illustrazione 5.3.2).
- Per un **sistema di apporto indiretto** (muro o serra), il muro interfaccia con lo spazio da riscaldare dovrebbe avere delle aperture **dal 3 al 10%** della sua superficie (differenza in altezza tra entrata e uscita $\Delta h = 2$ m). Si applicano le regole di proporzionalità [5].
- Le **sezioni calcolate** per il trasferimento convettivo devono essere rispettate per **tutto il tragitto dell'aria** (andata e ritorno). Ogni ostruzione diminuisce fortemente la portata d'aria. Nei sistemi a convezione naturale, le porte, i corridoi, i vani scala, i locali servono a condurre quest'aria.
- È possibile **valutare l'interesse di una distribuzione di calore da una zona di captazione all'altra** utilizzando un programma di calcolo di bilancio (vedi allegato A4): in un primo tempo si calcola separatamente il bilancio delle due zone (nessun trasferimento tra zone), in un secondo tempo si raggruppano le due zone in un solo calcolo (trasferimento perfetto tra due zone). La differenza dei due bilanci (somma dei bilanci delle due zone o bilancio di una zona che raggruppa le due) è la differenza massima di un trasferimento. In realtà, l'apporto sarà più debole perché il trasferimento necessita un leggero surriscaldamento di una zona rispetto all'altra.

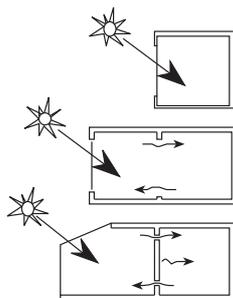
Vedi anche

- Capitolo 5.1 Captare il sole
- Capitolo 5.2 Immagazzinare il calore
- Allegato A5.4 Effetto camino
- Allegato A4 Prestazioni

Anello convettivo

La distribuzione del calore captato richiama gli scambi tra irraggiamento o convezione.

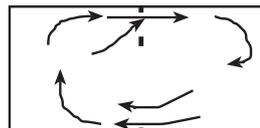
Pagine 82 - 83



Porta

Un'apertura alta migliora il trasferimento attraverso una porta.

Pagina 84



Captatore dissociato

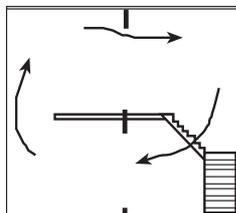
Le temperature più elevate raggiunte da un captatore dissociato facilitano il trasferimento di calore.

Pagina 84

Altezza

Raddoppiare l'altezza in un anello convettivo migliora il trasferimento del calore del 40%.

Pagine 82 - 85



Dimensionamento

In un sistema di apporto diretto dove la captazione, l'immagazzinamento e la distribuzione sono situati nello stesso spazio, la distribuzione del calore si effettua principalmente tramite convezione naturale e irraggiamento infrarosso. Le regole da applicare all'immagazzinamento (superficie, materiale, rivestimento) sono le stesse della distribuzione. Per non ridurre lo scambio radiativo occorre evitare rivestimenti metallici per elementi di immagazzinamento (pittura metallica o fogli di metallo non trattato). Un metallo trattato non è considerato rivestimento metallico (vedi 5.5 illustrazione 5.5.8).

In un sistema di apporto diretto (captatore abitato) il dimensionamento delle superfici di trasferimento per spazi secondari può avvenire secondo la regola definita nell'illustrazione 5.3.2. Per altezze, temperature o rapporti di superficie diversi, si applicano le regole di proporzionalità definite sotto.

Anelli convettivi: regole di proporzionalità

Il trasferimento di calore tramite anello convettivo tra due zone obbedisce alle seguenti regole di proporzionalità (vedi allegato A5.4):

- la portata è direttamente proporzionale alla superficie delle aperture;
- l'efficienza massima è ottenuta da superfici equivalenti di aperture. Se si aumenta la superficie di un'apertura senza cambiare l'altra, si aumenta la portata dei fattori seguenti (vedi illustrazione 5.3.1):

| rapporto entrata/uscita | rapporto uscita/entrata | aumento della portata totale % | rif. |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|------|
| 1 : 1 | 1 : 1 | 0 | |
| 1 : 1.5 | 1.5 : 1 | 17 | |
| 1 : 2 | 2 : 1 | 26 | |
| 1 : 3 | 3 : 1 | 34 | |
| 1 : 4 | 4 : 1 | 37 | |
| 1 : 6 | 6 : 1 | 38 | |

- la portata è proporzionale alla radice quadrata della differenza dell'altezza. Un raddoppio dell'altezza aumenta del 40% la portata;
- la portata è proporzionale alla radice quadrata della differenza della temperatura tra zona calda e fredda. Un raddoppio della differenza di temperatura tra zone aumenta la portata del 40% e del 180% il trasferimento di calore, perché il calore trasferito è direttamente proporzionale al prodotto della portata e della differenza di temperatura.

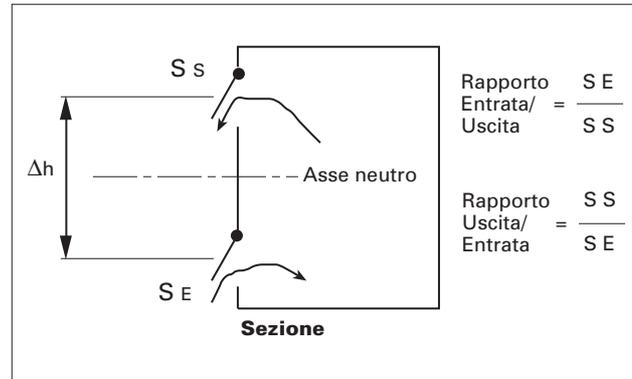


Illustrazione 5.3.1: dimensionamento di apertura che serve a distribuire il calore da uno spazio di captazione verso uno spazio secondario.

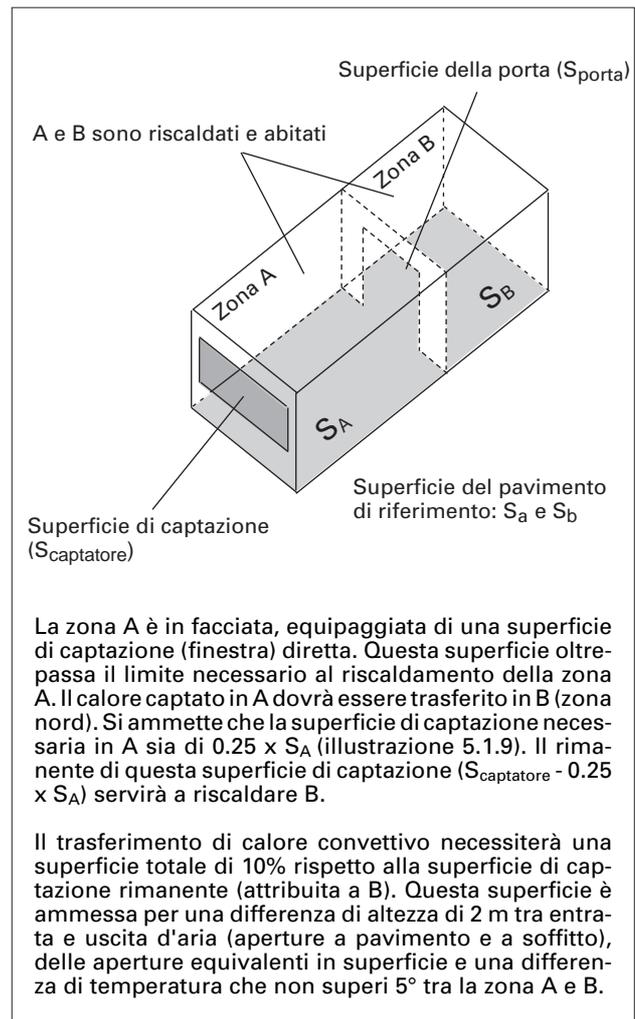


Illustrazione 5.3.2: dimensionamento di un'apertura che serve a distribuire il calore da uno spazio di captazione verso uno spazio secondario.

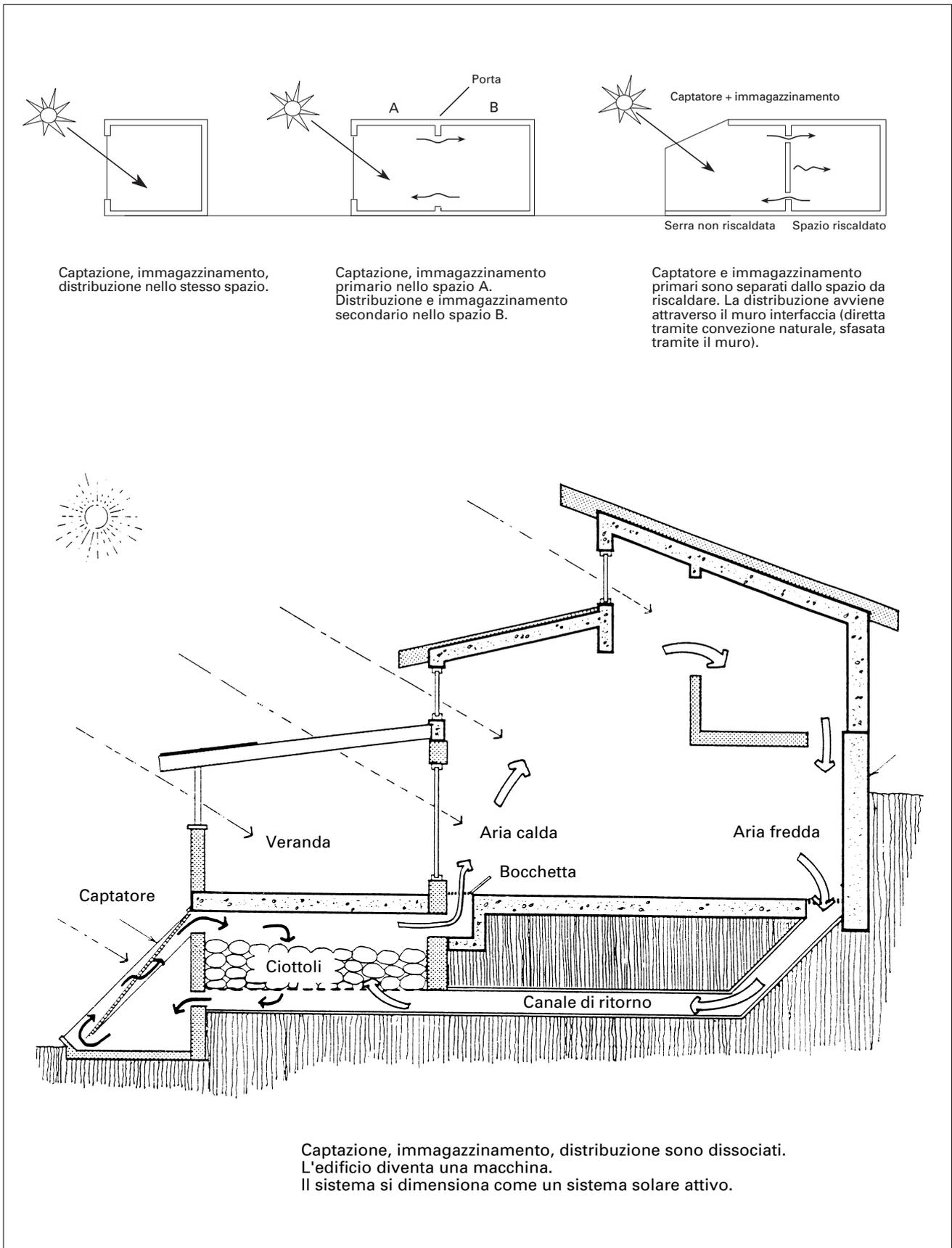


Illustrazione 5.3.3: diversi modi di distribuzione del calore [12].

Perfezionare il trasferimento

Quando il trasferimento dell'aria si effettua attraverso una sola porta, la parte bassa della porta farà circolare l'aria in un senso e la parte alta nel senso opposto. Si ammette generalmente che la porta possa essere divisa in due parti uguali ognuna con una apertura bassa e una alta. La differenza dell'altezza di riferimento è la mezza altezza della porta (distanza tra gli assi delle due aperture).

In realtà si può osservare una contrazione del flusso d'aria nella parte alta che ha come conseguenza una circolazione dell'aria più lenta nella parte bassa. Ci sono effetti positivi: la corrente d'aria risentita dalle persone è più debole; il trasferimento è meno efficiente, le due aperture non avendo la stessa dimensione (vedi illustrazione 5.3.4).

La sistemazione di un'apertura nella parte alta delle porte migliora sensibilmente il trasferimento (vedi illustrazione 5.3.5).

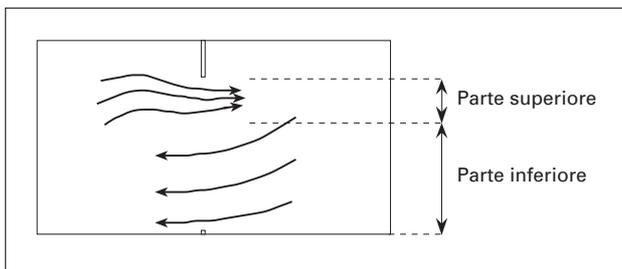


Illustrazione 5.3.4: apertura unica tra due locali (porta). Il trasferimento d'aria dalla zona calda alla zona fredda avviene in modo veloce essenzialmente attraverso la parte superiore dell'apertura. Il ritorno dell'aria fredda verso la zona calda avviene in modo lento attraverso tutta la apertura [4].

Infine, se si utilizzano più principi di base per migliorare il trasferimento del calore, si può ottenere un'efficienza elevata e si possono anche progettare edifici molto profondi con un'utilizzazione generalizzata di energia solare passiva (vedi illustrazione 5.3.6).

Immagazzinamenti dissociati

Nei sistemi dissociati (immagazzinamento nel letto di ciottoli o solette a pignatte, collettori ad aria), i canali di distribuzione dell'aria devono essere isolati se attraversano zone non riscaldate. La distribuzione del calore immagazzinato in un letto di ghiaia avviene tramite convezione forzata (ventilatore) o trasmissione attraverso la soletta di copertura o i muri (convezione naturale e irraggiamento). Il modo di distribuzione influisce molto poco sulle prestazioni per questo tipo di sistema [17].

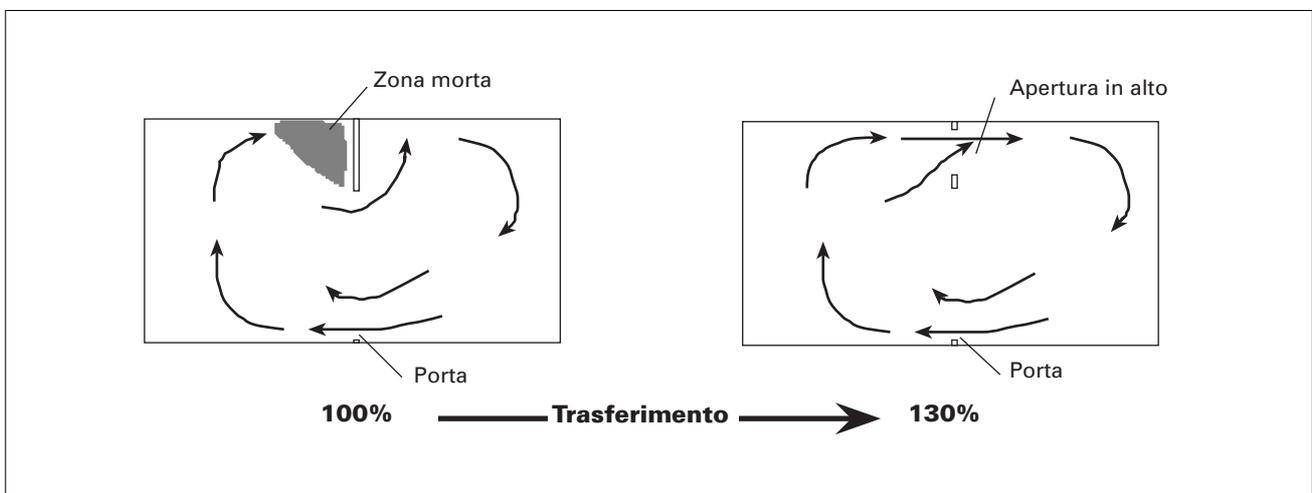


Illustrazione 5.3.5: miglioramento del trasferimento del calore tra due zone attraverso un'apertura alta [4].

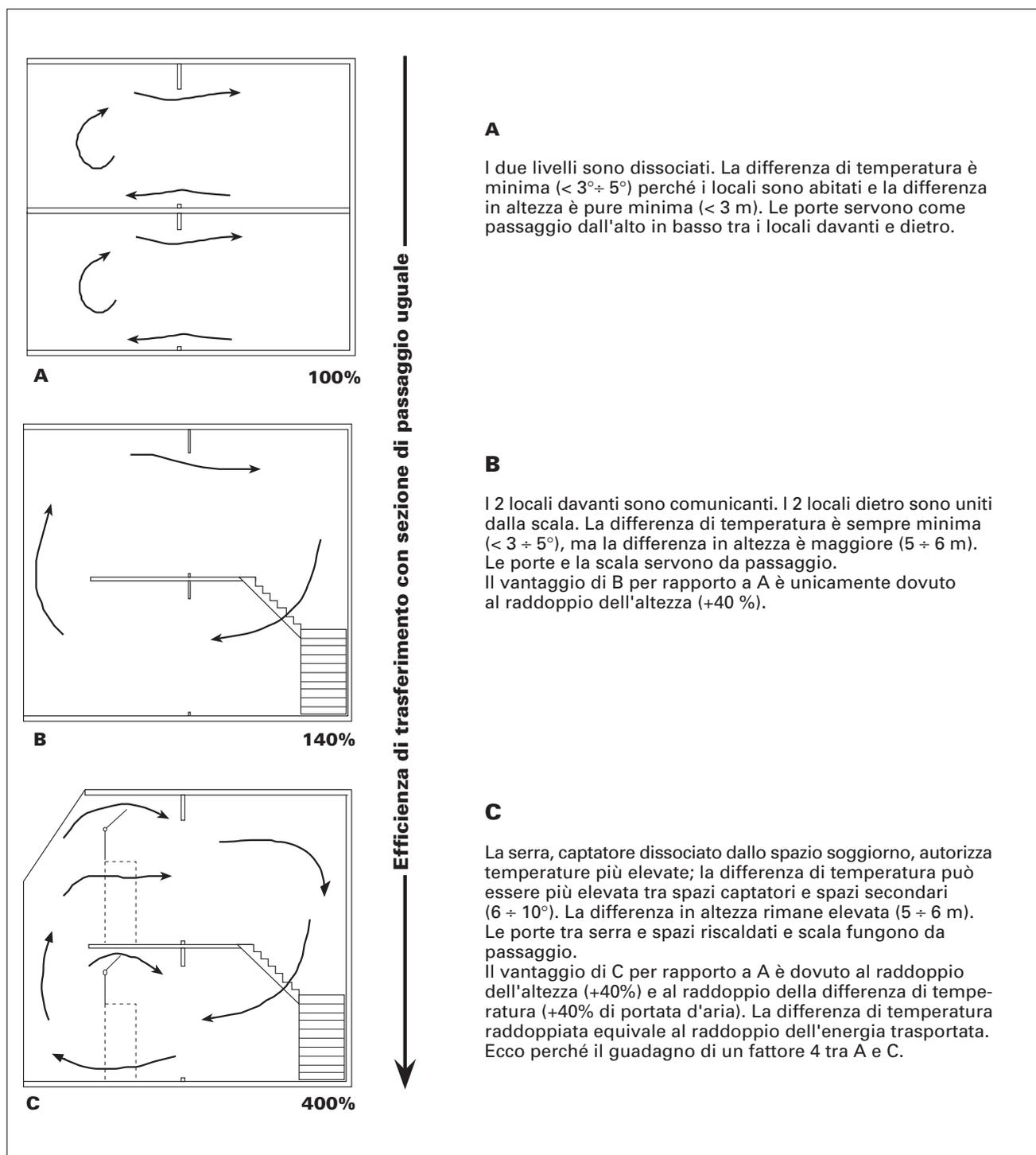


Illustrazione 5.3.6: trasferimento del calore convettivo tra zone di captazione e spazi riscaldati secondari. Le cifre si riferiscono al trasferimento del calore e non alla portata d'aria trasferita.

5.4 Conservare il calore

Base

Non è possibile, alle nostre latitudini, compensare una perdita importante di calore con un aumento degli apporti solari. L'involucro degli edifici sarà quindi necessariamente ben isolato e «stagno» all'aria.

Se ci si può ispirare alle tecniche dell'architettura tradizionale (vernacolare) per risolvere i problemi di conservazione del calore, le nuove tecniche di costruzione (doppio muro, isolamento, vetri con strati a debole emissione, ecc.) permettono di liberarsi da certe vecchie tecniche molto costrittive (spazio cuscinetto, forme compatte, isolamento notturno delle finestre).

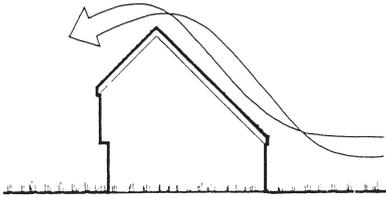
Regole

- La **qualità minima dell'isolamento termico** di tutti gli elementi dell'involucro degli edifici è regolata nella maggior parte dei cantoni svizzeri, dalla legge. La legge si appoggia alle raccomandazioni SIA 180, 180/1 e 380/1 (vedi tabella 5.4.4).
- La **continuità dell'involucro isolato** è un criterio importante per la conservazione del calore. In un involucro ben isolato ogni punto debole perde quasi altrettanto calore dell'insieme isolato.
- Il **fattore forma** (rapporto tra superficie dell'involucro e volume riscaldato, A/V nella SIA 180/1) non è determinante per un edificio climaticamente equilibrato e ben isolato. Resta un parametro determinante negli edifici vecchi, poco o per nulla isolati.
- Tutti i locali abitati, anche occasionalmente, devono usufruire di un ricambio d'aria naturale o meccanico minimo (**0.2 Ren/h minimo**) per evacuare gli inquinamenti che si formano.
- Tutti gli **impianti di ventilazione** che assicurano un ricambio d'aria saranno dotati di un impianto di **recupero** del calore.
- Se un muro è ben isolato (≥ 10 cm d'isolamento), aggiungergli uno spazio cuscinetto o interrarlo non migliora molto la sua resistenza termica [18].
- Tutte le **aperture** (finestre, porte) dovrebbero essere concepite in funzione dei venti dominanti freddi invernali: la loro **disposizione**, la loro **protezione** e la loro **tenuta stagna** [12].
- Una **serra non riscaldata** aperta verso il sole (spazio cuscinetto dinamico) attutisce le perdite degli spazi contigui e crea apporti. Se un giorno deve essere **riscaldata** le sue vetrate avranno un coefficiente **$k < 1.5 \text{ W/m}^2, \text{ K}$** [5].

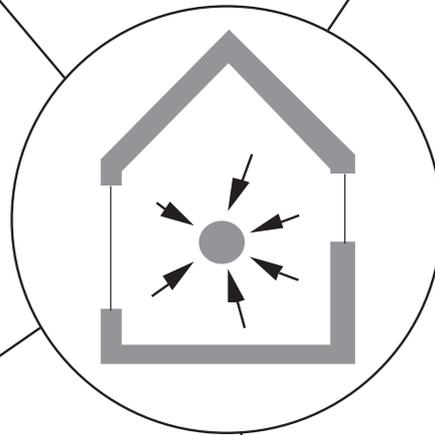
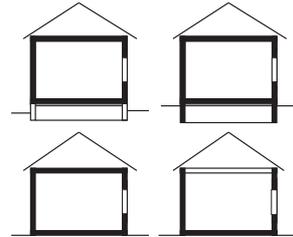
Vedi anche

- Capitolo 2.7 Analisi del luogo (vento)
- Capitolo 5.1 Captare il sole (serre)
- Allegato A5.2 Programma di calcolo DIAS
- Allegato A5.5 Temperatura di uno spazio cuscinetto

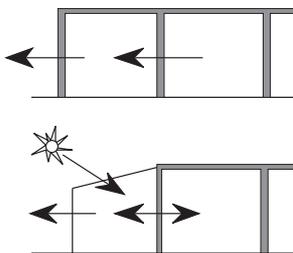
Protezione contro il vento
Pagina 88



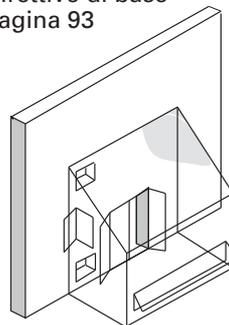
Continuità dell'involucro
Ogni interruzione dell'isolamento
deve essere evitata
Pagina 89



Spazio cuscinetto
Si distingue tra spazio
cuscinetto statico e dinamico
Pagina 90



La serra
Direttive di base
Pagina 93



Situazione

L'analisi del luogo evidenzia zone più calde o più fredde. La posizione dell'edificio può, se possibile, sfruttare questa divisione in zone climatiche.

L'effetto più significativo della posizione sulla conservazione dell'energia è l'influenza del vento sulle perdite dell'edificio. Una posizione appropriata, o la posa di dispositivi di protezione contro i venti dominanti invernali, possono ridurre l'effetto vento sulle facciate, i tetti e soprattutto sulle aperture.

L'illustrazione 5.4.1 dimostra che se la velocità del vento può essere ridotta di un fattore due davanti alla facciata di un edificio, le perdite dovute a infiltrazione d'aria possono essere ridotte di un fattore quattro.

Anche la forma dell'edificio può adattarsi ai flussi d'aria, accompagnandoli piuttosto che opponendosi alla pressione del vento (illustrazione 5.4.2)

Involucro

Sono fondamentali sia la continuità dell'isolamento che la qualità isolante dell'involucro. Il problema si pone in particolare con i solai, le cantine, le autorimesse e in generale i locali annessi. Le ambiguità all'inizio degli studi, sulla necessità di riscaldare o meno questi spazi secondari, non si chiariscono prima della decisione sulla natura dell'isolamento. Interfacce tra locali riscaldati e locali non riscaldati risultano così non isolate (vedi illustrazione 5.4.5).

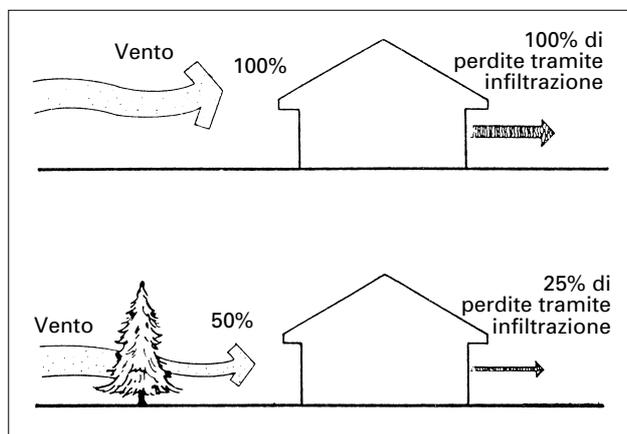


Illustrazione 5.4.1: una riduzione minima della velocità del vento tramite una schermatura riduce di molto l'infiltrazione dell'aria [12].

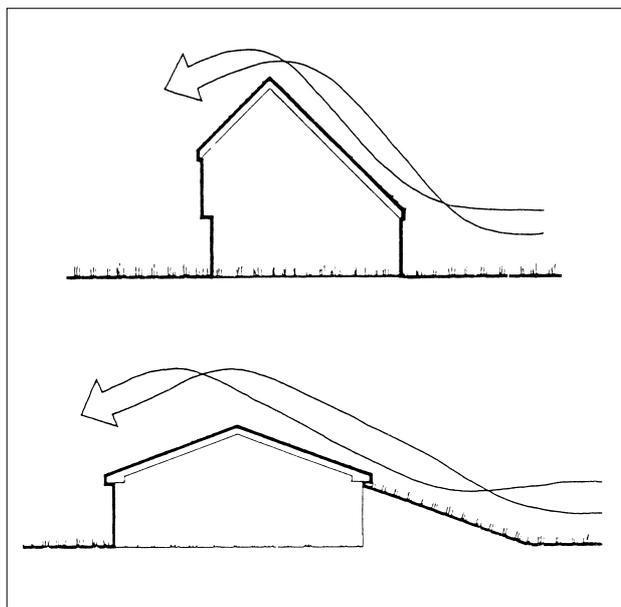


Illustrazione 5.4.2: la forma del tetto, a seconda della posizione nel terreno, minimizza la presa del vento sull'edificio [1, 12].

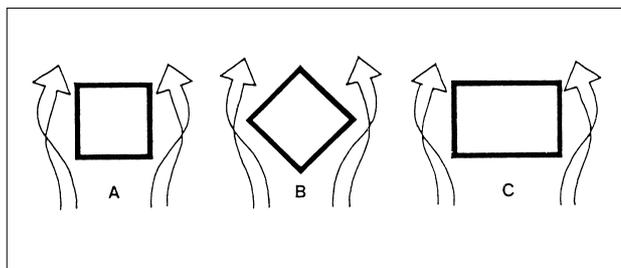


Illustrazione 5.4.3: una forma compatta è la prima regola per minimizzare la presa del vento. L'orientamento è pure importante. L'edificio B ha la stessa grandezza e configurazione della pianta dell'edificio A; le sue facciate offrono una presa apparente al vento equivalente a quelle della pianta C perché l'edificio è girato di 45° rispetto alla direzione del vento freddo [1].

Un altro problema è la quantità di elementi di collegamento tra due muri. Tutti questi dispositivi necessari al fissaggio del rivestimento che attraversano l'isolamento diminuiscono le prestazioni termiche del muro più del 30%.

La qualità termica di ogni elemento che costituisce l'involucro isolato può essere dimensionata secondo criteri:

- legali (norme SIA 180/1 o 380/1 o Modello di decreto, vedi tabella 5.4.4)
- tecnici-economici: ottimizzazione economica dello spessore dell'isolante. Qual è il reddito finanziario di ogni centimetro d'isolante supplementare, supposto che ogni ulteriore centimetro d'isolante è meno efficiente del precedente
- di benessere: temperatura minima della superficie durante il periodo freddo per assicurare il benessere degli occupanti (vedi SIA 180)
- di prestazione globale: limitare il consumo globale di un edificio del quale conosciamo la geometria: riequilibrare il rapporto apporti/perdite (vedi allegato A4 Prestazioni).

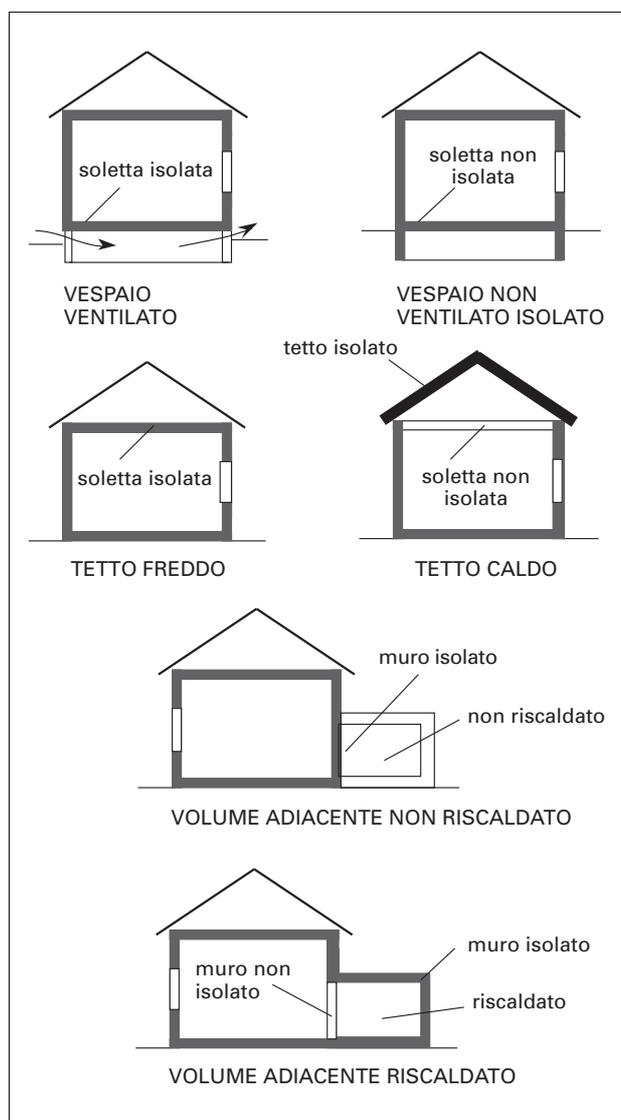


Illustrazione 5.4.5: continuità dell'isolamento: esempi.

| ELEMENTO | k W/m ² , K | | Spessore dell'isolante cm | |
|--------------------------------|---------------------------|--------------|------------------------------|--------------|
| | Mass. | Raccomandato | Min. | Raccomandato |
| Muro | 0.4 | 0.3 | 9 | 12 |
| Tetto (inclinato o piano) | 0.4 | 0.3 | 9 | 12 |
| Soletta (su vespaio o esterno) | 0.4 | 0.3 | 9 | 12 |
| Finestra | 2.6 | 2.0 | - | - |
| Muro contro terra | 0.5 | 0.4 | 7 | 10 |
| Soletta contro terra | 0.5 | 0.4 | 7 | 9 |

Secondo SIA 380/1: prestazioni puntuali richieste. Lo spessore dell'isolante indicato è solo un'indicazione di base per una composizione «standard» degli altri strati dell'elemento.

Tabella 5.4.4: coefficienti d'isolamento minimi raccomandati [19].

Fattore forma

Il rapporto della superficie di un edificio con il suo volume è chiamato fattore forma. In una architettura dove la prestazione energetica è basata sulla conservazione del calore, ridurre questo fattore è fondamentale. Questo fattore svolge un ruolo molto importante anche per edifici che sono poco isolati o non isolati del tutto (edifici vetusti). Diventa invece secondario per edifici ben isolati. Addirittura, questo fattore forma non ha senso quando l'obiettivo è di massimizzare gli apporti solari in inverno o l'illuminazione naturale. Negli edifici con forti emissioni interne di calore, minimizzare il fattore forma potrebbe avere come conseguenza il ricorso alla climatizzazione.

Ricambio d'aria

Tutti i locali occupati, anche occasionalmente, devono usufruire di un ricambio d'aria naturale o meccanico minimo (0.2 Ren/h minimo) per evacuare gli inquinamenti interni (materiali, solventi, fumi, odori, gas carbonico) (vedi capitolo 3.3, Aerazione).

Se la ventilazione è meccanica, un recupero di calore permetterà di minimizzare le perdite di calore dovute a questi ricambi. Se la ventilazione dell'edificio è naturale, il ricambio avverrà quando i locali non sono occupati, attraverso aperture nell'involucro: fessure, giunti di finestre e porte. La permeabilità deve essere «controllata» e non casuale come spesso avviene nei tetti rivestiti, dove la barriera vapore o l'impermeabilità all'aria non sono state raccordate correttamente. Questa permeabilità dell'involucro rende l'edificio molto vulnerabile al vento. Se non si presta attenzione, in un giorno ventoso il ricambio dell'aria si moltiplica per 2 o 3, ciò che comporterebbe perdite eccessive e un sicuro malessere. La protezione delle facciate contro il vento è molto importante (vedi *Situazione* in questo capitolo).

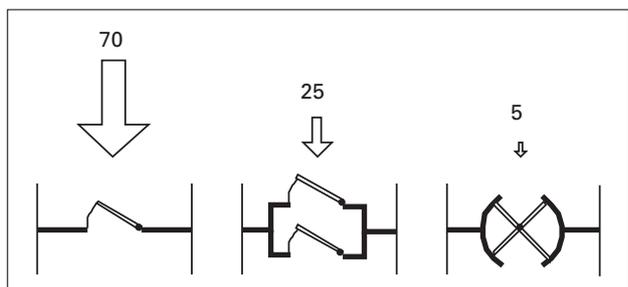


Illustrazione 5.4.6: efficienza di una chiusura prima della porta. La cifra rappresenta la portata d'aria (m^3) generata da un'apertura di porta [12].

Edifici interrati

Interrare alcune facciate di un edificio per diminuire le superfici di dispersione è, come per gli spazi cuscinetto, una tecnica molto efficace se su questo muro non c'è isolamento. Un muro ben isolato non necessita di essere interrato per essere protetto dal freddo.

L'esperienza dimostra che il drenaggio disposto ai piedi del muro e la percolazione della pioggia riducono considerevolmente l'utilità di questo interrimento. Misure in situ hanno dimostrato che, rispetto a un muro non interrato, questa tecnica riduce del 7% le perdite di un muro, l'equivalente di un centimetro supplementare di isolante! [18]. Piuttosto che contro il freddo l'interramento di un edificio potrebbe essere giustificato per proteggerlo contro il calore.

Spazi cuscinetto statici

Lo spazio cuscinetto è un locale «non riscaldato» situato tra uno spazio riscaldato e l'esterno. È chiamato statico perché viene riscaldato unicamente dalle perdite dello spazio riscaldato, attraverso la parete interfaccia tra i due spazi. Tradizionalmente, prima dell'uso di involucri esterni ben isolati, era l'unico modo per proteggere una parete esterna. Oggi, la protezione di un muro con uno strato isolante è un metodo più semplice e più efficace della creazione di uno spazio cuscinetto.

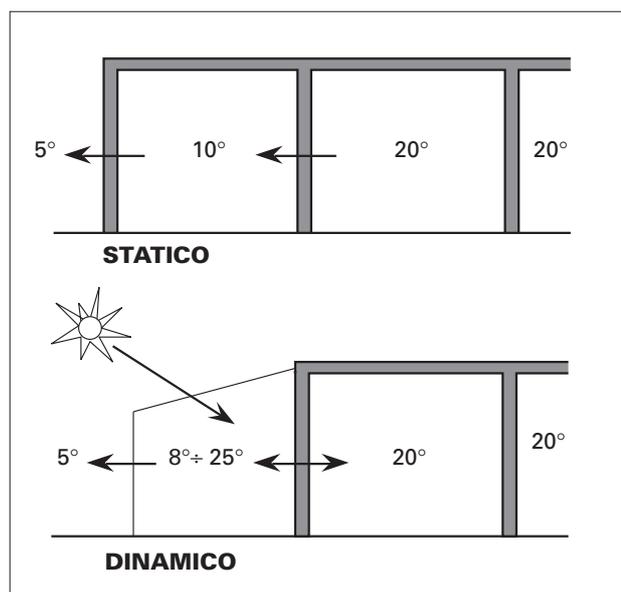


Illustrazione 5.4.7: spazi cuscinetto statici e dinamici. Con lo spazio cuscinetto statico, il calore fluisce sempre dallo spazio riscaldato verso l'esterno, passando dallo spazio cuscinetto. Con lo spazio cuscinetto dinamico, la situazione è la stessa in periodo freddo senza sole. Ma con un giorno soleggiato, il flusso si inverte tra spazio riscaldato e spazio cuscinetto.

Ciononostante, si possono disporre in modo efficace i locali annessi necessari; questi possono svolgere la funzione di spazio cuscinetto (solaio non riscaldato, autorimessa, immagazzinamento, deposito, legnaia) senza per questo creare degli appositi spazi cuscinetto verso l'esterno. Gli unici spazi cuscinetto realmente efficaci sono le chiese davanti alle porte che danno sull'esterno e limitano il ricambio d'aria indesiderato generato dall'apertura della porta (vedi illustrazione 5.4.6).

Negli edifici amministrativi il posizionamento di locali annessi quali spazi cuscinetto sulle facciate nord degli edifici potrebbe diminuire l'illuminazione naturale nei locali di lavoro (illustrazione 5.4.8).

Spazi cuscinetto dinamici

Lo spazio cuscinetto «dinamico» non è solo riscaldato dalle perdite di calore degli spazi riscaldati adiacenti, ma anche da apporti solari o interni. Ciò significa che, in certi periodi, la sua temperatura è superiore o equivalente a quella degli spazi riscaldati. Queste serre, verande o atri, secondo la loro posizione e grandezza, possono avere un ruolo importante nel bilancio termico di un edificio.

La loro superficie vetrata verrà dimensionata come quella di un elemento di captazione (vedi capitolo 5.1, Captare il sole). I muri interfaccia e gli immagazzinamenti vengono pure trattati nei capitoli 5.2 «Immagazzinare il calore» e 5.3 «Distribuire il calore». Il problema del surriscaldamento sarà trattato nel capitolo 5.6 «Ventilazione naturale».

L'illustrazione 5.4.12 riassume il dimensionamento dei principali elementi di una serra. La pratica mostra che alcuni di questi spazi cuscinetto, concepiti all'origine non riscaldati, sono stati riscaldati in seguito, perché una volta integrati nella pianta dell'edificio lo necessitavano (vedi illustrazione 5.4.10). Se una serra deve essere riscaldata, e se si desidera mantenere delle buone prestazioni energetiche, occorre prendere in considerazione le seguenti regole:

- mantenere una serra costantemente sopra il punto di gelo ($>5^{\circ}$) non ipoteca le sue prestazioni: resta una serra non riscaldata fino a una temperatura stabilita di 8°C [5];
- riscaldare una serra a 18°C diminuisce le sue prestazioni del 50% se i vetri sono doppi vetri isolanti, del 10% se sono doppi vetri isolanti con uno strato a debole emissività IR ($k < 1.5 \text{ W/m}^2, \text{K}$) [5].

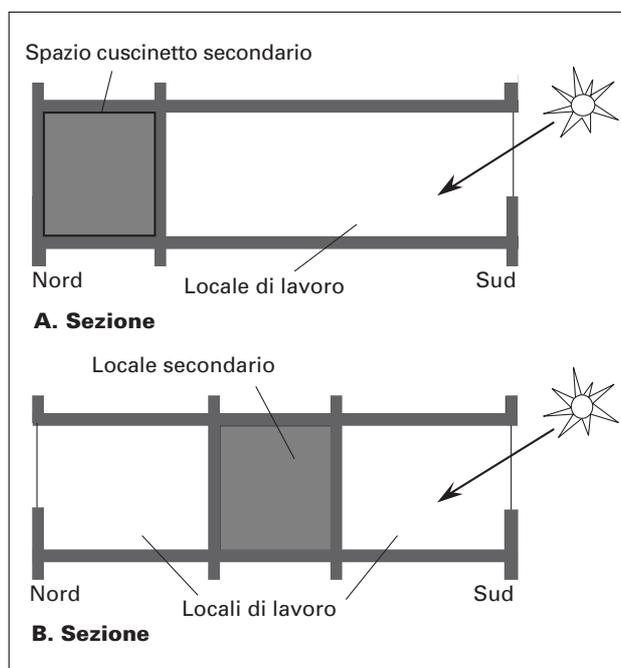


Illustrazione 5.4.8: i locali aggiunti utilizzati come spazio cuscinetto non devono compromettere l'illuminazione naturale (A). Negli edifici amministrativi verranno disposti preferibilmente al centro, o nel piano cantina (B).

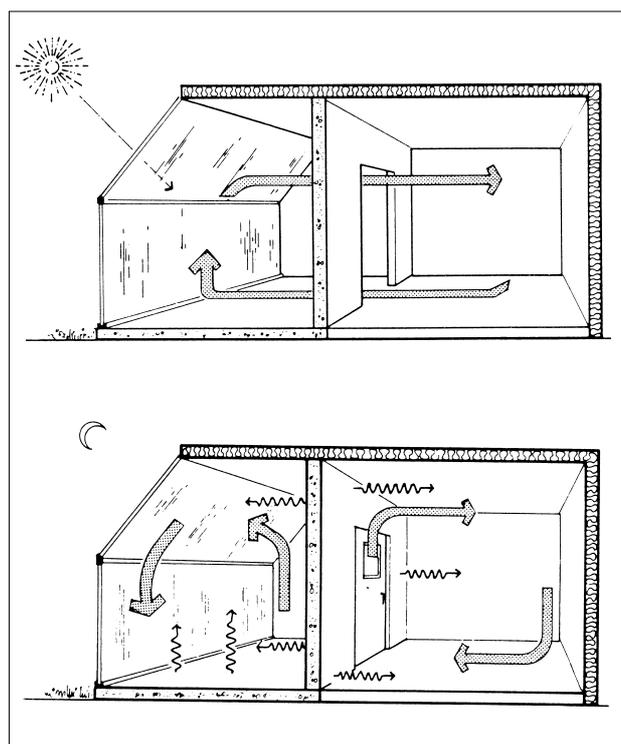


Illustrazione 5.4.9: spazio cuscinetto dinamico. Durante il giorno, la serra immagazzina del calore che dovrebbe essere distribuito agli spazi contigui. Durante la notte, la serra deve essere isolata dagli spazi «riscaldati». A differenza degli spazi cuscinetto statici, un trasferimento tra spazi riscaldati e spazi cuscinetto può essere favorevole a seconda delle condizioni climatiche [12].

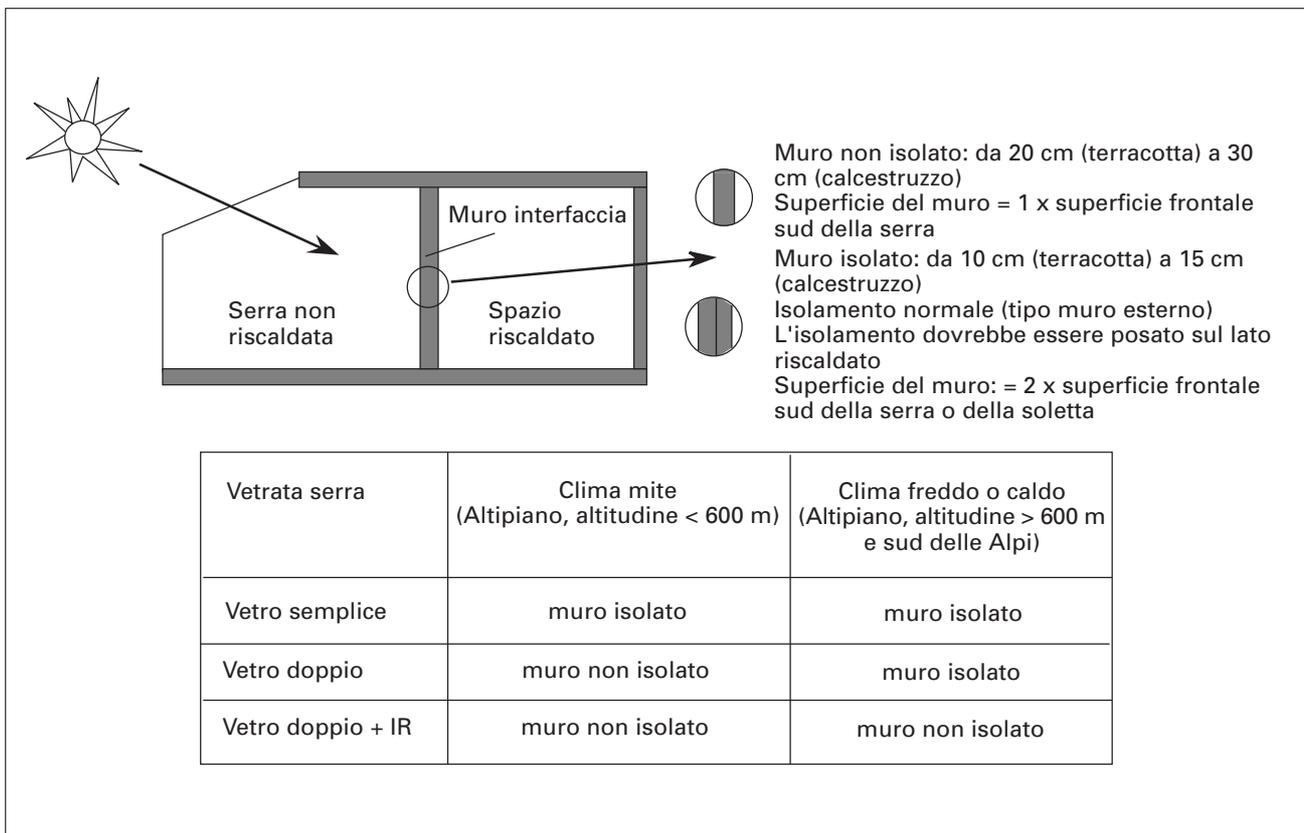


Illustrazione 5.4.10: qualità richieste per il muro interfaccia (immagazzinamento) tra serra e spazio riscaldato [12].

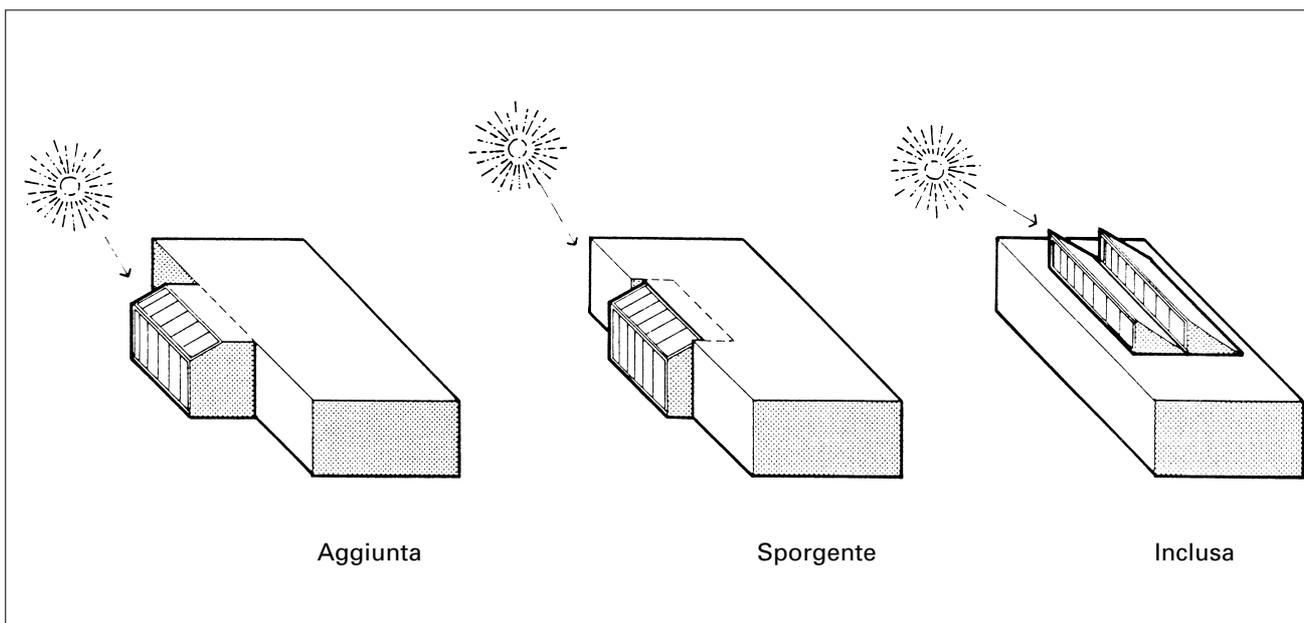


Illustrazione 5.4.11: diversi metodi di articolazione tra serra e edificio [12].

Per un clima mite, il muro interfaccia serra-spazio riscaldato non sarà isolato (terracotta o calcestruzzo) per una superficie equivalente alla facciata frontale sud della serra (altitudine < 600 m nord delle Alpi) e dotata di doppio vetro. In un clima freddo o caldo sarà isolato verso il lato riscaldato, per una superficie doppia della facciata frontale sud della serra (altitudine > 600 m o sud delle Alpi) e dotata di vetro semplice. Per questo muro interfaccia dei ponti termici sono tollerati.

L'inclinazione del vetro influenza solo per il 10 -25% le prestazioni della serra. Una maggioranza di facciate vetrate verticali verso sud offre le migliori prestazioni.

Il muro di separazione deve avere aperture basse e alte così da assicurare il trasferimento del calore della serra verso gli spazi riscaldati. La loro superficie totale dovrebbe rappresentare il 10% della superficie frontale della serra (il 5% se la serra è su due livelli). La porta può anche svolgere il ruolo di apertura.

Facciate laterali opache e isolate migliorano le prestazioni della serra dal 10 al 20% in rapporto a facciate vetrate.

Al minimo vetro doppio se la serra non è riscaldata; doppio vetro con strato a debole emissività IR ($k < 1.5 \text{ W/m}^2, \text{ K}$) se la serra è riscaldata > 10°.

Periodo caldo: protezione solare, bocchette di ventilazione vedi 5.5 e 5.6
Illuminazione naturale: vedi 5.8 atrio
Comportamento dell'occupante: vedi 6, Strategie

L'orientamento principale verso sud è il migliore. Uno sfasamento di $\pm 45^\circ$ verso sud diminuisce le prestazioni del 20%

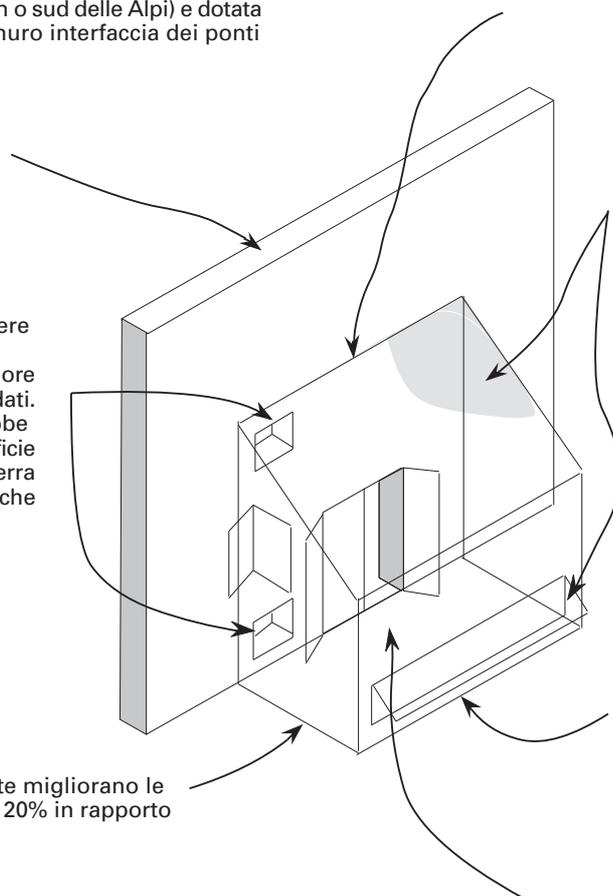


Illustrazione 5.4.12: direttive di base per il dimensionamento degli elementi di una serra (spazio cuscinetto dinamico) [4, 5, 7, 12, 16, 20, 21].

Periodo caldo (estate)

Per controllare il clima estivo, ci si riferirà ai quattro principi di fisica (conduzione, convezione, irraggiamento e evaporazione). Rispetto alla strategia invernale, si utilizzerà semplicemente l'effetto contrario: ad esempio, ci si protegge dall'irraggiamento solare invece di lasciarlo penetrare nell'edificio.

Certi principi, come il raffreddamento tramite l'irraggiamento (verso il cielo durante la notte) o l'evaporazione, non sono molto efficaci nei nostri climi umidi. Questi due principi possono invece essere applicati agli impianti di aria condizionata.

| STRATEGIE DI CONTROLLO | | PRINCIPIO FISICO | | | |
|------------------------|---|---|--|--|--|
| | | CONDUZIONE | CONVEZIONE | IRRAGGIAMENTO | EVAPORAZIONE |
| INVERNO | FAVORIRE GLI APPORTI | | Minimizzare la velocità dell'aria sull'involucro esterno | Favorire gli apporti solari | |
| | RESISTERE ALLE PERDITE | Minimizzare i flussi di calore per conduzione | Minimizzare le infiltrazioni d'aria | | |
| ESTATE | RESISTERE AGLI APPORTI (PROTEGGERSI) | Minimizzare i flussi di calore per conduzione | Minimizzare le infiltrazioni d'aria | Minimizzare gli apporti solari | |
| | FAVORIRE LE PERDITE (EVACUARE) | Favorire gli scambi con il suolo (terra) | Favorire la ventilazione | Favorire il raffreddamento tramite l'irraggiamento | Favorire il raffreddamento attraverso l'evaporazione |

Illustrazione 5.5.1: principi di fisica e strategie di controllo nell'architettura climatica [1].

La scelta di un'architettura più aperta verso l'esterno aumenta la sua sensibilità agli elementi climatici. Se la strategia per il periodo freddo era di lasciare penetrare il sole nell'edificio e di limitare le perdite di calore, quella valida per il periodo caldo sarà piuttosto di minimizzare tutti gli apporti e privilegiare la loro evacuazione verso l'esterno.

Si applicano i seguenti principi:

- **minimizzare gli apporti solari:** appena la temperatura esterna scende sotto al limite inferiore del benessere, gli apporti solari non dovrebbero contribuire al malessere;

- **minimizzare gli apporti per trasmissione e infiltrazione:** trattenere il calore all'esterno;
- **favorire la ventilazione:** evacuare il calore captato utilizzando il ricambio dell'aria con l'effetto camino o con il vento, favorire gli scambi di calore tra il corpo umano e l'aria aumentando i movimenti dell'aria;
- **trasferire gli apporti del giorno sulla notte,** generalmente fresca anche in estate.

Agendo su questi principi, a livelli diversi secondo il progetto, è generalmente possibile ridurre i periodi di surriscaldamento di qualche giorno sull'arco di ogni estate.

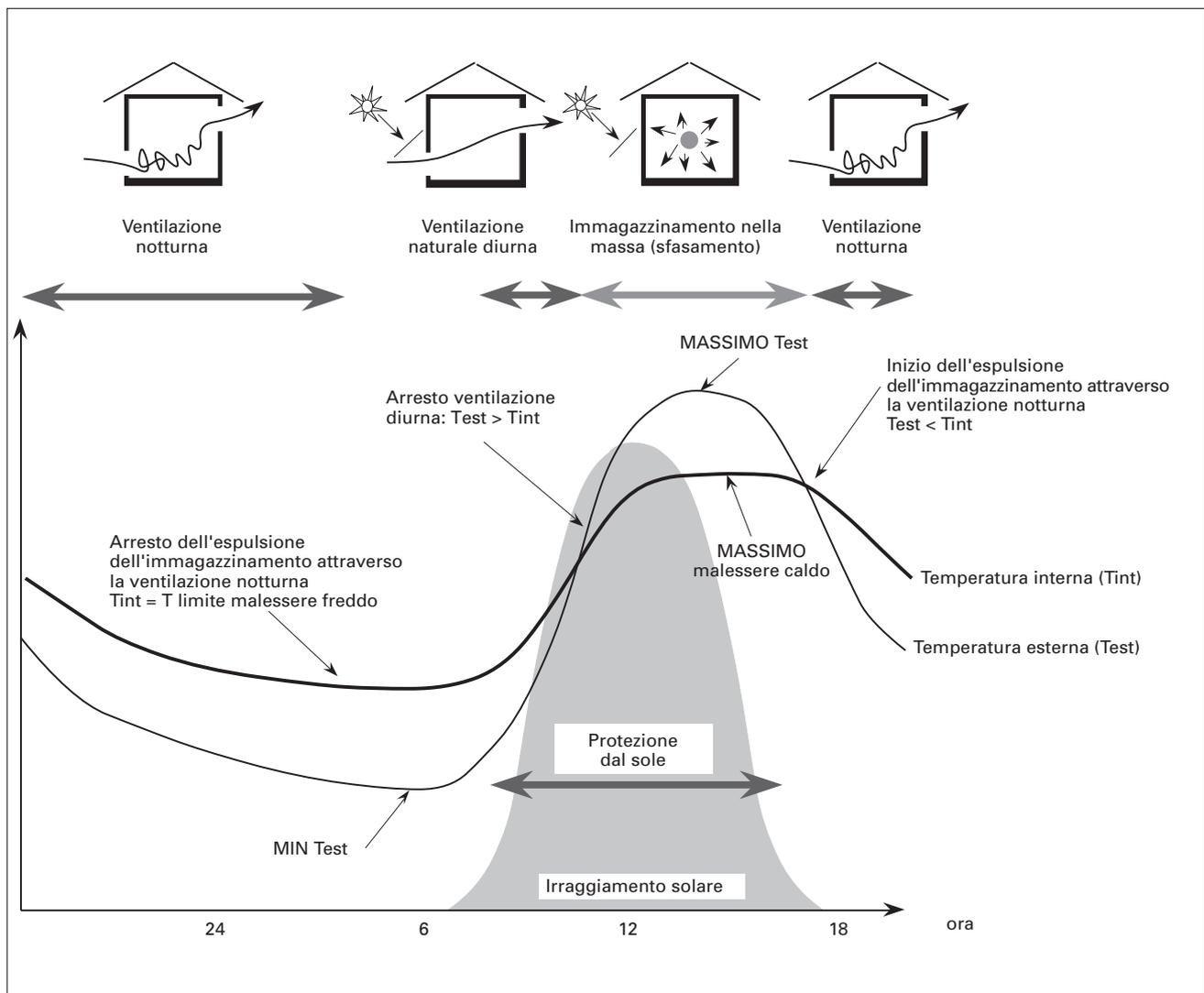


Illustrazione 5.5.2: strategia di controllo del surriscaldamento: illustrazione dell'uso di diversi principi nel tempo.

5.5 Minimizzare gli apporti solari

Base

In estate un buon controllo degli apporti solari permette nella maggior parte dei casi di evitare di dover ricorrere a sistemi di raffreddamento.

In inverno aprire ampiamente un'architettura verso il sole rende gli edifici più sensibili ai surriscaldamenti. Un'attenzione particolare deve essere portata allo studio dell'esposizione al sole in estate. Si può agire su vari livelli.

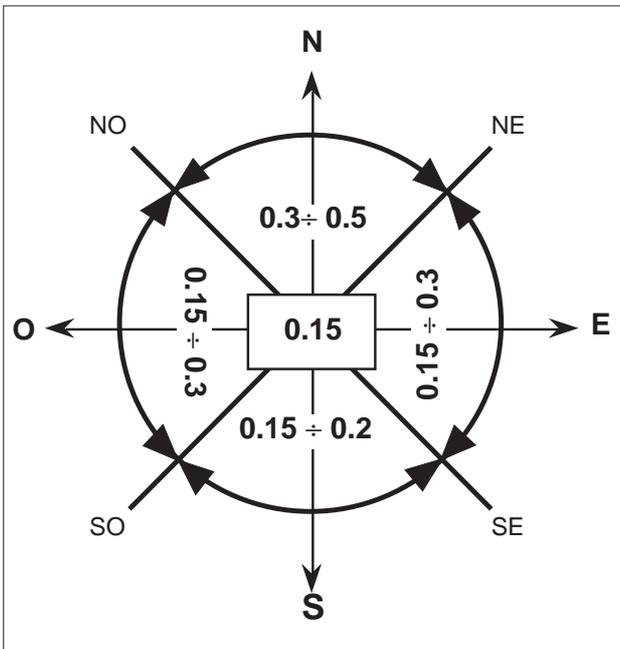


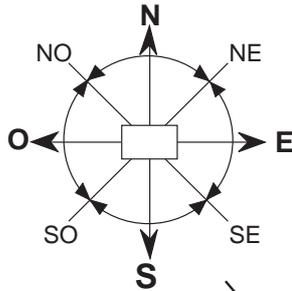
Illustrazione 5.5.3: livello di protezione solare raccomandato in funzione dell'orientamento. Il valore esposto è il coefficiente g (trasmissione energetica globale dell'insieme vetrata-protezione solare). Il valore indicato al centro del diagramma corrisponde a finestre sul tetto.

Regole

- Per proteggersi utilizzare i **mascheramenti del luogo**: piantagioni, edifici adiacenti, alture.
- Proteggere dal sole il **suolo** circostante l'edificio con piantagioni (alberi, pergolati) o costruzioni (bersò) per tenere sotto controllo la sua temperatura [1, 12].
- Utilizzare **rivestimenti del suolo chiari, o vegetali** [1].
- Utilizzare **rivestimenti dei muri e dei tetti chiari** per diminuire i flussi solari assorbiti, o coprirli di vegetazione caduca [1].
- Posare **rivestimenti ventilati** su muri e tetti poco isolati [1].
- **Isolare i tetti ventilati** con 12 cm minimo, i tetti piani con 14 cm.
- **Limitare** l'uso delle **protezioni solari fisse** dove gli apporti interni sono dominanti e dimensionare la protezione unicamente per il periodo di surriscaldamento [12].
- Evitare l'uso di **vetri antisolari** quale protezione unica. Volendoli utilizzare a tutti i costi, posare vetri poco antisolari e combinarli con protezioni mobili.
- In mancanza di un bilancio degli apporti solari più preciso, rispettare il coefficiente **g massimo secondo l'orientamento** definito nell'illustrazione 5.5.3. Per ottenere questi valori si possono combinare più protezioni.
- **Attenzione**: la prestazione globale (g) di una combinazione di protezioni può non essere uguale alla prestazione dei singoli prodotti (vedi pagina 104, Combinazione di protezioni solari).
- Una **facciata nord** riceve sole anche d'estate. Se necessario dovrà essere protetta. Un telo **interno** potrebbe essere sufficiente.

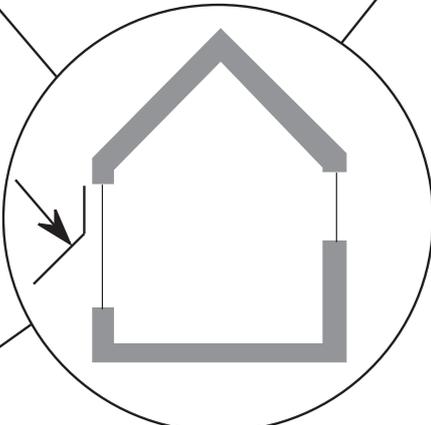
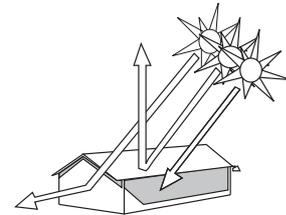
Prestazioni raccomandate

Protezione in funzione dell'orientamento
Pagina 96

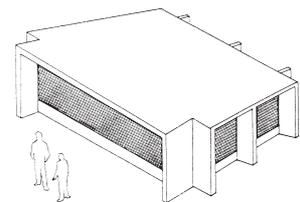


Rivestimenti

I rivestimenti meno assorbenti verranno posati:
 - sul tetto: a falde o piano
 - sulla facciata ovest, sud-ovest o nord-ovest
 - sulla facciata est, sud-est
 - sulla facciata sud
 Pagina 99

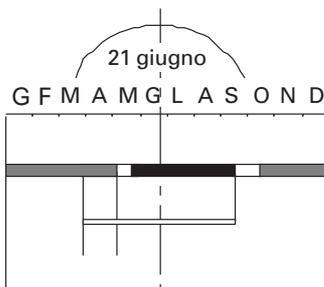


Lame orizzontali e verticali fisse
 Dimensionamento
 Pagine 101-103



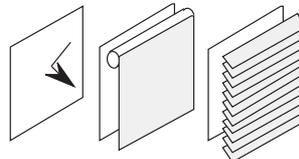
Protezione solare fissa

Attenzione alla simmetria dell'effetto protezione solare fissa durante l'anno
 Pagina 101



Protezione mobile

Classificazione
 Pagina 105



Situazione

Il capitolo 2 «Analisi del luogo» presenta metodi di valutazione dell'esposizione del luogo al sole.

È possibile:

- utilizzare i mascheramenti del luogo (piantagioni, edifici adiacenti, alture) per proteggersi;
- proteggere dal sole il suolo adiacente l'edificio con piantagioni, (alberi, pergolati) o costruzioni (bersò) per controllare la sua temperatura: miglioramento dell'efficacia della ventilazione naturale e diminuzione dell'irraggiamento solare riflesso dal suolo;
- usare rivestimenti del suolo chiari, che non assorbono l'irraggiamento solare, o vegetali (erba, selciato verde) così da evacuare l'irraggiamento captato tramite l'evaporazione-traspirazione.

Orientamento

L'illustrazione 5.1.4 del capitolo 5.1 «Captare il sole» mostra che in estate le facciate est, sud e ovest ricevono una parte equivalente d'irraggiamento solare. La facciata nord riceve la metà e la facciata orizzontale (tetto) il doppio.

Con una scelta appropriata dell'orientamento delle facciate o della loro importanza relativa (forma dell'edificio) è possibile minimizzare l'impatto del sole in estate.

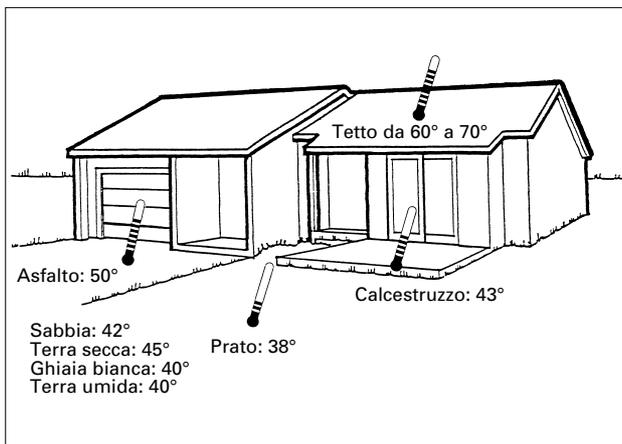


Illustrazione 5.5.4: temperatura di diverse superfici, in un giorno caldo e soleggiato (esempio). Tutte le superfici non vegetali che assorbono l'irraggiamento solare non possono dissipare il calore captato tramite l'evaporazione [1].

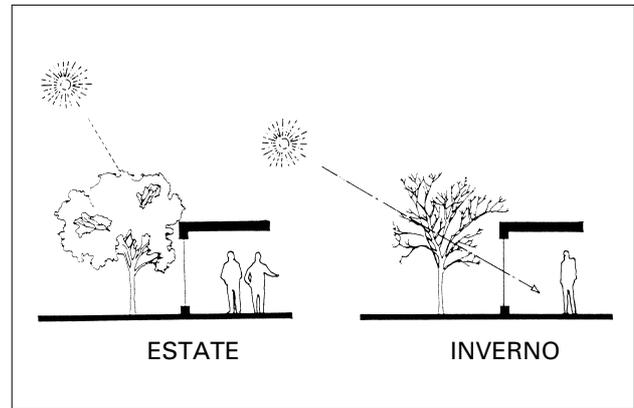


Illustrazione 5.5.5: l'ombra riportata dagli alberi dipende dalla specie, dal periodo di vegetazione e dall'età della pianta. La trasmissione dell'irraggiamento solare può essere del 20% in estate e del 70% in inverno a seconda dell'albero scelto [1, 12].

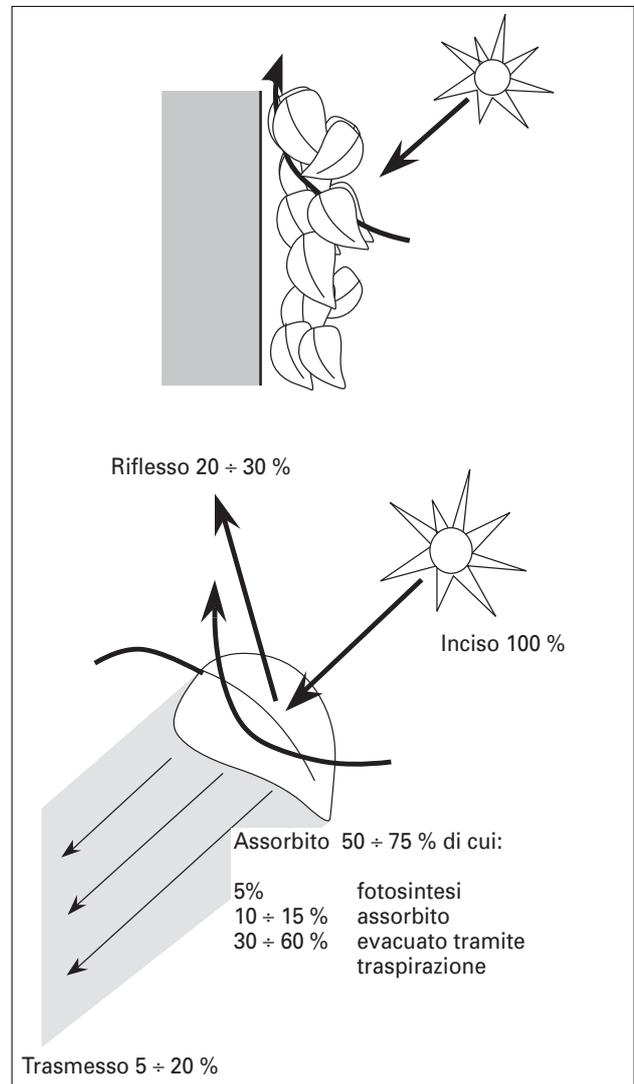


Illustrazione 5.5.6: una vite vergine agisce quale protezione solare del muro. Raffredda l'ambiente tramite la traspirazione delle foglie [1, 12].

Rivestimenti esterni

Secondo l'orientamento della facciata o del tetto, bisogna scegliere qualità di rivestimento o colori di pareti opachi, nella gamma che attenua gli apporti solari (fattore di assorbimento minimo) e che favorisce l'emissione di calore attraverso l'irraggiamento infrarosso (fattore di emissione elevato).

Nel limitare il surriscaldamento può intervenire solo il rivestimento delle facciate esposte.

Il surriscaldamento di una superficie esposta al sole rischia di aumentare il flusso che attraversa la parete e riscalda l'interno, ma soprattutto riscalderà l'aria necessaria alla ventilazione naturale dell'edificio.

Per ordine d'importanza i rivestimenti meno assorbenti verranno posati:

- sul tetto: a falde o piano;
- sulla facciata ovest, sud-ovest o nord-ovest;
- sulla facciata est, sud-est;
- sulla facciata sud.

Un modo molto efficiente per limitare la temperatura della superficie del muro è di ricoprirlo con della vegetazione (vite, edera, ecc.)

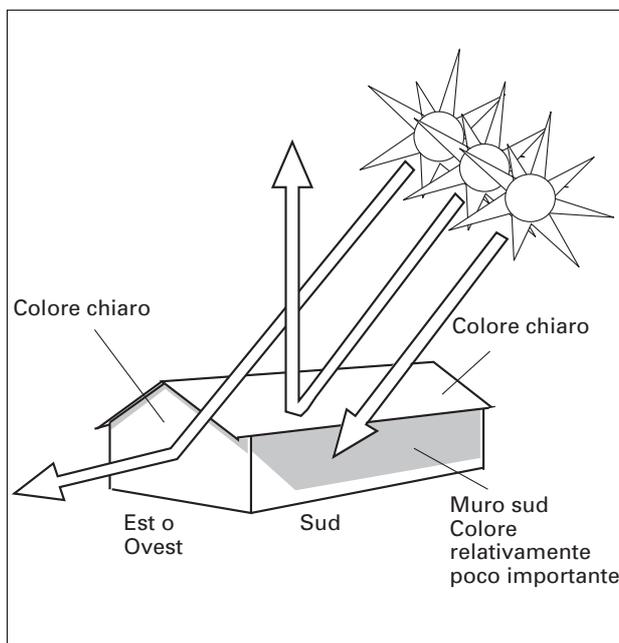


Illustrazione 5.5.7: scelta dei rivestimenti. In estate il sole colpisce principalmente il tetto. I muri est e ovest ricevono già la metà dell'irraggiamento. La facciata sud riceve poco sole, soprattutto se esiste una sporgenza del tetto [1].

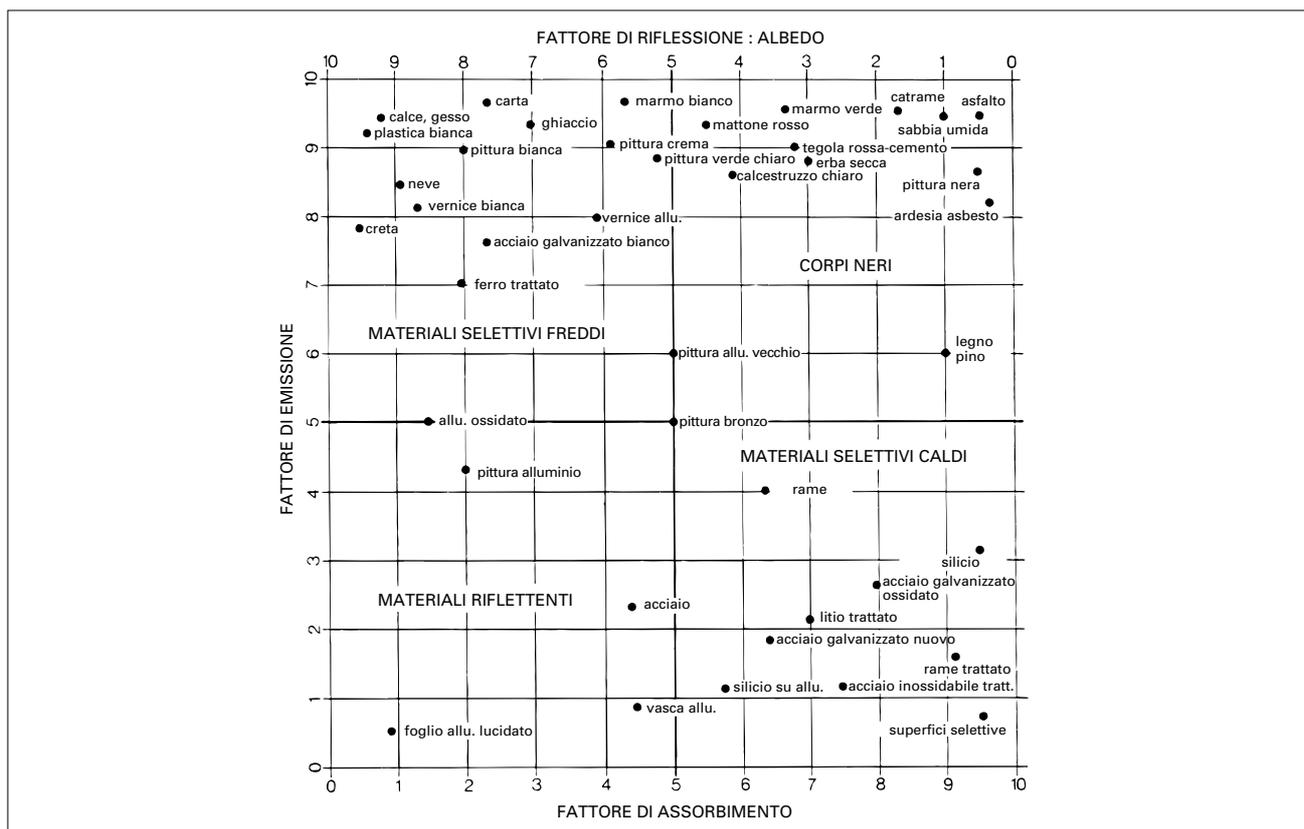


Illustrazione 5.5.8: tabella con indicazione delle proprietà radiative dei principali materiali di rivestimento. Per minimizzare gli apporti solari, occorre scegliere un materiale con un fattore di assorbimento minimo e un fattore elevato di emissione, vale a dire a sinistra e in alto della tabella [8, 9].

Rivestimento ventilato

Se i muri e il tetto non sono ben isolati un rivestimento esterno, staccato dalla parete e ventilato naturalmente, diminuisce il flusso assorbito.

Questa soluzione viene applicata tradizionalmente al tetto a due falde quando il sottotetto non abitabile è ben ventilato naturalmente.

Tetto

In estate, il tetto riceve più del doppio dell'irraggiamento solare rispetto alla facciata ovest o sud. La sua protezione è quindi di grande importanza.

Se abitualmente l'isolamento dei muri e delle solette viene dimensionato in funzione del periodo freddo, l'isolamento del tetto deve essere dimensionato in funzione del periodo caldo.

Protezioni solari fisse

Per decidere se è opportuno disporre una protezione solare fissa su un edificio, occorre determinare per quale periodo si vuole proteggere ogni facciata. Per questo bisogna analizzare il tipo di edificio che si vuole proteggere (vedi capitolo 3), per distinguere i due tipi principali: edifici dove i flussi energetici tra interno e esterno dominano; edifici dove predominano i flussi energetici interni [12].

È molto difficile dimensionare una protezione fissa per un edificio dove gli scambi attraverso l'involucro sono predominanti. Se si vuole limitare la protezione al periodo di surriscaldamento estivo (metà giugno - fine agosto) viene penalizzata anche buona parte della stagione di riscaldamento (aprile - maggio).

Si possono dedurre le regole seguenti:

- per un edificio dove predominano gli scambi attraverso l'involucro, le protezioni solari dovrebbero essere mobili;
- per un edificio dove dominano gli scambi interni, una protezione solare fissa può essere contemplata. Ciò vale anche per edifici molto ben isolati ($k_{\text{medio}} < 0.3 \text{ W/m}^2, \text{ K}$).

Queste regole non si applicano necessariamente all'insieme di un edificio, ma la loro validità potrebbe limitarsi ad alcune zone: in ogni edificio amministrativo esistono delle zone con forti emissioni interne (gli uffici ad esempio) e altre con emissioni deboli (le circolazioni ad esempio).

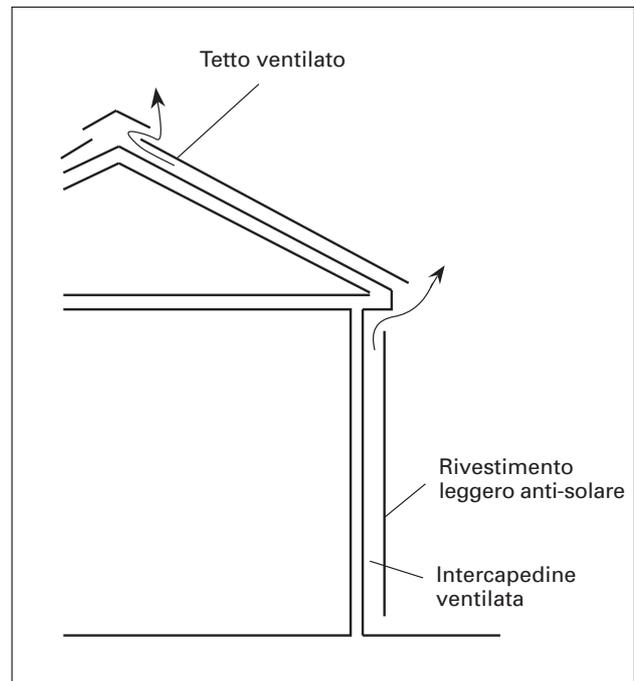


Illustrazione 5.5.9: rivestimenti leggeri ventilati diminuiscono l'impatto del sole sulle pareti esterne. Sono efficienti se la parete che proteggono è mal isolata [1].

| Tipo di tetto | k_{limite} | Spessore minimo dell'isolante |
|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | $\text{W/m}^2, \text{ K}$ | cm |
| Piano non ventilato | 0.25 | 14 |
| A falde ventilato | 0.30 | 12 |

Tabella 5.5.10: coefficiente di trasmissione termica raccomandato per tetti.

Protezione solare orizzontale

L'illustrazione 5.5.13 indica le proporzioni di protezioni solari orizzontali utilizzate normalmente. Se al sud sono molto efficaci, lo sono molto meno all'est e all'ovest dove solo delle lame verticali permetterebbero di proteggersi utilmente dal sole basso sull'orizzonte. Ciononostante, una protezione solare orizzontale attenua l'irraggiamento solare a metà giornata, quando è più intenso.

Queste protezioni solari orizzontali possono essere completate all'est e all'ovest da una tenda verticale (vedi illustrazione 5.5.15).

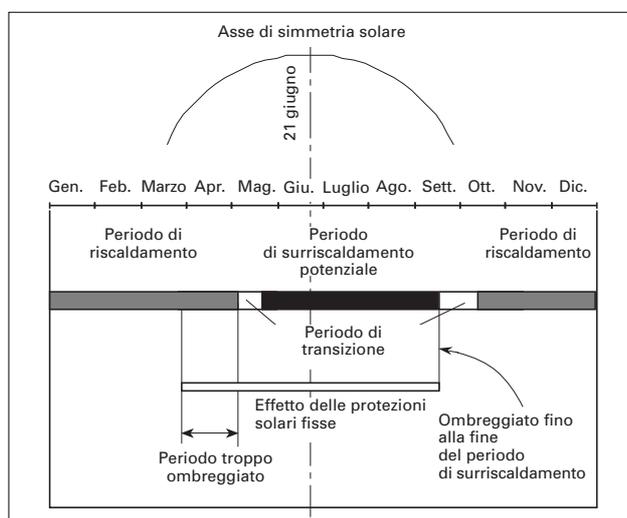
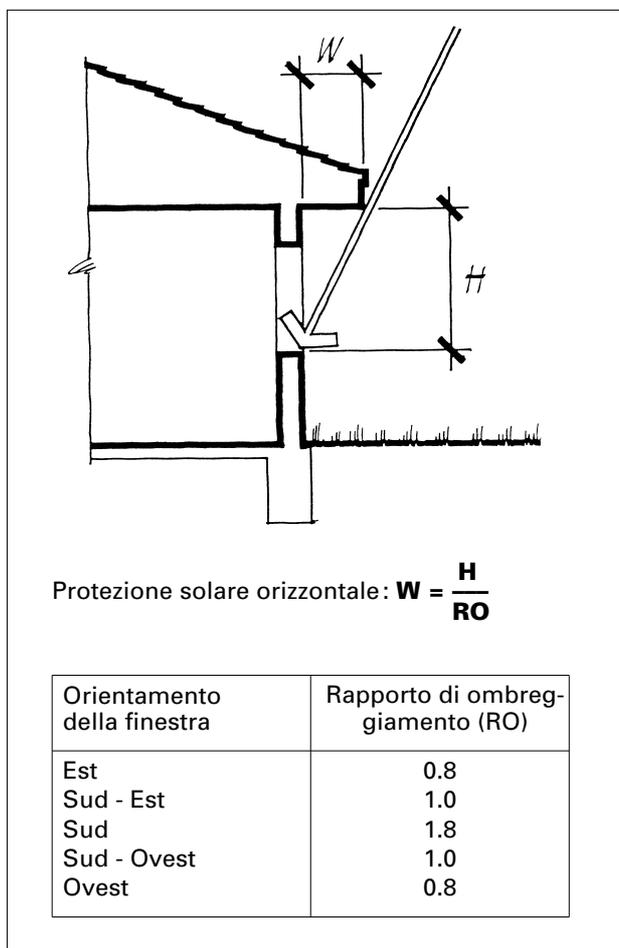


Illustrazione 5.5.11: l'ombreggiamento dato da una protezione solare fissa è simmetrico in rapporto al 21 giugno. Il periodo di surriscaldamento non lo è. Esiste quindi un eccesso di protezione a fine inverno. Una protezione mobile permette un ombreggiamento adattato al periodo di surriscaldamento [12].

Illustrazione 5.5.13: dimensionamento di una protezione solare orizzontale standard (W) in funzione dell'altezza della finestra da proteggere (H) e dell'orientamento della facciata tramite il rapporto di ombreggiamento (RO) [1].

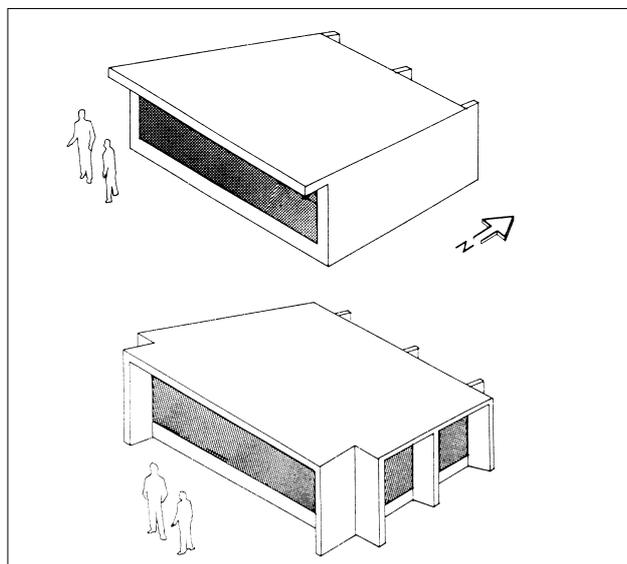


Illustrazione 5.5.12: ogni orientamento richiede una protezione adatta [12].

Protezione solare verticale

Sulle facciate est, ovest e nord solo delle lame verticali offrono una protezione efficace contro la penetrazione del sole.

Queste lame sono dimensionate fissando un angolo limite di penetrazione. Per la nostra latitudine questo angolo è di 7° (D). La protezione non è totale, ma evita ogni penetrazione del sole tra le ore 7 e le ore 17 (ora solare) (vedi illustrazioni 5.5.15 - 5.5.18).

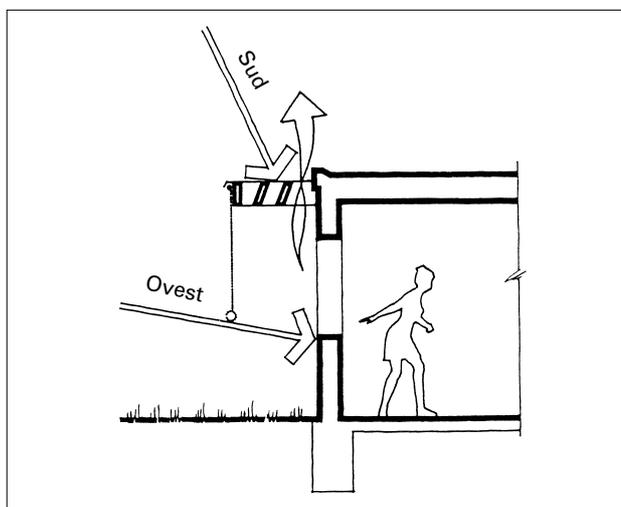


Illustrazione 5.5.15: una protezione solare orizzontale traforata permette una migliore ventilazione naturale. Per gli orientamenti est e ovest può essere completata da una tenda verticale [1].

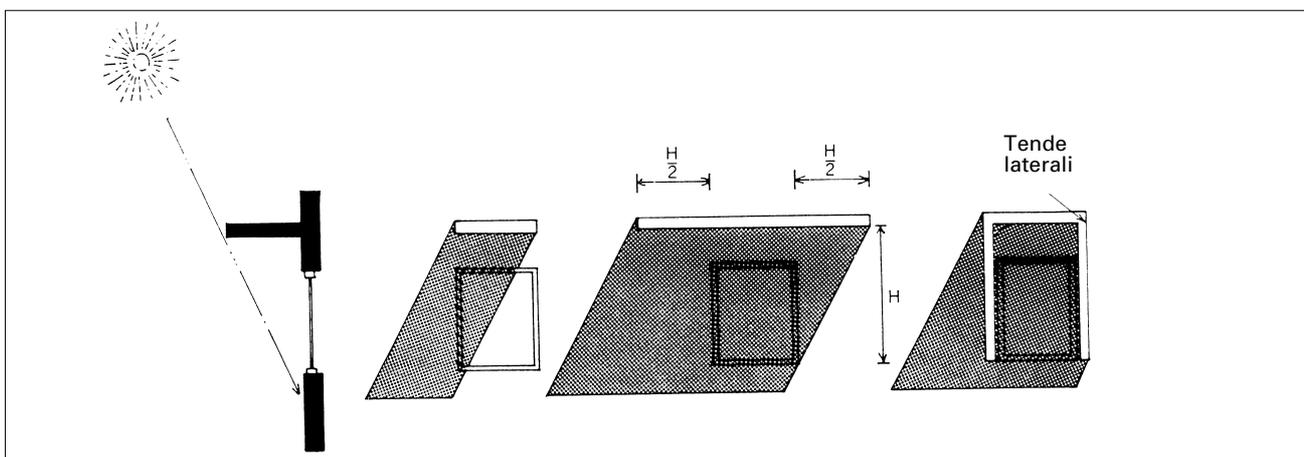


Illustrazione 5.5.14: per essere efficace, una protezione solare orizzontale deve sporgere dai due lati della finestra, oppure essere completata da tende laterali [12].

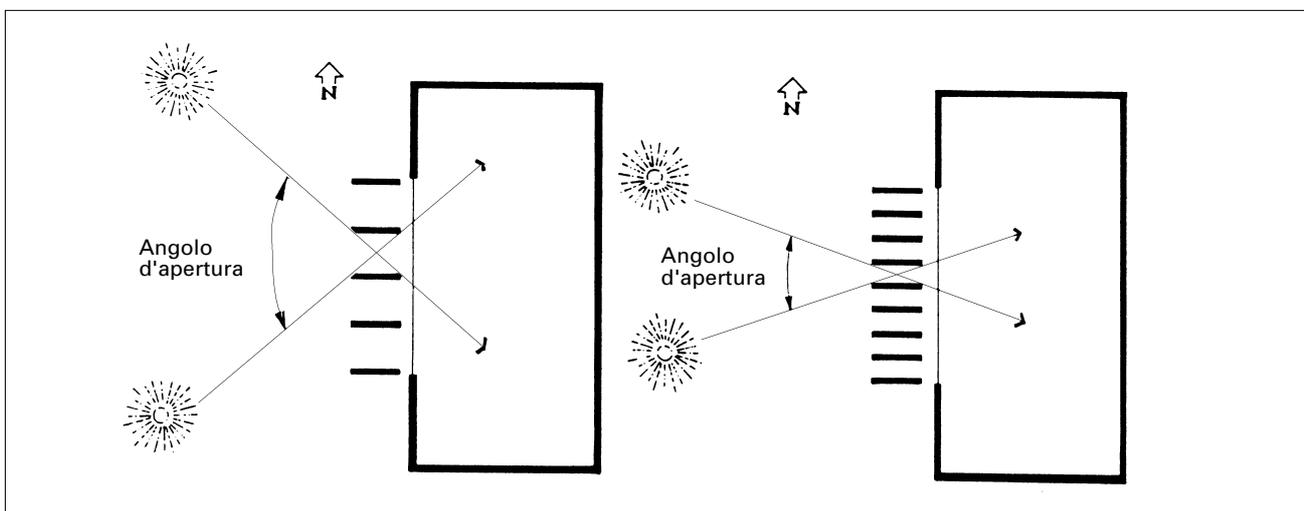


Illustrazione 5.5.16: una serie di lame verticali su una facciata ovest (o est) riduce la penetrazione del sole. Giocando sulla profondità, o lo distanza delle lame, si modifica l'angolo d'apertura [12].

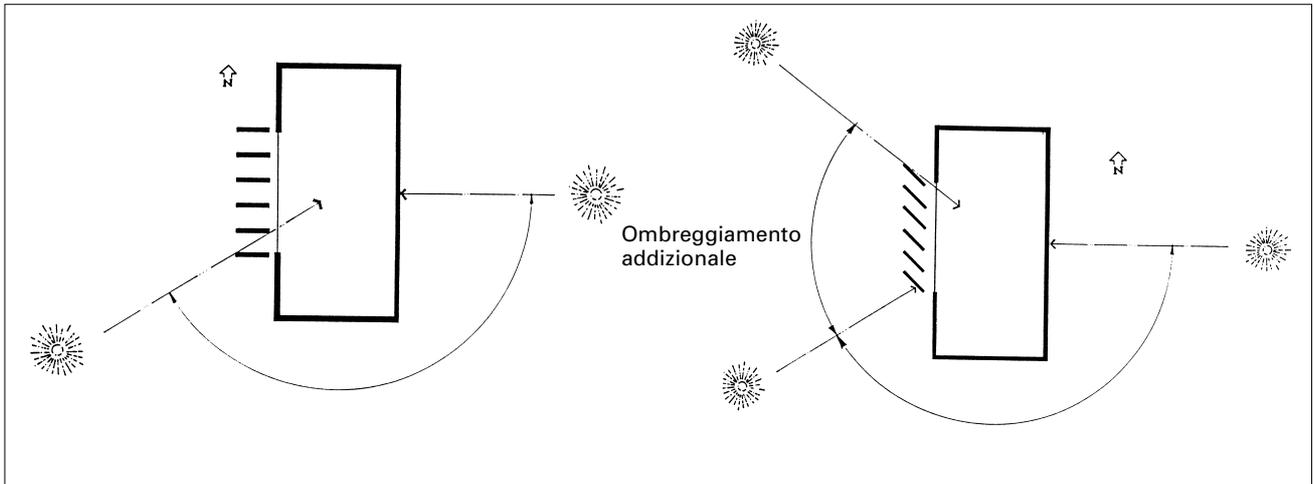


Illustrazione 5.5.17: le lame verticali mobili rimangono perpendicolari alla facciata fino al momento della penetrazione del sole. In seguito la loro rotazione impedisce ogni penetrazione del sole [12].

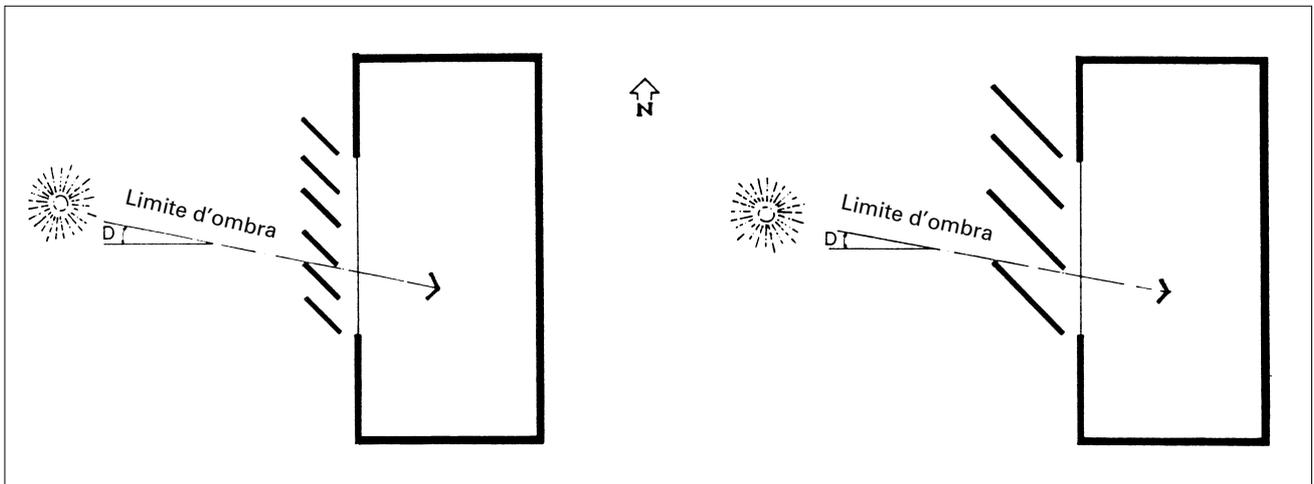


Illustrazione 5.5.18: per aperture est e ovest il «limite d'ombra» dell'angolo D determina la combinazione adeguata della distanza tra le lame, della loro profondità e inclinazione [12].

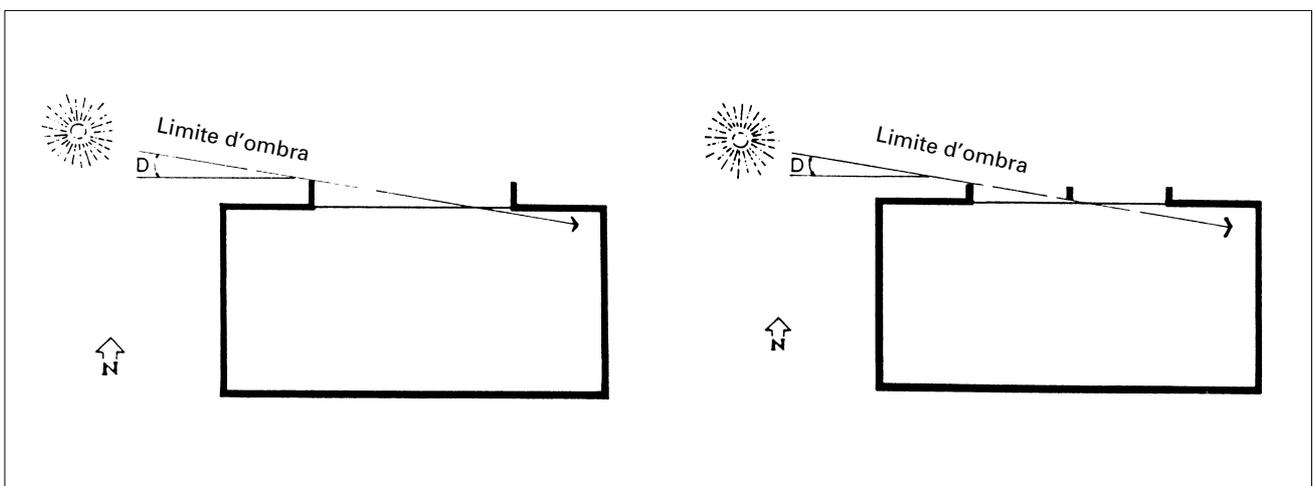


Illustrazione 5.5.19: il «limite d'ombra» dell'angolo D determina le sporgenze necessarie sulla facciata nord [12].

Protezioni solari complesse

Tutte le combinazioni di protezioni solari possono essere calcolate o analizzate. Per questo tipo di calcolo occorre riferirsi al capitolo 2 e agli allegati A2:

- calcolatrice dell'ombra: calcolo;
- prove su modelli;
- utilizzazione del programma DAO-CAO per valutare l'impatto del sole sull'edificio.

Vetri antisolari

Non sono propriamente delle protezioni solari fisse, perché non è possibile selezionare un tipo di vetro secondo l'orientamento della facciata, della stagione o del moto del sole. Se pure è una protezione, climaticamente non è equilibrata.

La maggior parte di questi vetri detiene una trasmissione irregolare dello spettro solare, e trasmette quindi la luce, colorandola. Non esiste un vetro antisolare efficace che abbia una trasmissione neutra (senza una dominante di colore). Tendenzialmente tutti privilegiano i colori blu-verdi.

Un vetro antisolare ha un comportamento unico perché attenua l'irraggiamento solare allo stesso modo in estate e in inverno, a sud come a nord o a ovest. Si potrebbe definire come una protezione solare mobile che ha perso la propria mobilità. Il vetro antisolare verrà trattato come le protezioni solari mobili.

Protezioni solari mobili

Questo tipo di protezione offre tutta la flessibilità desiderata. A seconda del tipo di protezione (tenda, lame), il suo colore (chiaro, scuro) e la sua posizione (all'esterno, all'interno rispetto alla vetrata), la sua efficacia variano molto. La tabella 5.5.20 presenta un certo numero di questi valori.

Alcune regole di base possono aiutare nella scelta.

- Più una protezione interna rispetto alla vetrata è chiara, più è efficace.
- Più una protezione esterna rispetto alla vetrata è scura, più è efficace.
- La stessa protezione, posata all'esterno piuttosto che all'interno, rispetto alla vetrata raddoppia la sua efficacia.
- Una protezione scura o mediamente scura posata all'interno rispetto alla vetrata è efficace solo in uno spazio molto alto (serra, atrio) e ben ventilato.

I fornitori di protezioni solari indicano dei valori che bisogna conoscere per giudicare la loro efficacia.

- La **trasmissione luminosa** (TL o T65 o τ): è la luce visibile che la protezione lascia penetrare. Questo valore non permette di valutare l'efficacia di una protezione, perché in essa viene considerata solo la parte visibile dell'irraggiamento solare (vedi capitolo 5.8 Illuminazione naturale).
- Il **coefficiente g**: è il coefficiente di trasmissione energetica globale di una protezione. Dato che il coefficiente g ingloba tutta la trasmissione di calore (diretta e indiretta) questo valore permette di confrontare le protezioni tra di esse.
- Il **coefficiente d'ombreggiamento (SC = Shading Coefficient)**: è la trasmissione energetica globale del sistema rapportata a quella di un vetro semplice. Per un vetro semplice $SC = 1$. Si ammette che $g = SC \times 0.85$.

Si usano queste caratteristiche anche per valutare la scelta e l'efficienza di un vetro antisolare.

Combinazione di protezioni solari

La combinazione di protezioni solari per una stessa apertura deve essere valutata con cura.

Nella maggior parte dei casi l'effetto di due protezioni verrà cumulato (il coefficiente d'ombreggiamento o coefficiente g risultante sarà il prodotto dei coefficienti delle due protezioni). Ad esempio: una piccola sporgenza orizzontale verso sud ($g = \sim 0.5$) e una tenda interna chiara ($g = 0.4$) daranno un $g \approx 0.20$.

Quando vengono usati vetri o protezioni con materiali a debole emissività per l'infrarosso, l'effetto protettivo di un elemento supplementare al primo può essere impercettibile. Occorre quindi essere prudenti quando si usano vetri trattati (antisolari o IR) combinati con protezioni interne o esterne. Per ogni caso si chiederà al fornitore una garanzia di protezione (fattore g o SC) della combinazione. Ad esempio (illustrazione 5.5.20): un vetro antisolare argento ($g = 0.40$) combinato con lame verticali interne chiare ($g = 0.51$ con un vetro semplice o $g = 0.60$ senza vetro) dovrebbe dare un $g = 0.20$ se l'effetto delle due protezioni venisse sommato. Il g globale per questa combinazione è invece 0.33 (protezione fornita: il 40% in meno della somma!).

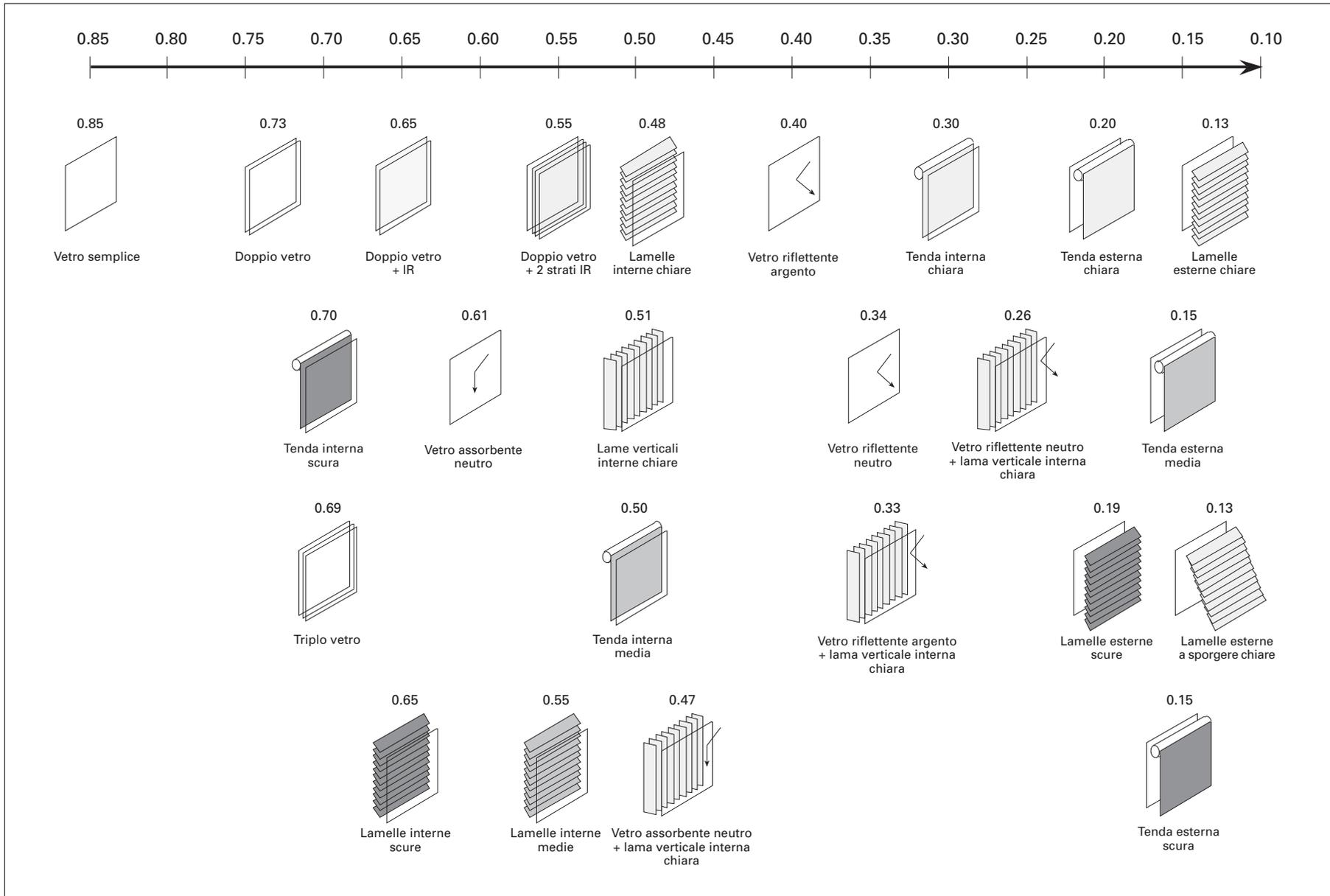


Illustrazione 5.5.20: protezioni solari mobili e vetri classificati secondo le loro prestazioni: dalle meno buone alle migliori. Le cifre sul diagramma rappresentano il coefficiente g, trasmissione energetica globale [adatta al 22].

5.6 Ventilazione naturale

Base

La ventilazione naturale ha più funzioni.

- **Rinnovare l'aria dei locali** per portare l'aria fresca necessaria alla respirazione degli occupanti, o all'evacuazione degli inquinamenti interni: questa funzione è necessaria sia in inverno che d'estate.
- **Evacuare il calore:** gli apporti interni e solari provocano un aumento della temperatura interna. In estate questo eccedente deve essere evacuato.
- Migliorare lo scambio di calore tra le persone e l'aria, aumentando la velocità dell'aria e l'**evaporazione cutanea**.
- Evacuare durante la notte il calore accumulato durante il giorno nella massa interna: la **ventilazione notturna** verrà trattata nel capitolo seguente (vedi 5.7, Sfasamento degli apporti e ventilazione notturna).

Si distinguono due tipi di ventilazione naturale: quella dovuta alla **pressione del vento** e quella dovuta alla differenza di densità (temperatura) tra aria calda e aria fredda (**effetto camino**).

L'**effetto camino** è dovuto alla differenza di pressione proveniente dalla differenza di densità tra aria calda e fredda: se l'aria si riscalda si crea una depressione nelle zone basse di uno spazio e un aumento della pressione nelle zone alte. Se in queste due zone ci sono delle aperture, quelle basse aspirano aria esterna più fresca e quelle alte espellono verso l'esterno aria interna più calda.

Vedi anche

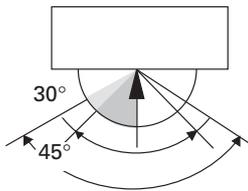
- Capitolo 2 Analisi del luogo
- Capitolo 5.7 Sfasamento degli apporti e ventilazione notturna
- Allegato A5.6 Ventilazione e vento: metodo
- Allegato A5.4 Effetto camino

Regole

- Per ventilare si cercherà sempre di usare la **pressione del vento**. Rispetto all'effetto camino, l'uso del vento rende la ventilazione naturale più efficace e permette di minimizzare le aperture. In alcuni casi le aperture vengono dimensionate senza tenere conto del vento; i periodi calmi in estate essendo spesso importanti (vedi 2, Analisi del luogo).
- Una **ventilazione trasversale** (vento) è **due volte più efficace** di una ventilazione con aperture su un solo lato. Le aperture devono situarsi quindi su lati opposti o adiacenti.
- L'orientamento della facciata al vento non dovrebbe scostarsi più di 45°. La pressione del vento resta sensibile fino a un angolo di 30° [11, 12, 14].
- In assenza di dati più precisi, le aperture necessarie per una buona ventilazione estiva (evacuazione del calore) dovrebbero rappresentare il **5-10% della superficie del pavimento di un locale** [14].
- Per una ventilazione a effetto camino, l'efficienza è direttamente proporzionale alla superficie delle aperture e alla radice quadrata della differenza di altezza (un raddoppio dell'altezza migliora l'efficienza solo del 40%).
- Una **serra e una doppia facciata** dovrebbero avere il 10% della superficie frontale composta da vetrate apribili, ripartite per metà in basso e per metà in alto. Se la protezione solare è all'interno, questa proporzione dovrebbe essere del 20% [4, 5, 7].
- Una **ventilazione** detta di **benessere** (aumento dell'evaporazione cutanea) per i periodi caldi e umidi, necessita aperture con una superficie del 10-20% della superficie del pavimento dei locali [12].
- In una **ventilazione trasversale** i grandi locali dovrebbero collocarsi preferibilmente verso il vento.
- Tutte le aperture dovrebbero essere divise in vari elementi per permettere una dosatura della ventilazione nelle mezze stagioni e in inverno.
- Le **protezioni solari** non devono ostruire il passaggio dell'aria attraverso le aperture.
- Per una ventilazione efficace l'aria deve poter **circolare all'interno dell'edificio** (pianta libera, pareti divisorie adatte al movimento dell'aria) [12].

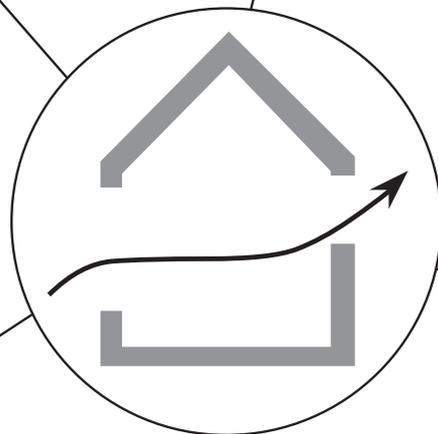
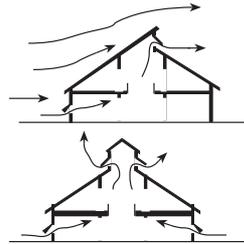
Orientamento

Il vento rimane efficiente fino a un angolo di 30° tra la facciata e la sua direzione
 Pagina 111

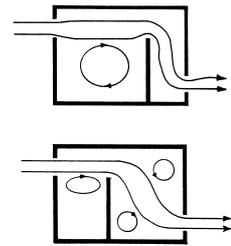


Dimensionamento delle aperture

- Vento
 - Effetto camino
 Pagine 108 e 109

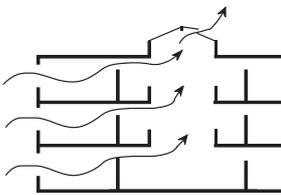


Corrente d'aria
 Pagina 113



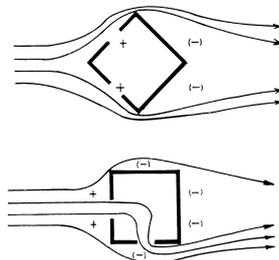
Aperture multiple

Effetto camino
 Pagina 115



Posizione

Differenza di pressione tra aperture
 Pagina 113



Dimensionamento

L'illustrazione 5.6.3 fornisce un ordine di grandezza delle finestre in funzione del calore da evacuare e della velocità del vento, o ancora dell'altezza tra finestre.

Ad esempio:

- abbiamo un vento medio di 2.8 m/s, una ventilazione trasversale, un edificio di tipo amministrativo con una superficie di pavimento di 600 m² con poca emissione di calore interno (attività normale da ufficio). Per evacuare il calore liberato è necessaria una superficie totale delle aperture del 8% della superficie del pavimento degli uffici, cioè 48 m². Vengono così ripartite: 24 m² sulla facciata verso il vento e 24 m² sulla facciata sotto vento. Se si ammette che la differenza di temperatura tra l'aria interna e l'aria esterna può raggiungere 4°C, questa superficie totale si riduce a 18 m² ($48 \text{ m}^2 \times 1.5^\circ / 4^\circ = 18 \text{ m}^2$). Se il vento invece forma un angolo di 30° con la facciata, la superficie totale delle aperture necessaria sarà di 62 m² ($48 \text{ m}^2 \times 1.3 = 62 \text{ m}^2$);
- abbiamo una differenza di altezza di 5 m, una ventilazione con effetto camino, un edificio di tipo abitativo con una superficie di pavimento di 300 m². Per evacuare il calore liberato è necessaria una superficie totale delle aperture del 14% della superficie del pavimento dell'abitazione, cioè 42 m². Vengono così ripartite: 21 m² in basso e 21 m² in alto. Se si ammette che la differenza di temperatura tra l'aria interna e l'aria esterna può raggiungere 5°C, questa superficie totale si riduce a 7 m² ($42 \text{ m}^2 \times (1.5^\circ / 5^\circ)^{3/2} = 7 \text{ m}^2$).

Tipo di apertura

Tutti i valori sono validi per aperture alla francese o a ribalta con un angolo di apertura di almeno 45°. Disporre finestre a ribalta con un angolo di apertura inferiore a 30°, costringe a raddoppiare la superficie delle aperture. Considerazioni di protezione contro le intemperie possono costringere a limitare gli angoli di apertura. Aperture verso il basso permettono spesso di conservare un angolo di apertura buono offrendo una migliore protezione.

Per le uscite d'aria dispositivi particolari permettono di aumentare l'effetto di risucchio del vento (vedi illustrazione 5.6.2). La superficie di uscita dell'aria può essere quindi diminuita.

L'illustrazione 5.6.4 evoca il problema della compatibilità tra apertura delle finestre per la ventilazione e la protezione solare.

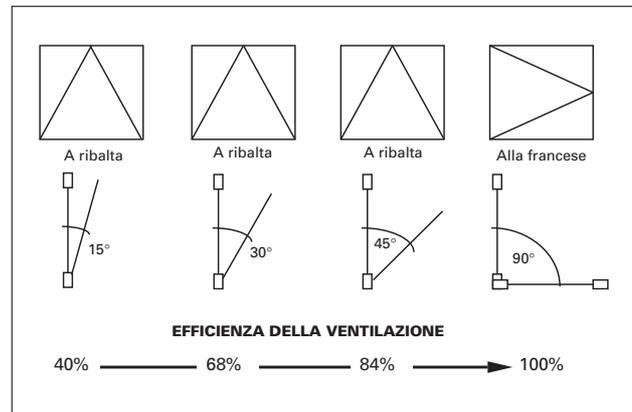


Illustrazione 5.6.1: tipo di aperture e efficienza per la ventilazione. Tutte le aperture hanno la stessa superficie.

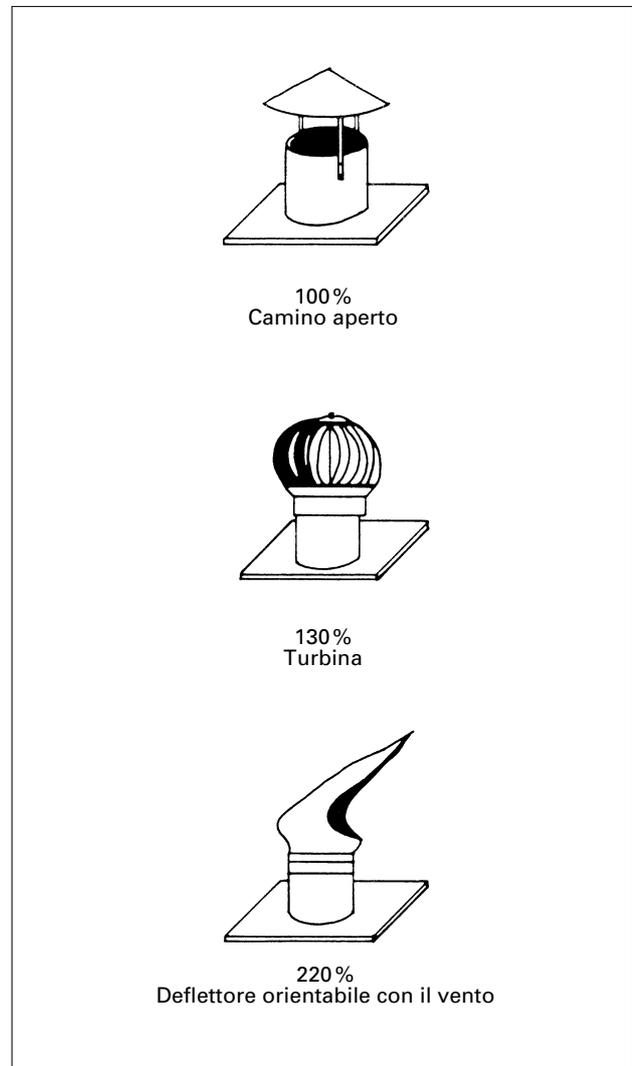


Illustrazione 5.6.2: se si usa il vento, una cappa per l'uscita dell'aria a seconda della sua geometria può raddoppiare la prestazione di un camino per l'evacuazione dell'aria (non c'è miglioramento se la ventilazione avviene tramite l'effetto camino) [12].

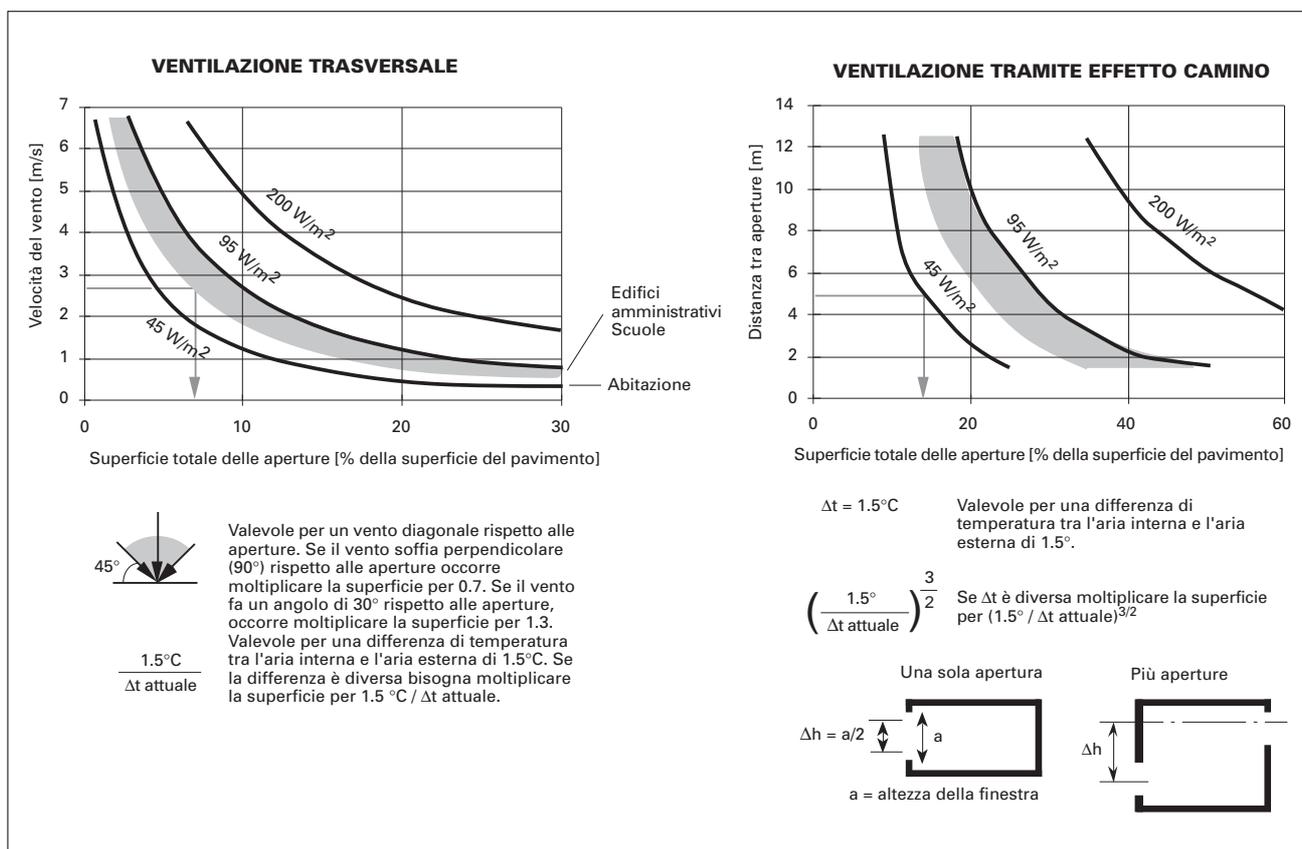


Illustrazione 5.6.3: superficie dell'apertura necessaria alla ventilazione naturale in funzione del vento o dell'altezza del «camino»[11, 14].

Il vento è dato dall'analisi del luogo. In assenza del valore prendere 0.5 ÷ 1 m/s.

Ogni curva corrisponde a una quantità di calore da evacuare (apporti interni + apporti solari in W/m² di pavimento). La curva inferiore corrisponde a un edificio vetrato normalmente (15 ÷ 20% di superficie del pavimento), la curva superiore a un edificio molto aperto verso il sole (≥ 30% di superficie vetrata).

La superficie delle aperture è considerata equivalente all'entrata e all'uscita dell'aria; il passaggio dell'aria può avvenire liberamente dalle entrate alle uscite (senza strozzature). Il diagramma fornisce la superficie totale (somma delle entrate e delle uscite). La differenza di altezza tra le aperture dell'entrata e dell'uscita dell'aria si misura sull'asse delle aperture.

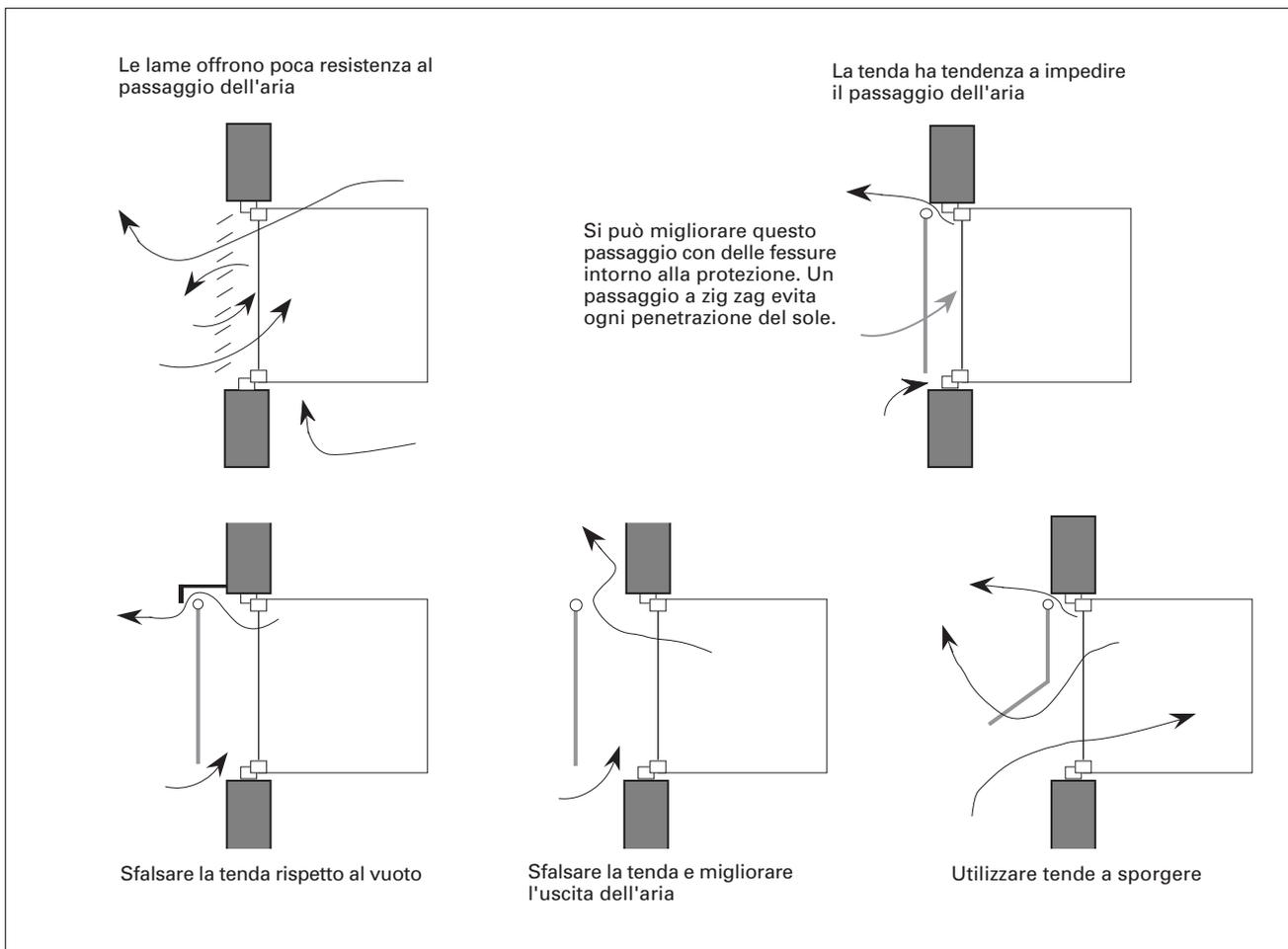


Illustrazione 5.6.4: ventilazione naturale e protezione solare. Se una finestra è usata per ventilare, la protezione solare non deve impedire il passaggio dell'aria.

Principio

I movimenti dell'aria sono dovuti a differenze di temperatura o di pressione.

La ventilazione dovuta alla differenza di temperatura (effetto camino) è stata affrontata nel capitolo 5.3; «Distribuire il calore», al punto «dimensionamento» nelle pagine precedenti, in particolare nelle illustrazioni 5.6.1 e 3; e nell'allegato A5.4 «Effetto camino». Questo tipo di ventilazione verrà trattato alla fine di questo capitolo (illustrazione 5.6.18).

Nell'allegato A5.6 viene abbozzato un metodo per «controllare» i flussi d'aria negli edifici. Questo capitolo si limita a fornire alcune soluzioni standard per migliorare la ventilazione naturale sfruttando il vento.

Il principio base è illustrato nel disegno 5.6.5.

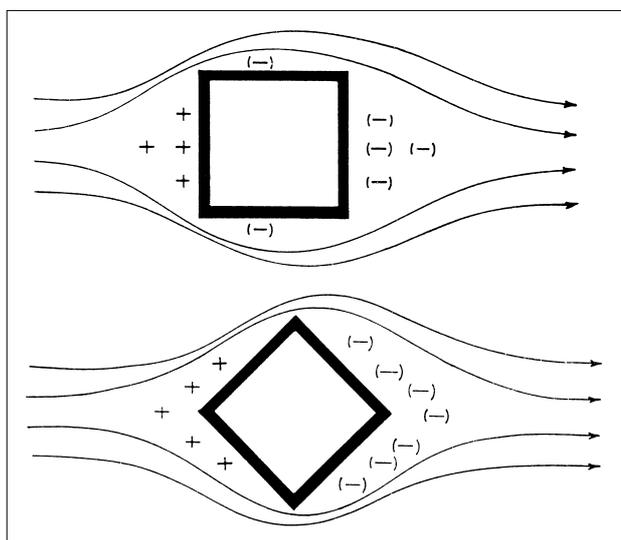


Illustrazione 5.6.5: il passaggio dell'aria intorno all'edificio provoca delle zone a pressione positiva al vento, e negativa sotto vento [1, 12, 14].

Situazione

Con l'insediamento nel luogo è possibile migliorare l'incanalamento del vento sulla facciata dell'edificio (illustrazione 5.6.6).

L'orientamento della facciata al vento gioca un ruolo fondamentale. Per dare libertà all'orientamento in rapporto al sole, deflettori sotto forma di

muro o di piantagione possono correggere la direzione del vento. Questo orientamento in rapporto al vento dovrebbe essere di 45° al massimo (illustrazione 5.6.7 e 5.6.8).

Un ombreggiamento del suolo intorno all'edificio può anche raffreddare la brezza estiva prima di contribuire alla ventilazione (illustrazione 5.6.9).

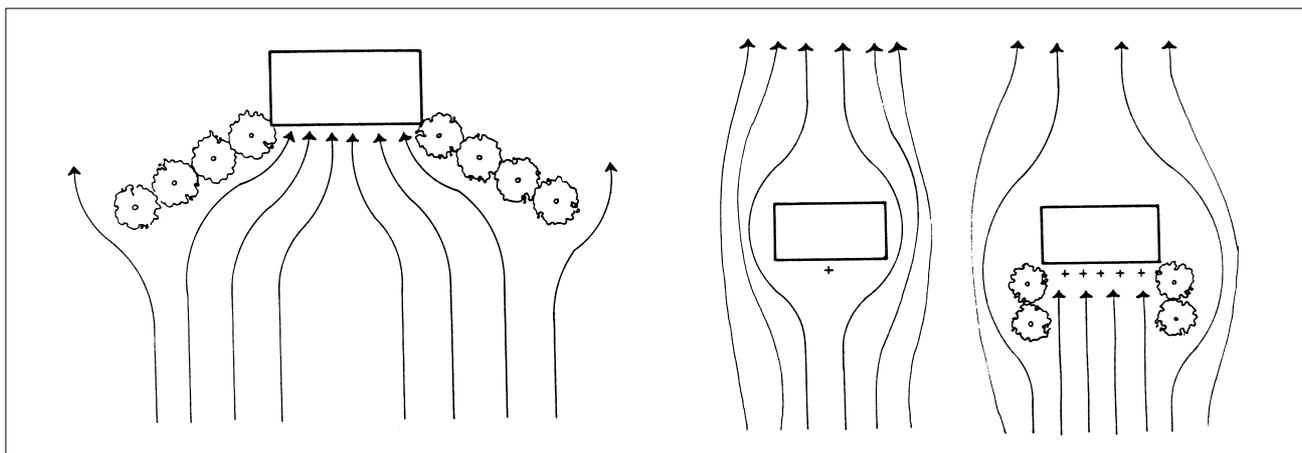


Illustrazione 5.6.6: alberi e cespugli possono incanalare le brezze verso l'edificio. Impedendo al vento di aggirare l'edificio sui suoi lati, alcuni cespugli o alberi possono migliorare in modo significativo la ventilazione naturale [12].

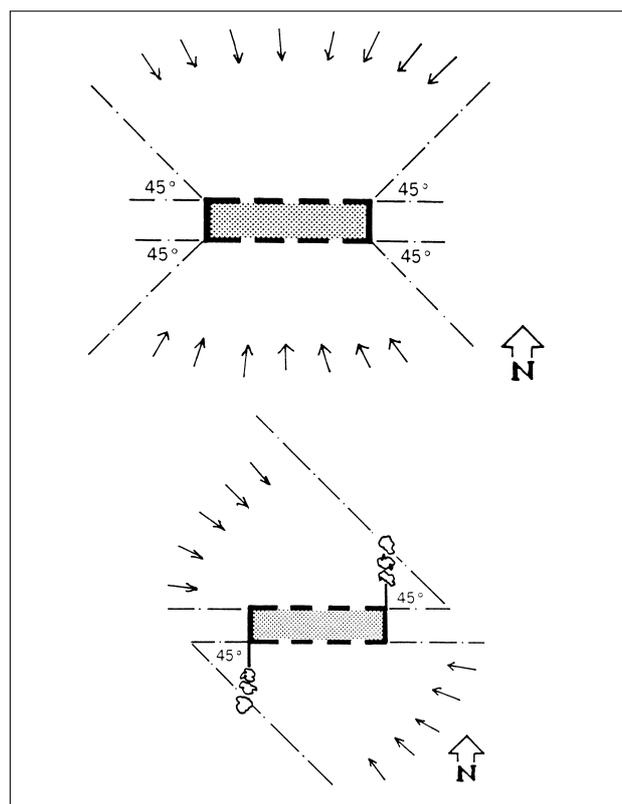


Illustrazione 5.6.8: deflettori sotto forma di muro o di siepi possono essere usati per cambiare la direzione del vento in modo che l'orientamento ottimale verso il sole possa essere conservato [1, 12, 14, 22].

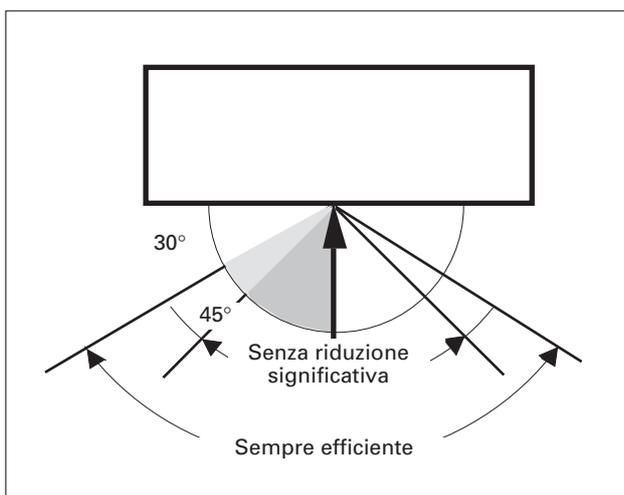


Illustrazione 5.6.7: orientamento delle facciate in rapporto al vento [1, 12, 14, 22].

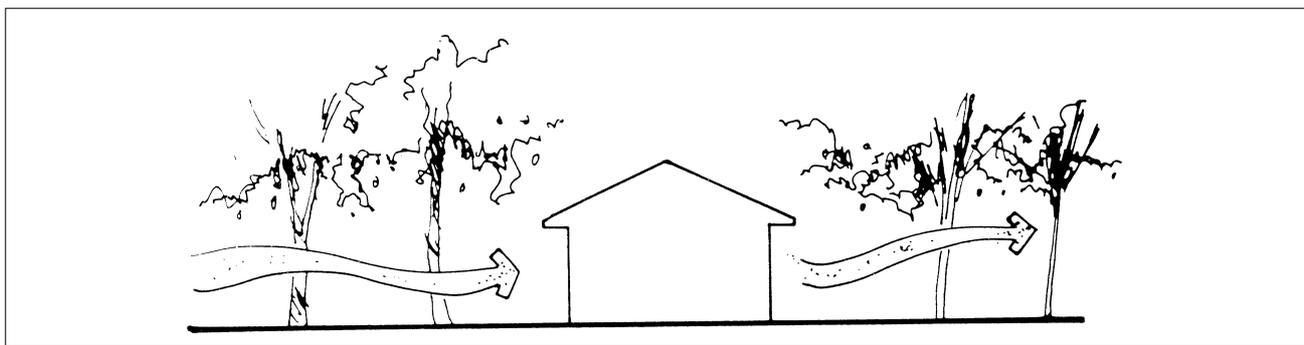


Illustrazione 5.6.9: un suolo vegetale, libero da ostacoli e ombreggiato da alberi, permette alle brezze estive di raffreddarsi prima di penetrare nell'edificio [12].

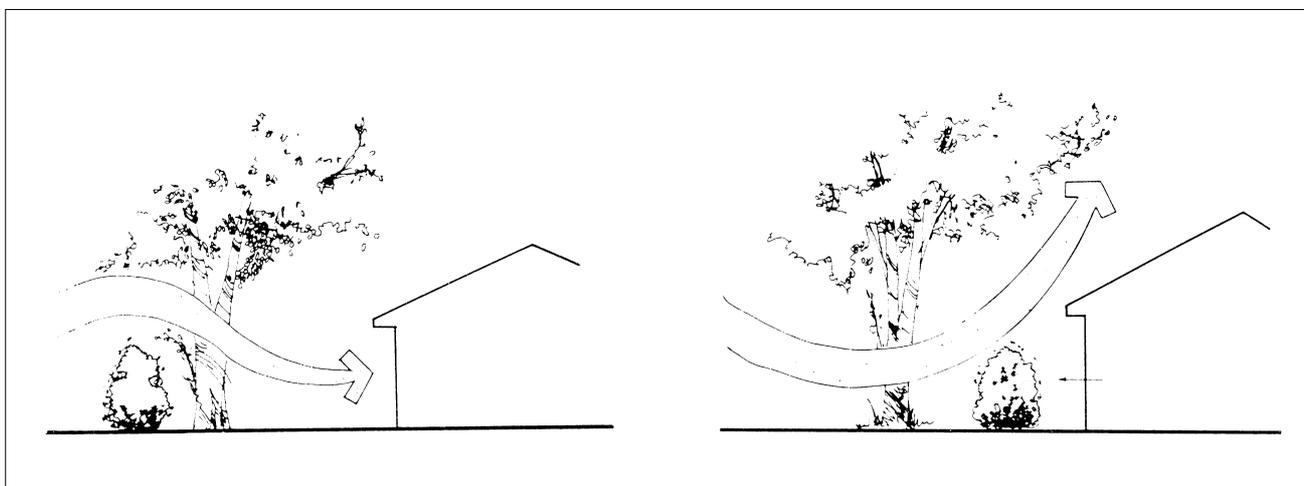


Illustrazione 5.6.10: per ottimizzare la ventilazione estiva bisogna piantare i cespugli a una certa distanza dall'edificio e gli alberi invece più vicini. Invertendo questa disposizione è invece possibile, in inverno, proteggere l'edificio da un vento eccessivo [12].

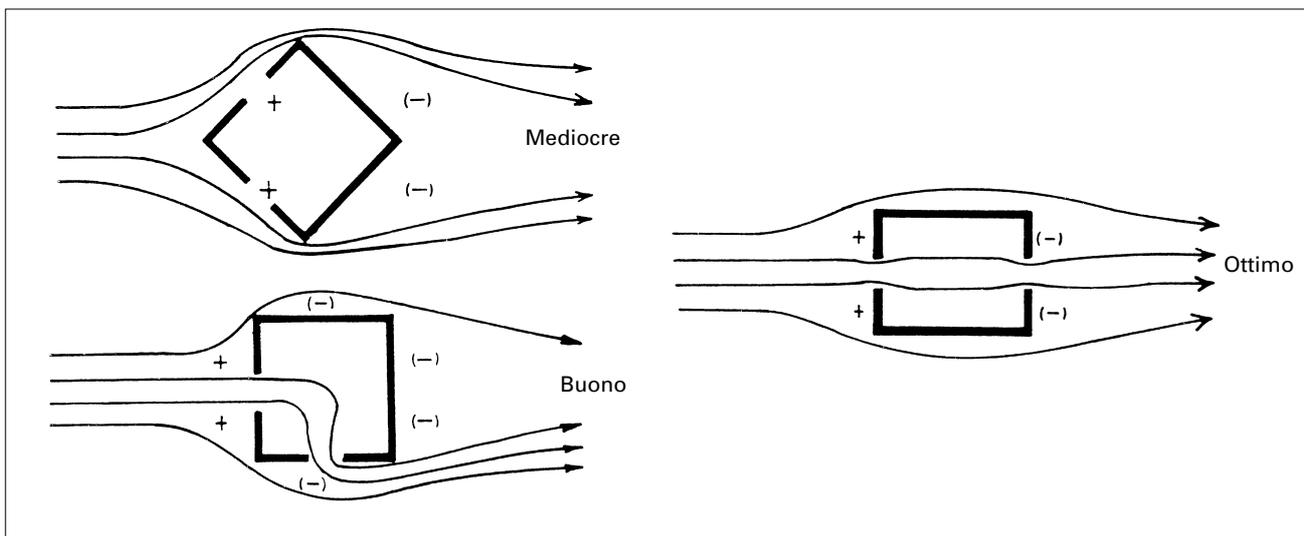


Illustrazione 5.6.11: una ventilazione trasversale tra aperture situate su muri opposti è la soluzione migliore. Una ventilazione tra aperture situate su muri adiacenti può essere efficace oppure irrilevante a seconda della direzione del vento [12].

Posizione delle aperture

Le illustrazioni 5.6.11 - 13 presentano i principi base del posizionamento delle aperture nelle facciate e il loro influsso sulla ventilazione naturale.

Corrente d'aria

Alcuni principi evocati nelle regole sono illustrati nei disegni 5.6.14 - 17.

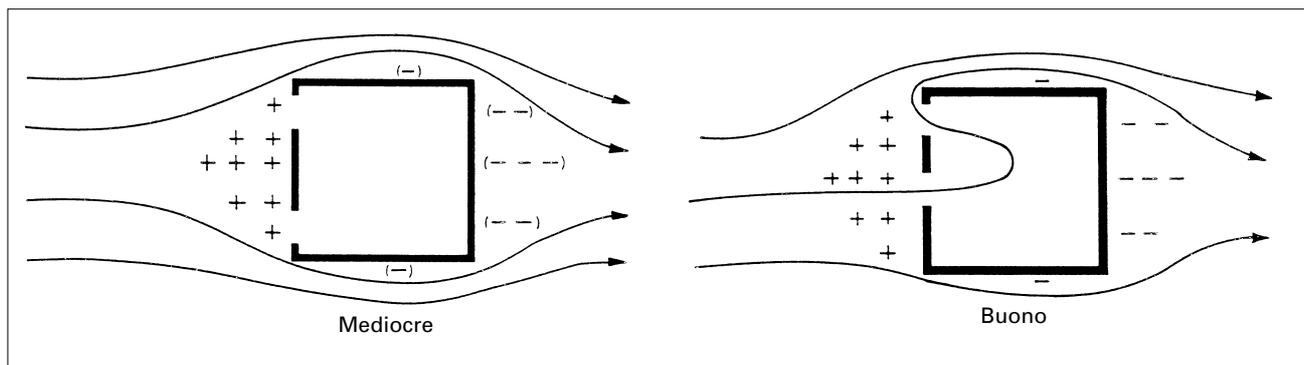


Illustrazione 5.6.12: una ventilazione è possibile con aperture su una stessa facciata se vengono posate in modo asimmetrico, la pressione essendo al centro del lato più forte che nell'angolo [12].

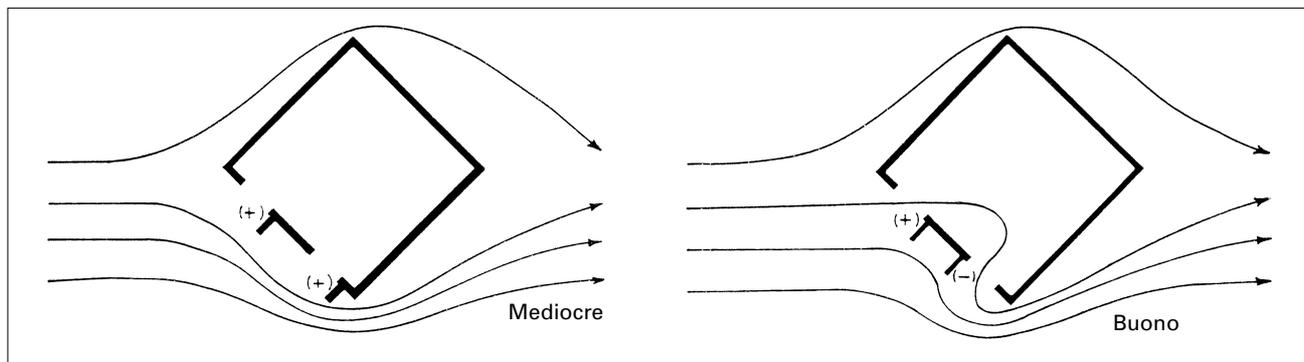


Illustrazione 5.6.13: deflettori verticali possono aumentare in modo significativo la ventilazione attraverso aperture posate su uno stesso lato, creando punte positive o negative a seconda del loro posizionamento [1, 12, 14, 22].

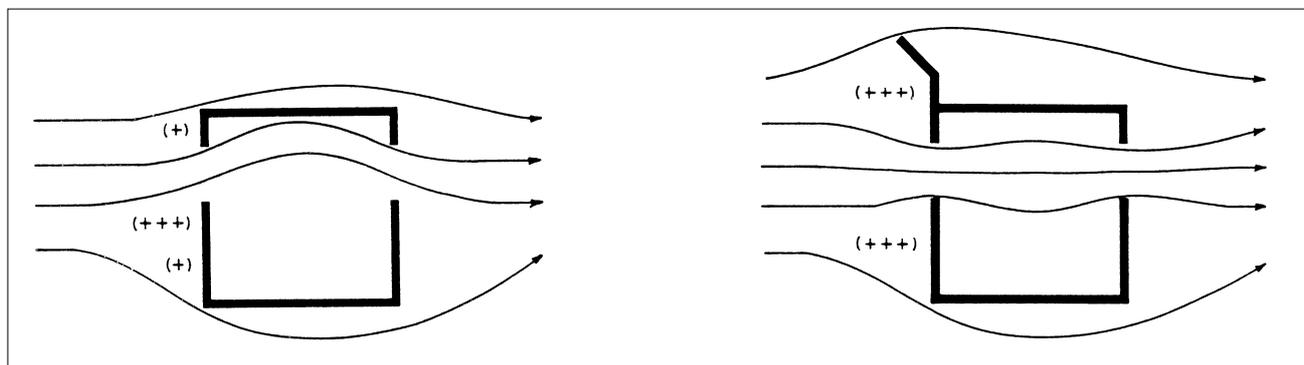


Illustrazione 5.6.14: la pressione positiva più importante all'estremità dell'apertura dirige l'aria nella direzione sbagliata. Un deflettore può ricentrare il flusso d'aria [1, 12, 14, 22].

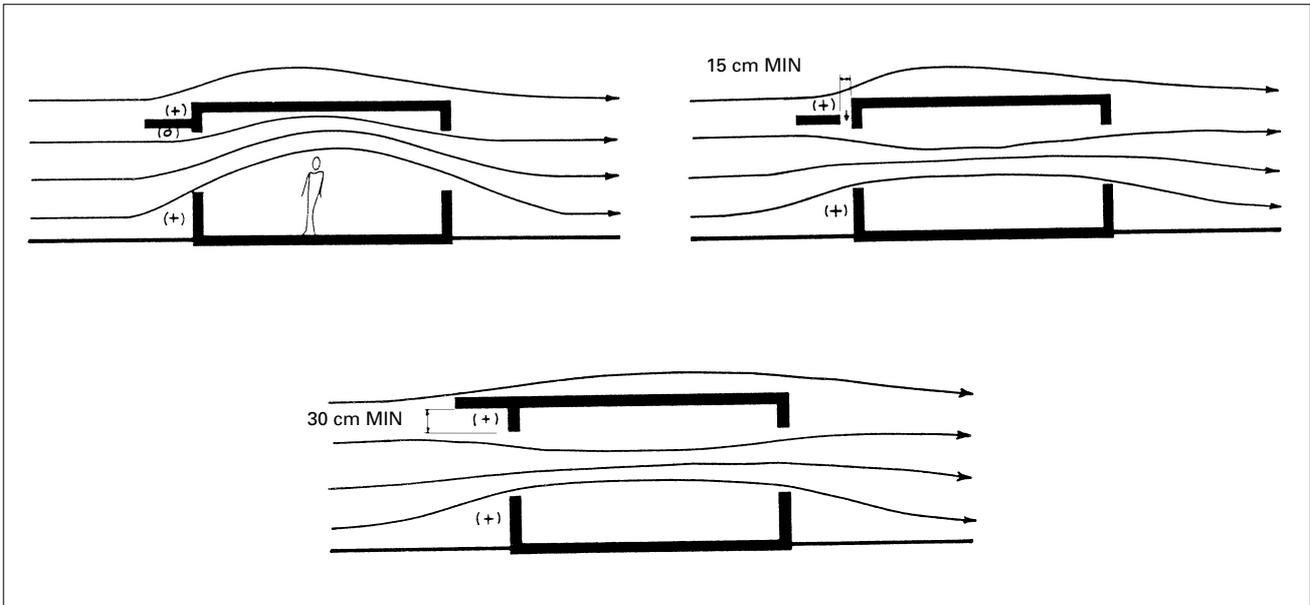


Illustrazione 5.6.15: avanzamento orizzontale. Un deflettore orizzontale pieno svia i flussi d'aria verso l'alto. Una fessura o uno sfalsamento rettificano il flusso facendolo restare orizzontale [1, 12, 14, 22].

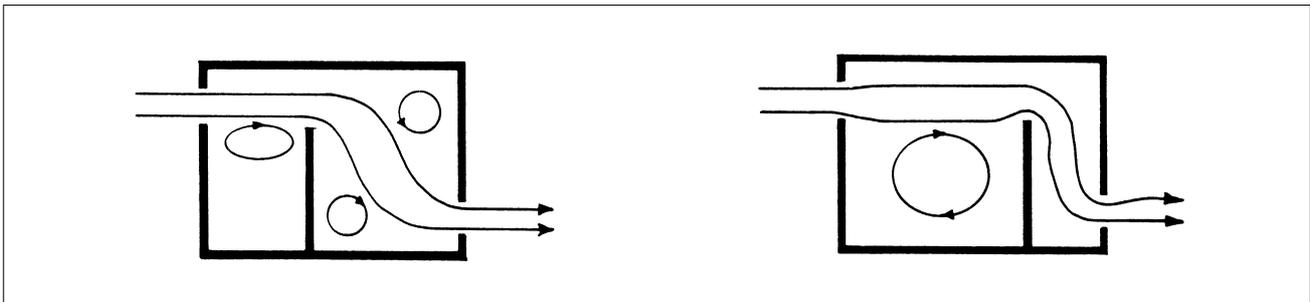


Illustrazione 5.6.16: una pianta «libera» è preferibile perché le divisioni interne aumentano la resistenza al passaggio dell'aria. La diminuzione della ventilazione e la distribuzione del flusso d'aria dipendono però dalla posizione delle divisioni. La migliore ventilazione interviene quando il locale più grande è rivolto verso il vento [1, 12, 14, 22, 23].

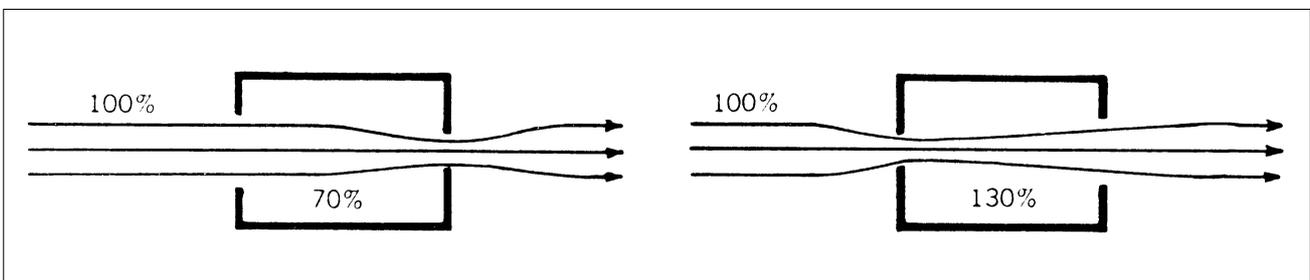


Illustrazione 5.6.17: le aperture di entrata e uscita dovrebbero avere le stesse dimensioni per ottenere l'efficienza massima. Se non è possibile, le aperture di entrata dell'aria dovrebbero essere le più piccole, onde ottimizzare la velocità dell'aria e il benessere estivo (le percentuali si riferiscono alla velocità e non alla portata) [12, 22].

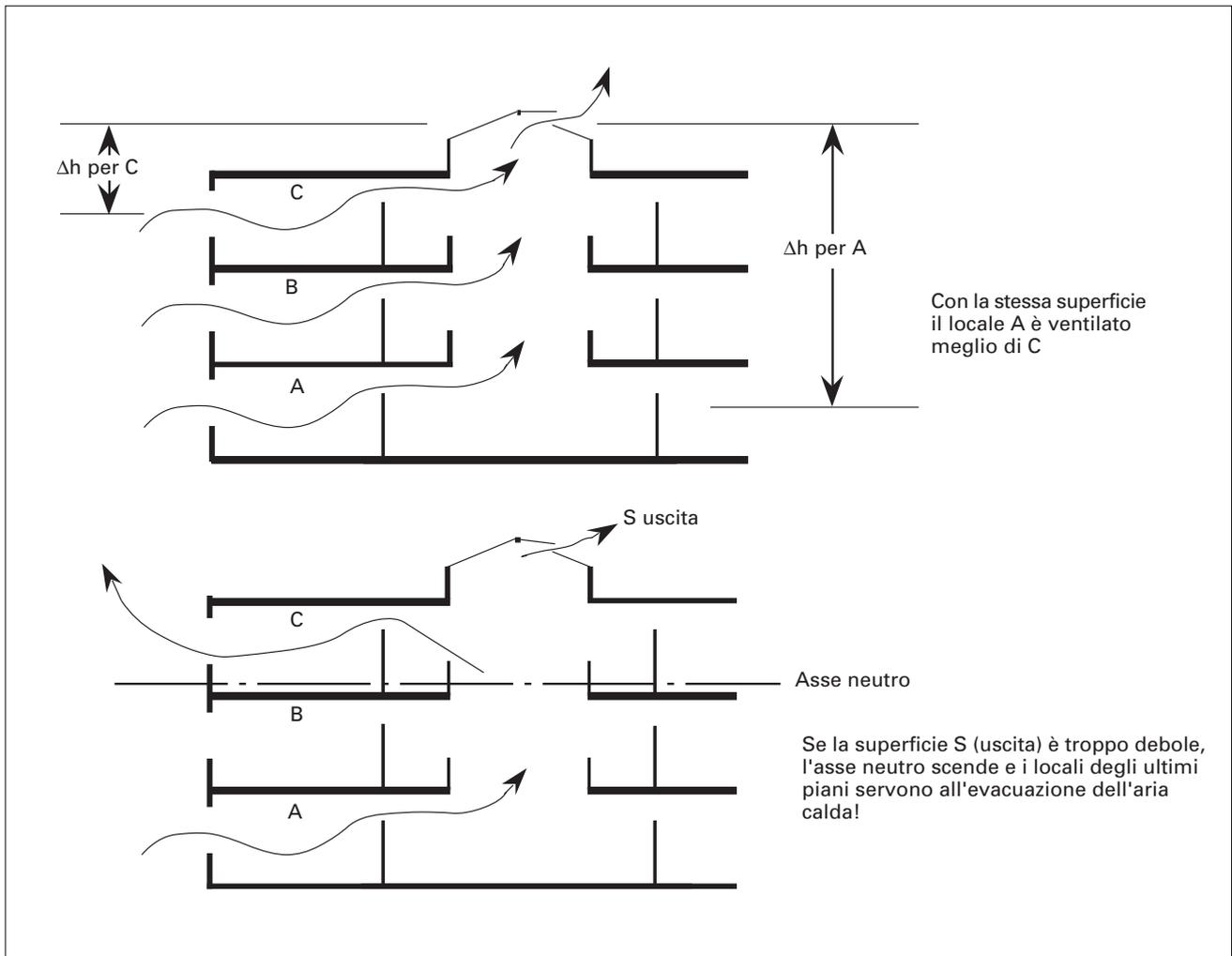


Illustrazione 5.6.18: effetto camino: aperture multiple ripartite su tutta l'altezza. Il controllo dei movimenti d'aria diventa più complesso.
 L'asse neutro è il livello dove le pressioni sono in equilibrio. Sotto questo asse, le aperture sono in depressione, sopra in sovrappressione. Questo asse si situa generalmente a metà altezza tra le aperture situate in basso e quelle situate in alto. Quando la superficie delle aperture situate in basso (entrata dell'aria) e in alto (uscita dell'aria) sono troppo diverse, questo asse si sposta da metà altezza verso il livello delle aperture più grandi (verso l'alto nell'esempio dell'illustrazione).

5.7 Sfasamento degli apporti e ventilazione notturna

Base

Nei periodi molto caldi (canicole), la temperatura esterna sorpassa per una parte del giorno i valori confortevoli (27° - 30°C). Non è quindi possibile, senza surriscaldare i locali, utilizzare la ventilazione naturale per evacuare il calore portato dal sole (anche se ridotta al minimo con delle protezioni solari) o quello emanante dagli occupanti.

Il principio è il seguente:

- si **sfasano gli apporti solari** e interni immagazzinandoli nella massa dell'edificio;
- si **minimizzano gli apporti esterni**: protezioni solari, finestre chiuse, isolamento dell'involucro esterno;
- si **evacua** il calore accumulato durante il giorno con un **ricambio d'aria notturno** (ventilazione naturale) approfittando delle notti più fresche.

Questa tecnica viene tradizionalmente usata in tutti i paesi del sud dell'Europa durante l'estate.

Solo la combinazione della massa necessaria all'immagazzinamento e della ventilazione notturna è efficiente.

Regole

- La **massa termica** deve rappresentare da 1 a 2 m² per m² di superficie di pavimento. Sopra i 15 cm di calcestruzzo o i 20 cm di terracotta, lo spessore della massa non è più utile [4, 5, 7, 12, 13, 16, 21].
- Più la massa è importante, più le prestazioni sono elevate.
- In modo schematico: in una abitazione almeno **una soletta** dovrebbe essere libera, oppure **tre muri** del locale; in un edificio amministrativo almeno **una soletta** (pavimento o soffitto).
- Le regole sviluppate nel capitolo 5.2 rispetto ai **rivestimenti** applicati sulla massa di immagazzinamento sono pure valide.
- La **superficie delle aperture** necessarie alla ventilazione notturna deve rappresentare dal **10 al 15%** della superficie del pavimento (somma delle entrate-uscite). Un vento regolare durante la notte di almeno 1 m/s, e una ventilazione trasversale, permettono di dividere queste superfici per due [12, 14].
- Il flusso dell'aria esterna notturna deve passare sopra le masse da raffreddare [12].
- Queste aperture verranno utilizzate durante la notte e chiuse nelle ore calde della giornata [12, 14].

Vedi anche

- Capitolo 2 Analisi del luogo
- Capitolo 5.2 Immagazzinare il calore
- Capitolo 5.6 Ventilazione naturale

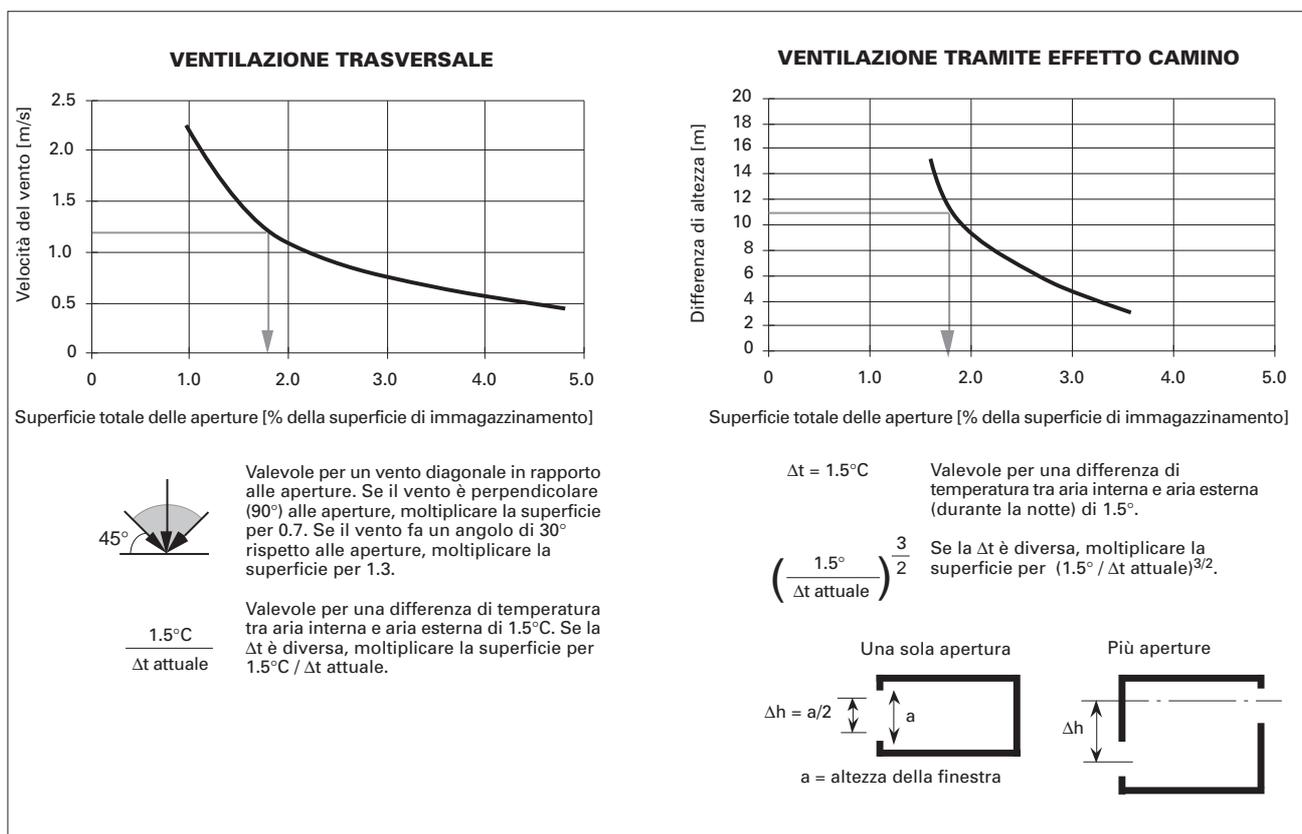


Illustrazione 5.7.1: superficie delle aperture necessarie per liberare le masse durante la notte in funzione del vento o della differenza di altezza tra le aperture [11, 4].

Il vento è dato dall'analisi del luogo. In assenza di questo valore prendere 1 m/s.

La superficie di immagazzinamento si calcola come quella dell'immagazzinamento passivo (vedi capitolo 5.2).

La superficie delle aperture è considerata equivalente alle entrate e uscite. Il diagramma fornisce la superficie totale (somma delle entrate e uscite). La differenza di altezza tra le aperture di entrata e uscita dell'aria si misura sull'asse delle aperture.

Dimensionamento

L'illustrazione 5.7.1 indica ordini di grandezza delle aperture in funzione della massa termica e della velocità del vento, o dell'altezza tra le aperture.

Ad esempio: con un vento medio di 1.2 m/s, una ventilazione trasversale, una superficie di immagazzinamento di 400 m² uguale alla superficie del pavimento degli uffici dell'edificio, per evacuare durante la notte il calore immagazzinato durante il giorno è necessaria una superficie totale delle aperture dell' 1.8% rispetto alla superficie di immagazzinamento, vale a dire, 7.2 m². Si disporranno 3.6 m² sul lato esposto al vento e 3.6 m² sul lato sotto vento. Se il vento fa un angolo di 90° con la facciata (perpendicolare), la superficie totale delle aperture necessarie diventerà di 5 m² (7.2 m² x 0.7 = 5 m²).

Se lo stesso edificio deve essere raffreddato solo con l'effetto camino e la differenza di altezza tra le aperture situate in basso e quelle situate in alto è di 11 m, bisognerà disporre dell' 1.8 % di superficie totale delle aperture in rapporto alla superficie di immagazzinamento. La differenza di temperatura tra aria interna (24°) e aria esterna durante la notte (15°) è di 9°. La superficie delle aperture non sarà più di 7.2 m² ma di 0.5 m² (7.2 m² x (1.5°/9°)^{3/2} = 0.5 m²).

5.8 Illuminazione naturale

Base

La presa di coscienza che l'energia consumata da un edificio non si limita solo al calore per il riscaldamento o all'elettricità per il raffreddamento, risale a una decina di anni fa. La riscoperta dell'importanza dell'illuminazione nel bilancio energetico di un edificio ha riabilitato l'illuminazione naturale.

Gli sviluppi attuali vanno nella direzione di strumenti informatici sofisticati e di simulazioni su modelli con cielo artificiale. Si vedono però anche apparire strumenti informatici più semplici, che permettono di «dimensionare» gli elementi di presa della luce. Questi strumenti si situano nella fase di consolidazione del progetto (progetto di massima).

Questo capitolo si limita, partendo dalle esigenze di luce naturale definite nel capitolo 3, a fornire alcune regole per dimensionare le prese di luce per un'illuminazione monolaterale, zenitale o attraverso un atrio.

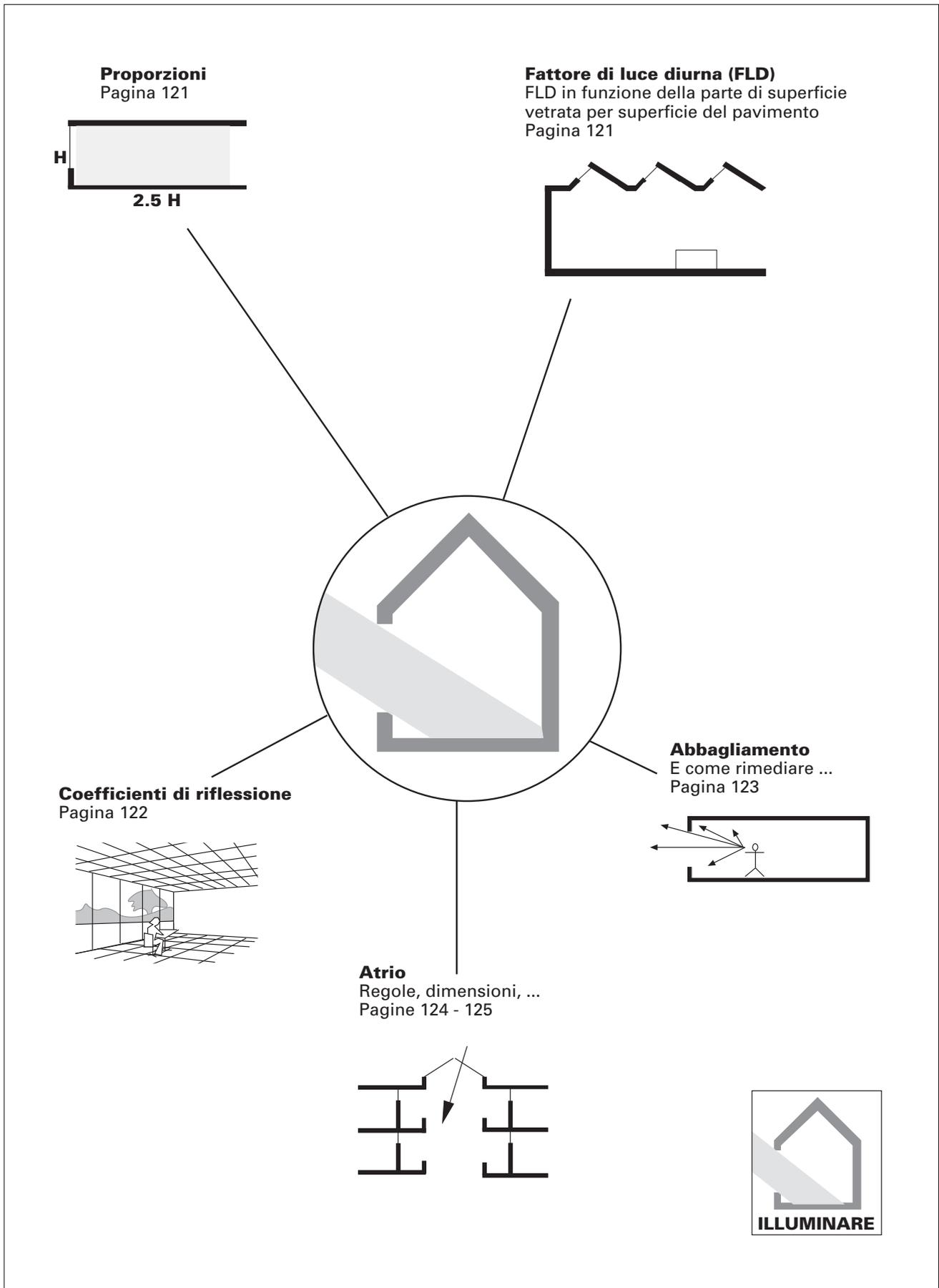
Il nesso tra il fattore di luce diurna (FLD) e l'autonomia di illuminazione è dato dall'illustrazione 4.5.1 nel capitolo 4.5: ad esempio, con un FLD del 5% e una esigenza d'illuminazione di 500 lux l'autonomia è possibile durante il 50% delle ore lavorative.

Regole

- Per un'**illuminazione monolaterale**, la penetrazione massima di luce utile è di **2.5 H**; H corrisponde all'altezza misurata della superficie da illuminare (pavimento, tavolo) nel punto più alto della finestra. Per una profondità superiore bisogna creare un «secondo giorno», cambiare cioè le proporzioni del locale.
- Un'**illuminazione bilaterale** o d'angolo offre una **uniformità migliore** di un'illuminazione monolaterale.
- Essendo la luce additiva, si possono sommare i FLD forniti da più finestre in uno stesso spazio.
- Con una superficie vetrata equivalente, un'**illuminazione zenitale è tre volte più efficace** di un'illuminazione laterale.
- In tutti i locali di lavoro o di soggiorno deve essere possibile **controllare il livello di illuminazione** naturale con delle protezioni mobili (lamelle, tende). Queste protezioni possono essere posate all'interno solo nel caso di orientamento verso nord.
- Utilizzare rivestimenti interni con **coefficienti di riflessione** più elevati possibile: pavimento da 0.30 a 0.50, muri da 0.40 a 0.60, soffitti da 0.70 a 0.90 per uniformizzare l'illuminazione interna.
- Un **atrio** con una proporzione tra altezza e profondità superiore a 2:1 non può che illuminare se stesso (pavimento e ballatoio). Per fornire ai locali adiacenti un'illuminazione supplementare rilevante la proporzione dovrebbe essere di 1:1 al massimo.

Vedi anche

- Capitolo 3.4 Benessere visuale



Dimensionamento

L'illustrazione 5.8.3 dà l'ordine di grandezza del fattore di luce diurna (FLD) in funzione del rapporto della superficie vetrata e della superficie del pavimento, per illuminazioni di tipo monolaterale o zenitale.

Per una illuminazione bilaterale (finestre su lati opposti di un locale) il FLJ_{medio} dato dalla formula dell'illustrazione 5.8.3 è pure valido, ma non il FLJ_{minimo} che sarà molto più elevato.

Tutte queste formule sono valide per un locale chiaro, rivestito cioè con superfici che hanno un coefficiente di riflessione elevato. Se il locale è scuro, il FLJ_{minimo} può essere diviso per un fattore due.

Tutte queste formule sono valide per finestre dotate di vetro doppio isolante ($\tau = 81\%$). La tabella 5.8.2 fornisce un coefficiente di trasmissione per vetri usuali.

Per migliorare l'illuminazione naturale in fondo al locale alcuni accorgimenti permettono di aumentare l'altezza H per un'altezza di piano data (vedi illustrazione 5.8.1).

Trasmissione luminosa delle finestre

È il fattore principale che determina la quantità di luce che penetra nel locale. Numerosi fattori definiscono la trasparenza di una finestra:

- il *coefficiente di trasmissione luminosa del vetro*. Questo coefficiente incide quando si usano vetri antisolari o assorbenti (vedi illustrazione 5.8.2);
- la *sporcizia del vetro*. In una zona urbana o industriale, questo fattore può ridurre di più del 20% la luce che attraversa il vetro;
- la *proporzione delle ferramenta*. Per valutare la proporzione si calcolano abitualmente la superficie del telaio e delle bacchette verticali. L'attenuazione della trasparenza dovuta al telaio è molto importante nelle finestre doppie; i due telai sono spesso sfalsati. L'impiego di telai chiari (ad esempio bianchi) diminuisce l'effetto dello spessore del telaio.

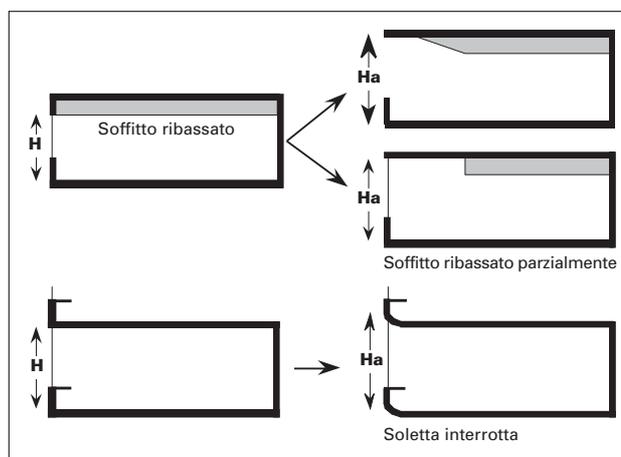


Illustrazione 5.8.1: diversi metodi per aumentare l'altezza di riferimento. Il FLJ_{minimo} in fondo al locale non viene toccato e corrisponde a H_a .

| Tipo di vetro | Trasmissione luminosa (%) |
|----------------------------|---------------------------|
| Semplice chiaro | 90 |
| semplice smerigliato | 80 |
| semplice martellato | 80 |
| Isolante doppio | 81 |
| Isolante triplo | 73 |
| Isolante doppio IR | 78 |
| Isolante doppio Antisolare | 25-50 |
| Vetrocemento | 55 |

Illustrazione 5.8.2: trasmissione luminosa di alcuni vetri

illuminazione monolaterale:

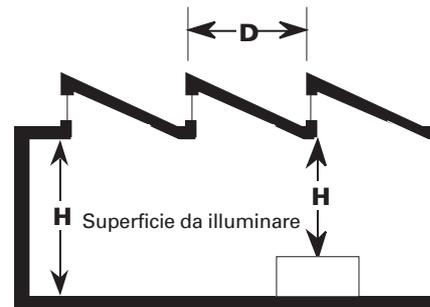
$$FLD_{\text{medio}} = 0.2 \times \frac{\text{Superficie vetrata}}{\text{Superficie del pavimento}}$$

$$FLD_{\text{minimo}} = 0.1 \times \frac{\text{Superficie vetrata}}{\text{Superficie del pavimento}}$$


illuminazione zenitale (atri):
Finestre verticali sul tetto (sheds)

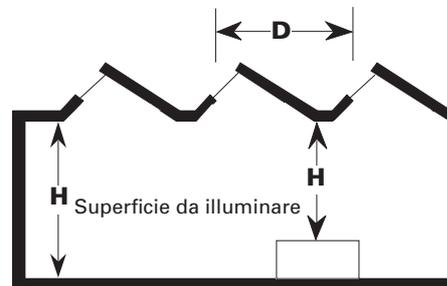
$$FLD_{\text{medio}} = 0.2 \times \frac{\text{Superficie vetrata}}{\text{Superficie del pavimento}}$$

illuminazione omogenea se: $D \leq 1.5 \times H$


Sheds verticali
Finestre inclinate sul tetto (orientate verso nord) (sheds)

$$FLD_{\text{medio}} = 0.33 \times \frac{\text{Superficie vetrata}}{\text{Superficie del pavimento}}$$

illuminazione omogenea se: $D \leq 2 \times H$


Sheds inclinati
Finestre orizzontali

$$FLD_{\text{medio}} = 0.5 \times \frac{\text{Superficie vetrata}}{\text{Superficie del pavimento}}$$

illuminazione omogenea se: $D \leq 2 \times H$

Lucernari o cupole

$$FLD_{\text{medio}} = 0.6 \times \frac{\text{Superficie vetrata}}{\text{Superficie del pavimento}}$$

illuminazione omogenea se: $D \leq 2 \times H$

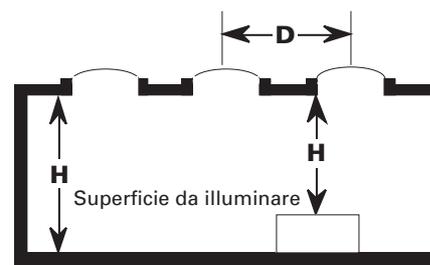

Lucernari, cupole

Illustrazione 5.8.3: illuminazione monolaterale o zenitale, fattore di luce diurna (FLD) in funzione delle superfici relative e delle proporzioni generali [11].

Queste regole sono valide alle seguenti condizioni.

- Tutte le superfici interne del locale hanno un coefficiente di riflessione elevato (pavimento: 0.30, muro: 0.60, soffitto: 0.70).
- Per le illuminazioni zenitali ci si limita a dare un FLD medio perché se i criteri di omogeneità sono rispettati, il rapporto tra illuminazione della zona più chiara e quella della zona più scura non oltrepassa 2:1.
- Tutti questi valori sono dati per giorni coperti in modo uniforme. In giorni chiari, queste formule restano valide per gli orientamenti nord, est e ovest. Per l'orientamento sud o per le vetrate orizzontali si possono dividere le costanti di ogni formula per un fattore 3.
- La vetrata è composta da un doppio vetro isolante standard ($\tau = 81\%$). Se la vetrata ha un coefficiente di trasmissione luminosa inferiore, moltiplicare i valori risultanti dal rapporto:

$$\frac{\tau_{\text{attuale}}}{\tau_{81\%}}$$

Coefficiente di riflessione

Rivestimenti interni ad alto potere di riflessione della luce permettono:

- di uniformare l'illuminazione naturale in un locale, quindi di migliorare il benessere visivo (diminuzione dei contrasti tra zone chiare e zone scure);
- di illuminare il fondo del locale attraverso la riflessione multipla sulle pareti e i soffitti. Tra un locale chiaro e uno scuro l'illuminazione del fondo del locale (a più di 4 m dalla facciata illuminata in modo monolaterale) viene raddoppiato.

Abbagliamento

La fonte principale dell'abbagliamento in un locale illuminato in modo naturale è la finestra.

Esistono vari sistemi per diminuire questo abbagliamento; sono schematizzati nell'illustrazione 5.8.6.

Un altro metodo è, come abbiamo visto precedentemente, usare rivestimenti chiari per attenuare i contrasti in un locale.

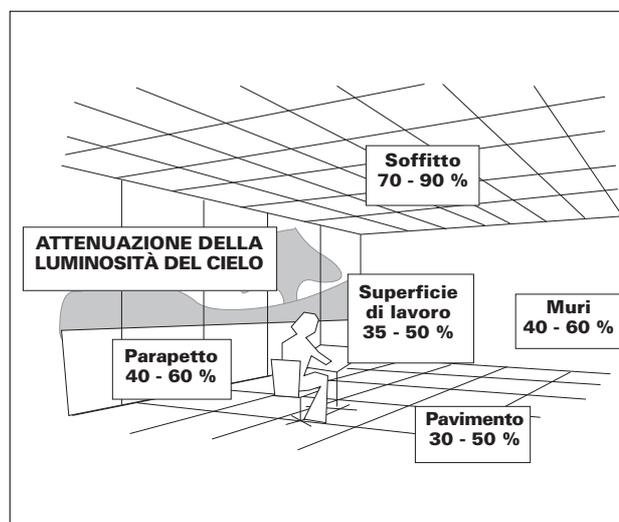


Illustrazione 5.8.4: coefficienti di riflessione raccomandati [24].

| MATERIALI | ρ | PITTURE | ρ |
|--|---------------|---------------|---------------|
| Acero, betulla | ~ 0.6 | bianco | 0.75 ... 0.85 |
| Rovere chiaro verniciato | 0.25 ... 0.35 | grigio chiaro | 0.4 ... 0.6 |
| Rovere scuro verniciato | 0.1 ... 0.15 | grigio medio | 0.25 ... 0.35 |
| Pannelli di fibra di legno, colore crema | 0.5 ... 0.6 | grigio scuro | 0.1 ... 0.15 |
| Granito | 0.2 ... 0.25 | blu chiaro | 0.4 ... 0.5 |
| Calcere | 0.35 ... 0.55 | blu scuro | 0.15 ... 0.2 |
| Marmo lucido | 0.3 ... 0.7 | verde chiaro | 0.45 ... 0.55 |
| Malta chiara, intonaco alla calce | 0.4 ... 0.45 | verde scuro | 0.15 ... 0.2 |
| Gesso | ~ 0.8 | giallo chiaro | 0.6 ... 0.7 |
| Molassa | 0.2 ... 0.4 | marrone | 0.2 ... 0.3 |
| Placcato | 0.25 ... 0.4 | rosa | 0.45 ... 0.55 |
| Calcestruzzo grezzo | 0.2 ... 0.3 | rosso scuro | 0.15 ... 0.2 |
| Mattoni, tegole rosse nuove | 0.1 ... 0.15 | | |

Illustrazione 5.8.5: coefficiente di riflessione (ρ) dei rivestimenti usuali [25].

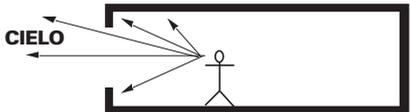
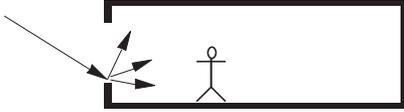
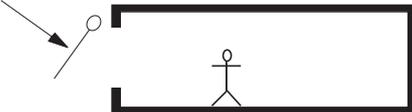
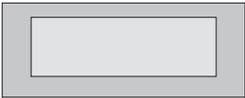
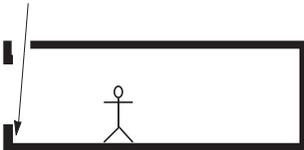
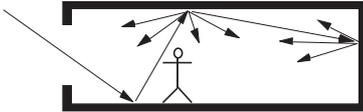
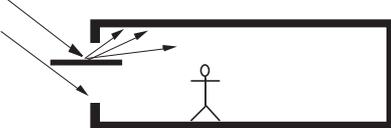
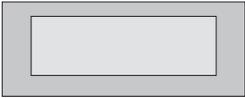
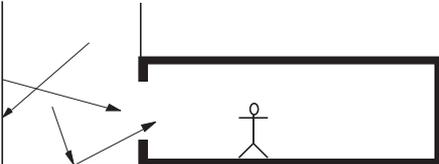
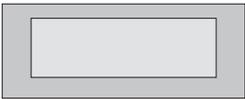
| | | |
|---|---|---|
|  |  | <p>L'abbagliamento è dato: - dalla visione del cielo attraverso la finestra - dai contrasti muro - finestra</p> |
|  |  | <p>Una grande finestra è meno abbagliante di una o più finestre piccole</p> |
| <p>Meno abbagliante Più abbagliante</p> | | |
| <p>DIMINUZIONE DELL'ABBAGLIAMENTO</p> | | |
|  |  | <p>Diminuire il contrasto muro - serramenti con un telaio chiaro (coefficiente di riflessione elevato)</p> |
|  |  | <p>Velare il cielo con una protezione solare o una tenda</p> |
|  |  | <p>Diminuire il contrasto muro - finestra illuminando il muro contenente la finestra</p> |
|  |  | <p>Diminuire il contrasto muro - finestra aumentando la parte indiretta dell'illuminazione naturale (con un locale molto chiaro)</p> |
|  |  | <p>Velare in parte il cielo oscurando la finestra con un elemento deflettore</p> |
|  |  | <p>Velare in parte il cielo posando all'esterno elementi con una luminanza più debole del cielo (atrio, corte interna)</p> |

Illustrazione 5.8.6: abbagliamento dovuto alle finestre: come rimediare [vedi 26].

Atrio

Un atrio concepito male non può che illuminare sé stesso. Adempie la sua funzione termica: spazio cuscinetto dinamico, spazio intermedio tra interno e esterno, zona per attività stagionale.

Se deve portare sole e luce all'interno di un edificio profondo, l'atrio deve rispettare certe regole.

- Un metodo semplice è dare un punteggio buono o cattivo a seconda dei parametri principali che condizionano la profondità della penetrazione dell'illuminazione naturale nei locali adiacenti (vedi illustrazione 5.8.7). Si aggiungono i punti ottenuti e si deduce la profondità di penetrazione della luce naturale. Questi metodi hanno lo svantaggio di essere oscuri e non permettono di capire i principi che stanno alla base di questi valori.
- L'illustrazione 5.8.9 elenca i parametri principali e specifica le soluzioni buone o meno buone.
- L'illustrazione 5.8.8 indica il livello di illuminazione naturale diretta (non è compreso l'apporto di riflessione multipla sulle facciate dell'atrio) sul pavimento dell'atrio, in funzione della sua geometria.
- L'illustrazione 5.8.10 permette, attraverso un nomogramma, di valutare l'apporto di luce naturale di un atrio ai locali (uffici) adiacenti, in funzione di parametri geometrici e ottici dell'atrio.

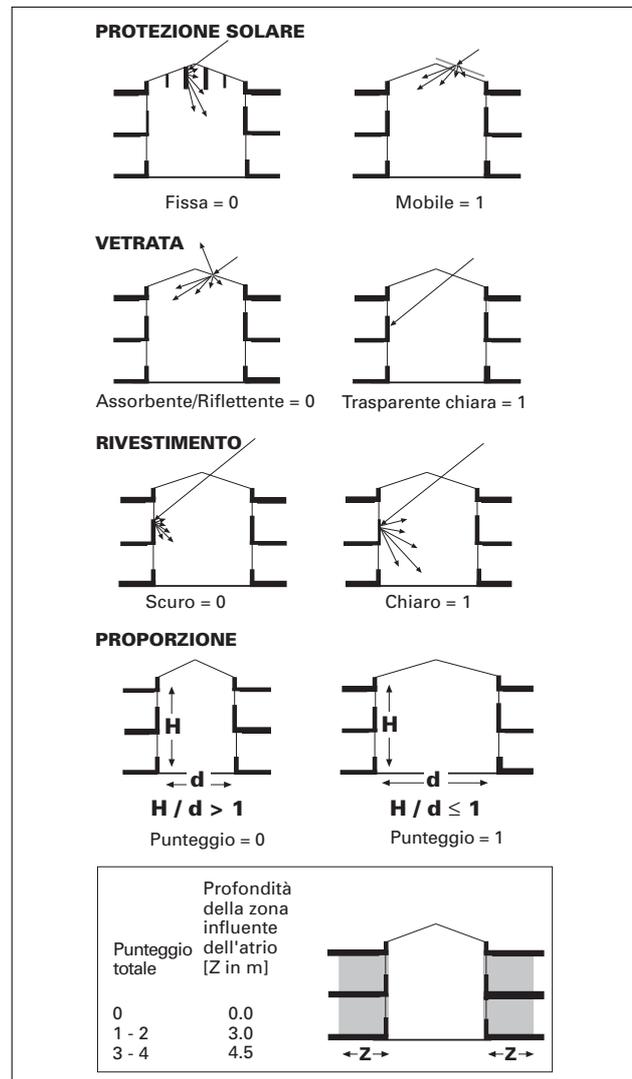


Illustrazione 5.8.7: profondità della zona illuminata naturalmente in funzione delle caratteristiche dell'atrio [16].

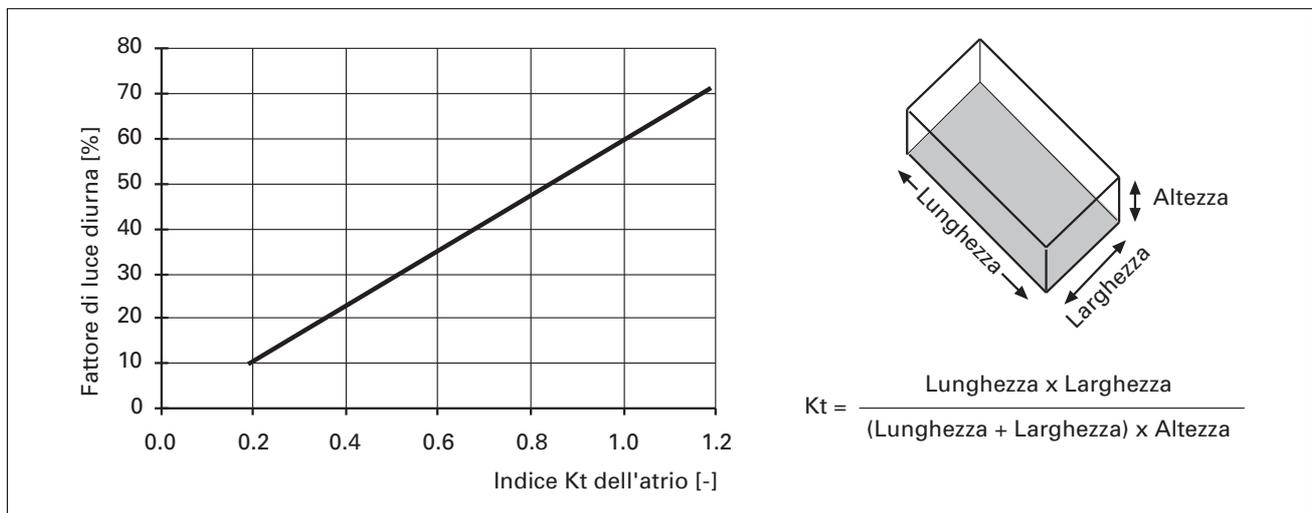
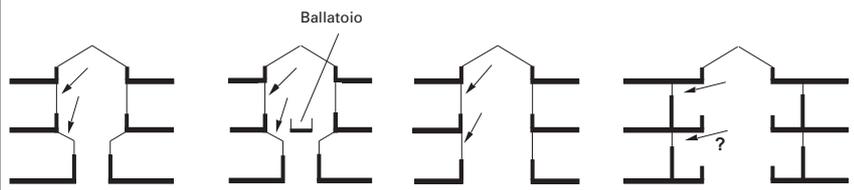


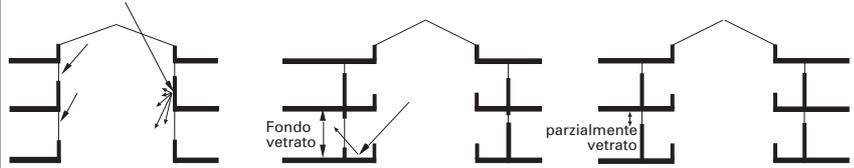
Illustrazione 5.8.8: livello d'illuminazione naturale del pavimento di un atrio: solo la parte diretta [16]. L'apporto di luce tramite la multiriflessione sulle pareti laterali dell'atrio non viene considerato.

SOLUZIONE BUONA → **SOLUZIONE MENO BUONA**

Prese di luce nell'atrio



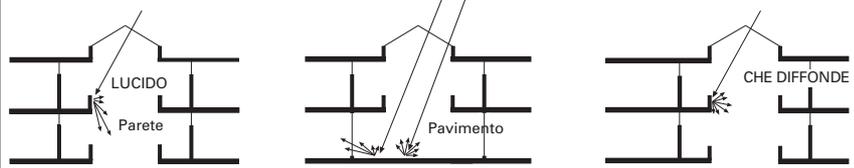
Posizione e dimensione della presa di luce



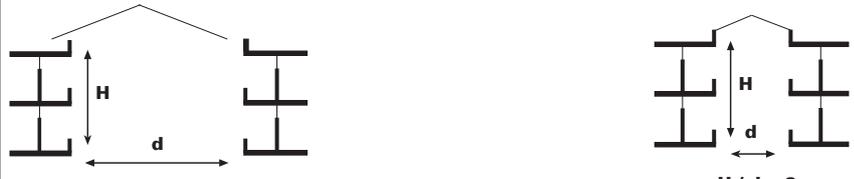
Forma dell'atrio



Revêtements de surface



Proporzioni dell'atrio



Trasparenza della vetrata dell'atrio



Dato che la luce nell'atrio è essenzialmente verticale (a parte nelle parti alte), tutte le sporgenze le impediscono di penetrare nei locali adiacenti. I ballatoi dovrebbero essere soppressi o spostati al centro. Le prese di luce dovrebbero ricevere la luce senza ostruzioni orizzontali importanti.

Le dimensioni delle finestre interne (prese di luce) dovrebbero aumentare dall'alto verso il basso. Se le ostruzioni orizzontali sono inevitabili, il muro di fondo dei locali adiacenti dovrebbe essere interamente vetrato. Una finestra sul ballatoio non basta a illuminare in modo significativo il fondo del locale.

I pozzi luce dovrebbero avere una geometria a imbuto piuttosto che verticale: la luce verticale domina e l'illuminazione delle pareti verticali sul fondo dell'atrio sono i parametri determinanti.

I rivestimenti delle superfici degli elementi verticali dovrebbero essere lucidi e chiari, il pavimento dell'atrio dovrebbe avere un rivestimento che diffonde la luce ed essere chiaro in mezzo, lucido e chiaro sui bordi. Se attorno all'atrio ci sono ballatoi, il loro soffitto e il loro pavimento dovrebbero diffondere la luce ed essere chiari.

Il rapporto altezza/larghezza di un atrio non dovrebbe superare 1:1, onde illuminare il fondo dei locali adiacenti al piano terra dell'atrio. Un atrio che supera il rapporto 2:1 illuminerà solo i ballatoi.

La vetrata superiore dell'atrio dovrebbe essere il più trasparente possibile:

- trasmissione elevata del vetro;
- vetro trasparente e non diffusivo;
- serramenti sottili (telai);
- struttura portante leggera che crea il minimo di ostacoli possibili alla penetrazione della luce;
- i serramenti dovrebbero essere chiari e lucidi;
- la protezione solare dovrebbe essere mobile, (non fissa) e modulare (protezione delle parti soleggiate della vetrata lasciando penetrare la luce dalle parti non soleggiate).

Illustrazione 5.8.9: prese di luce di un atrio: regole di base e parametri principali [24].

5.9 Bibliografia

Vedi anche Allegato A1, Bibliografia

- [1] D. Watson, K. Labs
Climatic building design, energy-efficient building principles and practice
McGraw Hill Book Company, New York 1983
- [2] Architecture et climat, centre de recherches en architecture, université catholique de Louvain (Belgique)
Energy conscious design, a primer for architects
Batsford Limited, London 1992
- [3] E. Mazria
Le guide de l'énergie solaire passive
Editions Parenthèses, Roquevaire 1981
- [4] EPFL - ITB - LESO
Le soleil, chaleur et lumière dans le bâtiment
SIA D 056, Zürich 1990
- [5] J.D. Balcomb, C.E. Kosiewicz, G.S. Lazarus, R.D. McFarland, W.O. Wray
Passive Solar Design Handbook, volumes 1-3
DOE USA, Washington 1982
- [6] F. Moore
Concepts and practice of architectural daylighting
Van Nostrand Reinhold Company, New York 1985
- [7] M. Zimmerman
Handbuch der Passiven
Sonnenenergienutzung
SIA D010 Zürich 1986
- [8] P. Bardou, V. Arzoumanian
Archi de soleil
Editions Parenthèses, Roquevaire 1978
- [9] J.L. Izard, A. Guyot
Archi bio
Editions Parenthèses, Roquevaire 1979
- [10] N.K. Bansal, G. Hauser, G. Minke
Passive building design, a handbook of natural climatic control
Elsevier, Amsterdam 1994
- [11] B. Stein, J.S. Reynolds, W.J. McGuinness
Mechanical and electrical equipment for buildings
John Wiley & Sons, New York 1986
- [12] N. Lechner
Heating cooling lighting, Design methods for architects
John Wiley & Sons, New York 1991
- [13] W. Weber, R. Contini Knobel, J.C. Enderlin, P. Galinelli, B. Lachal, H. Marti, P. Minder, P. Schweizer
Soleil et architecture, guide pratique pour le projet
OFQC PACER, Berne 1991
- [14] G.Z. Brown
Sun, wind, and light, architectural design strategies
John Wiley & Sons, New York 1985
- [15] R. Sagelsdorff, T. Frank
Isolation thermique et maitrise de l'énergie dans le bâtiment, Elément 29
Industrie suisse de la terre cuite, Zürich 1993
- [16] Divers auteurs
Energy in architecture, The European Passive Solar Handbook, CEE
Batsford Limited, London 1992
- [17] IEA Solar Task 11
Passive solar commercial & institutional buildings, A Sourcebook of Examples and Design Insights
John Wiley & Sons, New York 1994
- [18] A. Eggenberger
Thermische Messungen am erdgeschützen Wohnhaus in Wald mit verglaster Veranda
BEW + Eggenberger Bauphysik AG, Bern 1989
- [19] SIA
L'énergie dans le bâtiment SIA 380/1
SIA, Zürich 1988
- [20] LOG ID: J. Frantz, S. Hanke, M. Krampen, D. Schempp
Wintergärten, das Erlebnis, mit der Natur zu Wohnen, Planen bauen und gestalten
Falken Verlag, Niedernhausen 1986
- [21] S. Yannas
Solar energy and housing design, 2 volumes
Architectural Association, London 1994
- [22] V. Olgyay
Design with climate, bioclimatic approach to architectural regionalism
Princeton University Press, Princeton 1963
- [23] B. Givoni
L'homme, l'architecture et le climat
Editions du moniteur, Paris 1978

- [24] P. Chuard, D. Chuard
L'éclairage dans les écoles, Projet de
recherche EFFENS
OFEN 1992
- [25] Divers auteurs
L'éclairage dans les bureaux, l'industrie et
les surfaces de vente, RAVEL 4 fascicules
N° 724.329.1 à 4 f
OFQC RAVEL, Berne 1994
- [26] P. Chauvel, J.B. Collins, R. Dogniaux,
J. Longmore
Glare from windows: current view of the
problem
Lighting Research and Technology Vol 14
N° 1 1982

6. Procedimento e strategia

| | | |
|------------|---------------------|------------|
| 6.1 | Procedimento | 130 |
| 6.2 | Strategia | 130 |

6.1 Procedimento

Il procedimento proposto è semplice. Deve integrarsi nel processo «normale» di progettazione di un edificio o di un piano regolatore.

Questa procedura passa attraverso una fase di analisi del luogo, del programma e delle sue esigenze e attraverso una fase di definizione degli obiettivi da raggiungere. In seguito a questa prima fase analitica si potranno scegliere e applicare dei principi per giungere a una decisione sulla base di un concetto architettonico.

Le tecniche presentate per il dimensionamento al capitolo 5, possono essere applicate in questa prima bozza. Programmi per ordinateur permetteranno in certi casi di affinare il predimensionamento.

È solo in una fase successiva del progetto, che l'architetto consulterà uno specialista che potrà precisare il predimensionamento.

La nozione di architettura climatica ricopre un vasto campo: va da un'architettura dove questa ricerca è la base espressiva dell'edificio a un'architettura in cui l'espressione formale non riflette questi principi.

Ogni procedura architettonica è un compromesso sottile tra molte costrizioni, che il progettista deve sapere individuare e valutare. Questo documento ha unicamente la pretesa di ricordare le costrizioni climatiche e offrire degli strumenti per valutarle. Ridurre la costrizione climatica alla scelta dello spessore dell'isolante è troppo semplice. Un'architettura che «integra» le costrizioni climatiche allo stesso modo delle costrizioni strutturali (statiche) o economiche, è un'architettura climatica.

6.2 Strategia

La procedura può apparire come un processo molto logico e razionale che rischia però di appesantire l'approccio architettonico. In realtà l'esperienza del progettista lo porta a usare strategie che richiamano alcuni principi base più semplici da controllare.

Il capitolo 5 appare come una collezione di principi spesso contraddittori e senza una gerarchia. Questa impressione è dovuta al fatto che, volendo inglobare tutti i casi possibili (clima, luogo, programma) l'enumerazione dei principi diventa necessariamente eclettica.

In realtà l'analisi del luogo e del programma e delle costrizioni non climatiche, limitano enormemente i principi utilizzabili. Se l'approccio deve permettere di selezionare i principi utilizzabili, la strategia, cioè il concetto scelto, seleziona i principi da usare.

Le contraddizioni tra principi sono solo apparenti; l'assenza di costrizioni diverse da quelle climatiche danno l'impressione che la scelta sia molto ampia.

L'illustrazione 6.2.1 rappresenta una scelta di strategia per la ventilazione naturale di un edificio.

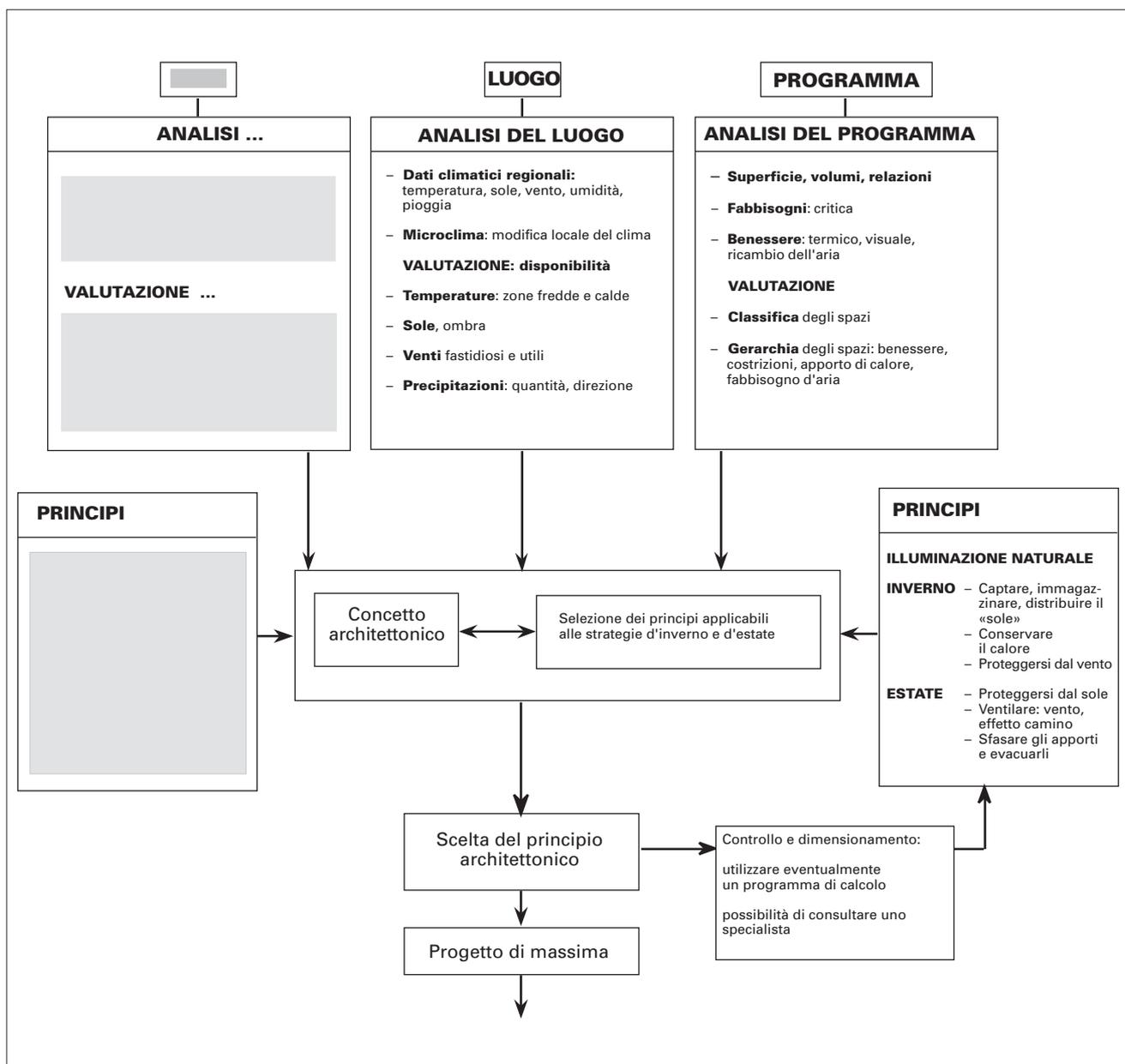


Illustrazione 6.1.1: rappresentazione schematica del procedimento proposto.

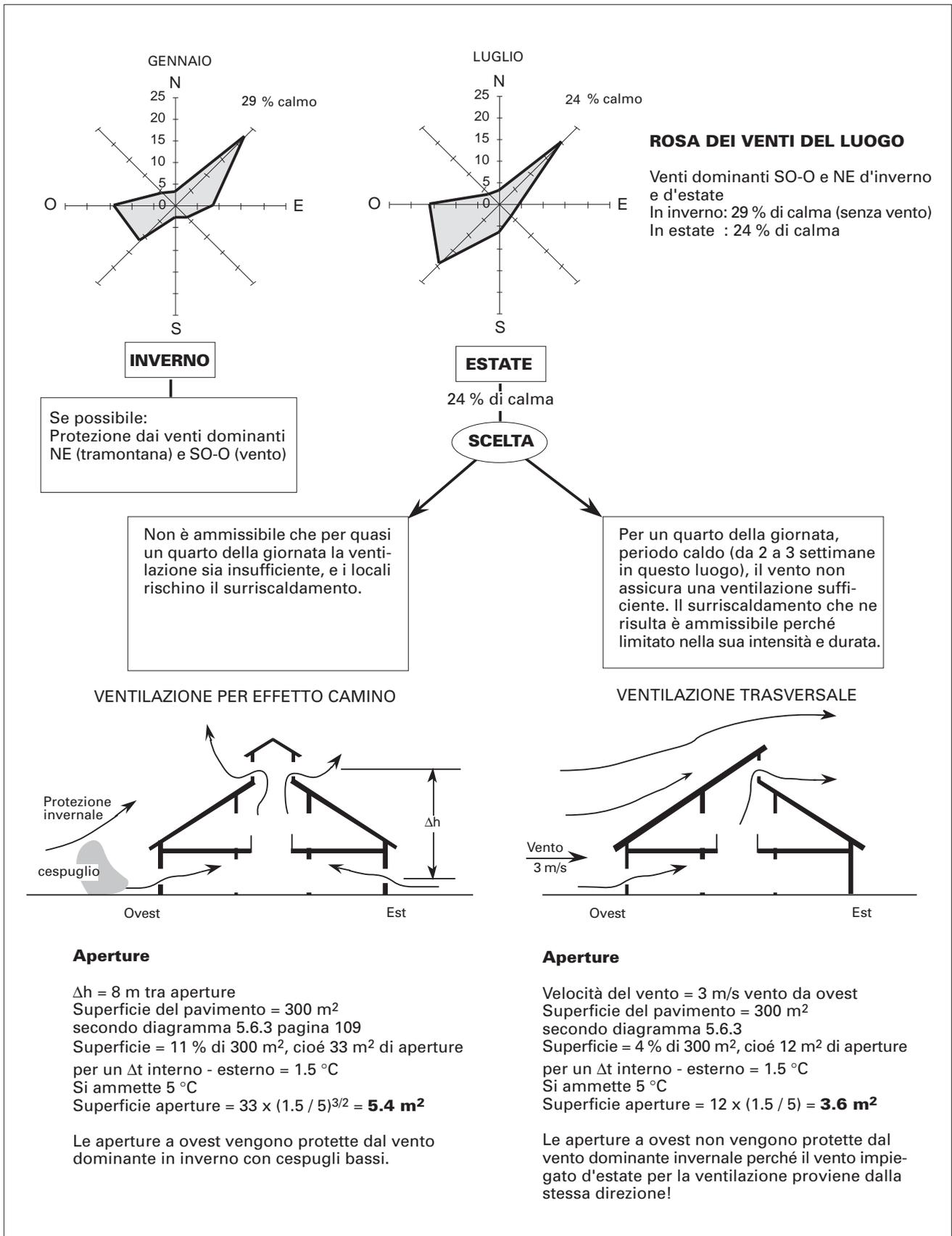


Illustrazione 6.2.1: scelta per una strategia di ventilazione naturale - esempio.

Comportamento dell'utente

Tutti i principi che implicano un comportamento particolare da parte dell'utente per poter funzionare correttamente, devono essere definiti con cura. Se in una casa monofamiliare si può immaginare che l'utente sia motivato a una buona «gestione» della sua casa, e che è realistico puntare sulla sua implicazione attiva nel funzionamento, nel caso di alloggi collettivi o edifici non residenziali (edifici amministrativi, industrie, scuole) la partecipazione attiva dell'utente deve essere limitata. Negli edifici non residenziali verranno usate tecnologie poco sensibili al comportamento dell'utente, facendo appello a automatismi o a persone.

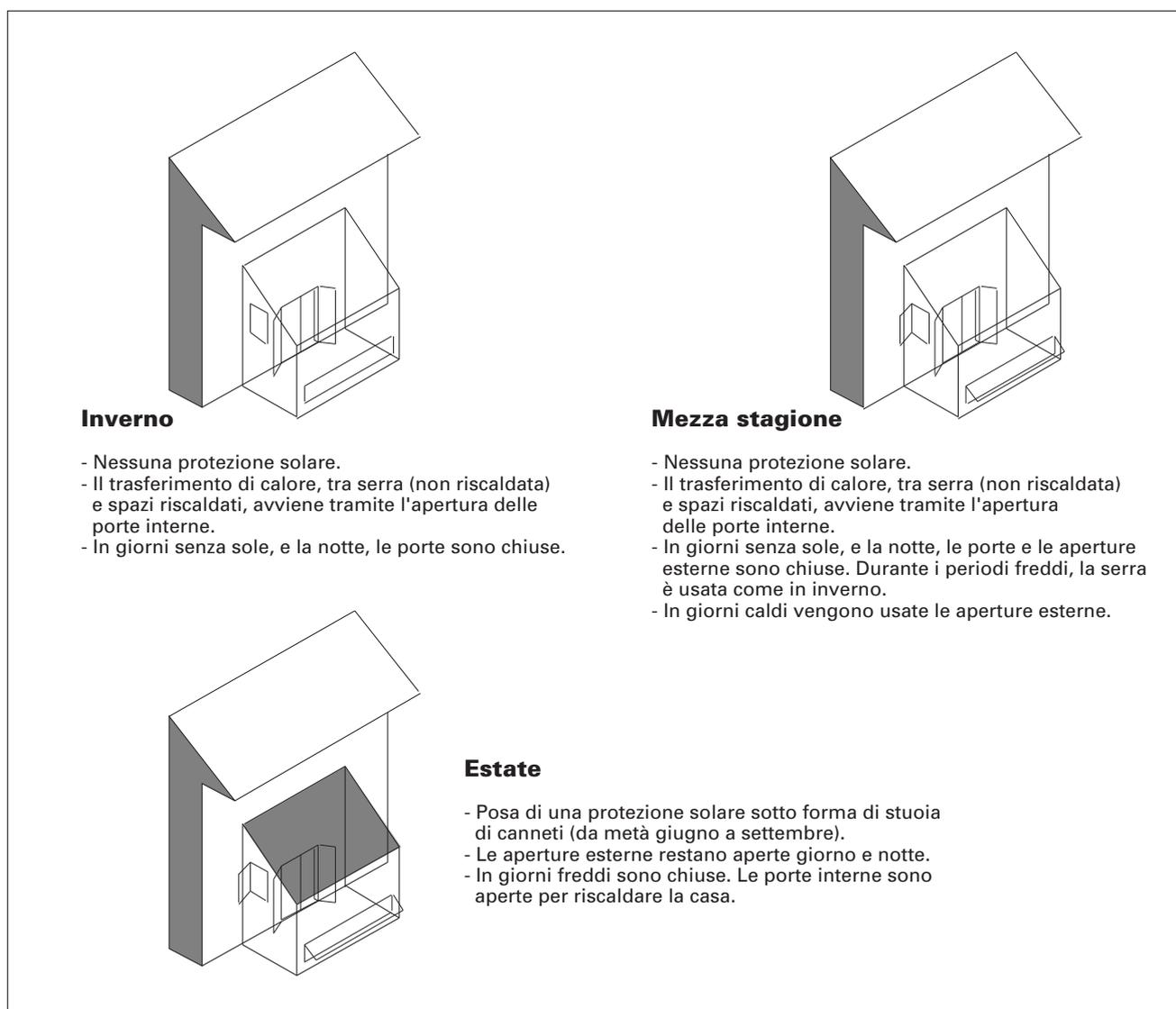


Illustrazione 6.2.3: manipolazioni stagionali e giornaliere. Esempio di una serra aggiunta.

Per fare questa scelta si distinguono abitualmente i seguenti punti.

- **Comprensione:** un sistema deve essere sufficientemente semplice da essere capito rapidamente dall'utente.
- Ogni sistema che necessita un **apprendimento** importante ha poche possibilità di essere usato bene.
- **Numero di manipolazioni:** se è possibile esigere uno o due interventi al giorno, oppure un cambiamento stagionale, non è realistico immaginare interventi più frequenti da parte dell'utente.
- **Implicazione:** la conseguenza diretta del comportamento sul consumo energetico o sul benessere, deve essere chiara e comprensibile.
- **Rischi:** le conseguenze di una manipolazione errata devono essere limitate. Un surriscaldamento di 1-2° perché l'utente ha dimenticato di usare le aperture per la ventilazione notturna, è accettabile.
- **Anticipazioni:** la gestione ottimale della maggior parte dei sistemi implica una anticipazione della meteorologia. Si lascia surriscaldare uno spazio, perché alcune ore dopo senza sole farà freddo. Si protegge una vetrata non ancora soleggiata perché la giornata si annuncia bella e c'è il rischio di surriscaldamento. Purtroppo questo tipo di comportamento è molto difficile da imparare. Non deve quindi essere indispensabile al buon funzionamento del sistema.
- **Apporti dagli spazi:** tutti gli spazi-captatori dove le zone cuscinetto dinamiche sono suscettibili di essere male utilizzate. Non sono abbastanza riscaldate dal sole nel periodo di riscaldamento (50%) e per il resto del tempo dovrebbero essere separate dagli spazi riscaldati. Negli alloggi collettivi le serre sono quasi sempre integrate al soggiorno, quindi indirettamente riscaldate (apertura delle porte) o direttamente riscaldate (apporto elettrico). La conseguenza è un aumento del consumo energetico dell'edificio. Integrando questo comportamento prevedibile nel concetto della serra (scelta del tipo di vetro) è possibile correggere l'effetto negativo del comportamento sul consumo energetico.

L'illustrazione 6.2.4 rappresenta un esempio di come l'integrazione di uno spazio-captatore nel progetto implichi un dimensionamento differenziato, e di come la scelta della funzione (atrio, circolazione, doppia facciata) abbia delle conseguenze sul comportamento possibile dell'utente.

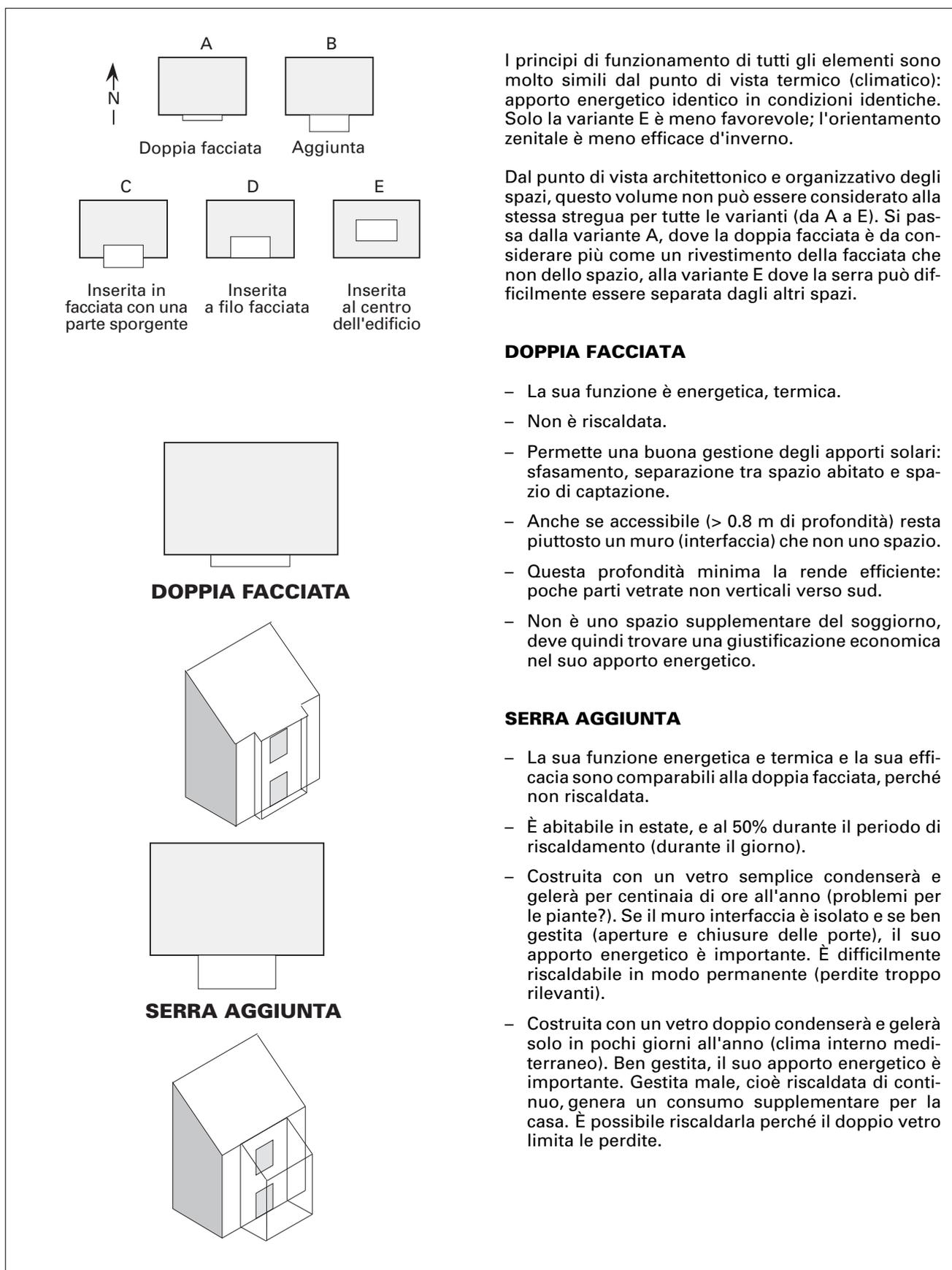
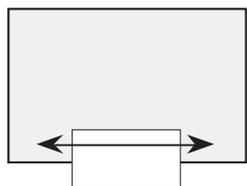
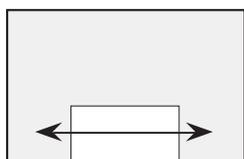
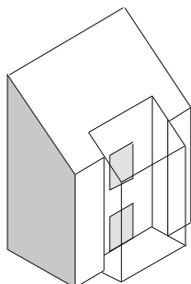


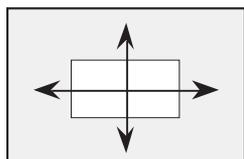
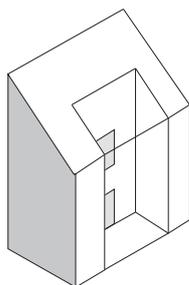
Illustrazione 6.2.4: elemento solare passivo e organizzazione spaziale - l'esempio della serra.



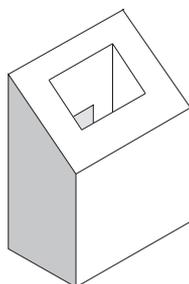
SERRA INSERITA IN FACCIATA CON UNA PARTE SPORGENTE



SERRA INSERITA A FILO FACCIATA



SERRA INSERITA AL CENTRO DELL'EDIFICIO



SERRA INSERITA IN FACCIATA CON UNA PARTE SPORGENTE O A FILO FACCIATA

- Dal punto di vista energetico e termico è paragonabile alla serra aggiunta. La sua efficienza è anche migliore perché la parte vetrata rivolta verso sud è più importante, le parti laterali essendo limitate o soppresse.
- Dal punto di vista della luce naturale è la migliore soluzione perché porta l'illuminazione al centro della parte sud dell'edificio.
- La sua utilizzazione continua è invece poco probabile: la posizione all'articolazione degli spazi non permette di separarla!
- Integrando i criteri climatici, energetici e funzionali, dovrebbe essere concepita come spazio vetrato riscaldato ($k_{\text{vetro}} < 1.3 \text{ W/m}^2, K, k_{\text{telaio}} < 3 \text{ W/m}^2, K$) e occupata in continuazione (protezione solare efficace e pratica, ventilazione naturale efficiente anche durante la mezza stagione).

SERRA INSERITA AL CENTRO DELL'EDIFICIO - ATRIO

- La sua funzione energetica e termica si giustifica solo se l'edificio è molto profondo ($> 10 - 12 \text{ m}$). Potrebbe in questo caso facilitare la ventilazione naturale degli spazi centrali.
- L'apporto solare è molto debole in inverno e molto forte in estate. Il rischio di surriscaldamento è elevato.
- L'apporto di luce è molto elevato (vedi capitolo 5.8: Illuminazione naturale). Dovrebbe essere la funzione primaria di questo spazio: portare luce.
- È illusorio pensare che questa «serra» non venga riscaldata in permanenza. Solo la sua trasformazione in un vero patio non coperto eviterebbe il riscaldamento!
- A parte le soluzioni tecniche relative alle vetrate evocate per la serra inserita a filo facciata, il metodo per renderla efficiente è concepirla come vero pozzo di luce (vedi capitolo 5.8: Illuminazione naturale), usarla per veicolare (colonna di aria calda) e migliorare la ventilazione naturale degli spazi contigui. La sua funzione dovrebbe essere compatibile anche con variazioni di temperatura più marcate (circolazione orizzontale e verticale, occupazione temporanea, atrio d'entrata, esposizioni).
- Il tetto potrebbe offrire una presa di sole direzionata verso sud: ad esempio sheds rivolti a sud.

Illustrazione 6.2.4: elemento solare passivo e organizzazione spaziale - l'esempio della serra (seguito).

Allegati

| | | |
|-----------|--------------------------------------|------------|
| A1 | Bibliografia | 141 |
| A2 | Analisi del luogo | 145 |
| A4 | Prestazioni | 167 |
| A5 | Concetto energetico: principi | 173 |

A1. Bibliografia

Le seguenti pubblicazioni sono state usate per l'elaborazione di questo manuale. Sono classificate per temi. La maggior parte elabora l'insieme dei problemi riscontrati: è quindi difficile classificarle.

Abbreviazioni utilizzate

| | |
|------------|---|
| CIE | Commissione internazionale dell'energia |
| EPFL - ITB | Scuola politecnica federale di Losanna, Institut de technique du bâtiment |
| ETHZ - HBT | Scuola politecnica federale di Zurigo, Hochbautechnik Solararchitektur |
| ISM | Istituto svizzero di meteorologia, Zurigo |
| UFE - BEW | Ufficio federale dell'energia |
| UFPC | Ufficio federale dei problemi congiunturali |
| PACER | Programma d'impulso «Energie rinnovabili» |
| RAVEL | Programma d'impulso «Uso razionale dell'elettricità» |
| SIA | Società svizzera degli ingegneri e architetti |

Opere generali, manuali, procedura globale nell'architettura climatica

- V. Olgyay
Design with climate, bioclimatic approach to architectural regionalism
Princeton University Press, Princeton 1963
- D. Watson, K. Labs
Climatic building design, energy-efficient building principles and practice
McGraw Hill Book Company, New York 1983
- Architecture et climat, centre de recherches en architecture, université catholique de Louvain (Belgique)
Energy conscious design, a primer for architects
Batsford Limited, London 1992

N.K. Bansal, G. Hauser, G. Minke
Passive building design, a handbook of natural climatic control
Elsevier, Amsterdam 1994

B. Stein, J.S. Reynolds, W.J. McGuinness
Mechanical and electrical equipment for buildings
John Wiley & Sons, New York 1986

N. Lechner
Heating cooling lighting, Design methods for architects
John Wiley & Sons, New York 1991

G.Z. Brown
Sun, wind, and light, architectural design strategies
John Wiley & Sons, New York 1985

B. Givoni
L'homme, l'architecture et le climat
Editions du moniteur, Paris 1978

V. Olgyay, A. Olgyay
Solar control and shading device
Princeton University Press, Princeton 1957

P. Lavigne, P. Brejon, P. Fernandez
Architecture climatique
Edisud, Aix-en-Provence 1994

O.H. Koenigsberger, T.G. Ingersoll, S.V. Szokolay
Manual of tropical housing and building
Longman, London 1973

Opere generali, manuali, procedura globale nell'architettura solare

E. Mazria
Le guide de l'énergie solaire passive
Editions Parenthèses, Roquevaire 1981

EPFL - ITB - LESO
Le soleil, chaleur et lumière dans le bâtiment
SIA D 056, Zürich 1990

J.D. Balcomb, C.E. Kosiewicz, G.S. Lazarus, R.D. McFarland, W.O. Wray
Passive Solar Design Handbook, volumes 1-3
DOE USA, Washington 1982

M. Zimmerman
Handbuch der Passiven Sonnenenergienutzung
SIA D010 Zürich 1986

Opere generali, manuali, procedura globale nell'architettura solare (seguito)

- S. Yannas
Solar energy and housing design, 2 volumes
Architectural Association, London 1994
- P. Bardou, V. Arzoumanian
Archi de soleil
Editions Parenthèses, Roquevaire 1978
- J.L. Izard, A. Guyot
Archi bio
Editions Parenthèses, Roquevaire 1979
- W. Weber, R. Contini Knobel, J.C. Enderlin,
P. Galinelli, B. Lachal, H. Marti, P. Minder,
P. Schweizer
Sole e architettura -
Guida pratica per la progettazione
N° di ordinazione 724.212i
UFPC PACER, Berne 1991
- Divers auteurs
Energy in architecture, The European Passive
Solar Handbook, CEE
Batsford Limited, London 1992
- IEA Solar Task 11
Passive solar commercial & institutional buildings,
A Sourcebook of Examples and Design Insights
John Wiley & Sons, New York 1994
- M. & H. Wachberger
Mit der Sonne bauen
Callwey München 1983
- LOG ID: D. Schempp, M. Krampen, F. Möllring
Solares Bauen, Stadtplanung - Bauplanung
Rudolph Müller, Köln 1992
- M. Sala, L. Ceccherini Nelli
Tecnologie solari, manuali di assistenza tecnica
Alinea editrice, Firenze 1993
- IEA Solar Task 19
Solar Air Heated Buildings, working document
HBT Solararchitektur, Zürich 1992
- G. Guenon, J.C. Kalmanovitch
Des serres pour habiter
Editions du Moniteur, Paris 1980
- LOG ID: J. Frantz, S. Hanke, M. Krampen,
D. Schempp
Wintergärten, das Erlebnis, mit der Natur zu
Wohnen, Planen bauen und gestalten
Falken Verlag, Niedernhausen 1986

Opere generali, energia dell'edificio

- R. Sagelsdorff, T. Frank
Isolation thermique et maîtrise de l'énergie dans
le bâtiment, Élément 29
Industrie suisse de la terre cuite, Zürich 1993
- SIA
L'energia nell'edilizia SIA 380/1
SIA, Zurigo 1988
- P. Chiche, M. Herzen
Architecture et démarche énergétique
Editions J.R.Müller, Orbe 1985
- R. Dehausse
Énergétique des bâtiments, des secteurs tertiaires
et résidentielles
Pyc éditions, Paris 1988

Esempi o misure di edifici solari passivi

- A. Eggenberger
Thermische Messungen am erdgeschützten
Wohnhaus in Wald mit verglaster Veranda
BEW + Eggenberger Bauphysik AG, Bern 1989
- M. Kunz
Zwei Solarhäuser unter der Lupe D058
SIA, Zürich 1990
- A. Gütermann, P. Krüsi
Solarhaus Lenherr, Schwyz, Wintergarten-Fenster-
kollektor-Kombination mit Boden-Wandspeicher
HBT Solararchitektur, Zürich 1992
- A Binz, A. Gütermann
Die Optimierung des passiven und hybriden
Sonnenenergienutzung an drei Projekten, IEA
Task 8
BEW + NEFF, Bern 1986
- P. Schlegel, C. Filleux
Passive Sonnenhäuser D011
SIA, Zürich 1987
- Y. Brügger, D. Chuard, P. Jaboyedoff
Nouvelle université de Neuchâtel, mesure de la
serre
BEW + HBT Solararchitektur, Zürich 1990

Illuminazione naturale

- F. Moore
Concepts and practice of architectural daylighting
Van Nostrand Reinhold Company, New York 1985

Illuminazione naturale (seguito)

Autori vari

Illuminazione degli uffici, degli edifici industriali e delle superfici di vendita
4 fascicoli, N° di ordinazione 724.329.1/2/3/4 i
UFPC, RAVEL, Berna 1996

Autori vari

Luce naturale e comfort
N° di ordinazione 724.306 d/f/i
UFPC, RAVEL, Berna 1995

Y. Golay

Etudes typologiques, Programme LUMEN,
« Lumière naturelle et énergétique du bâtiment »
EPFL – ITB, Lausanne 1994

Divers auteurs

Daylighting in architecture, An European
Reference Book, CEE
James & James, London 1993

CIE

Daylight, Commission Internationale de l'Eclairage
publication CIE N° 16
CIE 1970

Divers auteurs

Le travail à l'écran de visualisation
CNA, Lucerne 1991

P. Chuard, D. Chuard

L'éclairage dans les écoles, Projet de recherche
EFFENS
OFEN 1992

P. Chauvel, J.B. Collins, R. Dogniaux, J. Longmore

Glare from windows: current view of problem
Lighting Research and Technology Vol 14 N° 1
1982

Divers auteurs

Niveaux thermiques de la Suisse
4 cartes au 1 : 200 000
Service topographique fédéral, Berne 1975

T. Baumgartner, U. Steinemann, W. Geiger

Meteorodaten für die Haustechnik
SIA D012, Zürich 1987

M. Bouët

Climat et météorologie de la Suisse romande
Payot, Lausanne 1972

M. Schüepp, M. Bouët, M. Bider, C. Urfer

Klimatologie der Schweiz,
Regionale Klimabeschreibungen
ISM, Zürich 1978

M. Schüepp

Klimatologie der Schweiz,
Wind
ISM, Zürich 1973

W. Kirchhofer

Atlas climatologique de la Suisse
ISM, Zürich 1982 à 1995

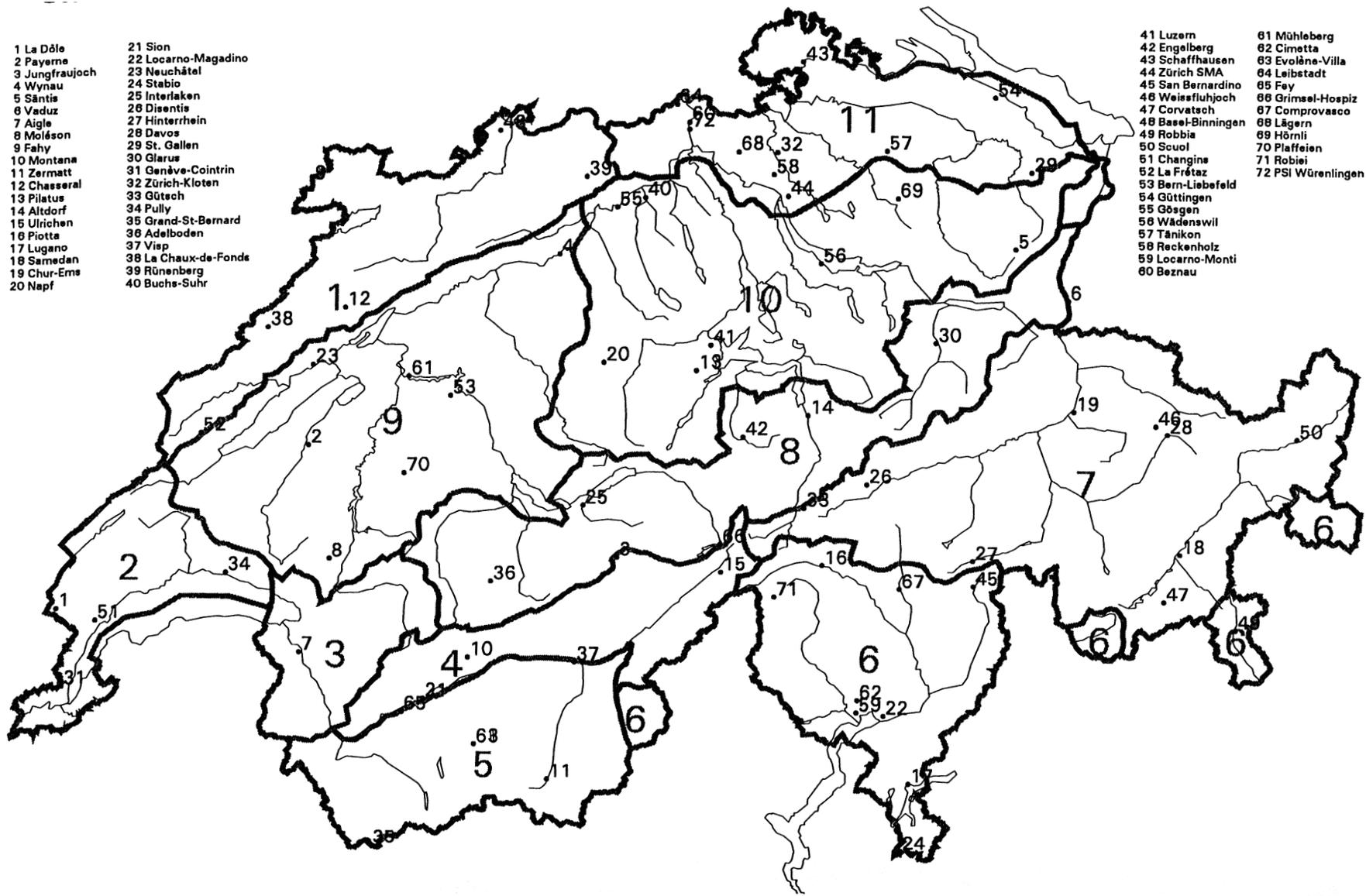
A2. Analisi del luogo

| | | |
|-------|---|-----|
| A2.1 | Regioni climatiche della Svizzera | 146 |
| A2.2 | Variazioni della temperatura media in funzione della regione climatica e dell'altitudine | 148 |
| A2.3 | Variazione dell'irraggiamento globale orizzontale in funzione della regione climatica e dell'altitudine | 151 |
| A2.4 | Moto del sole nella proiezione cilindrica | 154 |
| A2.5 | Moto del sole nella proiezione stereografica | 155 |
| A2.6 | Moto del sole: valori numerici | 156 |
| A2.7 | Quadrante solare | 157 |
| A2.8 | Calcolatrice dell'ombra nella proiezione cilindrica | 158 |
| A2.9 | Calcolatrice dell'ombra nella proiezione stereografica | 159 |
| A2.10 | Programma di calcolo METEONORM'95 | 160 |
| A2.11 | Studio dell'irraggiamento solare con il programma AUTOCAD | 162 |
| A2.12 | Studio dell'irraggiamento solare con il programma ARCHICAD | 164 |

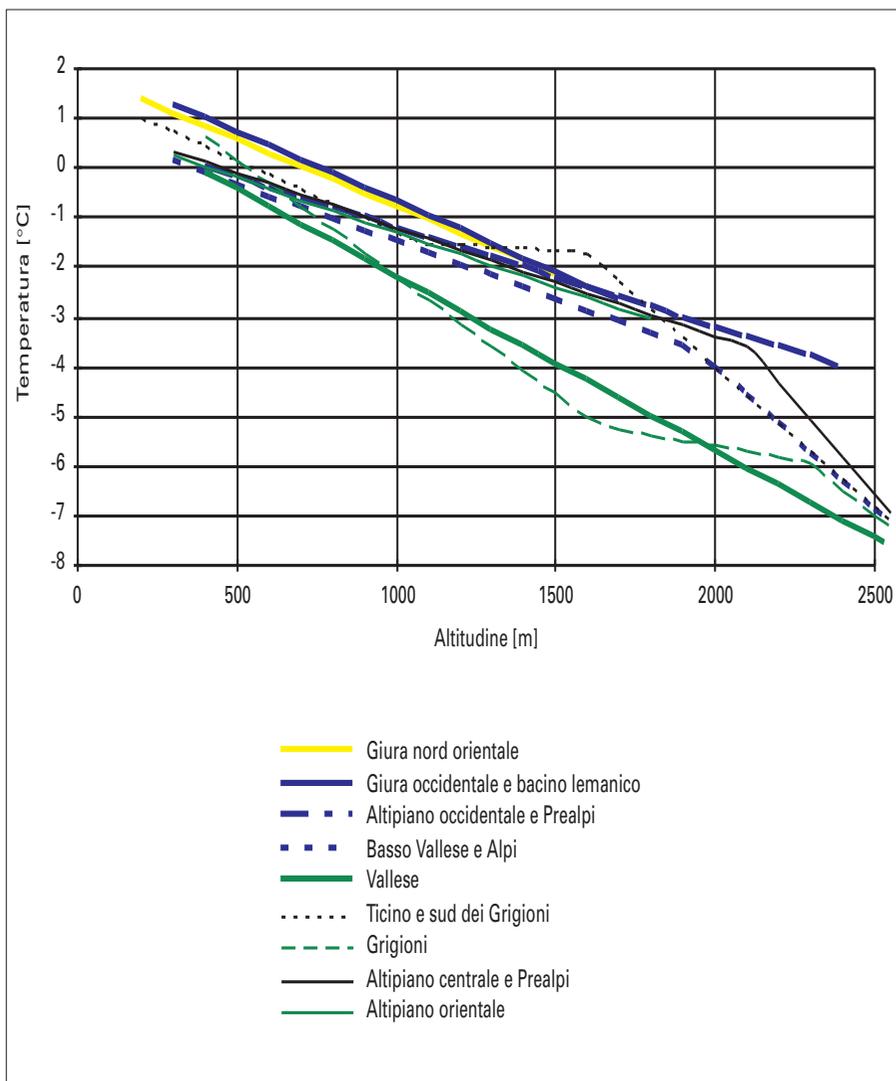
A2.1 Regioni climatiche della Svizzera

- 1 Giura nord orientale
- 2 Giura occidentale e bacino lemanico
- 3 Nord del Vallese e Alto Vallese
- 5 Sud del Vallese
- 6 Ticino e sud dei Grigioni
- 7 Grigioni (Engadina compresa)
- 8 Alpi bernesi, centrali e orientali
- 9 Altipiano occidentale e Prealpi
- 10 Altipiano centrale e Prealpi
- 11 Altipiano orientale

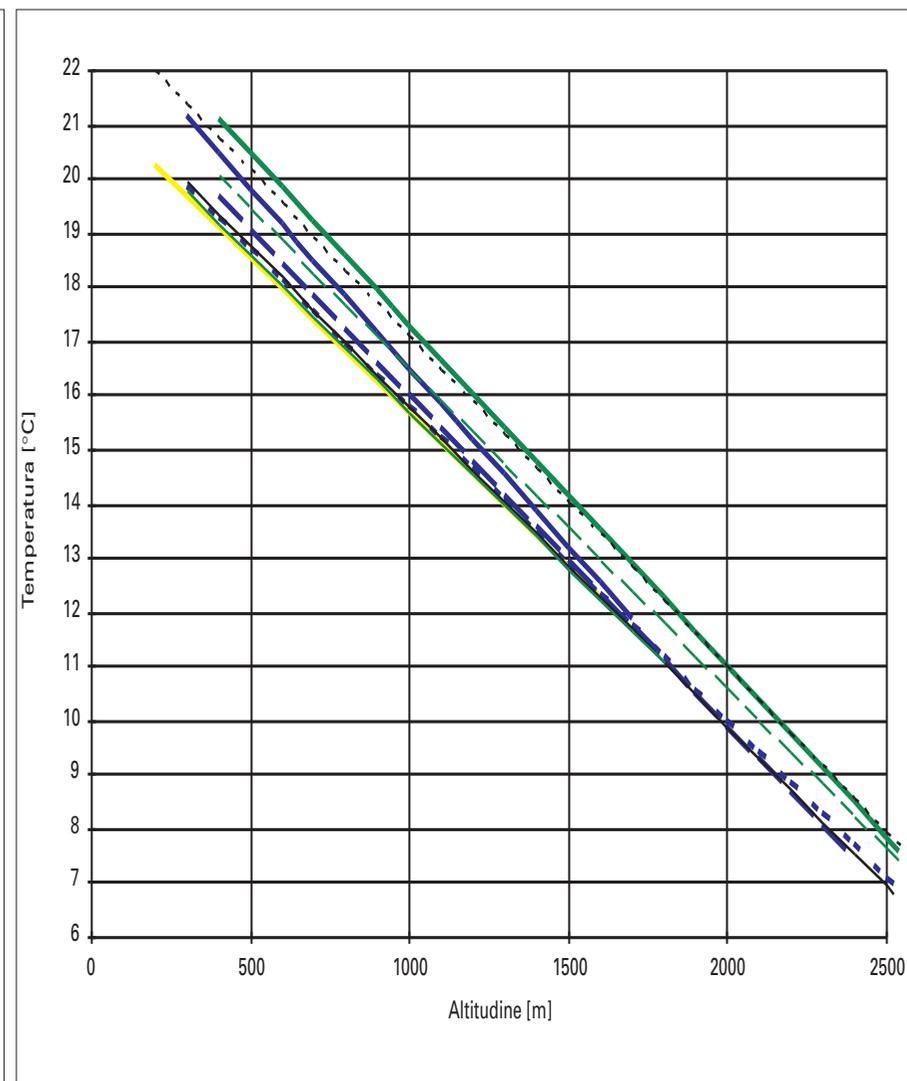
La stazione di Anetz con le zone di irraggiamento solare e di temperatura



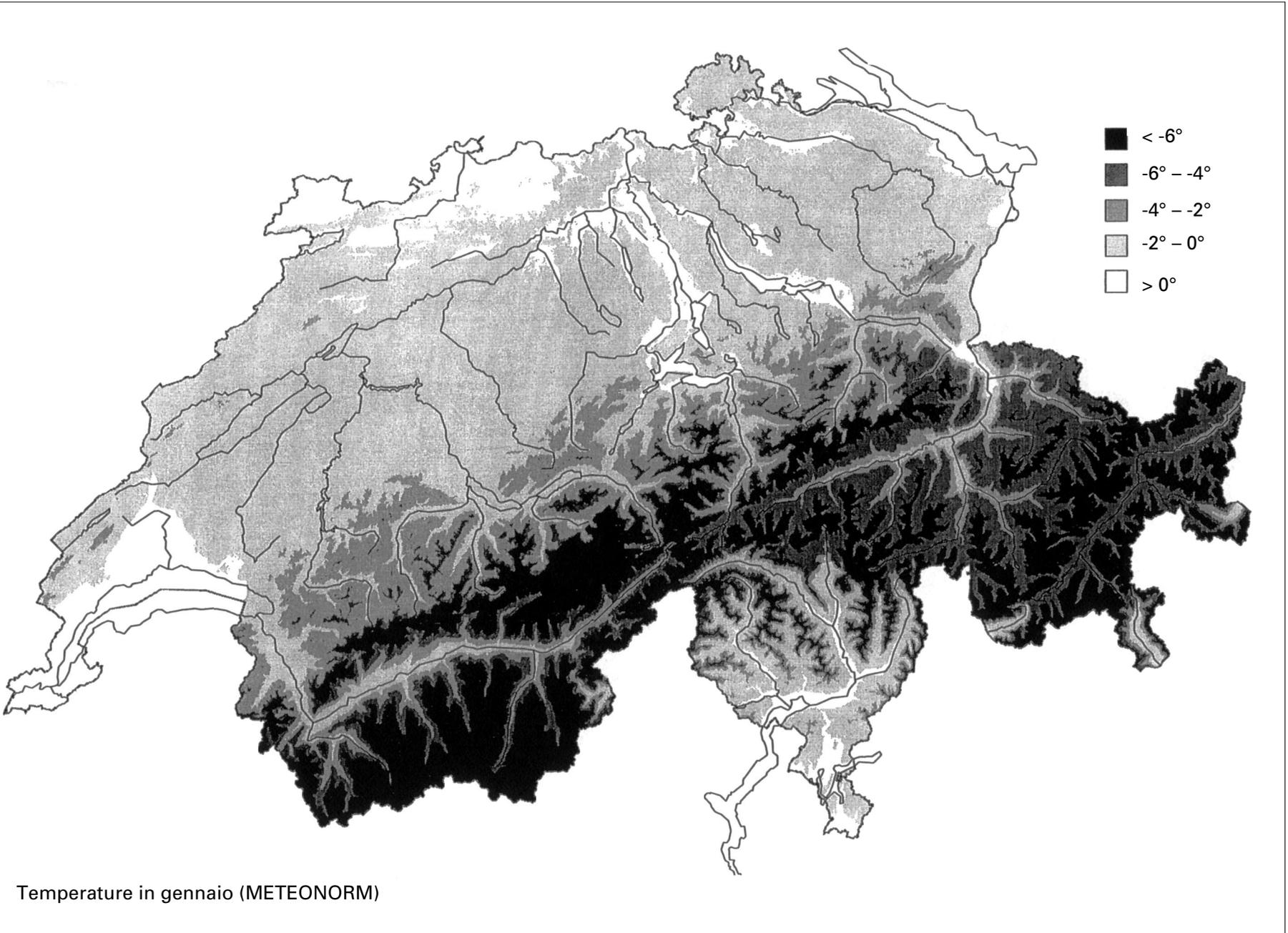
A2.2 Variazioni della temperatura media in funzione della regione climatica e dell'altitudine

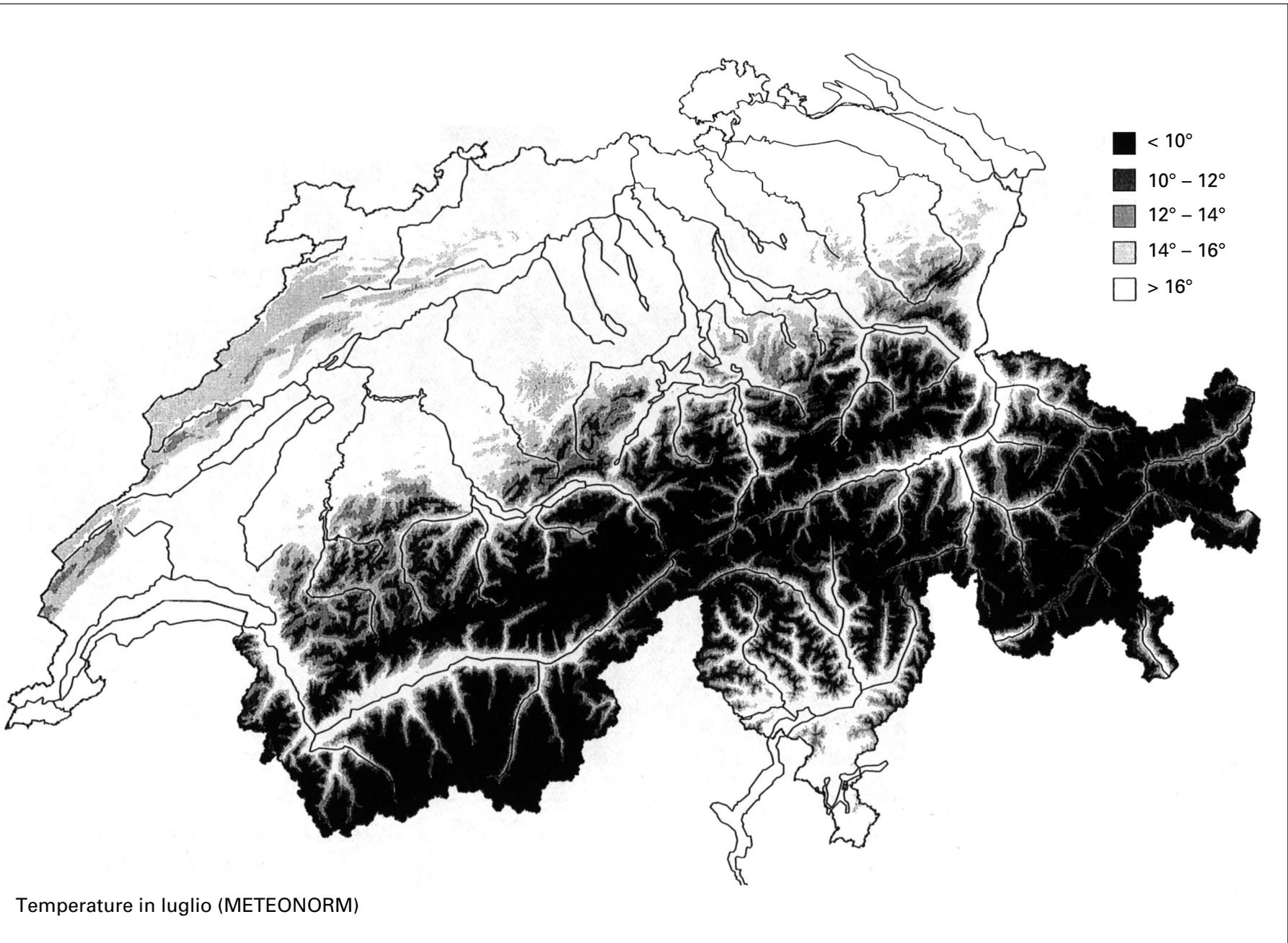


Gennaio



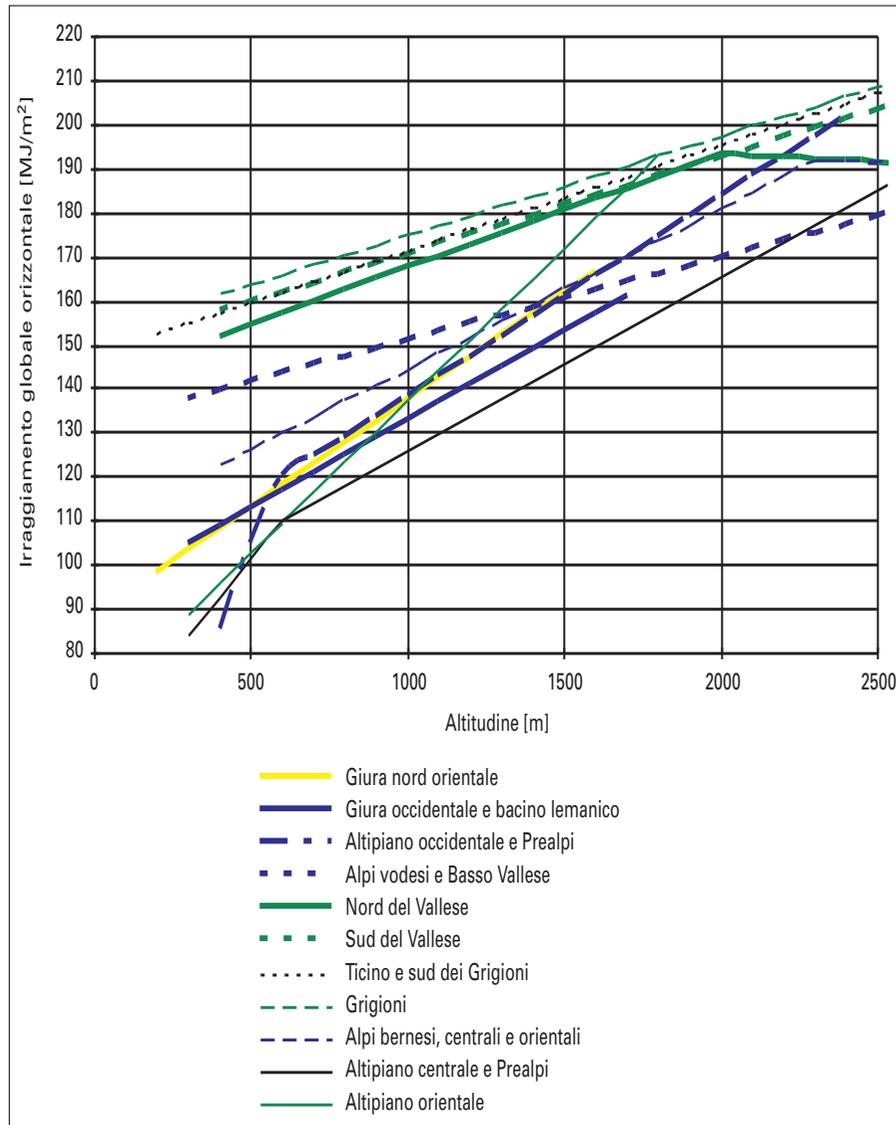
Luglio



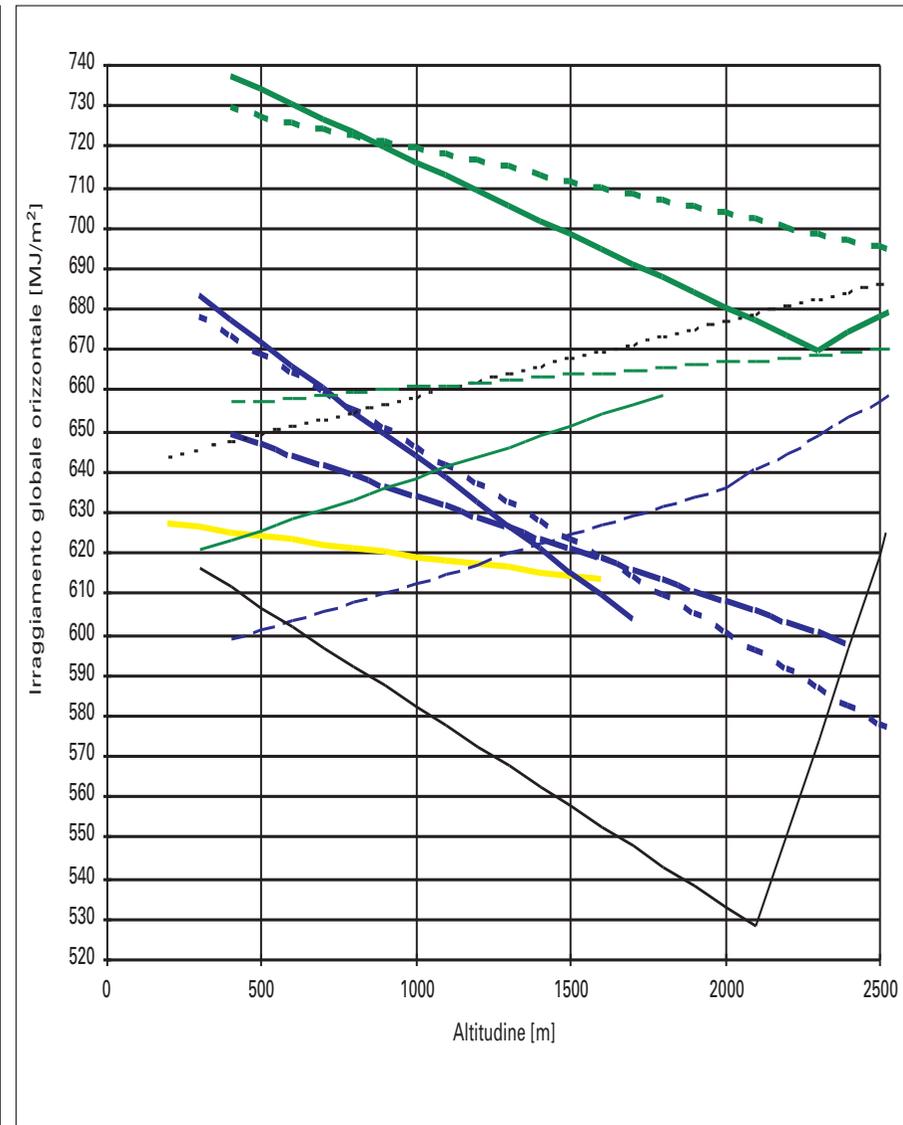


Temperature in luglio (METEONORM)

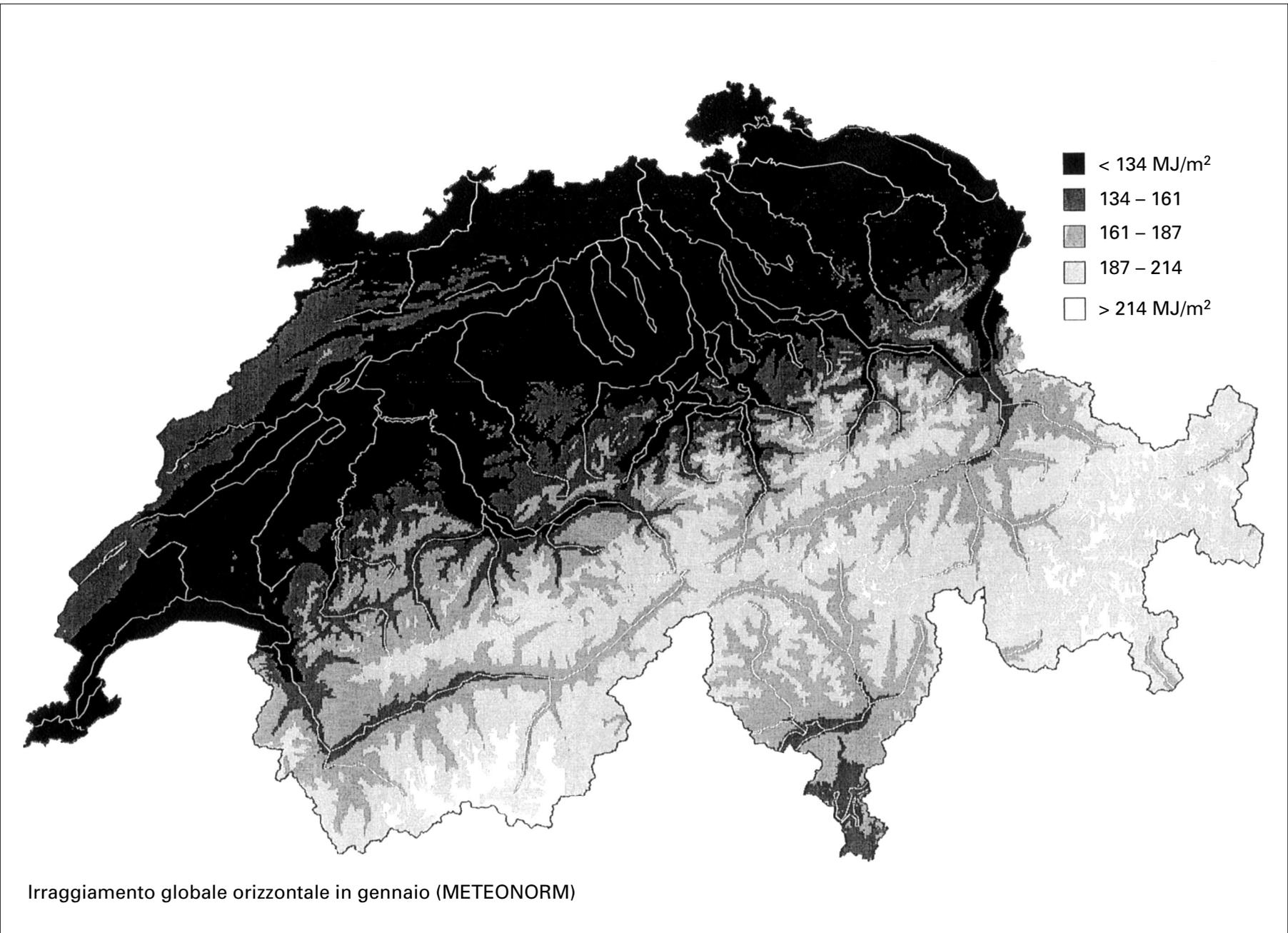
A2.3 Variazioni dell'irraggiamento globale orizzontale in funzione della regione climatica e dell'altitudine



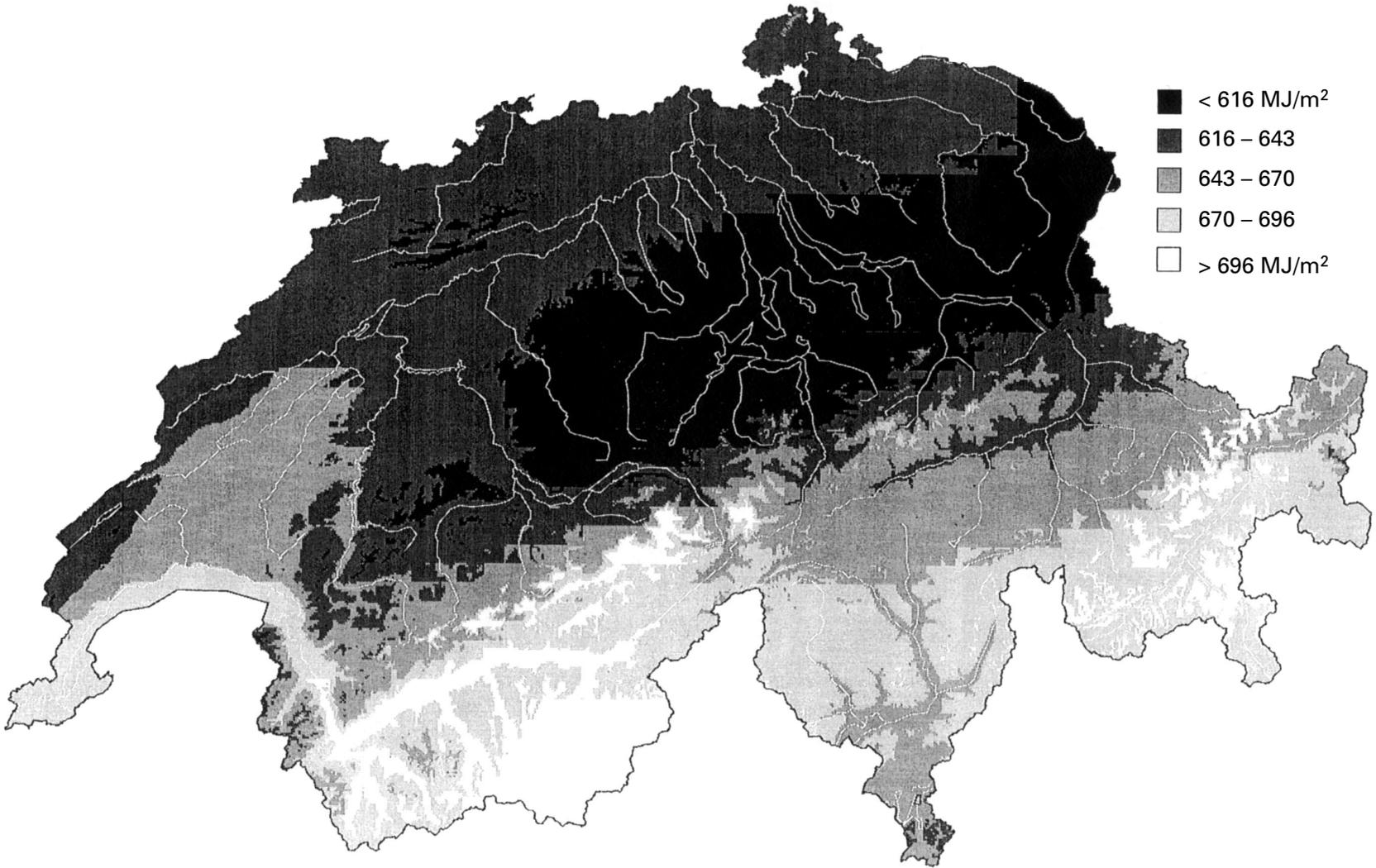
Gennaio



Luglio

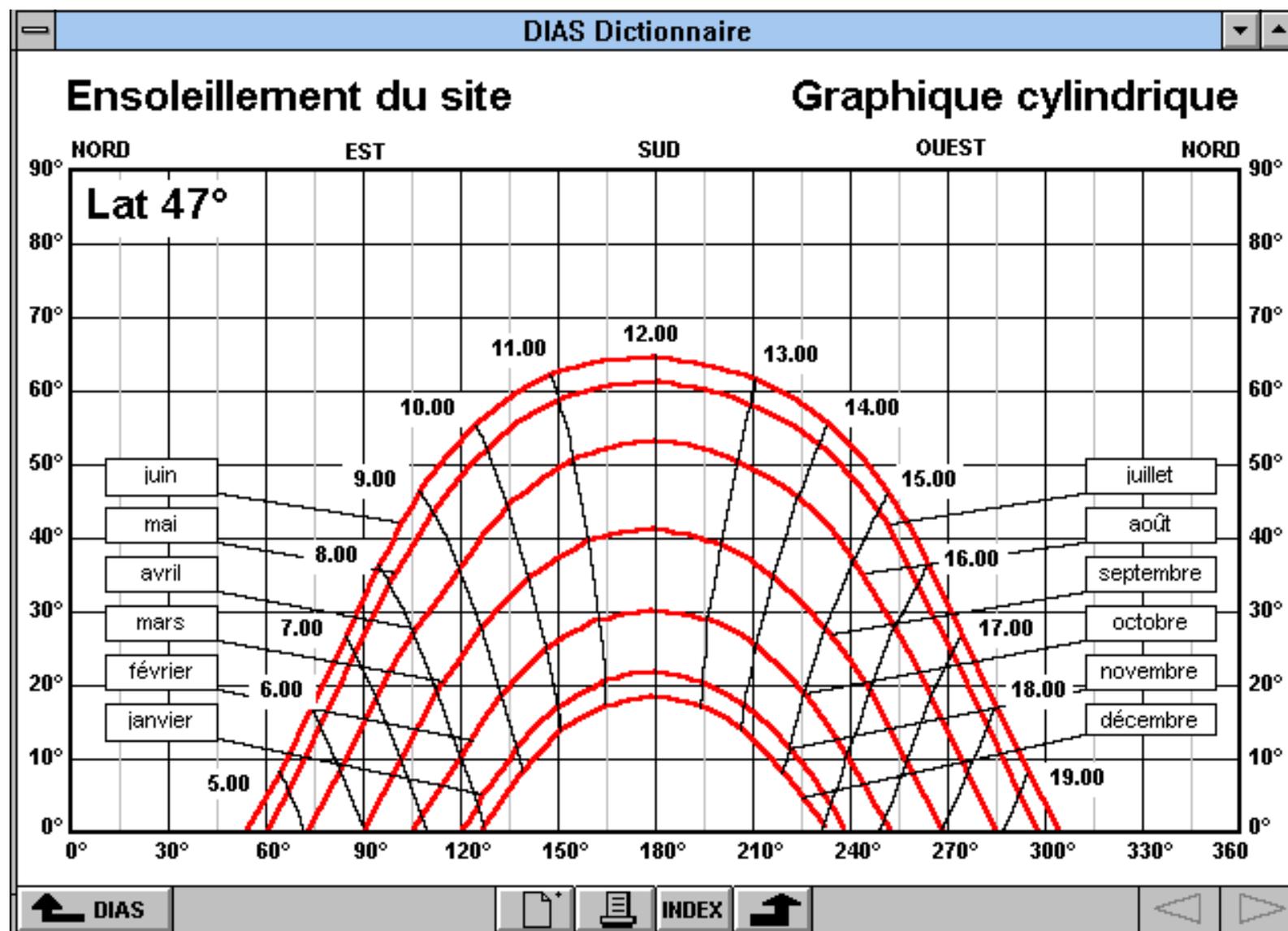


Irraggiamento globale orizzontale in gennaio (METEONORM)

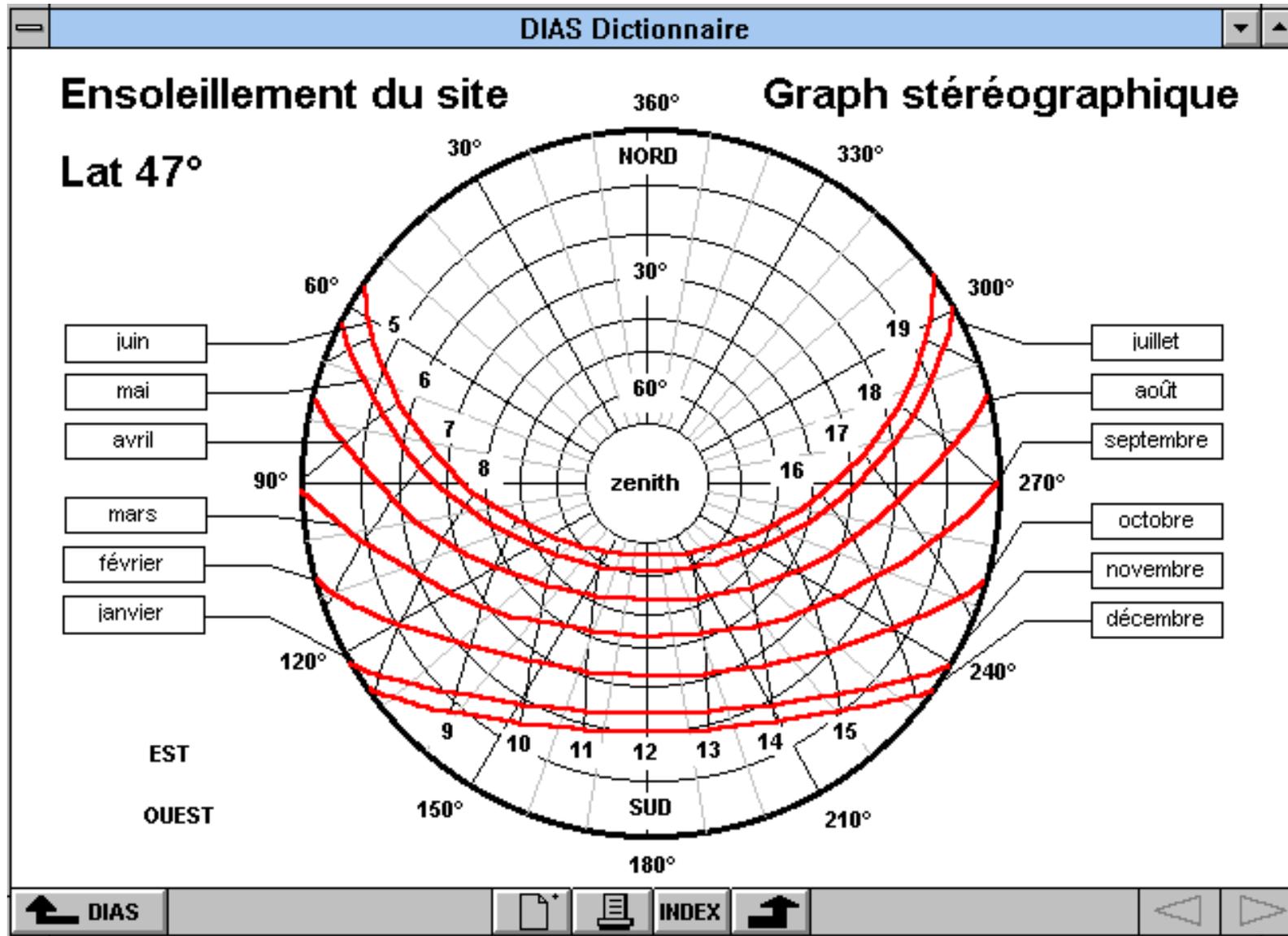


Irraggiamento globale orizzontale in luglio (METEONORM)

A2.4 Moto del sole nella proiezione cilindrica (ora solare)



A2.5 Moto del sole in proiezione stereografica (ora solare)



A2.6 Moto del sole: valori numerici

| Mese Giorno | 6 h | | 7 h | | 8 h | | 9 h | | 10 h | | 11 h | | 12 h | | 13 h | | 14 h | | 15 h | | 16 h | | 17 h | | 18 h | | H.L. - H.S. | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------------|------------|-----------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|--------------|--------------|
| | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | az. | ht. | | |
| Gen. | 1 | | | | 127 | 2 | 139 | 9 | 151 | 15 | 165 | 19 | 180 | 20 | 195 | 19 | 209 | 15 | 221 | 9 | 233 | 2 | | | | | 35 min | |
| | 11 | | | | 126 | 3 | 138 | 10 | 151 | 16 | 165 | 20 | 180 | 21 | 195 | 20 | 209 | 16 | 222 | 10 | 234 | 3 | | | | | 40 min | |
| | 21 | | | | 125 | 4 | 137 | 12 | 150 | 18 | 165 | 22 | 180 | 23 | 195 | 22 | 210 | 18 | 223 | 12 | 235 | 4 | | | | | 43 min | |
| Feb. | 1 | | | | 123 | 7 | 136 | 14 | 149 | 21 | 164 | 25 | 180 | 26 | 196 | 25 | 211 | 21 | 224 | 14 | 237 | 7 | | | | | 46 min | |
| | 11 | | | | 122 | 9 | 134 | 17 | 148 | 24 | 164 | 28 | 180 | 29 | 196 | 28 | 212 | 24 | 226 | 17 | 238 | 9 | | | | | 46 min | |
| | 21 | | | 108 | 2 | 120 | 12 | 132 | 20 | 147 | 27 | 163 | 31 | 180 | 33 | 197 | 31 | 213 | 27 | 228 | 20 | 240 | 12 | 252 | 2 | | 46 min | |
| Marzo | 1 | | | 106 | 5 | 118 | 14 | 131 | 23 | 145 | 29 | 162 | 34 | 180 | 36 | 198 | 34 | 215 | 29 | 229 | 23 | 242 | 14 | 254 | 5 | | 45 min | |
| | 11 | | | 104 | 7 | 115 | 17 | 128 | 26 | 144 | 33 | 161 | 38 | 180 | 39 | 199 | 38 | 216 | 33 | 232 | 26 | 245 | 17 | 256 | 7 | | 42 min | |
| | 21 | 90 | 0 | 101 | 10 | 113 | 20 | 126 | 29 | 142 | 36 | 160 | 41 | 180 | 43 | 200 | 41 | 218 | 36 | 234 | 29 | 247 | 20 | 259 | 10 | 270 | 0 | 40 min |
| Aprile | 1 | 87 | 3 | 98 | 14 | 110 | 23 | 123 | 33 | 139 | 40 | 158 | 46 | 180 | 48 | 202 | 46 | 221 | 40 | 237 | 33 | 250 | 23 | 262 | 14 | 273 | 3 | 1 h 36 min * |
| | 11 | 84 | 6 | 95 | 16 | 107 | 26 | 121 | 36 | 137 | 44 | 157 | 49 | 180 | 51 | 203 | 49 | 223 | 44 | 239 | 36 | 253 | 26 | 265 | 16 | 276 | 6 | 1 h 33 min * |
| | 21 | 82 | 9 | 93 | 19 | 104 | 29 | 118 | 39 | 134 | 47 | 155 | 53 | 180 | 55 | 205 | 53 | 226 | 47 | 242 | 39 | 256 | 29 | 267 | 19 | 278 | 9 | 1 h 31 min * |
| Maggio | 1 | 80 | 11 | 90 | 21 | 102 | 31 | 115 | 41 | 132 | 50 | 154 | 56 | 180 | 58 | 206 | 56 | 228 | 50 | 245 | 41 | 258 | 31 | 270 | 21 | 280 | 11 | 1 h 29 min * |
| | 11 | 78 | 13 | 88 | 23 | 99 | 33 | 113 | 43 | 129 | 52 | 152 | 58 | 180 | 61 | 208 | 58 | 231 | 52 | 247 | 43 | 261 | 33 | 272 | 23 | 282 | 13 | 1 h 28 min * |
| | 21 | 76 | 15 | 86 | 25 | 97 | 35 | 111 | 45 | 127 | 54 | 150 | 61 | 180 | 63 | 210 | 61 | 233 | 54 | 249 | 45 | 263 | 35 | 274 | 25 | 284 | 15 | 1 h 29 min * |
| Giugno | 1 | 74 | 16 | 85 | 26 | 96 | 36 | 109 | 46 | 125 | 55 | 149 | 62 | 180 | 65 | 211 | 62 | 235 | 55 | 251 | 46 | 264 | 36 | 275 | 26 | 286 | 16 | 1 h 30 min * |
| | 11 | 74 | 17 | 84 | 27 | 95 | 37 | 108 | 47 | 124 | 56 | 148 | 63 | 180 | 66 | 212 | 63 | 236 | 56 | 252 | 47 | 265 | 37 | 276 | 27 | 286 | 17 | 1 h 31 min * |
| | 21 | 74 | 17 | 84 | 27 | 95 | 37 | 107 | 47 | 124 | 56 | 148 | 64 | 180 | 66 | 212 | 64 | 236 | 56 | 253 | 47 | 265 | 37 | 276 | 27 | 286 | 17 | 1 h 33 min * |
| Luglio | 1 | 74 | 17 | 84 | 27 | 95 | 37 | 108 | 47 | 124 | 56 | 148 | 63 | 180 | 66 | 212 | 63 | 236 | 56 | 252 | 47 | 265 | 37 | 276 | 27 | 286 | 17 | 1 h 35 min * |
| | 11 | 74 | 16 | 85 | 26 | 96 | 36 | 109 | 46 | 125 | 56 | 149 | 63 | 180 | 65 | 211 | 63 | 235 | 56 | 251 | 46 | 264 | 36 | 275 | 26 | 286 | 16 | 1 h 37 min * |
| | 21 | 76 | 15 | 86 | 25 | 97 | 35 | 110 | 45 | 127 | 54 | 150 | 61 | 180 | 64 | 210 | 61 | 233 | 54 | 250 | 45 | 263 | 35 | 274 | 25 | 284 | 15 | 1 h 38 min * |
| Agosto | 1 | 77 | 13 | 88 | 23 | 99 | 34 | 112 | 43 | 129 | 52 | 152 | 59 | 180 | 61 | 208 | 59 | 231 | 52 | 248 | 43 | 261 | 34 | 272 | 23 | 283 | 13 | 1 h 38 min * |
| | 11 | 79 | 11 | 90 | 21 | 102 | 32 | 115 | 41 | 132 | 50 | 153 | 56 | 180 | 58 | 207 | 56 | 228 | 50 | 245 | 41 | 258 | 32 | 270 | 21 | 281 | 11 | 1 h 37 min * |
| | 21 | 82 | 9 | 92 | 19 | 104 | 29 | 118 | 39 | 134 | 47 | 155 | 53 | 180 | 55 | 205 | 53 | 226 | 47 | 242 | 39 | 256 | 29 | 268 | 19 | 278 | 9 | 1 h 35 min * |
| Sett. | 1 | 84 | 6 | 95 | 16 | 107 | 26 | 121 | 36 | 137 | 44 | 157 | 49 | 180 | 51 | 203 | 49 | 223 | 44 | 239 | 36 | 253 | 26 | 265 | 16 | 276 | 6 | 1 h 32 min * |
| | 11 | 87 | 3 | 98 | 14 | 110 | 23 | 123 | 33 | 139 | 40 | 158 | 46 | 180 | 48 | 202 | 46 | 221 | 40 | 237 | 33 | 250 | 23 | 262 | 14 | 273 | 3 | 1 h 29 min * |
| | 21 | 90 | 1 | 101 | 11 | 112 | 20 | 126 | 29 | 141 | 37 | 160 | 42 | 180 | 44 | 200 | 42 | 219 | 37 | 234 | 29 | 248 | 20 | 259 | 11 | 270 | 1 | 1 h 25 min * |
| Ott. | 1 | | | 103 | 8 | 115 | 17 | 128 | 26 | 143 | 33 | 161 | 38 | 180 | 40 | 199 | 38 | 217 | 33 | 232 | 26 | 245 | 17 | 257 | 8 | | 1 h 22 min * | |
| | 11 | | | 106 | 5 | 117 | 14 | 130 | 23 | 145 | 30 | 162 | 34 | 180 | 36 | 198 | 34 | 215 | 30 | 230 | 23 | 243 | 14 | 254 | 5 | | 1 h 19 min * | |
| | 21 | | | 108 | 2 | 120 | 11 | 132 | 20 | 147 | 26 | 163 | 31 | 180 | 32 | 197 | 31 | 213 | 26 | 228 | 20 | 240 | 11 | 252 | 2 | | 1 h 17 min * | |
| Nov. | 1 | | | | 122 | 9 | 134 | 17 | 148 | 23 | 164 | 27 | 180 | 29 | 196 | 27 | 212 | 23 | 226 | 17 | 238 | 9 | | | | | 16 min | |
| | 11 | | | | 124 | 6 | 136 | 14 | 149 | 20 | 164 | 24 | 180 | 26 | 196 | 24 | 211 | 20 | 224 | 14 | 236 | 6 | | | | | 16 min | |
| | 21 | | | | 125 | 4 | 137 | 12 | 150 | 18 | 165 | 22 | 180 | 23 | 195 | 22 | 210 | 18 | 223 | 12 | 235 | 4 | | | | | 18 min | |
| Dic. | 1 | | | | 126 | 3 | 138 | 10 | 151 | 16 | 165 | 20 | 180 | 21 | 195 | 20 | 209 | 16 | 222 | 10 | 234 | 3 | | | | | 21 min | |
| | 11 | | | | 127 | 2 | 139 | 9 | 152 | 15 | 165 | 19 | 180 | 20 | 195 | 19 | 208 | 15 | 221 | 9 | 233 | 2 | | | | | 25 min | |
| | 21 | | | | 127 | 1 | 139 | 9 | 152 | 15 | 166 | 18 | 180 | 20 | 194 | 18 | 208 | 15 | 221 | 9 | 233 | 1 | | | | | 30 min | |
| | 31 | | | | 127 | 1 | 139 | 9 | 152 | 15 | 165 | 18 | 180 | 20 | 195 | 18 | 208 | 15 | 221 | 9 | 233 | 1 | | | | | 35 min | |

Azimut (az.) e altezza (ht.) del sole in funzione della data e dell'ora solare. L'azimut sud est è a 180°.

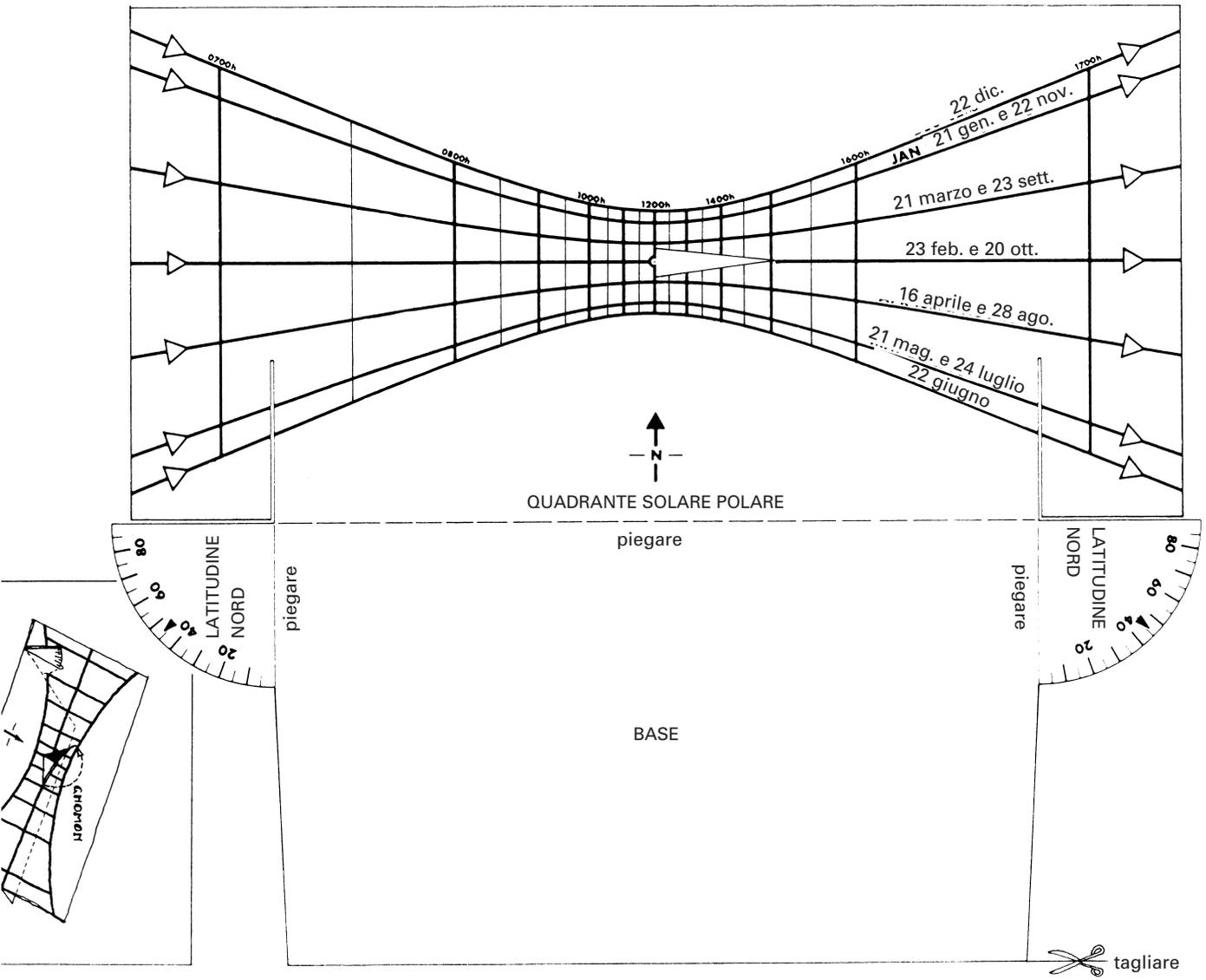
H.L.-H.S. è la differenza tra ora legale e ora solare (* indica il periodo dell'ora legale).

Ad esempio l'11 febbraio alle 9 (ora solare), il sole si trova a sud-est (az. = -134), a 17° sopra l'orizzonte (ht. = 17) rispettivamente alle 9h46 (ora legale).

SIMULAZIONE SU MODELLINO

REF.: "Sunlighting", William M.C.Lam, VNR 1986

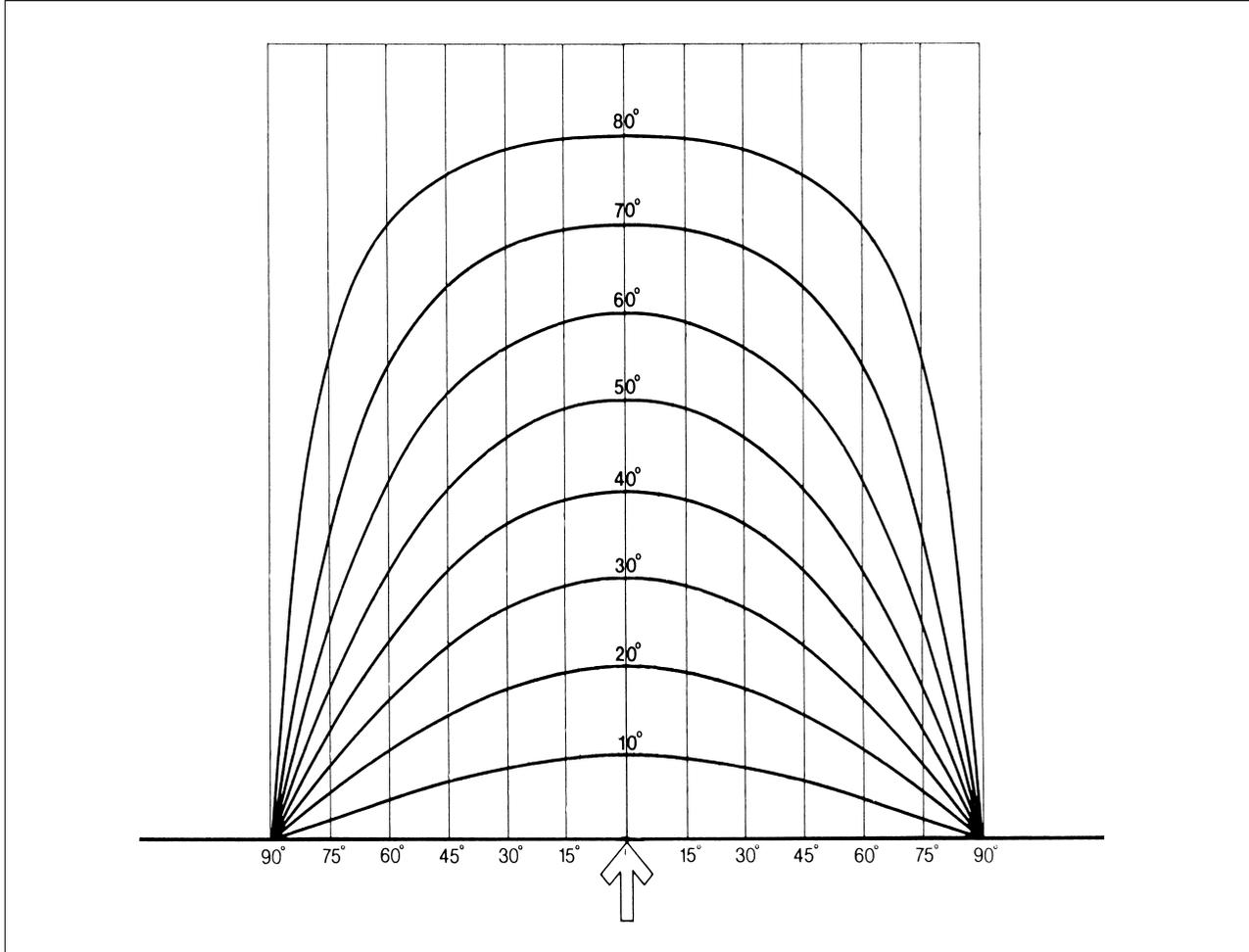
QUADRANTE SOLARE



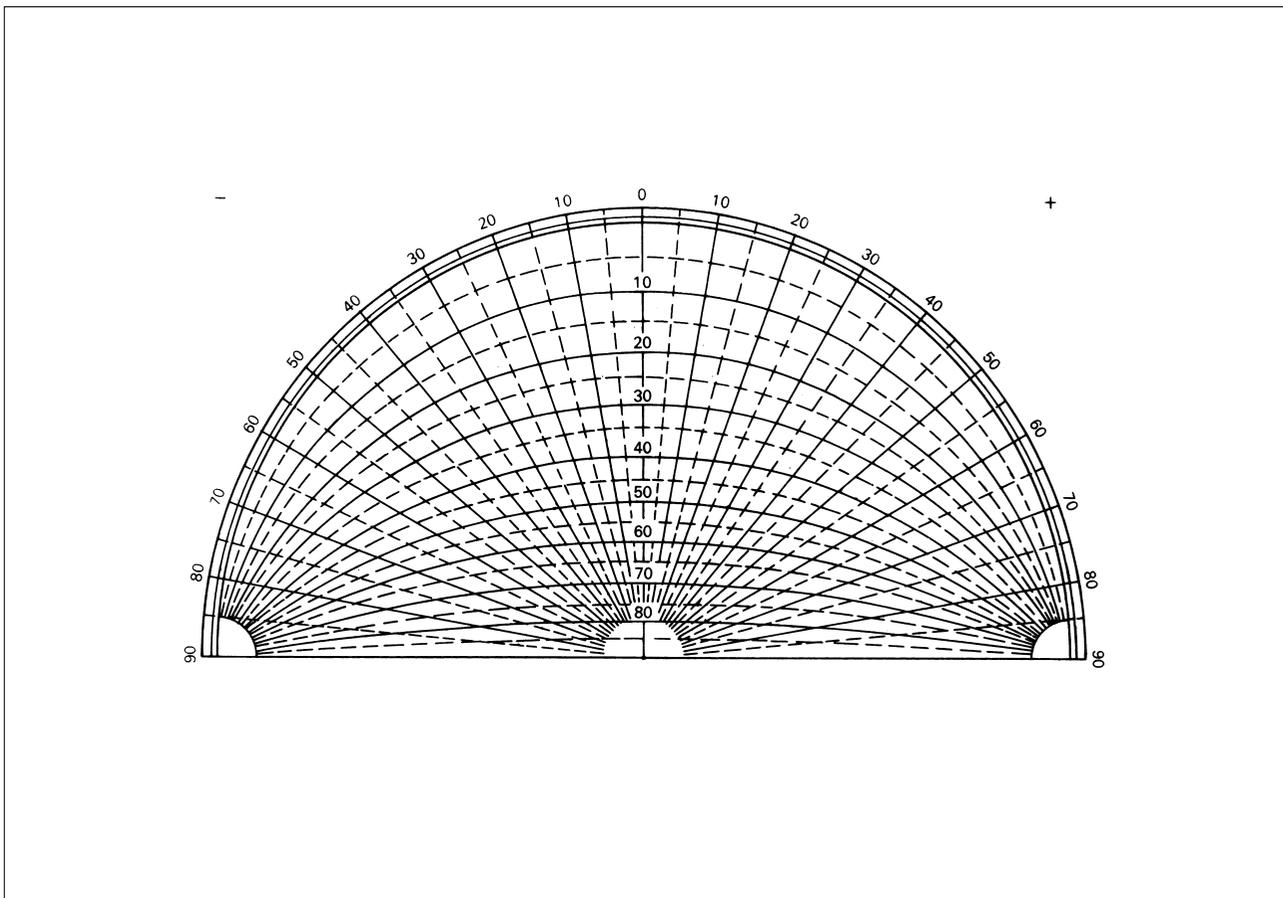
REF.: «Sunlighting», William M.C.Lam, VNR 1986

Ripreso dal corso PACER: «Sole e architettura - Guida pratica per la progettazione»

A2.8 Calcolatrice dell'ombra nella proiezione cilindrica



A2.9 Calcolatrice dell'ombra nella proiezione stereografica



A2.10 Programma di calcolo METEONORM'95

METEONORM è un metodo di calcolo dell'irraggiamento solare per qualsiasi orientamento (azimut e inclinazione) in un luogo qualsiasi.

È costituito da un programma e un manuale.

Partendo dalla banca dati fornito dall'Istituto di meteorologia e altre istituzioni ufficiali straniere, il programma può calcolare per un anno medio i valori orari di vari dati climatici (tabella A2.10.1).

Questi valori sono calcolati per qualsiasi comune della Svizzera. Oppure, in particolare se il luogo è lontano dal centro del comune, per qualsiasi altro luogo definito dalle coordinate geografiche (latitudine e longitudine) o topografiche (coordinate X e Y) e la sua altitudine.

Il manuale non istruisce solo all'uso del programma. Descrive anche in modo dettagliato le fonti dei dati, il clima svizzero (per l'irraggiamento solare e la temperatura) e tutte le equazioni fisiche che reggono le diverse variabili climatiche.

Il programma METEONORM tiene conto dei mascheramenti (orizzonte lontano e vicino) del luogo per il quale si desidera conoscere l'irraggiamento solare. Basta introdurre l'altezza degli ostacoli per ogni azimut (illustrazione A2.10.2). Il programma calcola per ogni ora l'effetto di questo orizzonte prima di fornire l'irraggiamento sul piano desiderato (illustrazione A2.10.3).

METEONORM può anche produrre delle schede di dati climatici necessari ai programmi di simulazione HELIOS, DOE, SUNCODE, MATCH e PVSYST.

| | Valori mensili | Valori orari |
|----------------------------|----------------|--------------|
| Irraggiamento: | x | x |
| globale orizzontale | x | x |
| diffuso orizzontale | x | x |
| diretto normale | x | x |
| globale su qualsiasi piano | x | x |
| diffuso su qualsiasi piano | x | x |
| Nuvolosità | x | x |
| Temperatura dell'aria | x | x |
| Umidità dell'aria | x | x |
| Velocità del vento | x | x |
| Direzione del vento | – | – |
| Gradi-giorno 20/12 | x | – |

Tabella A2.10.1: dati climatici forniti da METEONORM.

Caratteristiche tecniche

Ordinatore: PC 386 o più
 Disco fisso: 10 Mo di memoria
 Sistema: Windows 3.1 o più
 Lingua: francese, tedesco, italiano, inglese

Indirizzo: Infoenergie
 Casella postale, 5201 Brugg

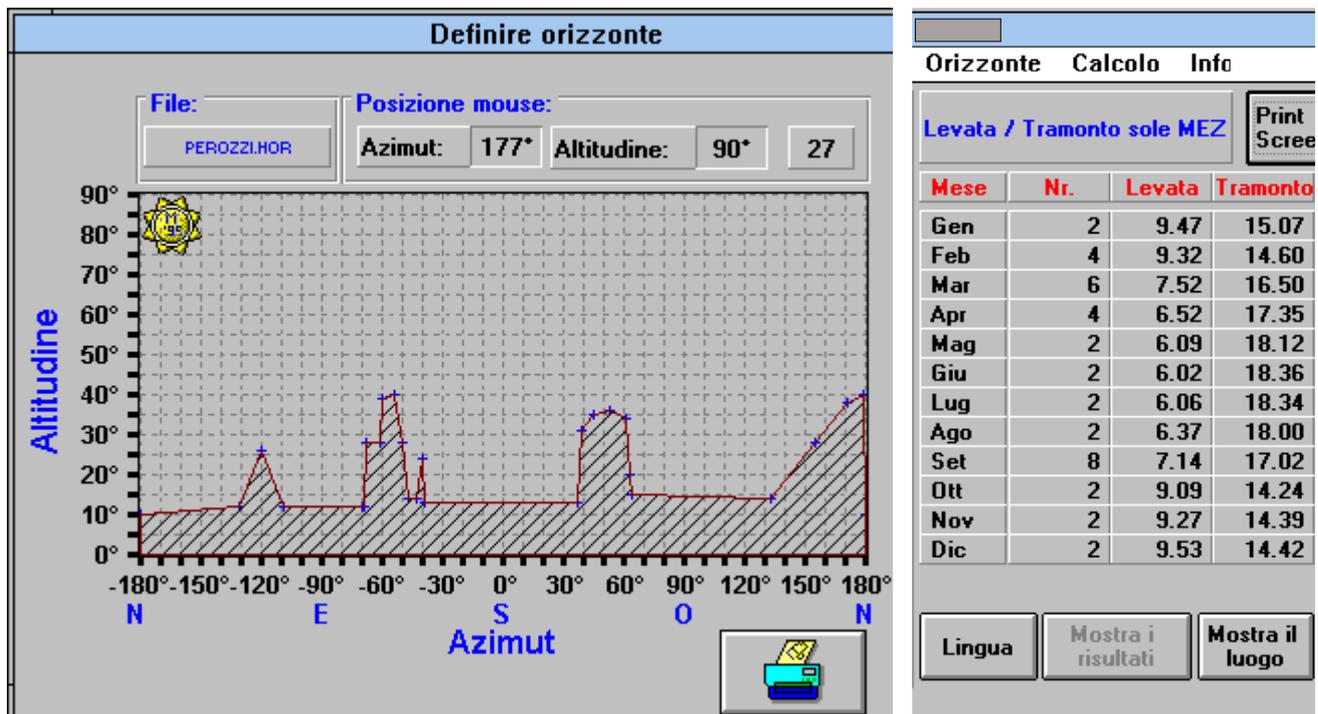


Illustrazione A2.10.2: introduzione di mascheramenti (azimut e altezza) in METEONORM nonché le ore corrispondenti del sorgere e del tramontare del sole.

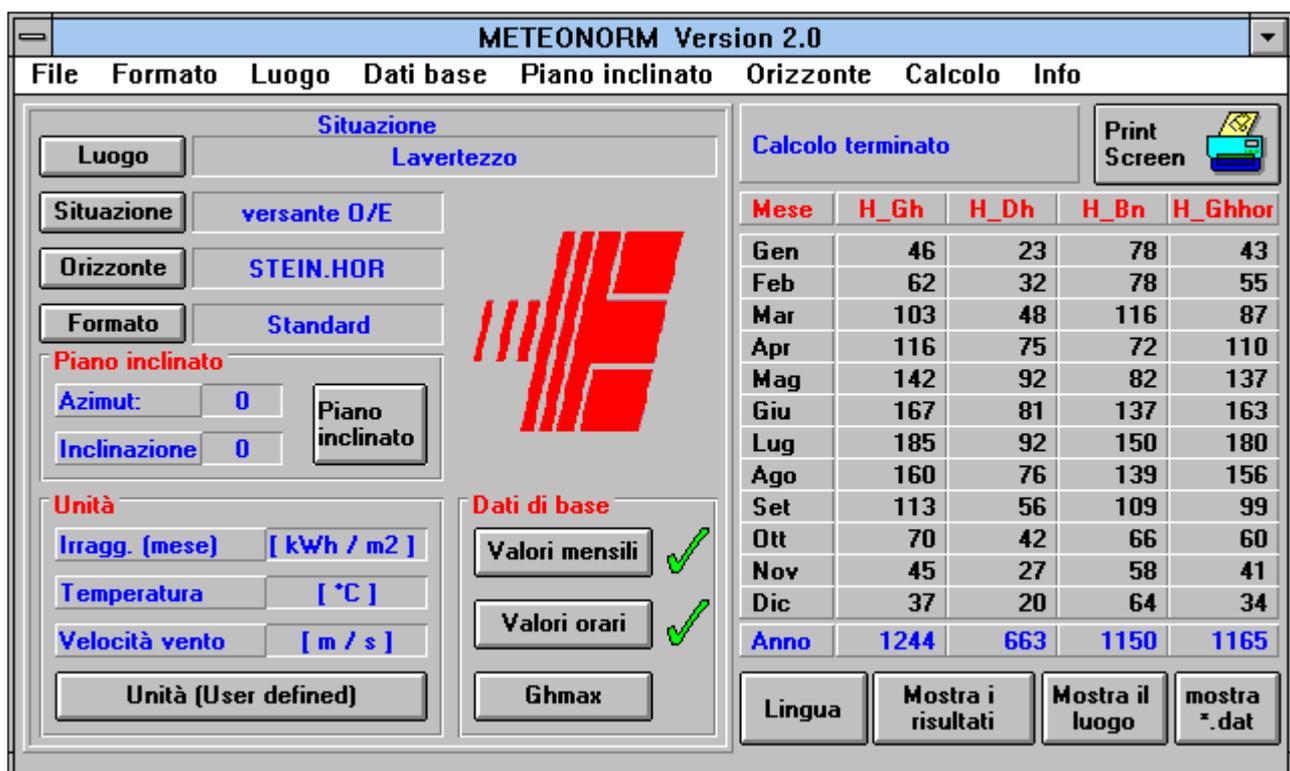


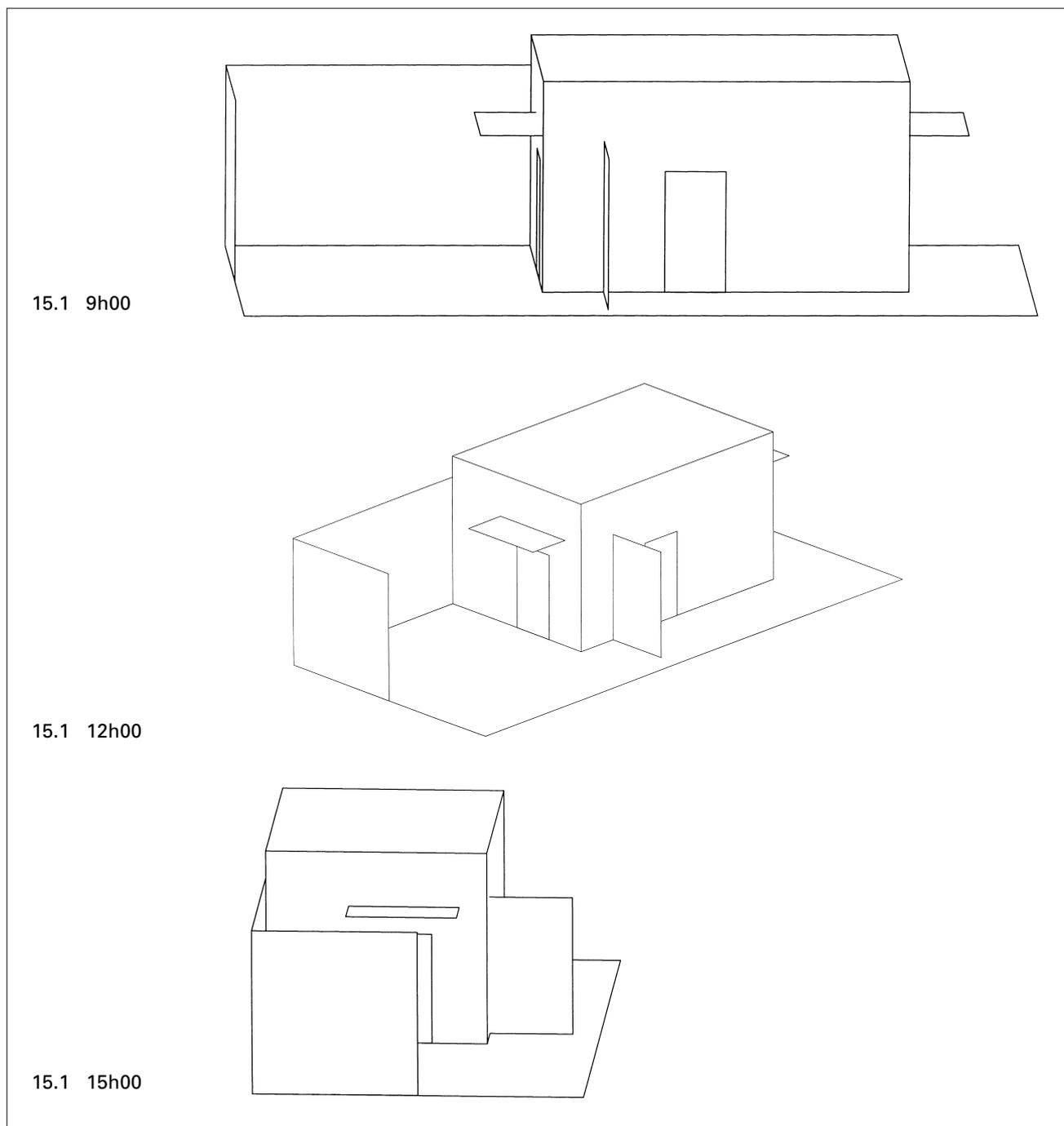
Illustrazione A2.10.3: calcolo dell'irraggiamento mensile [MJ/m²] elaborato da METEONORM: H_Ghhor è l'irraggiamento globale tenendo conto del mascheramento dell'illustrazione A2.10.2; le colonne precedenti sono calcolate senza mascheramento (H_Gh = globale orizzontale, H_Dh = diffuso orizzontale, H_Bn = diretto normale).

A2.11 Studio dell'irraggiamento solare con il programma AUTOCAD

Il controllo dell'irraggiamento solare può essere eseguito con AUTOCAD.

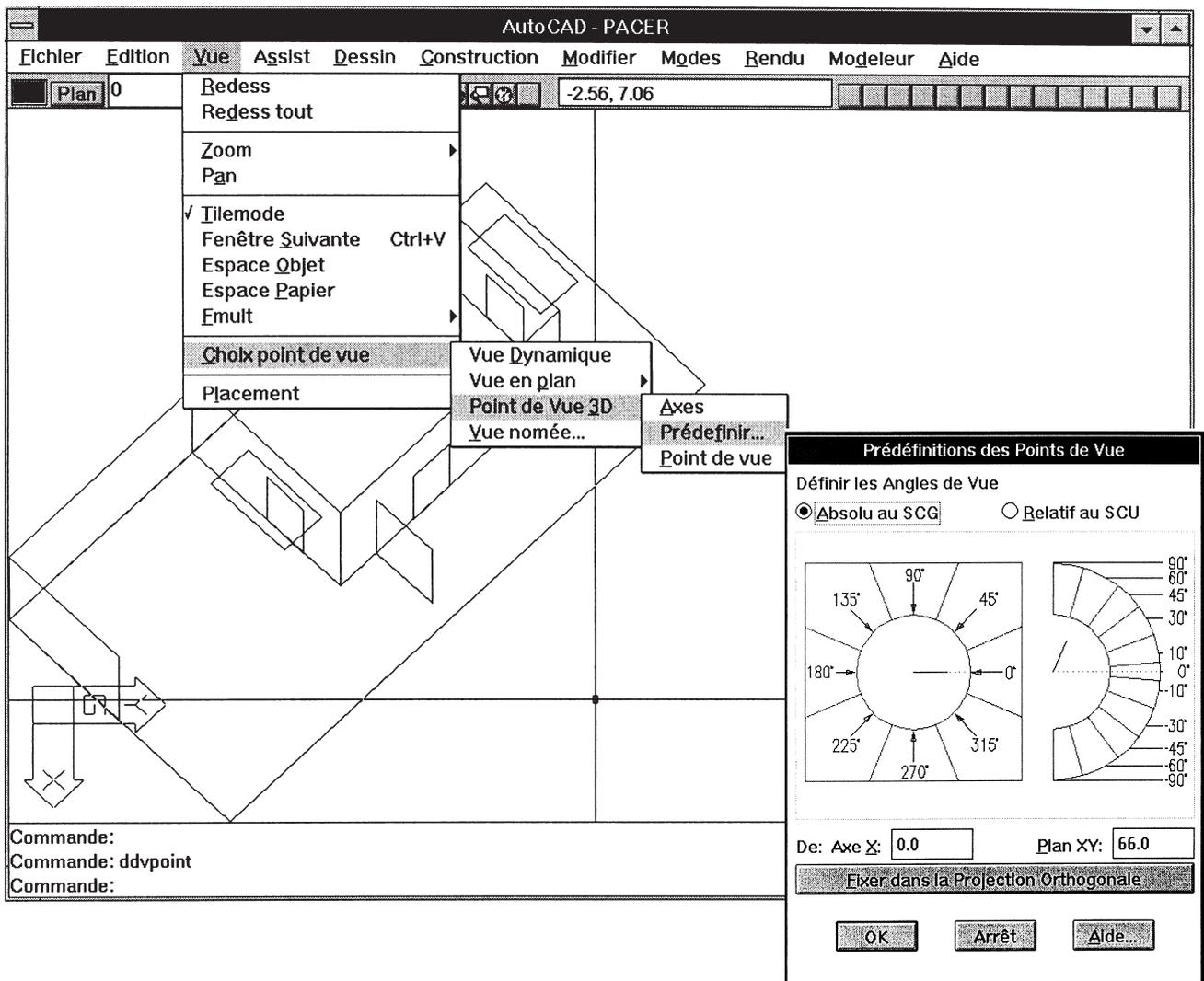
Definendo quale punto di vista la direzione del sole, si ottiene una vista dell'edificio come lo vedrebbe il sole. Tutto ciò che è nascosto è quindi nell'ombra.

Il programma ARC+ permette di ottenere le stesse viste di AUTOCAD.



Il procedimento da seguire:

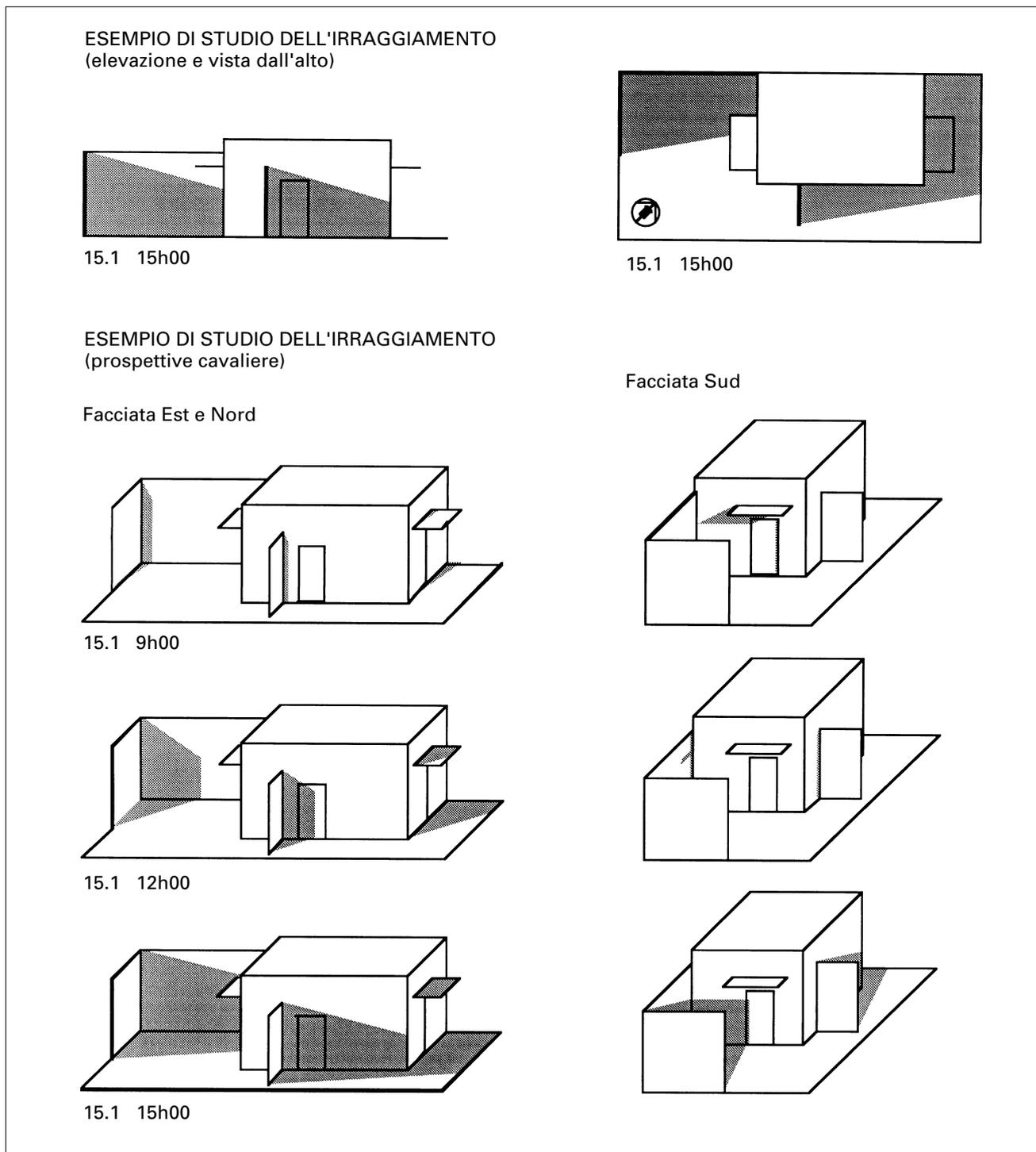
- 1) Ruotare l'edificio in modo che l'asse X indichi il nord.
- 2) Nel menu:
 - «Vista → Scelta del punto di vista → Punto di vista 3D → Definire prima → Definizione anteriore dei punti di vista»
 - Definire gli angoli di vista assoluti rispetto al SCG:
 - asse X = azimut,
 - piano XY = altezza.



A2.12 Studio dell'irraggiamento solare con il programma ARCHICAD

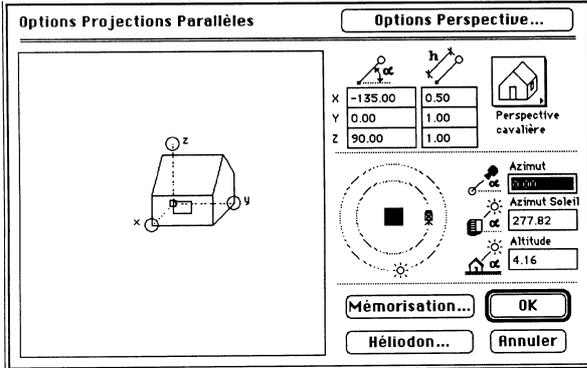
Il controllo dell'irraggiamento solare può essere ottenuto con ARCHICAD tramite la proiezione dei raggi solari e la visualizzazione delle ombre riportate sul modellino. Occorre quindi scegliere uno o più punti di vista seguendo l'azimut solare e la zona che si desidera controllare.

Si scelgono delle proiezioni parallele appropriate, ad esempio «elevazione» per studi di facciata, «vista dall'alto» per controllare le ombre riportate sul suolo, oppure «prospettiva cavaliere» (assonometria) per controllare l'insieme.



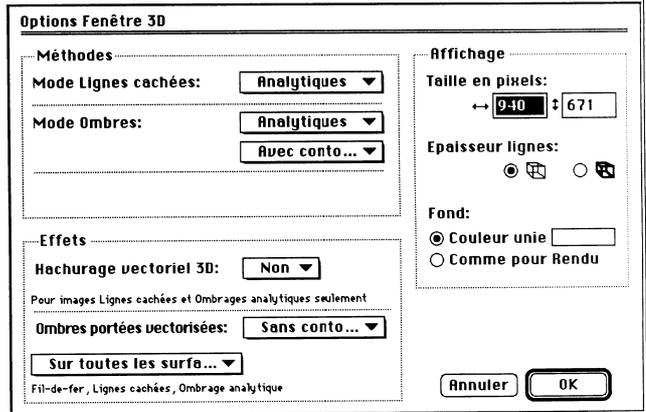
Procedimento

1.



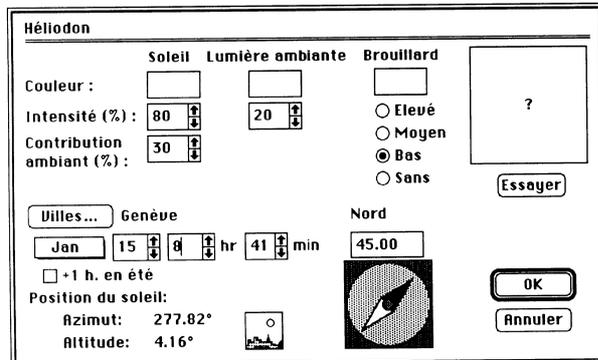
Scegliere un punto di vista appropriato che permetta di visualizzare le ombre riportate sul progetto.

4.



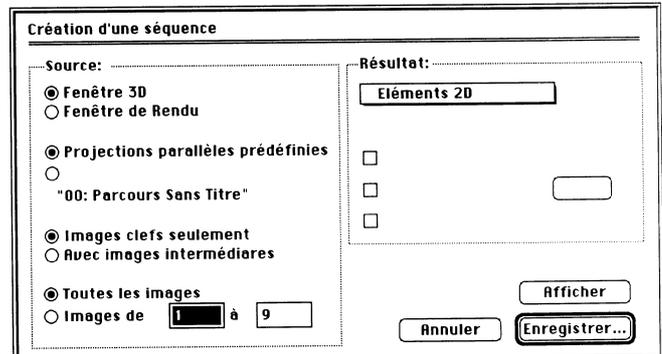
Scegliere le opzioni di calcolo 3D con «Image → Options Fenêtre 3D».

2.



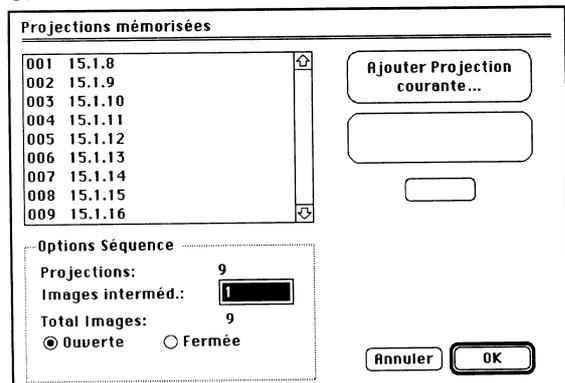
Orientare correttamente il piano in funzione del nord. Scegliere il luogo, la data e l'ora.

5.



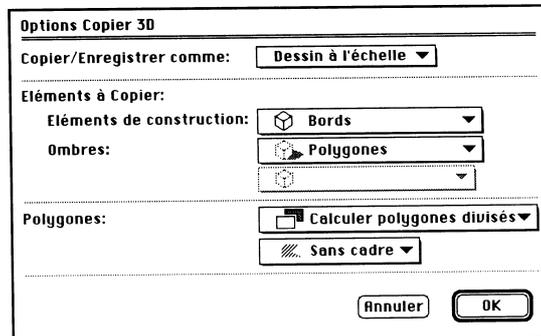
Creare una sequenza con «Image → Créer Séquence...».

3.



Memorizzare la vista per ogni ora diversa.

6.



Scegliere gli elementi da recuperare per le immagini seguendo le indicazioni.

A4. Prestazioni

| | | |
|------|--|-----|
| A4.1 | Programma di calcolo secondo le norme e le raccomandazioni | 168 |
| A4.2 | Programma di calcolo LESOSAI 4.0 | 170 |

A4.1 Programma di calcolo secondo le norme e le raccomandazioni

| Programma (gennaio 1992) | Calcolo secondo | | | Fornitore |
|-----------------------------|-----------------|-----------|-------------------------|--|
| | SIA 180/1 | SIA 380/1 | Modello di ordinanza | |
| BAUPHYSIK-SOLAR | X | X | | Marcel Rieben Informatik AG Funkstrasse 96 3084 Bern-Wabern |
| E-BILANZ | | X | | Wibeag Computersysteme für das Bauwesen St. Antonsgasse 4 6300 Zug |
| HEIZUNG | X | | | TCW AG Computersysteme für die Haustechnik Steinackerstrasse 10 8902 Urdorf |
| LESOSAI-X | | X | | EPFL LESO-PB Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment 1015 Lausanne |
| PLAWSCH | X | | | Planca SA En Budron C7 1052 Le Mont-sur-Lausanne |
| THERMO | ? | | | IAB Institut für Analytische Bauphysik Corrodistrasse 2 8400 Winterthur |
| WAERME | X | X | | Arplage GmbH Schönburgstrasse 41 3013 Bern |
| WAESCHU | X | | | Wibeag Computersysteme für das Bauwesen St. Antonsgasse 4 6300 Zug |
| | | | | |

| Programmi (marzo 1996) | Calcolo secondo | | | Fornitore |
|---------------------------|-----------------|-----------|-------------------------|---|
| | SIA 180/1 | SIA 380/1 | Modello di ordinanza | |
| ENERSYS 380 d+f | | X | | Energys SA Case postale 897 2501 Bienne |
| PLANIX | | X | | Planungsbüro Bussien Schützenmattstrasse 20 4500 Solothurn |
| WIN-HT | | X | | AAA EDV Beratungs AG Laurenzenvorstadt 121 5000 Aarau |
| ENERGIA / SIA 380/1 | | X | | Bulgarelli AG Software-Entwicklung Streulistrasse 28 8032 Zürich |
| DIAS | X | X | | CUEPE Ch. de Conches 4 1231 Conches-Genève |
| LESOSAI 4.0 | X | X | X | LESO-PB EPFL 1015 Lausanne |

Tabella A4.1: programma di calcolo secondo le raccomandazioni in vigore. Tutti i programmi sono in francese. La lista è aggiornata regolarmente dall'Ufficio federale dell'energia.

A4.2 Programma di calcolo LESOSAI 4.0

LESOSAI è un programma di calcolo dei bilanci termici mensili e annuali di un edificio tenendo conto degli apporti provenienti da diversi elementi solari. Si applica anche alle case a basso consumo energetico.

Il suo impiego è stato semplificato e reso rapido così da poter essere usato sin dall'inizio della progettazione (progetto di massima) per verificare se il bilancio termico sarà soddisfacente.

LESOSAI calcola edifici costruiti in modo semi-massiccio e massiccio (costruzione tradizionale svizzera). Il calcolo secondo prEN832 autorizza anche costruzioni leggere.

Sono proposti vari metodi di calcolo. Mensili o annuali, tutti sono basati su un bilancio termico stazionario. Gli effetti dinamici degli apporti (interni e solari), dei sistemi di riscaldamento e di regolazione, della massa dell'edificio vengono considerati da un fattore di utilizzazione.

Eccetto la norma SIA 180/1 (media ponderata dei coefficienti delle perdite termiche) i bilanci termici sono tutti composti dai seguenti termini:

- perdite lorde;
- apporti interni e solari, lordi;
- parte utile degli apporti;
- fabbisogno energetico di riscaldamento.

Vari elementi solari sono riconosciuti:

- finestra;
- serra, veranda;
- collettore-finestra;
- muro con isolamento traslucido;
- captatore solare all'acqua (per il riscaldamento).

I risultati sono presentati sotto forme diverse:

- grafica del bilancio termico (illustrazione A4.2.1);
- tabella dei valori mensili dei diversi termini del bilancio;
- formulari 1081 e 1083 corrispondenti alle raccomandazioni SIA.

Modificare un dato è molto rapido. È quindi molto facile valutare per esempio, l'effetto sul bilancio termico della sostituzione di vetri isolanti con vetri a strato selettivo (infrarosso).

Metodi di calcolo per i bilanci termici:

- raccomandazione SIA 180/1 «Verifica del coefficiente K medio dell'involucro dell'edificio», SIA, Zurigo, 1988;
- raccomandazione SIA 380/1 «L'energia nell'edilizia», SIA, Zurigo, 1988;
- utilizzazione razionale dell'energia nell'edilizia – Modello di ordinanza, OFEN, Berna, 1993;
- norma europea prEN832 «Performance thermique des bâtiments – Calcul des besoins d'énergie de chauffage», Comité européen de normalisation (CEN), Bruxelles, 1995;
- metodo «LESO», Guide solaire passif, LESO, EPFL, Losanna, 1985.

Caratteristiche tecniche

Ordinatore: PC 386 o più.

Memoria: min. 8 Mo.

Sistema: Windows 3.11 o più.

Lingua: francese, tedesco.

Indirizzo: LESO-PB, EPFL, 1015 Losanna.

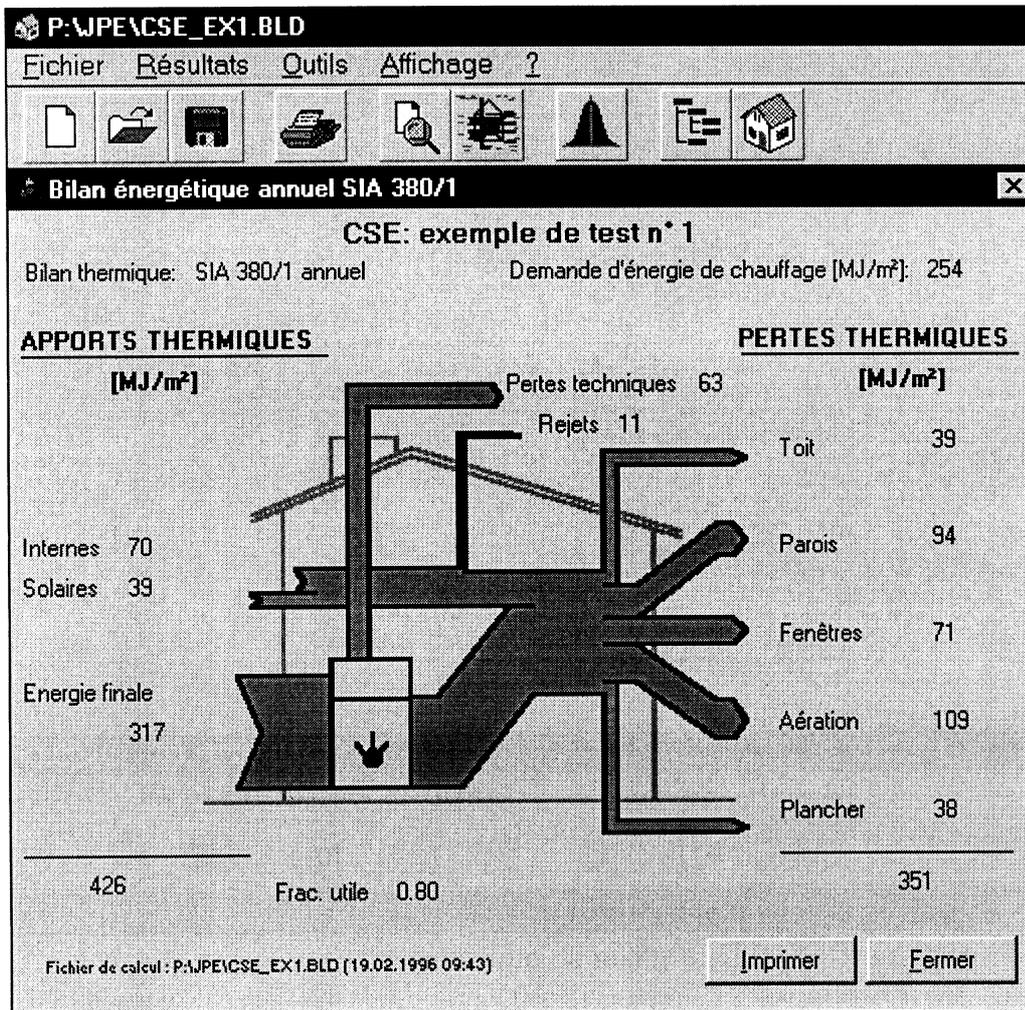


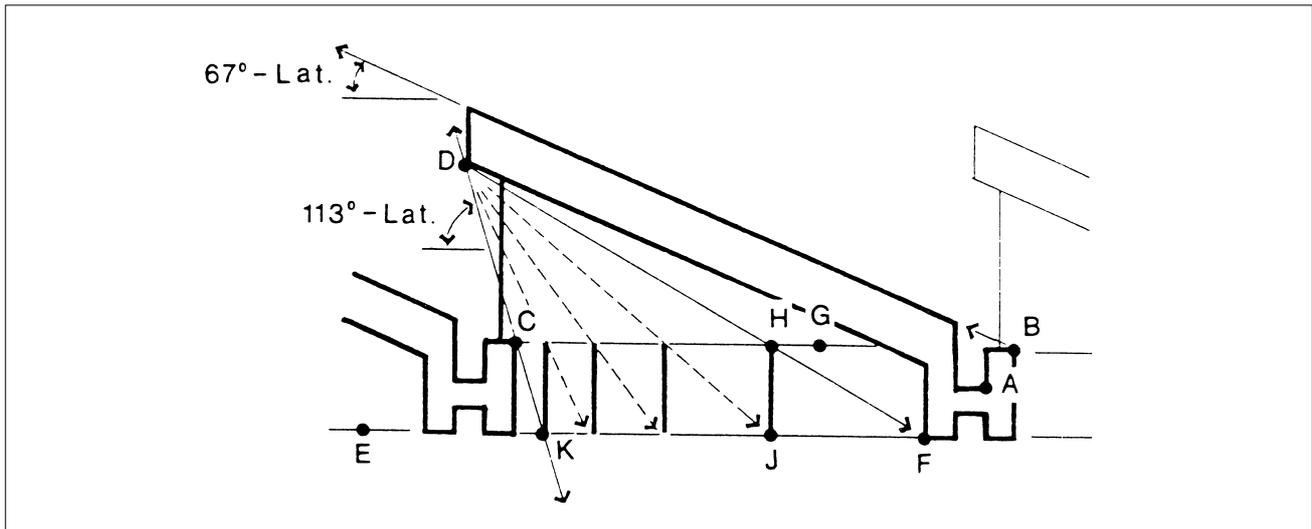
Illustrazione A4.2.1: bilancio termico - rappresentazione grafica.

A5. Concetto energetico: principi

| | | |
|------|---------------------------------------|-----|
| A5.1 | Shed verso sud – tracciato regolatore | 174 |
| A5.2 | Programma di calcolo DIAS | 176 |
| A5.3 | Abaco per l'acqua calda solare | 178 |
| A5.4 | Effetto camino | 179 |
| A5.5 | Temperatura di uno spazio cuscinetto | 180 |
| A5.6 | Ventilazione e vento: metodo | 182 |

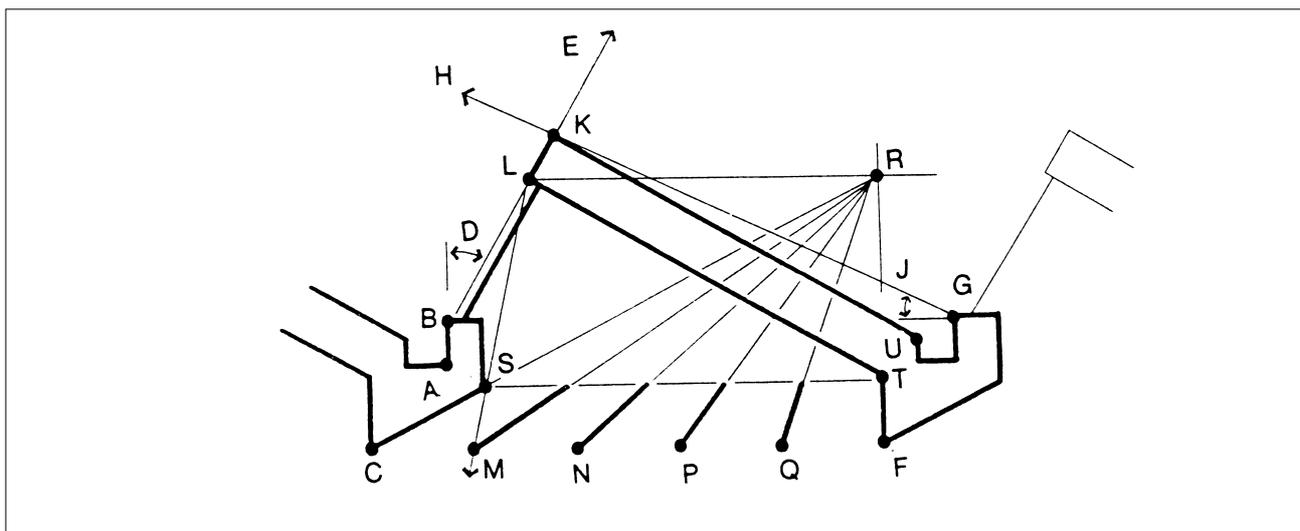
A5.1 Shed verso sud – tracciato regolatore

Qui sotto è rappresentato il procedimento per disegnare uno shed aperto verso sud, equipaggiato di lame verticali che diffondono la luce e di una sporgenza superiore.



1. Iniziare a livello di tetto piano (A), posizionare (B) in funzione della gronda e della struttura.
2. Costruire la linea del tetto a 67° – la latitudine a partire da (B).
3. Posizionare il livello (C) con (B) alla distanza dell'apertura.
4. Costruire la linea passando da (C) inclinata di 113° – la latitudine.
5. Posizionare (D) su questa linea tenendo conto dello spessore necessario della struttura e dell'isolamento.
6. Posizionare il livello basso delle lame in (E), quasi sempre il livello della soletta.
7. Posizionare (F) a livello (E) tenendo conto della struttura per un'abitazione.
8. Posizionare il livello del piano delle lame in (G), di solito lo stesso livello di (C).
9. Costruire la linea di penetrazione limite del sole da (D) a (F).
10. Posizionare il punto alto della prima lama in (H) e il punto basso in (J).
11. Costruire la linea limite seguente da (D) a (J) e ripetere fino all'ultima lama.
12. Idealmente, la linea che passa attraverso (D) e (C) dovrebbe toccare il punto basso dell'ultima lama in (K). Si può correggere riposizionando il livello del piano (G) o (E) e ripetendo il procedimento.

Segue il procedimento per disegnare uno shed aperto verso sud, equipaggiato di lame con un'inclinazione variabile per diffondere la luce.



1. Iniziare al livello di tetto piano (A), posizionare (B) in funzione dell'altezza della grondaia.
2. Posizionare (C) in relazione con (A) e (B) per contenere uno spessore sufficiente per struttura e isolamento.
3. Costruire la linea (E) d'angolo (D) = [67° - la latitudine] a partire da (B).
4. Posizionare il livello (F) e (G) in corrispondenza a (C) e (B) alla distanza dell'apertura. La linea (C-F) è il piano limite inferiore delle lame.
5. Costruire la linea (H) d'angolo (J) = [67° - la latitudine], con (K) all'intersezione delle linee (H) e (E).
6. Posizionare (L) su (E) tenendo conto dello spessore necessario alla struttura e all'isolamento.
7. Dividere la linea tra (C) e (F) in parti uguali (5 nell'esempio).
8. Costruire la linea orizzontale (L-R).
9. Posizionare (R) in verticale rispetto a (F).
10. Tracciare le lame da (R) a (C), rispettivamente da (M), (N), (P) e (Q).
11. Disegnare la linea limite tra (L) e (M).
12. Disegnare il livello passando da (S) per definire il livello alto delle lame.
13. Costruire la soletta dello shed da (L) a (T), e una linea parallela da (K) a (U) per formare il tetto e la gronda.

Tradotto da:
F. Moore
Concepts and practice of architectural daylighting
Van Nostrand Reinhold Company,
New York 1985

A5.2 Programma di calcolo DIAS

Il programma DIAS (Données Interactives d'Architecture Solaire) è stato sviluppato per mettere a disposizione dei professionisti dell'edilizia uno strumento interattivo che faciliti un approccio globale alla tematica del sole nell'architettura.

DIAS permette di:

- visualizzare e analizzare una scelta di edifici esemplari che usano l'energia solare passiva;
- accedere a un dizionario che presenti le conoscenze basilari;
- dare strumenti di predimensionamento e di valutazione del comportamento termico di diversi dispositivi solari.

DIAS presenta una quindicina di edifici esemplari coprendo così i tipi di edifici più diffusi (case monofamigliari, edifici abitativi, edifici amministrativi e scuole) per spiegare tutto lo spettro di misure e dispositivi solari che contribuiscono a minimizzare il consumo energetico.

Si tratta di realizzazioni concepite allo scopo di sfruttare al massimo dell'energia solare passiva tramite un superisolamento, delle verande, delle facciate doppie, degli atri; ecc. Altri edifici dimostrano come un edificio solare ben concepito possa diventare, dal punto di vista energetico, autonomo quasi al 100%, con l'aiuto di installazioni tecniche semplici e ben dimensionate (preriscaldamento dell'aria fredda attraverso il ricupero dell'aria viziata, riscaldamento con collettori solari e immagazzinamento stagionale, ecc.).

Una breve descrizione fornisce informazioni generali per l'architetto, il committente, i collaboratori, e le imprese, su pubblicazioni, luogo, indirizzo, regione climatica, destinazione d'uso e concetto. Le foto e i disegni delle piante, sezioni e facciate permettono di visitare il progetto e situarlo nel contesto circostante. La composizione dell'involucro, i dettagli interessanti e il concetto sono spiegati tramite disegni, schemi e foto. Un bilancio energetico (basato sulla raccomandazione SIA 380/1) analizza ogni edificio e informa sui fabbisogni di riscaldamento, sugli apporti solari e il coefficiente k medio. Il progetto può finalmente essere studiato con l'aiuto di simulazioni 3D che mostrano le differenze dell'irraggiamento nelle quattro stagioni.

L'architetto può così servirsi di questi esempi come fonti di ispirazione.

Il dizionario DIAS è stato sviluppato sulla base della pubblicazione PACER «Sole e Architettura - guida pratica per la progettazione». Più di cento pagine, classificate in sei capitoli, facilitano l'approccio

globale alla tematica del sole in architettura: tipo di destinazione d'uso, benessere, volumetria, tipologia, insediamento, irraggiamento, illuminazione naturale, predimensionamento di dispositivi solari, materiali, bilancio termico, fisica della costruzione, effetto serra, riscaldamento, ricupero, energia grigia, ecc.

DIAS è composto da sei strumenti di predimensionamento e valutazione del comportamento termico dei vari dispositivi solari:

- calcolo del bilancio termico mensile secondo la raccomandazione SIA 380/1;
- calcolo dell'indice di consumo energetico degli edifici esistenti partendo dal consumo rilevato;
- calcolo del coefficiente k in funzione dei materiali e del loro spessore;
- calcolo dell'ombreggiamento (illustrazioni A5.2.1 e A5.2.2): predimensionamento di balconi, verande, sporgenze del tetto in rapporto alla loro qualità come dispositivi di protezione solare fissi;
- conversione di unità;
- confronto (bilancio mensile) degli edifici, esempi forniti da DIAS, di varianti o di progetti definiti dall'utente.

Caratteristiche tecniche

| | |
|--------------|--|
| Ordinatore: | PC 286 o più |
| Memoria: | min. 4 Mo |
| Disco fisso: | 6 Mo per l'installazione minima, 25 Mo per l'installazione completa |
| Schermo: | VGA |
| Carta video: | 1 Mo di memoria grafica |
| Mouse: | obbligatorio |
| Sistema: | Windows 3.0 o più |
| Lingua: | francese, tedesco o italiano. |
| Indirizzo: | Willi Weber, CUEPE, Ch. de Conches 4, 1231 Conches. |

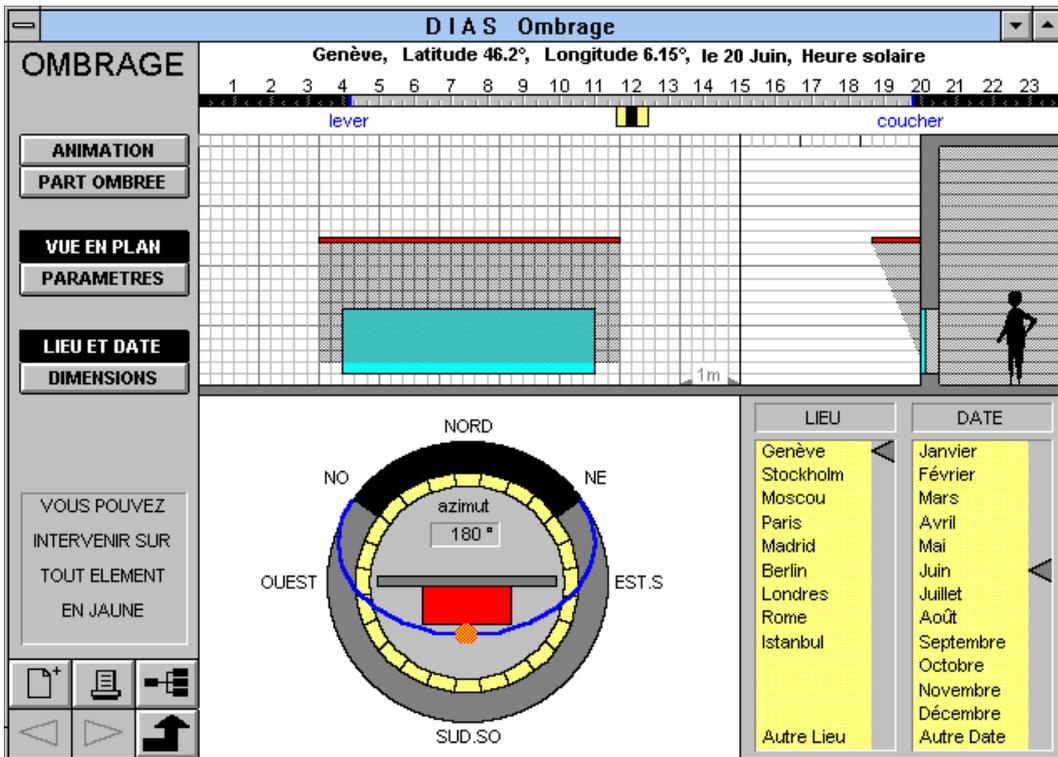


Illustrazione A5.2.1: determinazione dell'ombra riportata da un tetto sporgente con l'aiuto del programma DIAS.

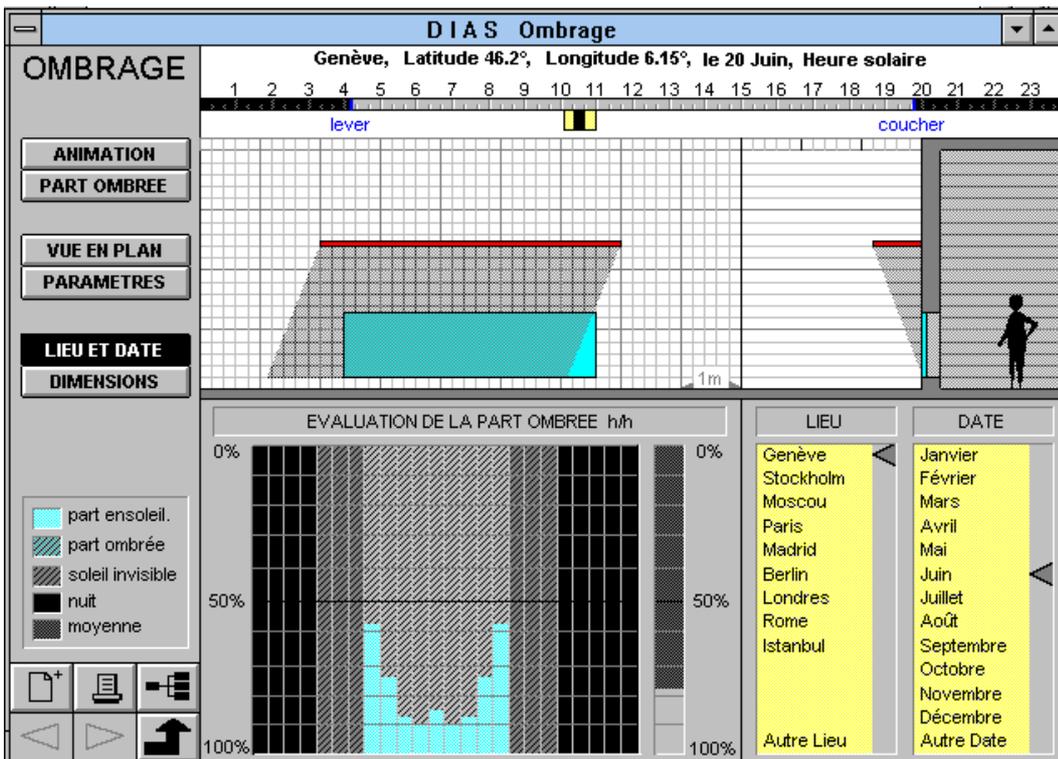
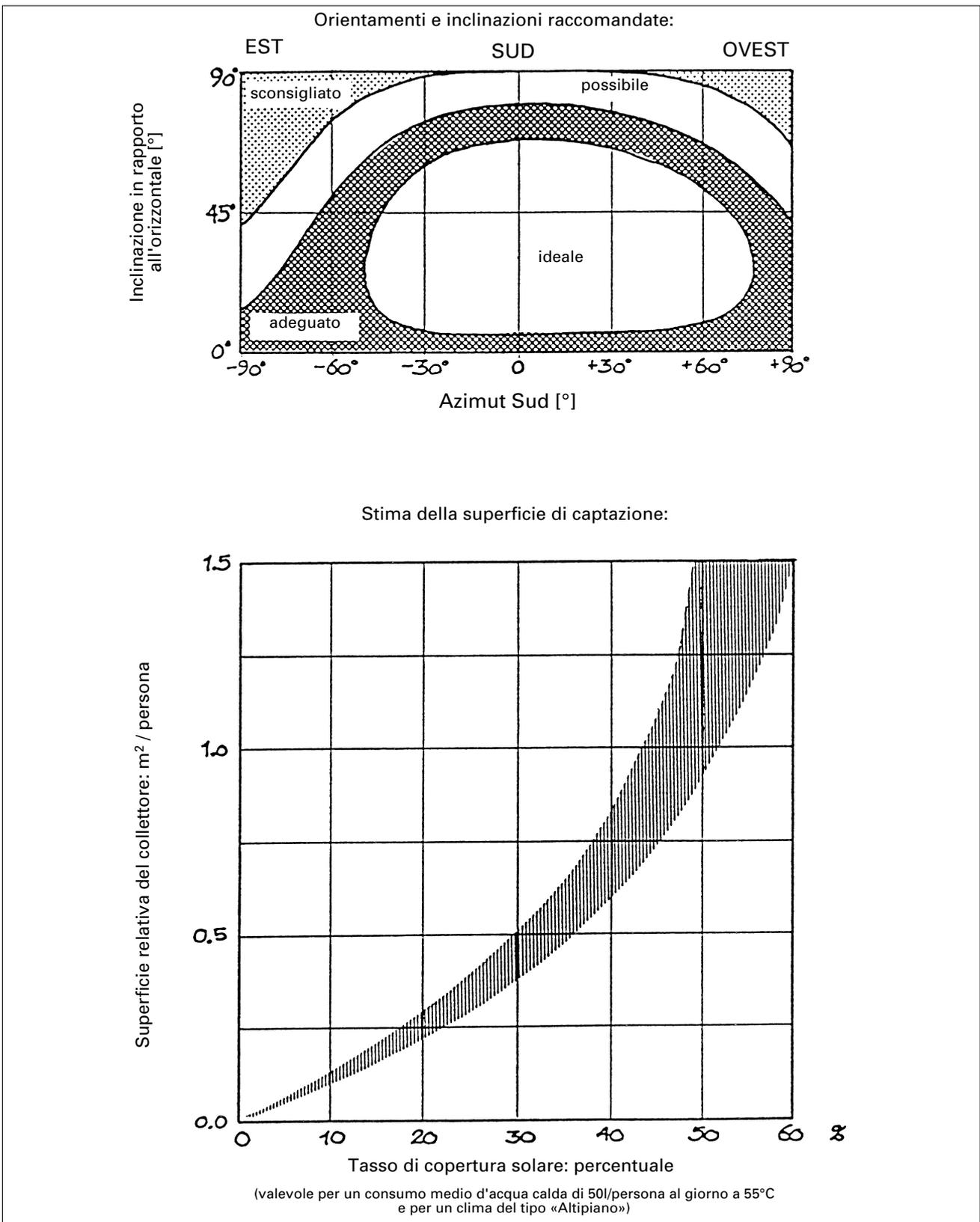


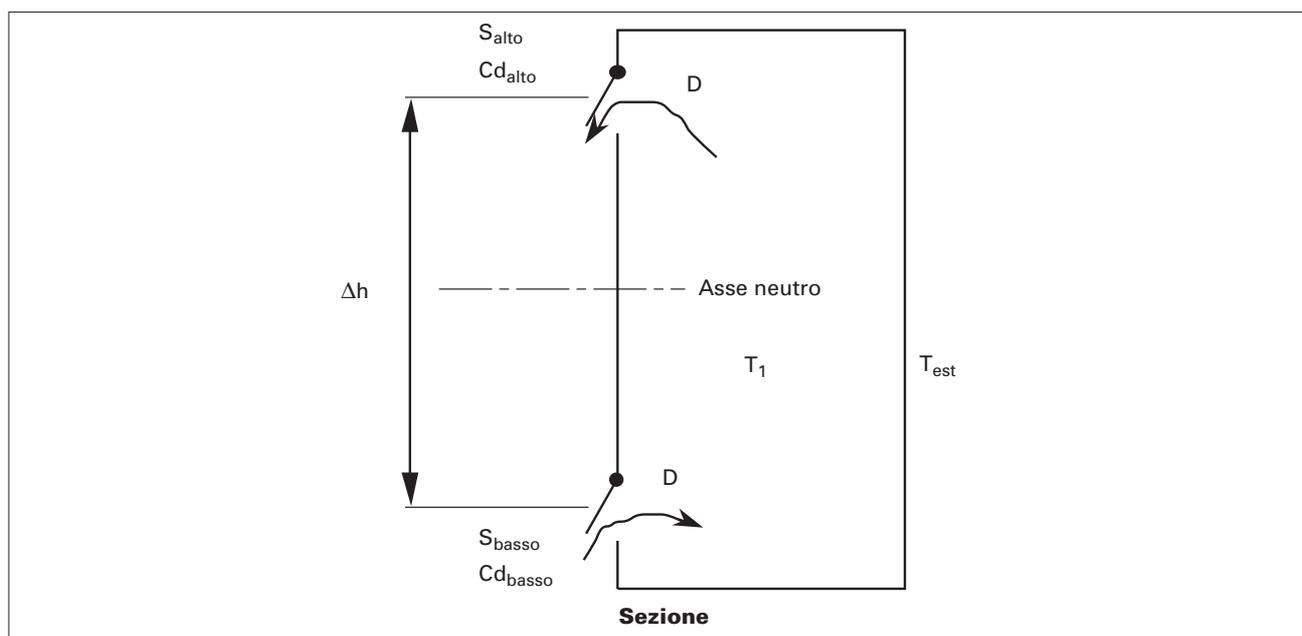
Illustrazione A5.2.2: frazione ombreggiata da un tetto sporgente (DIAS).

A5.3 Abaco per l'acqua calda solare



secondo misure SOFAS
 Ripreso dal corso PACER: «Sole e architettura - Guida pratica per la progettazione».

A5.4 Effetto camino



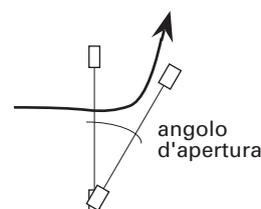
| | |
|---------------------|--|
| D | Portata d'aria dovuta alla differenza di temperatura tra aria esterna e aria interna (m ³ /s) |
| g | Gravità = 9.81 (m/s ²) |
| Dh | Differenza di altezza tra l'asse delle aperture (m) |
| S _{basso} | Superficie delle aperture in basso (m ²) |
| Cd _{basso} | Coefficiente del flusso d'aria delle aperture in basso (-) |
| S _{alto} | Superficie delle aperture in alto (m ²) |
| Cd _{alto} | Coefficiente del flusso d'aria delle aperture in alto (-) |
| T _{est} | Temperatura dell'aria esterna (°C) |
| T ₁ | Temperatura dell'aria interna (°C) |

La superficie S è quella dell'apertura e non della sezione del flusso d'aria

Cd = 0.60 per una apertura normale alla francese (90°)

0.40 per uno sportello con un'apertura di 30°

0.25 per uno sportello con un'apertura di 15°



$$D = S_{\text{basso}} \times C_{d_{\text{basso}}} \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \Delta h \times (T_1 - T_{\text{est}})}{(273 + T_1) + (273 + T_{\text{est}}) \times \left(\frac{S_{\text{basso}} \times C_{d_{\text{basso}}}}{S_{\text{alto}} \times C_{d_{\text{alto}}}} \right)^2}}$$

Equazione semplificata per aperture di stessa dimensione

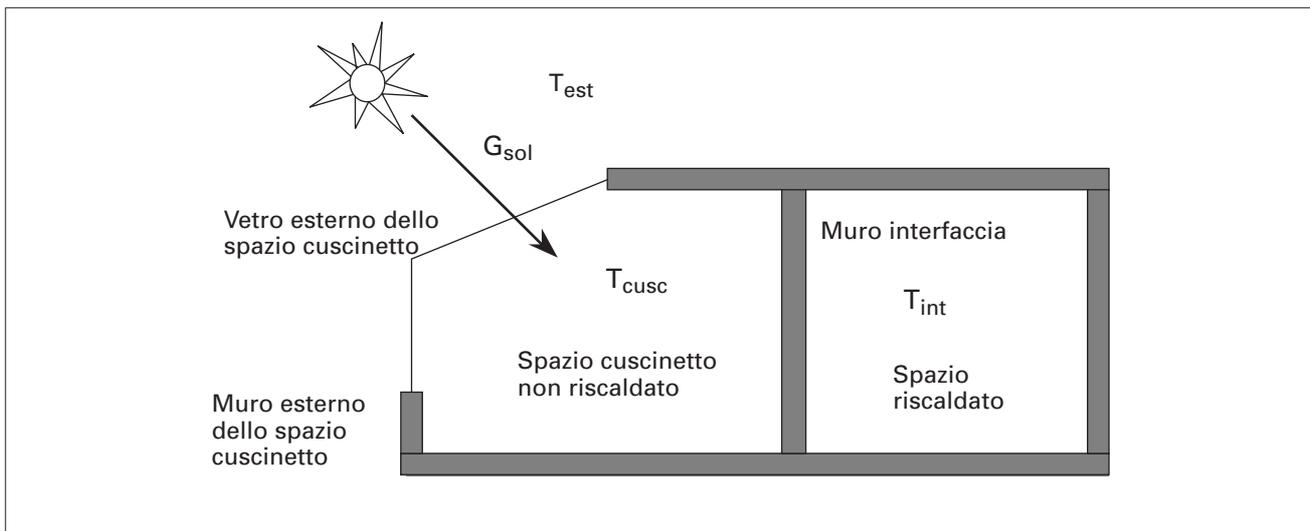
Si $S = S_{\text{basso}} = S_{\text{alto}}$ et $Cd = C_{d_{\text{basso}}} = C_{d_{\text{alto}}}$

$$D = S \times Cd \times \sqrt{\frac{g \times \Delta h \times (T_1 - T_{\text{est}})}{(273 + T_{\text{est}})}}$$

A5.5 Temperatura di uno spazio cuscinetto

Si tratta di trovare una temperatura d'equilibrio di uno spazio cuscinetto statico o dinamico (vedi 5.4). Per semplificare il calcolo, si presume che tutto quello che entra è uguale a tutto quello che esce, che non intervenga cioè nessun tipo di immagazzinamento nella massa dello spazio cuscinetto (muri, pavimenti, ecc.) Quest'ultima ipotesi è conservatrice, nel senso che volendo stimare la temperatura minima in inverno di uno spazio si ottiene un valore inferiore al valore reale. Al contrario, se in estate si desidera conoscere la temperatura massima di una serra, il fatto di non considerare l'inerzia dello spazio conduce a una stima esagerata della sua temperatura.

Lo spazio cuscinetto può essere una serra o un locale senza finestra.



Oppure

Un involucro esterno dello spazio cuscinetto con le seguenti caratteristiche:

| | |
|------------|---|
| A_e | Superficie dei muri esterni (m^2) |
| k_e | Coefficiente k medio dei muri esterni ($W/m^2, K$) |
| A_v | Superficie totale della vetratura esterna (compresi i telai) (m^2) |
| k_v | Coefficiente k medio della vetratura esterna (compresi i telai) ($W/m^2, K$) |
| r | Un fattore di riduzione per l'ombreggiamento dovuto ai telai e alle ombre riportate sui vetri (-) |
| g | Trasmissione energetica totale dei vetri (-) |
| Alpha | Coefficiente di assorbimento medio dello spazio cuscinetto (-) (abituamente tra 0.6 e 0.8) |
| V_{cusc} | Volume interno dello spazio cuscinetto (m^3) |
| n_e | Tasso di ricambio d'aria di uno spazio cuscinetto verso l'esterno (Vol/h) |

Un muro interfaccia tra spazio cuscinetto e spazio riscaldato con le caratteristiche seguenti:

| | |
|-------|---|
| A_i | Superficie dei muri interfaccia (m^2) |
| k_i | Coefficiente k medio dei muri interfaccia ($W/m^2, K$) |
| n_i | Tasso di ricambio d'aria dello spazio cuscinetto verso lo spazio riscaldato (Vol/h) è il numero di ricambi d'aria del volume dello spazio cuscinetto qui rappresentato |

Condizioni di temperatura e di irraggiamento solare:

| | |
|------------|---|
| T_{int} | Temperatura dello spazio riscaldato ($^{\circ}$) |
| T_{est} | Temperatura esterna ($^{\circ}$) |
| T_{cusc} | Temperatura dello spazio cuscinetto (valore desiderato) ($^{\circ}$) |
| G_{sol} | Irraggiamento incidente sui vetri esterni dello spazio cuscinetto (W/m^2) (vedi 2.3). |

Si calcola:

$$Q_{\text{cusc}} = \sum A_v \times G_{\text{sol}} \times r \times g \times \text{Alpha} \quad (\text{W}) \quad \text{energia solare assorbita dallo spazio cuscinetto}$$

il bilancio dello spazio cuscinetto:

$$C_1 = (\sum A_i \times k_i + n_i \times V_{\text{cusc}} \times 0.32) \times T_{\text{int}} + (\sum A_e \times k_e + \sum A_v \times k_v + n_e \times V_{\text{cusc}} \times 0.32) \times T_{\text{est}} + Q_{\text{cusc}}$$

$$C_2 = \sum A_i \times k_i + n_i \times V_{\text{cusc}} \times 0.32 + \sum A_e \times k_e + \sum A_v \times k_v + n_e \times V_{\text{cusc}} \times 0.32$$

e la sua temperatura:

$$T_{\text{cusc}} = \frac{C_1}{C_2} \quad (^\circ\text{C})$$

Esempio

| | | | | | | |
|------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|----------------------|
| Una serra: | $A_i = 15 \text{ m}^2$ | $k_i = 0.80 \text{ W/m}^2, \text{ K}$ | $n_i = 0.20$ | $V_{\text{cusc}} = 30 \text{ m}^3$ | | |
| | $A_e = 9 \text{ m}^2$ | $k_e = 0.50 \text{ W/m}^2, \text{ K}$ | $n_e = 0.40$ | | | |
| | $A_v = 18 \text{ m}^2$ | $k_v = 3.00 \text{ W/m}^2, \text{ K}$ | $g = 0.73$ | $r = 0.8$ | | $\text{Alpha} = 0.8$ |
| | $T_{\text{int}} = 20^\circ$ | $T_{\text{est}} = -5^\circ$ | $G_{\text{sol}} = 300 \text{ W/m}^2$ | | | |

$$Q_{\text{cusc}} = 18 \times 300 \times 0.8 \times 0.73 \times 0.8 = 2523 \text{ (W)}$$

$$C_1 = (15 \times 0.80 + 0.20 \times 30 \times 0.32) \times 20 + (9 \times 0.50 + 18 \times 3.00 + 0.40 \times 30 \times 0.32) \times (-5) + 2523 = 2489.7$$

$$C_2 = 15 \times 0.80 + 0.20 \times 30 \times 0.32 + 9 \times 0.50 + 18 \times 3.00 + 0.40 \times 30 \times 0.32 = 76.3$$

$$T_{\text{cusc}} = \frac{2489.7}{76.3} = 32.60 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad \text{In realt\`a la serra \`e ventilata verso l'interno o addirittura verso l'esterno.}$$

Se la situazione interverrebbe di notte, senza sole ($G_{\text{sol}} = 0$), la temperatura dello spazio cuscinetto sarebbe:

$$Q_{\text{cusc}} = 0$$

$$C_1 = (15 \times 0.80 + 0.20 \times 30 \times 0.32) \times 20 + (9 \times 0.50 + 18 \times 3.00 + 0.40 \times 30 \times 0.32) \times (-5) + 0 = -33.3$$

$$C_2 = 15 \times 0.80 + 0.20 \times 30 \times 0.32 + 9 \times 0.50 + 18 \times 3.00 + 0.40 \times 30 \times 0.32 = 76.3$$

$$T_{\text{cusc}} = \frac{-33.3}{76.3} = -0.44 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Ripreso e adattato da:

R. Sagelsdorff, T. Frank

«Isolation thermique e ma\^itrise de l'\`energie dans le b\^atiment», El\`ement 29

Industrie suisse de la terre cuite, Zurigo 1993

M. Zimmerman

«Handbuch der Passiven Sonnenenergienutzung»

SIA D010 Zurigo 1986

A5.6 Ventilazione e vento: metodo

Il concetto di ventilazione naturale generata dalla differenza di pressione dovuta al vento, viene facilitata dall'utilizzazione dei diagrammi di flussi d'aria.

Sono basati sui principi generali e sulle regole descritte qui sotto e non su calcoli precisi.

- **Inerzia:** l'aria, avendo una certa massa, quando si muove tende a mantenere la sua direzione. Quando è obbligata a cambiare direzione, il flusso d'aria seguirà sempre delle curve e mai angoli retti.
- **Conservazione:** l'aria che penetra in un edificio è sempre uguale all'aria che esce dall'edificio. Le linee che rappresentano i flussi d'aria devono quindi essere disegnate sotto forma di linee continue.
- **Alta e bassa pressione:** quando l'aria urta le facciate si contrae e crea una pressione positiva (+). Nello stesso momento l'aria viene aspirata dalla parte sotto vento, creando così una depressione (-).

6. Gli spazi che non sono attraversati da una linea (flusso d'aria) non sono abbastanza ventilati; spostare le aperture, ecc. per modificare l'andamento delle linee dei flussi secondo la necessità.

7. Ripetere le tappe 2-5 fino a quando le linee dei flussi soddisfano.

Questo metodo è basato sul lavoro di Murray Milne UCLA, ed è citato da Norbert Lechner nel «Heating, Cooling, Lighting, Design Methods for Architects», John Wiley & Sons, New York 1991.

Diagrammi del flusso d'aria

1. Determinare la direzione del vento dominante in estate (vedi capitolo 2 Analisi del luogo).
2. Su un lucido, sovrapporre la pianta dell'edificio e del luogo, disegnare una serie di frecce parallele alla direzione del vento da una parte all'altra dell'edificio, contro vento e sotto vento (illustrazione A5.6.1). Queste frecce devono essere distanti tra loro come la larghezza dell'apertura più piccola della facciata.
3. Determinare le zone a pressione positiva (+) e negativa (-) intorno all'edificio e riportarle sul lucido (illustrazione A5.6.1).
4. Attraverso un procedimento per tentativi, congiungere ogni freccia che penetra nell'edificio sotto vento con la freccia equivalente all'uscita sotto vento. Le linee non devono incrociarsi, interrompersi o effettuare bruschi cambiamenti di direzione. In un edificio i flussi d'aria vanno dalle zone a pressione positiva alle zone a pressione negativa (illustrazione A5.6.2).
5. Quando un flusso d'aria si dirige verticalmente fino a raggiungere un altro livello, occorre marcare il punto dove lascia la pianta con un cerchio con un punto in centro, e il punto d'arrivo con un cerchio con una crocetta al centro (illustrazione A5.6.2). Disegnare i movimenti verticali nella sezione dell'edificio (illustrazione A5.6.3).

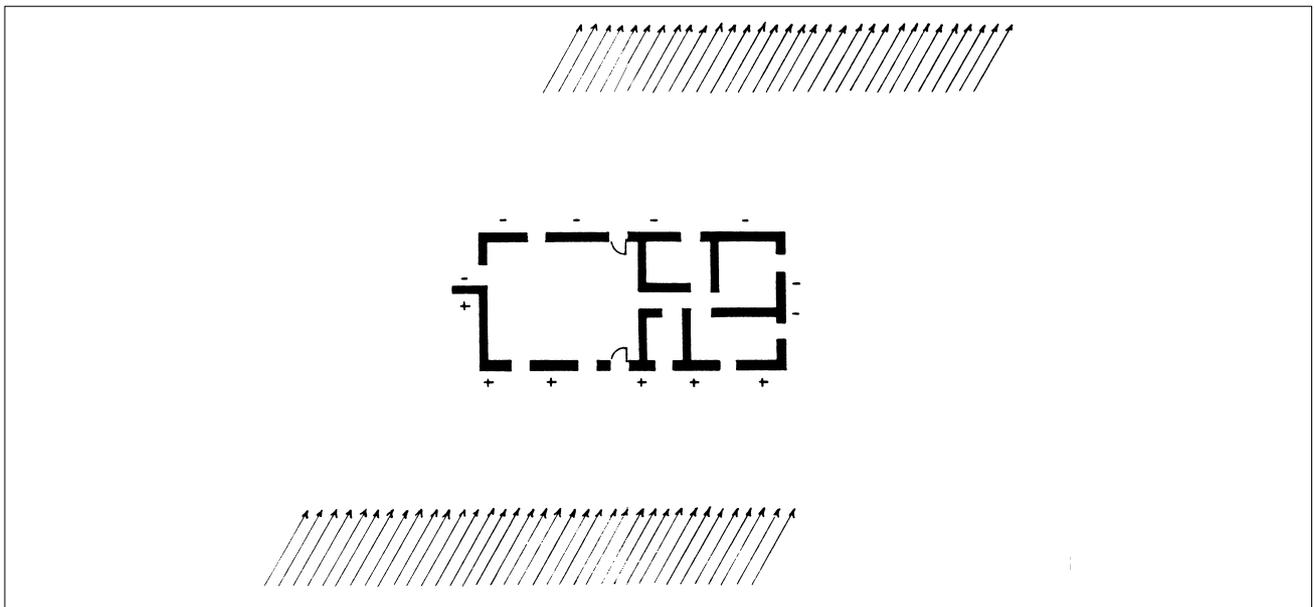


Illustrazione A5.6.1: posizione iniziale per disegnare un diagramma del flusso d'aria.

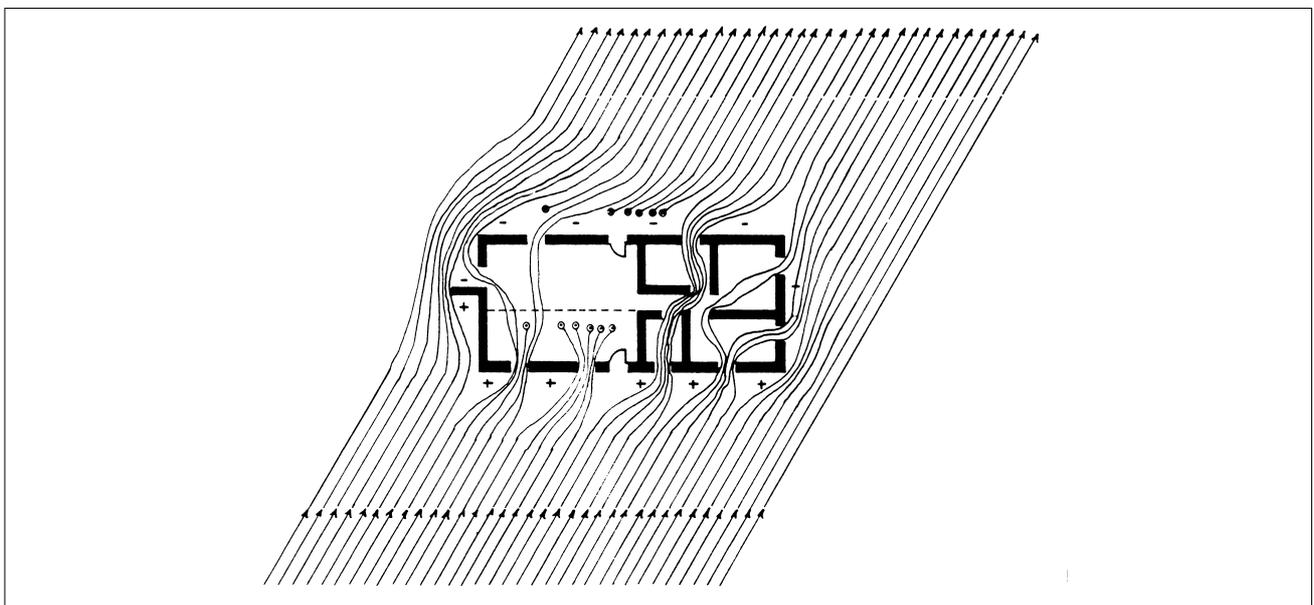


Illustrazione A5.6.2: un diagramma del flusso d'aria terminato.

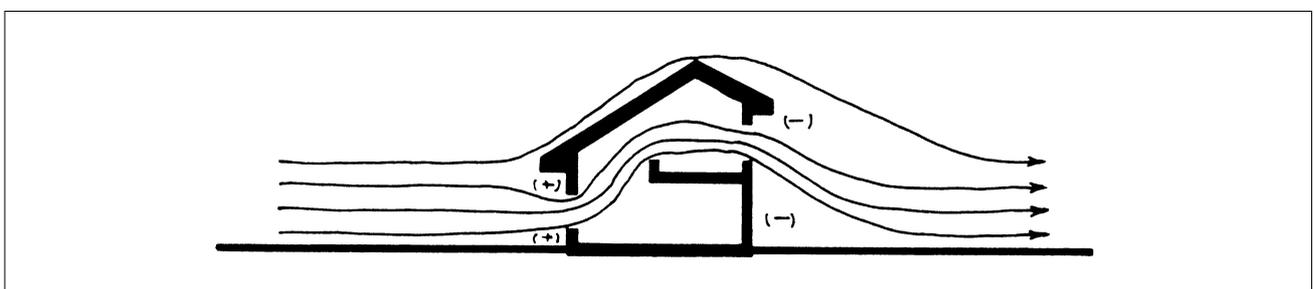


Illustrazione A5.6.3: i flussi devono essere studiati anche in sezione.