



# *illuminazione*

## **Principi d'illuminotecnica**



■ **Direzione del progetto:**

Prof. J.-L. Scartezzini, ing. fis. SPFL, CUEPE/Università di Ginevra

■ **Concezione ed elaborazione:**

B. Paule, architetto DPLG, CUEPE/Università di Ginevra

Prof. J.-L. Scartezzini, ing. fis. SPFL, CUEPE/Università di Ginevra

■ **Redazione:**

D. Chuard, architetto, SORANE SA, Losanna

B. Paule, architetto DPLG, CUEPE/Università di Ginevra

Prof. J.-L. Scartezzini, ing. fis. SPFL, CUEPE/Università di Ginevra

Dott. S. Simos, architetto, EIG, Ginevra

■ **Fotografie messe a disposizione da:**

CUEPE/Università di Ginevra,

Docuverre, Ph. Joye,

LESO-PB/SPFL, OSRAM, UMTE/UNIGE

■ **Associazioni sostenitrici:**

ASE Associazione svizzera degli elettrotecnici

SIA Società svizzera degli ingegneri e degli architetti

SLG Associazione svizzera d'illuminazione

ATS Associazione tecnici svizzeri

ISBN 3-905251-13-2

Edizione originale: ISBN 3-905233-43-6

Copyright ©

Ufficio federale dei problemi congiunturali,  
3003 Berna, settembre 1993.

La riproduzione parziale è autorizzata purché sia citata la fonte.  
Il presente manuale può essere ordinato presso l'Ufficio centrale federale  
degli stampati e del materiale (UCFSM), 3000 Berna  
(n. di ordin. 724.329.1i)

Form. 724.329.1i 1.96 500 U30234



# Prefazione

Il programma di promozione «Edilizia ed Energia», della durata totale di 6 anni (1990-1995), è composto dai tre programmi d'impulso seguenti:

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

Questi tre programmi d'impulso sono realizzati in stretta collaborazione con l'economia privata, le scuole e la Confederazione. Il loro scopo è quello di promuovere una crescita economica qualitativa. In tale ottica essi devono sfociare in un minor sfruttamento delle materie prime e dell'energia, con un maggiore ricorso al capitale costituito dalle capacità umane.

Il fulcro delle attività di RAVEL è costituito dal miglioramento della competenza professionale nell'impiego razionale dell'energia elettrica. Oltre agli aspetti della produzione e della sicurezza, che finora erano in primo piano, deve essere dato ampio risalto all'aspetto costituito dal rendimento. Sulla base di una matrice del consumo, RAVEL ha definito in modo esteso i temi da trattare. Oltre alle applicazioni dell'energia elettrica negli edifici vengono presi in considerazione anche i processi nell'industria, nel commercio e nel settore delle prestazioni di servizio. I gruppi mirati sono adeguatamente svariati: comprendono i professionisti di ogni livello, nonché i responsabili delle decisioni che si devono esprimere in merito a decorsi ed investimenti essenziali per quanto concerne il consumo dell'energia elettrica.

## ■ Corsi, manifestazioni, pubblicazioni, videocassette, ecc.

Gli obiettivi di RAVEL saranno perseguiti mediante progetti di ricerca volti all'ampliamento delle conoscenze di base e – a partire dallo stesso principio – mediante la formazione, il perfezionamento e l'informazione. La divulgazione delle conoscenze è orientata verso l'impiego nella prassi quotidiana e si basa essenzialmente su manuali, corsi e manifestazioni. Si prevede di organizzare ogni anno un congresso RAVEL durante il quale, di volta in volta, si informerà, discutendone in modo esauriente, in merito ai nuovi risultati, sviluppi e tendenze della nuova ed affascinante disciplina costituita dall'impiego razionale dell'elettricità. Il bollettino «IMPULSO», pubblicato due o tre volte all'anno, fornirà dettagli concernenti queste attività ed informerà gli interessati in merito all'offerta di perfezionamento ampia ed orientata a seconda dei singoli gruppi d'interesse. Tale bollettino può essere ordinato in abbonamento (gratuito) presso l'Ufficio federale dei problemi congiunturali, 3003 Berna. Ogni partecipante ad un corso o ad una manifestazione organizzati nell'ambito del programma riceve una documentazione. Essa consiste essenzialmente della pubblicazione specializzata elaborata a questo scopo. Tutte queste pubblicazioni possono pure essere ordinate presso l'Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale (UCFSM), 3000 Berna.

## ■ Competenze

Per poter fronteggiare questo programma ambizioso di formazione è stato scelto un concetto di organizzazione e di elaborazione che, oltre alla collaborazione competente di specialisti, garantisce anche il rispetto dei punti d'interazione nel settore dell'impiego dell'energia elettrica, nonché dell'assistenza necessaria da parte di associazioni e scuole del ramo interessato. Una commissione composta dai rappresentanti delle associa-



zioni, delle scuole e dei settori professionali interessati stabilisce i contenuti del programma ed assicura la coordinazione con le altre attività che perseguono l'uso razionale dell'elettricità. Le associazioni professionali si assumono anche l'incarico di organizzare i corsi di perfezionamento professionale e le campagne d'informazione. Della preparazione di queste attività è responsabile la direzione del progetto composta dai signori Dott. Roland Walthert, Werner Böhi, Dott. Eric Bush, Jean-Marc Chuard, Hans-Rudolf Gabathuler, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, Dott. Daniel Spreng, Felix Walter, Dott. Charles Weinmann, nonché Eric Mosimann, UFCO. Nell'ambito delle proprie competenze l'elaborazione è eseguita da gruppi di progettazione che devono risolvere singoli problemi (progetti di ricerca e di trasformazione) per quanto concerne il contenuto, l'impiego del tempo ed i costi.

## ■ Documentazione

Dopo una procedura di consultazione e la prova d'impiego nel corso di una manifestazione pilota, la presente documentazione è stata rielaborata con cura. Gli autori erano tuttavia liberi di valutare, tenendone conto secondo il proprio libero apprezzamento, i diversi pareri in merito a singoli problemi. Essi si assumono anche la responsabilità dei testi. Le lacune che venissero alla luce durante l'applicazione pratica potrebbero essere eliminate in occasione di un'eventuale rielaborazione. L'Ufficio federale dei problemi congiunturali o il direttore del corso prof. J.-L. Scartezini saranno lieti di ricevere suggestioni a tale proposito.

In questa sede desideriamo ringraziare tutte le persone che hanno contribuito alla realizzazione della presente pubblicazione.

Prof. dott. B. Hotz-Hart  
Vicedirettore dell'ufficio federale  
dei problemi congiunturali



# Indice

<b>1. Introduzione</b>	<b>7</b>
<b>2. Nozioni fondamentali</b>	<b>11</b>
2.1 Percezione della luce	11
2.2 Fotometria	14
2.3 L'occhio e le sollecitazioni luminose	17
<b>3. L'illuminazione naturale</b>	<b>23</b>
3.1 In generale	23
3.2 Problemi creati dall'utilizzazione della luce naturale	25
3.3 Utilizzazione della luce diretta	27
3.4 Utilizzazione della luce diffusa	31
3.5 Alcuni sistemi di aperture	37
3.6 Protezioni contro il sole	39
3.7 Combinazione con l'illuminazione artificiale	44
<b>4. L'illuminazione artificiale</b>	<b>47</b>
4.1 Caratteristiche delle diverse sorgenti luminose	47
4.2 Caratteristiche dei diversi tipi di corpi illuminanti	58
4.3 Sistemi di comando dei corpi illuminanti	62
4.4 Fasi del progetto d'illuminazione artificiale	64
<b>5. Aspetti energetici</b>	<b>69</b>
5.1 Analisi della situazione attuale	69
5.2 Energia ed illuminazione naturale	71
5.3 Asportazione del calore	79
5.4 Combinazione dell'illuminazione naturale e di quella artificiale	84
<b>6. Strategia del progetto d'illuminazione</b>	<b>91</b>
6.1 In generale	91
6.2 Dati fondamentali del progetto	92
6.3 Utilizzazione dell'edificio	96
6.4 Costi	101
<b>7. Terminologia</b>	<b>105</b>
<b>8. Bibliografia</b>	<b>109</b>
<b>Pubblicazioni del programma d'impulso RAVEL</b>	<b>111</b>





# 1. Introduzione

## ■ Perché questo libro?

La concezione e la realizzazione dei progetti d'illuminazione costituiscono sia un'arte, sia una scienza. Il loro obiettivo principale è quello di fornire condizioni d'illuminazione sufficienti per esercitare certe attività, offrendo contemporaneamente un ambiente luminoso confortevole, stimolante ed attraente.

L'elaborazione competente di un tale progetto richiede quindi implicitamente la necessità di basarsi su competenze diverse. L'architettura, le tecniche d'illuminazione e l'ergonomia visiva costituiscono altrettanti aspetti differenti del progetto, dei quali occorre tener conto per giungere ad una soluzione ottimale. Gli sforzi considerevoli effettuati da circa un secolo per lo sviluppo di nuove sorgenti d'illuminazione artificiale hanno certamente contribuito a facilitare il compito dei progettisti. Sorgenti d'illuminazione sempre più compatte e più efficienti, nonché corpi illuminanti con un rendimento migliore permettono di fornire prestazioni sempre più valide; una vasta gamma di prodotti è a disposizione per soddisfare, nel modo più ampio possibile, la creatività dell'architetto degli interni.



Figura 1.1: sistema combinato d'illuminazione naturale e artificiale in un edificio pubblico (aeroporto internazionale di Copenaghen, Danimarca)



Ai nostri giorni, tuttavia, la salvaguardia dell'ambiente fa parte in modo così importante delle nostre preoccupazioni che non è più possibile prevedere un progetto d'illuminazione senza tener conto del consumo d'energia.

L'utilizzazione intensiva della luce naturale combinata con un'illuminazione artificiale efficiente, il comando dell'impianto d'illuminazione in funzione del fabbisogno, l'eliminazione di prestazioni inutili costituiscono altrettante risposte a questa nuova problematica (cfr. figura 1.1). Tali risposte presentano tuttavia il vantaggio di offrire condizioni abitative migliori per gli utenti, migliorando contemporaneamente la qualità architettonica dell'edificio.

### ■ Qual è l'obiettivo del presente manuale?

Lo scopo del presente documento è quello di offrire una panoramica delle nozioni fondamentali e dei concetti più importanti nel settore dell'illuminazione interna degli edifici. Esso deve essere sufficientemente generico da poter servire quale introduzione a problemi d'illuminazione più specifici (illuminazione degli uffici, dell'industria e delle superfici di vendita) e si rivolge a tutte le persone che partecipano alla costruzione e che sono direttamente coinvolte per quanto riguarda i problemi d'illuminazione (architetti, ingegneri consulenti, installatori elettricisti, decoratori).

I due aspetti complementari dell'illuminazione (illuminazione naturale ed illuminazione artificiale) vi sono trattati, mettendo in particolare rilievo i problemi energetici. Un concetto generale di strategia per il progetto d'illuminazione viene presentato alla fine del presente documento; esso costituisce il legame formale tra la presente opera ed i documenti più specifici, orientati verso la prassi, dell'illuminazione degli uffici, dell'industria e delle superfici di vendita. Una terminologia completa il presente manuale in modo da permettere una comprensione migliore dei termini e delle espressioni originali utilizzate nel testo (parole in grassetto).

Il presente documento è destinato a servire quale base dei corsi di formazione continua nel settore dell'illuminazione (parte «Introduzione») previsti nell'ambito del programma d'impulso RAVEL. Esso deve permettere di gettare le basi di un linguaggio comune a tutti i partecipanti, in previsione dei corsi tematici futuri (illuminazione degli uffici, dell'industria e delle superfici di vendita).



## 2. Nozioni fondamentali

<b>2.1</b>	<b>Percezione della luce</b>	<b>11</b>
■	L'occhio	11
■	La luce: parte visibile della radiazione elettromagnetica	12
■	Il campo visivo	13
■	I meccanismi di retroazione dell'occhio	13
<b>2.2</b>	<b>Fotometria</b>	<b>14</b>
■	Grandezze fotometriche principali	14
<b>2.3</b>	<b>L'occhio e le sollecitazioni luminose</b>	<b>17</b>
■	Efficienza visiva	17
■	Comfort visivo	18
■	Piacere visivo	19





## 2. Nozioni fondamentali

### 2.1 Percezione della luce

#### ■ L'occhio

La sensazione di percezione visiva è causata da meccanismi sia fisici, sia biologici. Essa richiede innanzi tutto la penetrazione di un raggio luminoso (raggio elettromagnetico di una lunghezza d'onda particolare) nel bulbo oculare ed il suo assorbimento da parte della retina (cfr. figura 2.1).

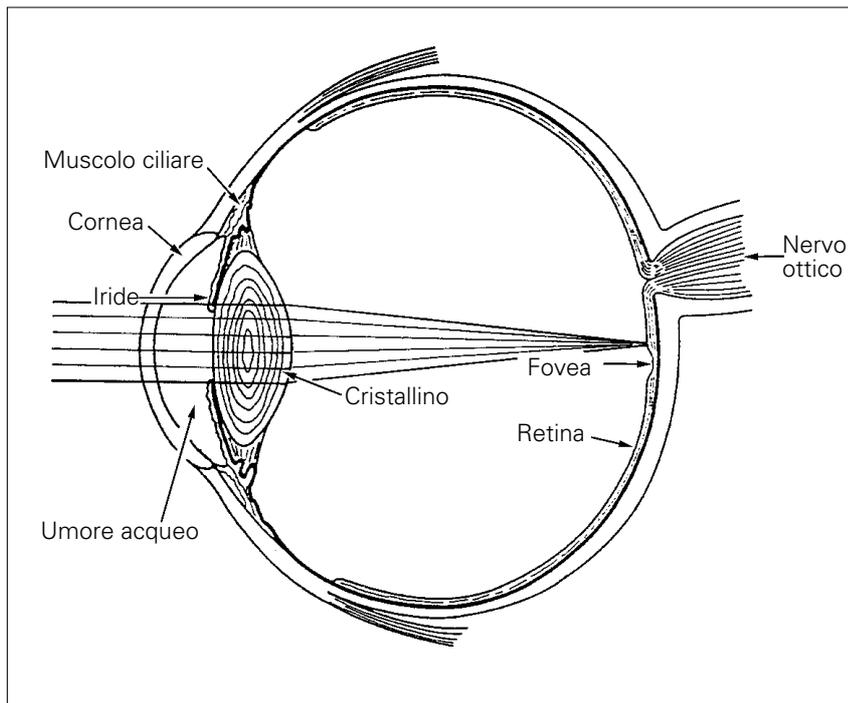


Figura 2.1:  
sezione orizzontale del bulbo oculare umano (distanza approssimativa cornea-retina: 24 mm) [1]

I recettori fotosensibili che tappezzano la retina (coni e bastoncini) trasformano l'energia luminosa in un influsso nervoso che il nervo ottico trasmette al cervello. Quest'ultimo procede all'interpretazione del segnale ricevuto e ricostruisce l'immagine originale (sorgente della luce).



## ■ La luce: parte visibile della radiazione elettromagnetica

Non tutte le radiazioni elettromagnetiche, che comprendono i raggi X, la luce, nonché le onde radio, possono essere percepite dall'occhio umano. Soltanto quelle la cui lunghezza d'onda fa parte dello **spettro visibile** (gamma da 380 a 700 miliardesimi di metro) creano una percezione luminosa.

Questa caratteristica dipende dalla sensibilità dei fotorecettori della retina che è diversa per ogni lunghezza d'onda. La **curva di sensibilità spettrale**  $V(\lambda)$  illustra questa caratteristica; la figura 2.2 rappresenta tale curva che si sovrappone in modo naturale alla gamma delle lunghezze d'onda visibili. Tale curva riveste in qualche modo il ruolo di un filtro che attribuisce ad ogni lunghezza d'onda un valore proporzionale alla sensazione visiva provocata da quest'ultima; questo valore è uguale a zero per le lunghezze d'onda che si trovano all'esterno della gamma visibile dello spettro.

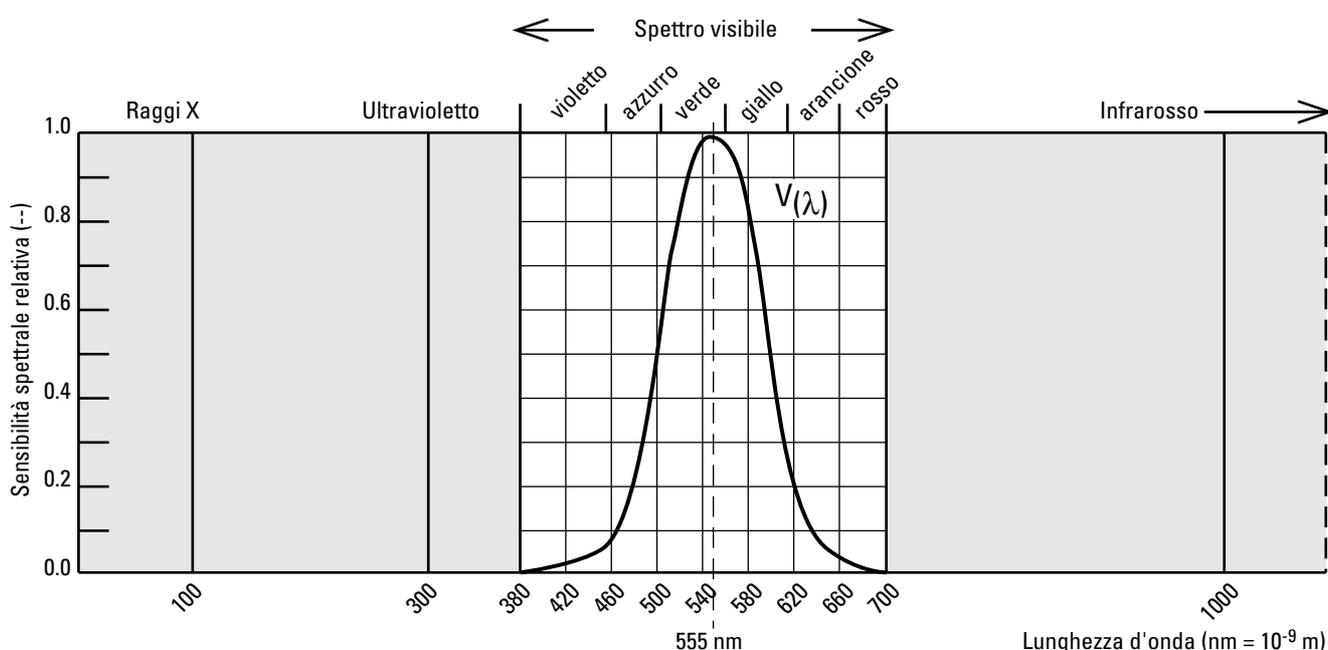


Figura 2.2:  
curva di sensibilità spettrale dell'occhio umano

La percezione di un colore dipende dalla lunghezza d'onda del raggio luminoso in questione. Lo spettro dei colori percepiti copre tutte le lunghezze d'onda visibili dal violetto al rosso. Il giallo verde, che corrisponde alla lunghezza d'onda di 555 nm ( $1 \text{ nm} = 1$  miliardesimo di metro) è il colore che viene percepito in modo migliore dall'occhio umano (sensibilità spettrale massima).



## Il campo visivo

A causa della propria forma geometrica l'occhio presenta dei limiti per quanto concerne la percezione dello spazio. Benché differente in ogni individuo (dimensioni del naso e dell'arcata sopraccigliare), il **campo visivo** binoculare, corrisponde approssimativamente al settore illustrato alla figura 2.3: esso è di  $2 \times 60^\circ$  sui lati e di  $60^\circ$  e  $70^\circ$ , rispettivamente, verso l'alto e verso il basso.

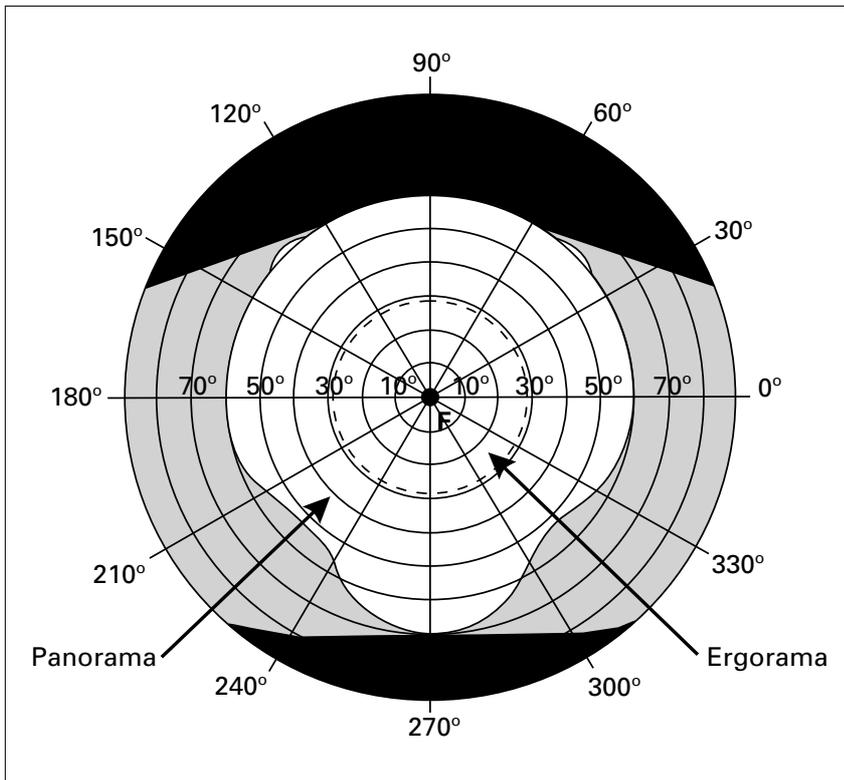


Figura 2.3:  
campo visivo umano [1];

bianco: campo visto simultaneamente dai due occhi

grigio: campo visto da un occhio solo

F: campo centrale (fovea)

La capacità dell'occhio di percepire un'informazione visiva dipende dalla sua posizione rispetto al campo visivo:

- i dettagli possono essere percepiti soltanto nel campo centrale (settore di  $1^\circ$  di apertura centrato sull'asse visivo);
- le forme possono essere percepite nell'**ergorama** (settore con un'apertura di  $2 \times 30^\circ$ );
- soltanto i movimenti vengono percepiti nel **panorama** (settore di apertura di  $2 \times 60^\circ$ ).

## I meccanismi di retroazione dell'occhio

L'occhio possiede meccanismi di retroazione che gli permettono, per quanto possibile, di garantire la percezione dell'informazione:

- il diametro della pupilla varia in funzione della quantità di luce (meccanismo d'adattamento);
- la forma del cristallino dipende dalla distanza dell'oggetto osservato (meccanismo d'accomodazione).

Questi meccanismi si deteriorano con l'età del soggetto e diventano sempre meno efficienti (ipermetropia, sensibilità aumentata all'abbagliamento).



## 2.2 Fotometria

### ■ Grandezze fotometriche principali

La fotometria è la scienza che si occupa della misurazione della luce [1-3]. Essa s'interessa soltanto della parte costituita dalla radiazione elettromagnetica che sfocia nella sensazione visiva (parte visibile dello spettro). Le grandezze fotometriche più usate sono le seguenti:

- la densità luminosa (misurata in lux);
- l'intensità luminosa (misurata in candele);
- la luminanza (misurata in candele/m<sup>2</sup>).

Di queste tre grandezze soltanto la luminanza può essere percepita dall'occhio umano (la densità luminosa può essere misurata ma non è percettibile). Essa corrisponde alla sensazione visiva della luminosità causata dalla riflessione della luce su una superficie (ad esempio la facciata di un edificio illuminata dal sole).

La luminanza percepita non dipende tuttavia unicamente dalla quantità di luce ricevuta da una superficie. Il colore di quest'ultima, da cui dipende la quantità di luce riflessa verso l'occhio, è parimenti importante. Con la stessa densità luminosa una superficie di colore chiaro si distingue da una superficie di colore più scuro a causa di una luminanza maggiore.

La **luminanza (L)** non può essere illustrata mediante una rappresentazione grafica semplice come quella delle figure 2.4a e 2.4b. Questa grandezza può tuttavia essere utilizzata per definire le caratteristiche d'emissione luminosa di sorgenti e di superfici luminose di dimensioni limitate (ad es. volta celeste).

### Densità luminosa (E)

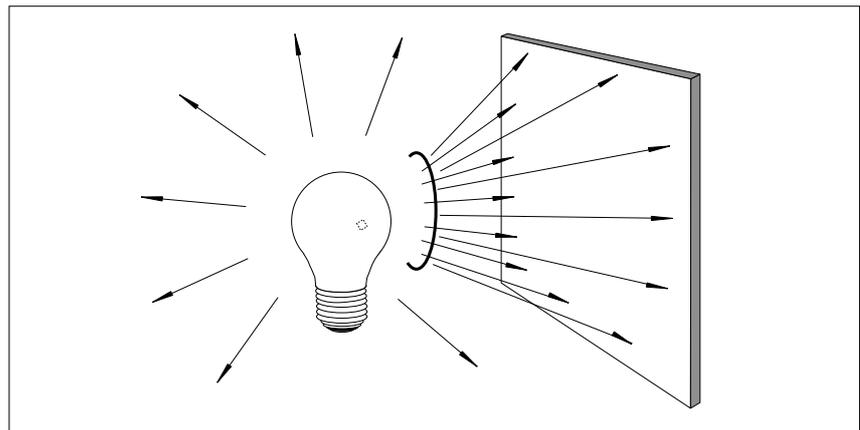


Figura 2.4a:  
flusso luminoso per unità di superficie  
(lumen per m<sup>2</sup>)

Unità di misura: il lux [lx]

$$1 \text{ lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$



**Intensità luminosa (I)**

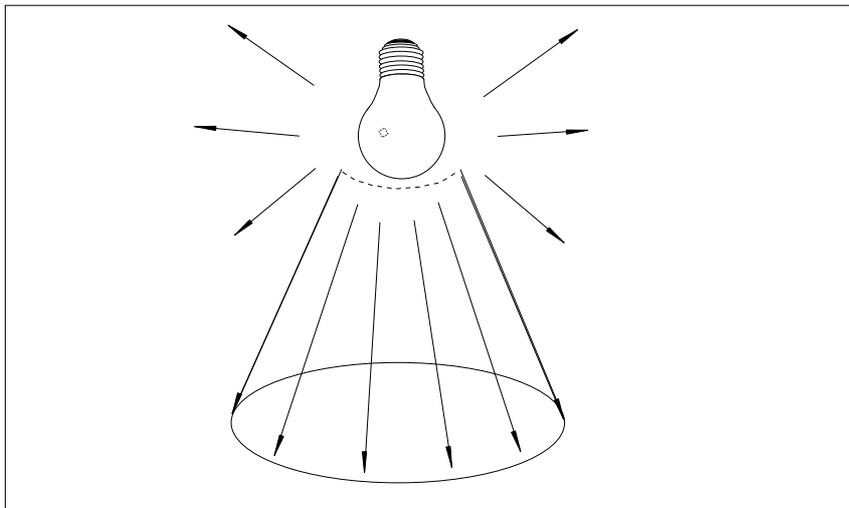


Figura 2.4b:  
 flusso luminoso per unità di angolo solido  
 (lumen per steradiante)

Unità di misura: la candela (cd)       $1 \text{ cd} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{sr}}$

**La luminanza (L)**

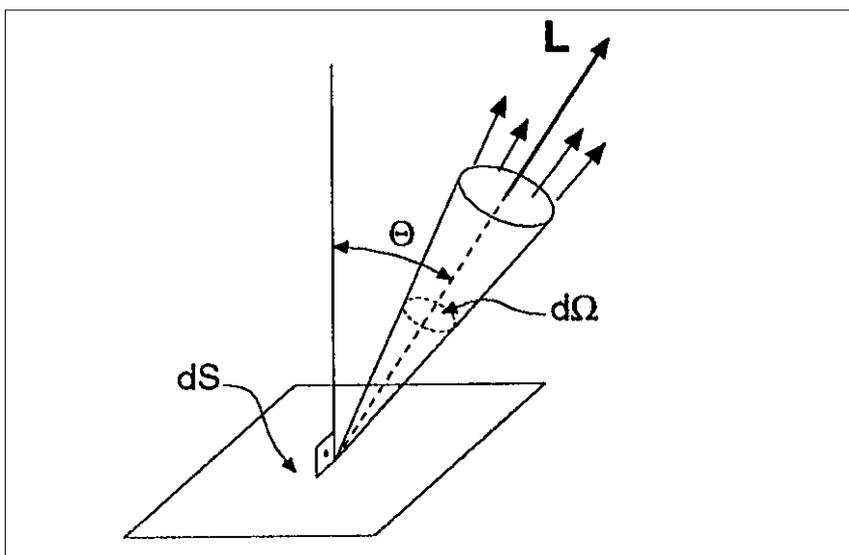


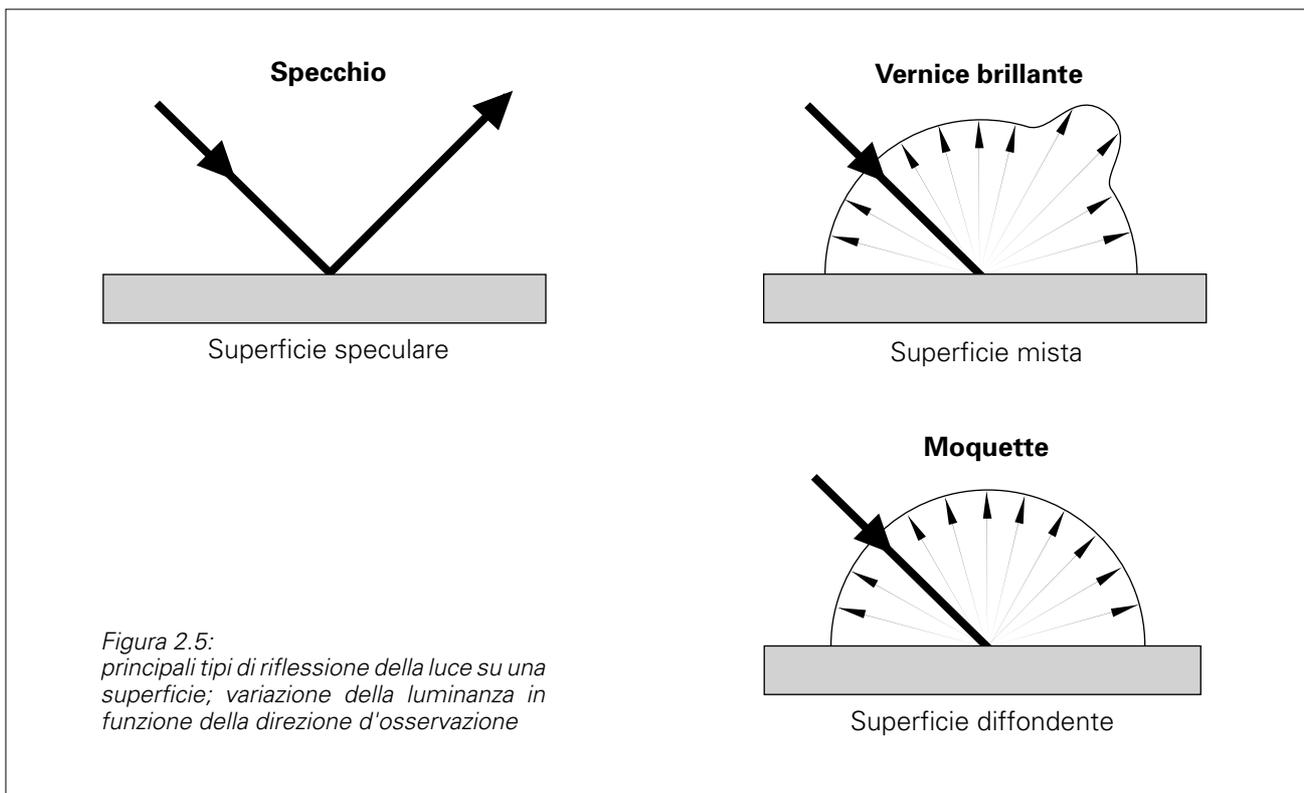
Figura 2.4c:  
 flusso luminoso per unità di angolo solido  
 al metro quadrato (lumen per steradiante  
 al metro quadrato)

Unità di misura: candela per metro quadrato ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )



### Riflessione della luce

La luminanza di una superficie perfettamente opaca, illuminata da un raggio luminoso (riflessione diffusa) è costante indipendentemente dalla direzione d'osservazione (cfr. figura 2.5). All'opposto di questo tipo di superficie esistono le superfici perfettamente riflettenti (superfici speculari), che hanno come caratteristica principale quella di riflettere la luce incidente in una direzione simmetrica a quella del raggio incidente. Nella maggior parte dei casi pratici ci si trova in generale confrontati con superfici miste le cui proprietà fotometriche sono situate tra questi due estremi. Il **fattore di riflessione**, compreso tra 0 e 1, caratterizza il potere di riflessione di una superficie (quoziente tra la quantità di luce riflessa e quella ricevuta). Il suo valore è 0 per una superficie perfettamente nera; sarà uguale a 1 per una superficie bianca.



### Trasmissione della luce

Per i materiali che trasmettono la luce possono essere stabilite categorie simili. Si distingue tra materiali trasparenti, attraverso i quali la luce si propaga in modo regolare (analogia con una superficie speculare) e materiali translucidi caratterizzati da una luminanza costante, indipendentemente dalla direzione di osservazione (analogia con una superficie diffondente).

Il **fattore di trasmissione** caratterizza la capacità di un materiale di trasmettere la luce. Questo fattore è compreso tra 0 e 1 (quoziente tra la quantità di luce trasmessa e quella ricevuta). Si fa una distinzione volontaria tra il fattore di trasmissione regolare ed il fattore di trasmissione diffusa, in modo da differenziare i due tipi di propagazione della luce nei materiali (il fattore di trasmissione diffusa di un vetro perfettamente trasparente corrisponde a 0; il fattore di trasmissione regolare è uguale a 0.88).



## 2.3 L'occhio e le sollecitazioni luminose

L'allestimento di progetti d'illuminazione persegue lo scopo di realizzare uno degli obiettivi seguenti:

- permettere l'esecuzione di un compito con un massimo di probabilità di successo (efficienza visiva);
- garantire il benessere degli utenti (comfort visivo);
- provocare un'emozione particolare (piacere visivo).

Il rispetto di un certo numero di regole permette di raggiungere in modo più efficace questi obiettivi; qui di seguito sarà spiegato solo il loro principio.

### ■ Efficienza visiva

L'efficienza visiva, in rapporto con un certo compito, subisce l'influsso di un numero importante di parametri. Tra i principali menzioneremo i seguenti:

- il livello della densità luminosa della superficie di lavoro;
- il contrasto di luminanza tra l'oggetto osservato ed il suo sfondo;
- le dimensioni dell'oggetto in questione;
- l'età della persona che esegue il lavoro;
- l'acuità visiva di questa persona;
- il tempo a disposizione per eseguire il compito.

**L'influsso del contrasto di luminanza sull'efficienza della lettura è illustrato da questo testo. La parte sinistra dello stesso è eseguita con caratteri di cattiva qualità (ad es. nastro di stampante usato) che sfociano in un debole rapporto di luminanza tra il testo (oggetto osservato) e la pagina bianca (sfondo). L'efficienza della lettura ne risulta conseguentemente ridotta.**

L'importanza delle dimensioni dei caratteri può essere messa in evidenza allo stesso modo. Questo carattere (corpo 8) è inadeguato ad uno sforzo di lettura continuo; questo è già più ragionevole (corpo 10), mentre quest'ultimo è ancora più adeguato (corpo 12).

La densità luminosa di un punto ben determinato è uno dei rari parametri che l'ideatore del progetto d'illuminazione controlla perfettamente. Esso costituisce oggetto di raccomandazioni adeguate al punto summenzionato che saranno discusse nell'ambito dei corsi tematici.

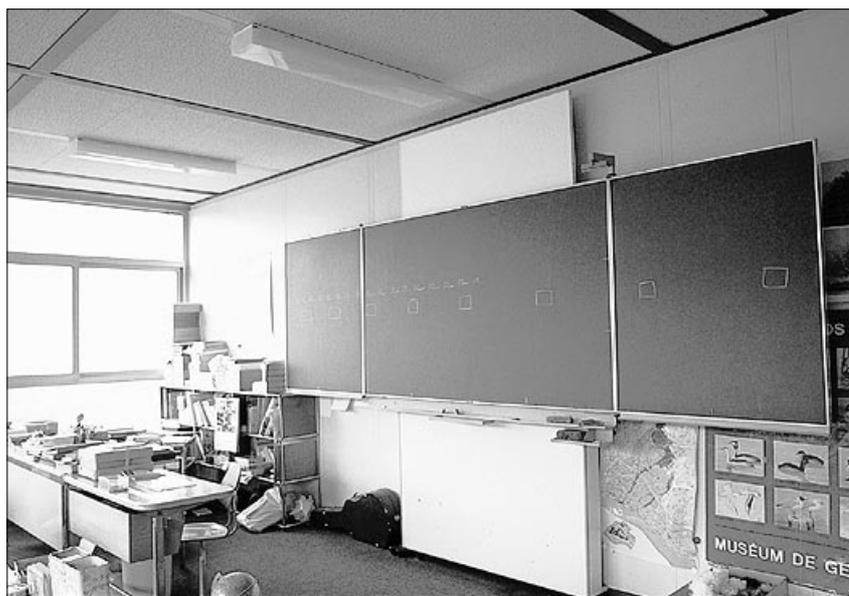


## ■ Comfort visivo

La nozione di comfort è soggettiva ed è quindi difficile da definire. Quella di mancanza di comfort è certamente più facile da circoscrivere; essa è legata ad una sensazione di disagio visivo (abbagliamento) provocata dalla presenza di un forte **contrasto di luminanze** nel campo visivo. Nella prassi si fa una distinzione tra due tipi di abbagliamento:

- l'abbagliamento fisiologico che si manifesta con l'insorgere di un velo nel campo visivo e, di conseguenza, con l'impossibilità di distinguere (ad es. la luce dei fari di un veicolo in pieno viso);
- l'abbagliamento psicologico alla presenza del quale la sensazione di disagio, benché fastidiosa, non altera totalmente la visione (ad es. sorgenti luminose nel campo visivo).

In pratica, nella maggioranza dei casi, le aperture vetrate (sole, volta celeste) e gli impianti d'illuminazione artificiale inadeguati (sorgenti luminose, lampadari) causano la maggior parte delle situazioni di mancanza di comfort visivo. Le superfici brillanti (superfici speculari) sono spesso responsabili degli stessi effetti. La figura 2.6 illustra una situazione di abbagliamento caratteristico in un edificio.



*Figura 2.6:  
situazione di mancanza di comfort visivo  
(abbagliamento psicologico, velo dovuto  
al riflesso) provocata da un'apertura ina-  
degua (finestra) e da una superficie  
estremamente brillante (lavagna di vetro)*

Mediante un equilibrio dei valori di luminanza nel campo visivo è possibile ridurre il rischio di mancanza di comfort visivo. Gli indicatori di abbagliamento, basati su modelli matematici, permettono una valutazione quantitativa di quest'ultima (probabilità di comfort visivo).



## ■ Piacere visivo

Il piacere visivo è una nozione apparentemente soggettiva. Esso dipende dalla sensazione e dall'emozione particolare suscitate da un certo ambiente visivo. Tra le situazioni percepite come particolarmente gradevoli si potranno menzionare le seguenti:

- la presenza di luce naturale (temperatura e resa del colore);
- la variazione nel tempo di questa luce (trascorrere del tempo e mutare delle condizioni meteorologiche);
- la possibilità di disporre di una vista aperta e gradevole (riposo degli occhi);
- certi effetti speciali legati alla natura e la disposizione delle sorgenti d'illuminazione artificiale;
- l'armonia dei colori delle pareti di un locale.

L'effetto psicologico di questi diversi elementi è indiscutibile; ciò non vale, tuttavia, per quanto concerne il loro impatto sul piano fisiologico che è più difficile da mettere in evidenza.





## 3. Illuminazione naturale

<b>3.1</b>	<b>In generale</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Problemi creati dall'utilizzazione della luce naturale</b>	<b>25</b>
■	Captare la luce	25
■	Dirigere la luce	26
■	Distribuire la luce	26
<b>3.3</b>	<b>Utilizzazione della luce diretta</b>	<b>27</b>
■	Sole ed energia	27
■	La geometria solare	27
<b>3.4</b>	<b>Utilizzazione della luce diffusa</b>	<b>31</b>
■	Il cielo	31
■	I diversi tipi di cielo	31
■	Nozione di fattore di luce diurna	34
■	Copertura dei fabbisogni	34
<b>3.5</b>	<b>Alcuni sistemi di aperture</b>	<b>37</b>
■	Luce diretta (sole)	37
■	Luce diffusa (cielo)	38
<b>3.6</b>	<b>Protezioni contro il sole</b>	<b>39</b>
■	I diversi tipi di protezione contro il sole	39
■	Protezione fissa contro il sole	40
■	Protezione mobile contro il sole	42
<b>3.7</b>	<b>Combinazione con l'illuminazione artificiale</b>	<b>44</b>
■	Temperatura del calore	44
■	Zone d'illuminazione	44





## 3. L'illuminazione naturale

### 3.1 In generale

La luce naturale costituisce la sorgente luminosa di riferimento all'origine di ogni forma di vita. Essa è indispensabile sia alla crescita ed allo sviluppo armonioso del bambino, sia all'equilibrio psicofisiologico dell'adulto.

La luce naturale è composta da lunghezze d'onda alle quali il sistema visivo dell'uomo è più sensibile; si tratta di quelle che vengono emesse in maggior quantità dal sole (cfr. figura 3.1). È il motivo per cui l'**efficienza luminosa** della luce naturale è nettamente superiore a quella delle principali sorgenti d'illuminazione artificiale (cfr. figura 3.2). Essa è compresa tra 120 e 160 lm/W (lumen per Watt), mentre quella di una lampada ad incandescenza classica varia tra 12 e 20 lm/W.

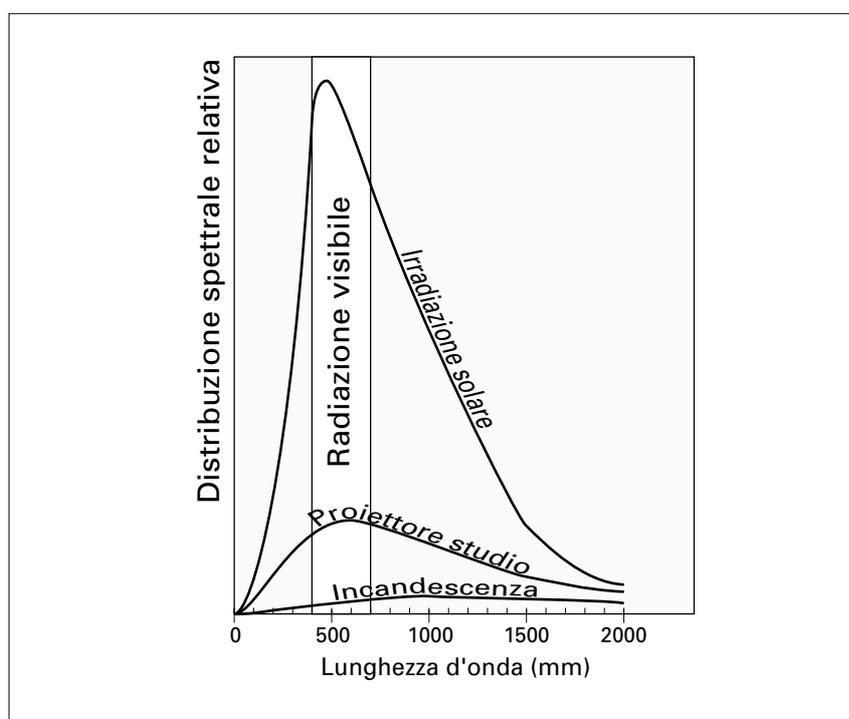


Figura 3.1:  
sensibilità spettrale dell'occhio umano e  
curve d'emissione caratteristiche di di-  
verse sorgenti luminose

Applicata all'illuminazione degli edifici la luce naturale permette quindi, con prestazioni d'illuminazione equivalenti:

- di ridurre il consumo d'energia dipendente dall'utilizzazione dell'illuminazione artificiale,
- di ridurre il dispendio per la ventilazione e la climatizzazione negli edifici,
- di migliorare il benessere e di aumentare la produttività delle persone.



Oltre a questi contributi la luce naturale permette inoltre di mettere in evidenza le qualità architettoniche degli edifici.

La luce naturale è praticamente composta da due sorgenti:

- il sole (luce diretta),
- il cielo (luce diffusa).

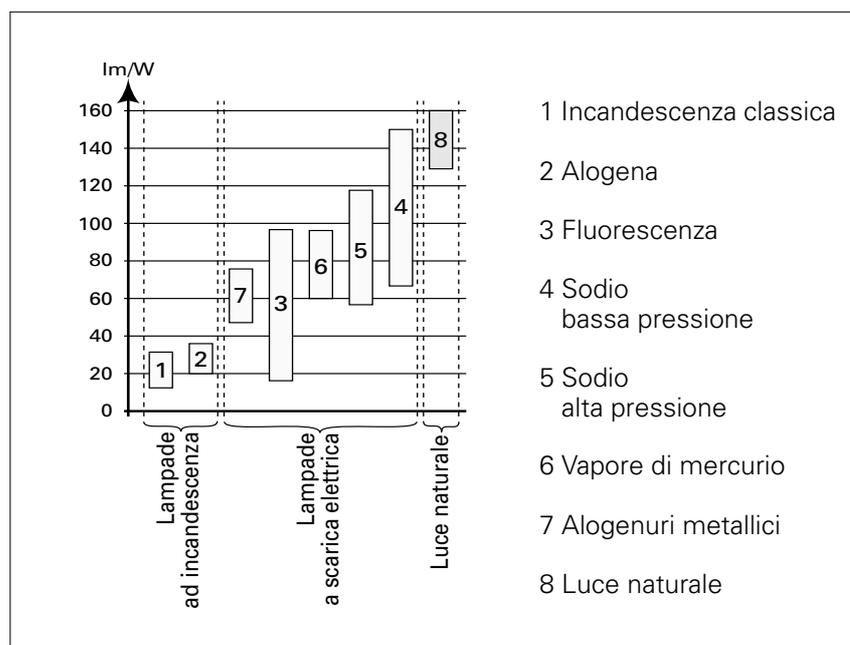


Figura 3.2: efficienza luminosa delle principali sorgenti d'illuminazione artificiale (compresi gli apparecchi ausiliari)



### 3.2 Problemi creati dall'utilizzazione della luce naturale

I problemi creati dal controllo dell'ambiente luminoso di un locale, illuminato in modo naturale, consistono unicamente nel trasporto del flusso luminoso esterno disponibile al punto desiderato e al momento opportuno.

Per capire meglio questa problematica, la possiamo illustrare, per analogia, mediante un corpo luminoso il cui design era famoso negli anni '80 (cfr. figura 3.3).

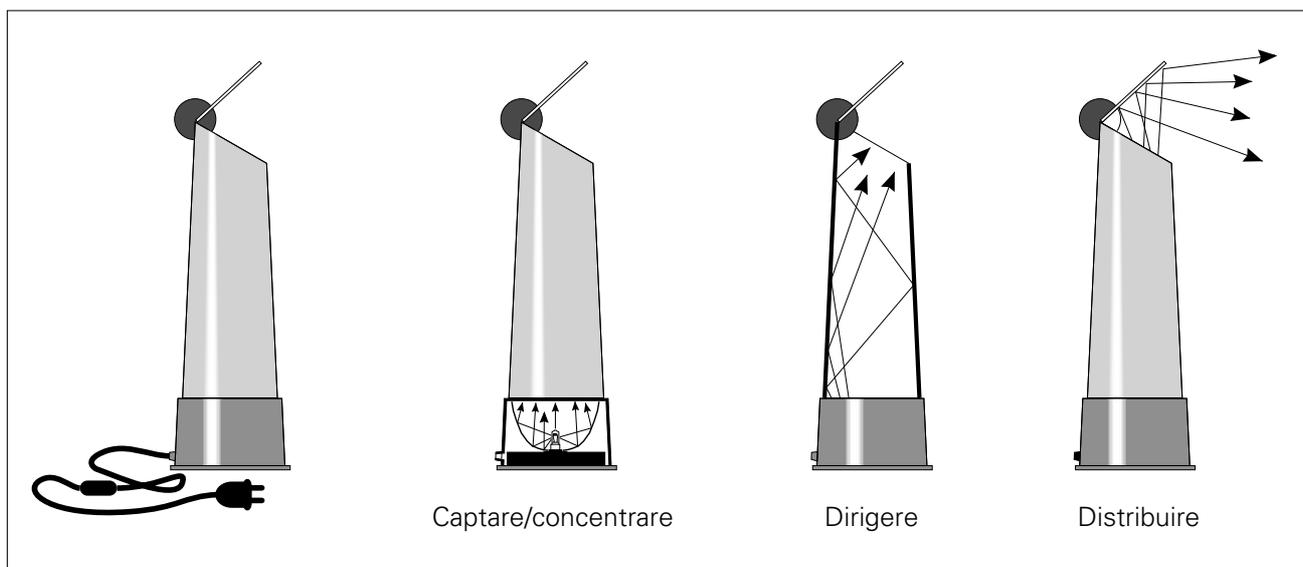


Figura 3.3:  
analogia con una lampada dal design moderno

#### ■ Captare la luce

Il sistema di captazione della luce naturale può essere paragonato a quello di un riflettore di un corpo illuminante. Quest'ultimo capta il flusso luminoso proveniente dalla sorgente, conferendogli una direzione privilegiata.

Per quanto concerne l'illuminazione naturale, la soluzione verso cui occorre tendere è quella che consiste nell'aumentare la superficie (S) di captazione della luce, riducendo per quanto possibile la superficie del vetro (V) (cfr. figura 3.4). Quanto più il rapporto  $S/V$  è elevato, tanto più l'efficienza del sistema di apertura è importante. In realtà ciò consiste nell'aumentare la porzione di cielo «vista» attraverso il vetro.



## ■ Dirigere la luce

In una lampada il trasporto della luce è garantito da un cilindro la cui superficie interna è rivestita di alluminio allo scopo di ridurre le perdite luminose per assorbimento (cfr. figura 3.3).

Per quanto concerne la luce naturale, nella maggioranza dei casi il problema consiste nel dirigere la stessa verso le parti dei locali più lontane dalle aperture.

Si tratta in particolare di limitare l'assorbimento dei raggi luminosi da parte delle pareti, onde favorire la penetrazione della luce in profondità. A questo scopo le pareti che ricevono direttamente la luce che proviene dall'esterno verranno trattate con materiali chiari o perfino, quando ciò sarà possibile, con materiali brillanti.

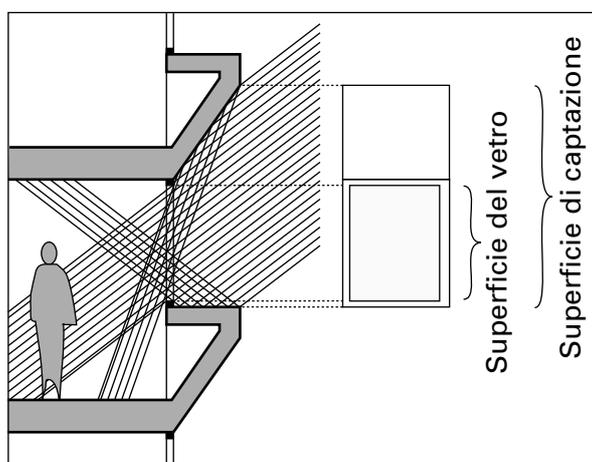


Figura 3.4:  
aumentare la superficie di captazione  
senza aumentare le dimensioni del vetro

## ■ Distribuire la luce

Il sistema di distribuzione della lampada della figura 3.3 è costituito da un riflettore sistemato sulla parte alta.

Variando la forma e la luminanza di questo riflettore è possibile variare anche la direzione del fascio luminoso a disposizione, nonché le sue caratteristiche di dispersione (fascio intensivo o estensivo). Quest'ultimo deve, in particolare, essere regolato in modo da non abbagliare l'osservatore. Variando la colorazione del riflettore sarà possibile esercitare un influsso diretto sulla temperatura del colore della luce disponibile.

Per quanto concerne la luce naturale si tratta di garantire che quella disponibile all'interno dei locali sia effettivamente utilizzabile. A questo scopo è opportuno controllare le luminanze nel campo visivo dell'osservatore onde evitare problemi di abbagliamento. Ciò consiste nel garantire una distribuzione omogenea delle luminanze a livello dell'**ergorama** e del **panorama** degli utenti. Si tratta, ad esempio, di limitare la luminanza dei materiali posti in prossimità immediata del punto da osservare oppure di utilizzare materiali che possiedono fattori di riflessione simili.



### 3.3 Utilizzazione della luce diretta

Con l'espressione di luce diretta s'intendono designare i raggi luminosi che provengono direttamente dal sole. Poiché la loro origine è localizzata in modo preciso nello spazio, tali raggi possono essere captati direttamente e diretti all'interno dell'edificio [4],[5],[6].

#### ■ Sole ed energia

Il sole costituisce una sorgente caratterizzata da un flusso luminoso molto importante. Durante le giornate serene esso fornisce livelli di densità luminosa dell'ordine di 100000 lux. Una grande parte delle radiazioni è emessa nell'infrarosso.

Il sole costituisce quindi una fonte di calore da cui è possibile trarre benefici importanti durante l'inverno, ma da cui occorre proteggersi, soprattutto d'estate, onde evitare i rischi di surriscaldamento. L'intensità dei raggi solari viene considerata come trascurabile quando l'altezza del sole è inferiore a  $10^\circ$  al di sopra dell'orizzonte.

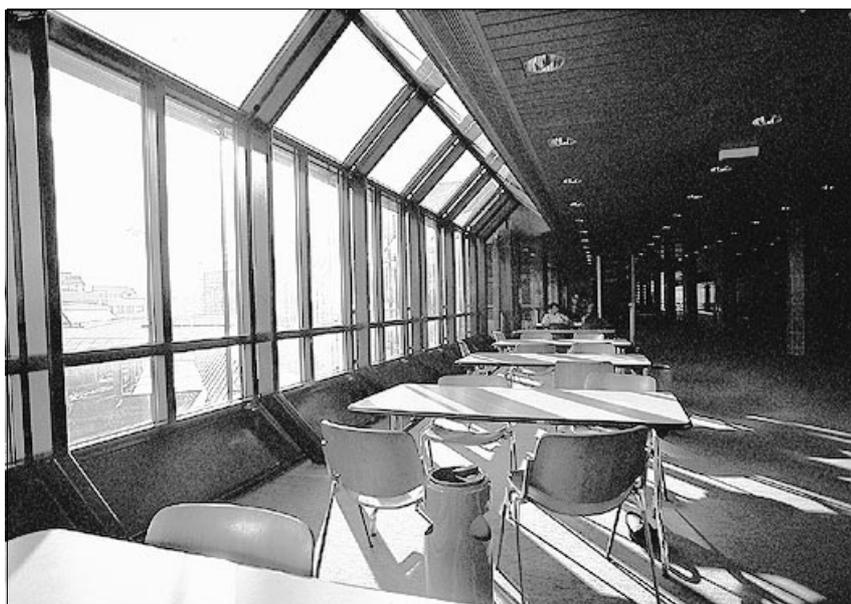


Figura 3.5:  
spazio illuminato dalla luce diretta

#### ■ La geometria solare

##### La latitudine

Il sole è una sorgente di luce puntiforme, il cui moto nel cielo dipende dalla latitudine del luogo considerato. La latitudine caratterizza la posizione di un punto sul globo terrestre rispetto all'asse nord/sud. Essa viene definita in gradi e diminuisce in valore assoluto a partire dai poli ( $\pm 90^\circ$ ), fino all'equatore ( $0^\circ$ ). Quanto più ci si avvicina all'equatore, tanto più le variazioni stagionali tendono a diminuire, segnatamente per quanto concerne le durate rispettive del giorno e della notte. Al contrario, lo spostamento in direzione dei poli si manifesta con stagioni sempre più marcate e con durate del giorno maggiori d'estate e minori d'inverno. La latitudine «media» della Svizzera è di  $46.5^\circ$  nord.



## Le stagioni

- Il solstizio d'inverno (21 dicembre):

è il giorno più breve dell'anno (durata del giorno di circa 8 ore e mezzo). L'altezza del sole a mezzogiorno (ora solare) è di  $20^\circ$  al di sopra dell'orizzonte (cfr. figura 3.6). Il sole penetra quindi profondamente nei locali attraverso la facciata posta a sud. Durante il periodo invernale il sole è generalmente considerato come un elemento molto positivo e si tollera ampiamente che penetri all'interno degli edifici.

- Gli equinozi (21 marzo / 21 settembre):

a queste date il giorno e la notte hanno una durata uguale (12 ore). Il sole si leva esattamente ad est alle ore 6.00 del mattino (ora solare) e tramonta esattamente all'ovest alle 18.00 (cfr. figura 3.7). A mezzogiorno l'altezza del sole è di  $43.5^\circ$  al di sopra dell'orizzonte.

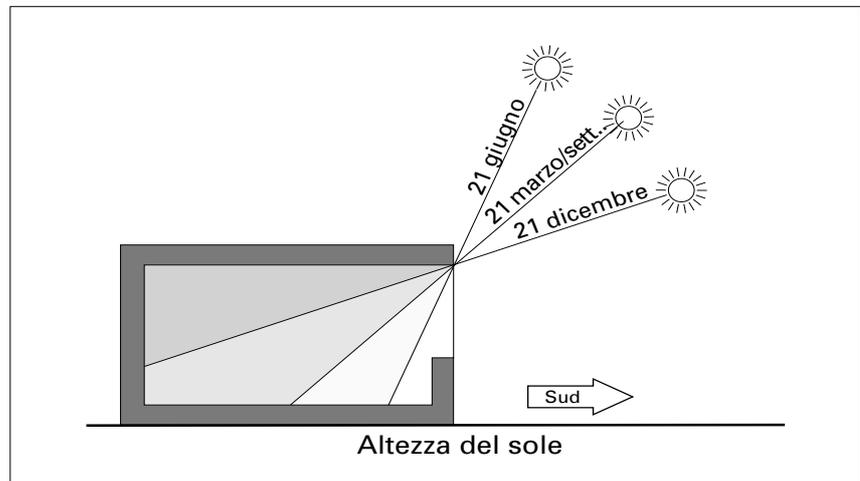


Figura 3.6:  
variazione dell'altezza del sole a dipendenza dalla stagione  
(latitudine  $46.5^\circ$  nord)

Si può notare che agli equinozi la variazione del moto solare è molto rapida da un giorno all'altro: l'altezza del sole varia di  $2^\circ$  in 5 giorni. Si può parimenti notare che, nonostante le disponibilità solari identiche, il 21 marzo ed il 21 settembre presentano caratteristiche climatiche molto diverse (differenza di temperatura media uguale a  $10^\circ\text{C}$  circa a favore dell'autunno), soprattutto a causa dell'inerzia termica della terra.

- Il solstizio d'estate (21 giugno):

è il giorno più lungo dell'anno (circa 15 ore e mezzo) e corrisponde ad un'altezza massima del sole ( $67^\circ$  a mezzogiorno, ora solare). A causa della posizione più vicina al nord al sorgere del sole ed al tramonto esso penetra profondamente negli edifici attraverso le facciate poste ad est ed a ovest, all'inizio ed alla fine della giornata (cfr. figura 3.7).

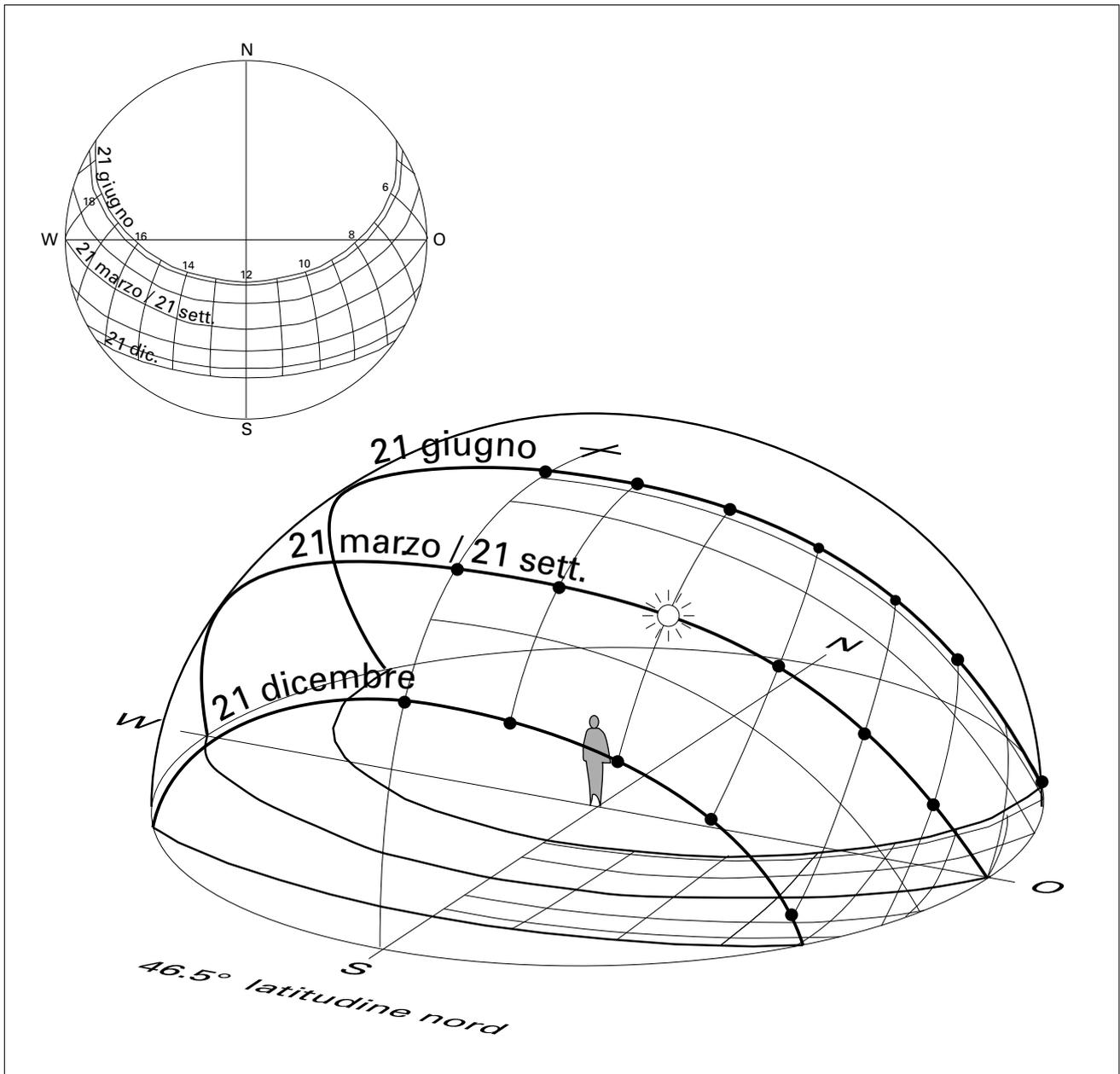


Figura 3.7:  
moto del sole nel cielo a dipendenza dal  
mese e dall'ora considerati

Contrariamente a quanto si potrebbe supporre le penetrazioni del sole attraverso le aperture delle facciate a sud non sono le più importanti durante questa stagione a causa dell'altezza del sole nel cielo (cfr. figura 3.6). Al contrario le penetrazioni attraverso le aperture zenitali sono massime.

Durante il periodo compreso tra l'inizio del mese di maggio e la fine del mese di settembre è preferibile evitare la penetrazione diretta del sole negli edifici. Rammentiamo che durante tutto questo periodo il sole si alza e tramonta al di là dell'asse est-ovest (cfr. figura 3.7), ciò che significa che l'insolazione delle facciate orientate a nord, anche se rimane debole, è possibile all'inizio della mattinata ed alla fine della sera (in luoghi aperti).



## Vantaggi e svantaggi della luce diretta

Le caratteristiche della luce diretta costituiscono un'arma a doppio taglio. A seconda delle situazioni i suoi vantaggi possono perfino essere considerati come degli svantaggi.

### Vantaggi

- Il suo flusso è considerevole.
- Essa è direzionale, ciò che permette di captarla e di deviarla a tutto vantaggio delle zone lontane dalle aperture.
- Essa permette una dinamica interessante.
- Essa fornisce un contributo termico notevole durante l'inverno.

### Svantaggi

- Essa costituisce una sorgente potenziale di abbagliamento diretto.
- Essa genera ombre molto forti e provoca contrasti notevoli di luminanza.
- A causa del suo continuo movimento essa è difficilmente utilizzabile.
- Essa è disponibile solo in modo irregolare ed è rara soprattutto in inverno (alle nostre latitudini).
- Essa può causare surriscaldamenti notevoli durante il periodo estivo.



### 3.4 Utilizzazione della luce diffusa

Per luce diffusa s'intende l'insieme dei raggi luminosi che non provengono direttamente dal sole (contrariamente alla luce diretta). La volta celeste è una delle sorgenti principali di luce diffusa [4],[5],[6].

#### ■ Il cielo

I raggi solari, attraversando i diversi strati dell'atmosfera, vengono parzialmente assorbiti, ma soprattutto riflessi e diffusi verso la terra. La volta celeste costituisce quindi una sorgente luminosa che si differenzia dal sole. La luce disponibile non è soltanto diffusa ma anche omnidirezionale. I livelli di densità luminosa che ne risultano sono meno elevati di quelli del sole (da 5000 a 20000 lux in media contro 100000 lux per il sole).

#### ■ I diversi tipi di cielo

In tutto il mondo numerosi gruppi di ricerca tentano di fissare delle regole generali per quanto concerne la ripartizione delle luminanze della volta celeste.

Per motivi di semplicità qui di seguito tratteremo soltanto tre tipi di cielo, trattandosi di modelli teorici che servono quale riferimento per gli studi concernenti l'illuminazione.



Figura 3.8:  
spazio illuminato in modo diffuso



## Caratteristiche della luce proveniente dal cielo

Questa luce diffusa presenta le caratteristiche seguenti:

### Vantaggi:

- essa è sempre disponibile con qualsiasi annuvolamento del cielo.
- Non genera o genera poche ombre (luce non direzionale).
- Non provoca o provoca poco abbagliamento.
- Non crea fenomeni di surriscaldamento.

### Svantaggi:

- Essa è difficilmente utilizzabile quando ci si allontana dalle aperture.
- Talvolta si rivela insufficiente durante l'inverno.

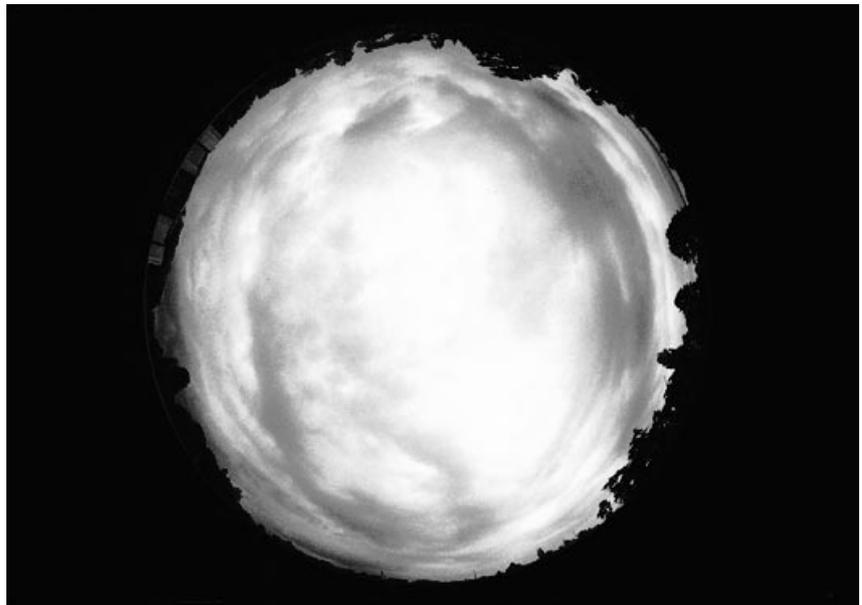


Bild 3.9:  
fotografia «occhio di pesce» di un cielo coperto



## Il cielo uniformemente coperto

Ogni punto della volta celeste è caratterizzato dalla stessa luminanza. In pratica ciò corrisponde a condizioni di nebbia densa.

## Il cielo coperto CIE

Questo modello stabilisce che la luminanza dello zenit è tre volte superiore a quella dell'orizzonte. In pratica ciò corrisponde ad un cielo coperto da nuvole alte (strati). L'utilizzazione di questo modello crea una tendenza alla sopravvalutazione delle prestazioni delle aperture zenitali, a scapito delle aperture sulle facciate. È quindi opportuno utilizzarlo con precauzione.

## Il cielo sereno CIE

Si tratta ancora di un modello teorico che fornisce, con tempo sereno, la ripartizione delle luminanze del cielo a dipendenza dalla posizione del sole. Per semplificare occorre rammentare che le zone di forte luminanza sono situate da un lato nelle prossimità immediate del sole e dall'altro attorno a tutto l'orizzonte. Le luminanze più deboli sono situate in un settore che forma un angolo di 90 gradi rispetto al sole (cfr. figura 3.10).

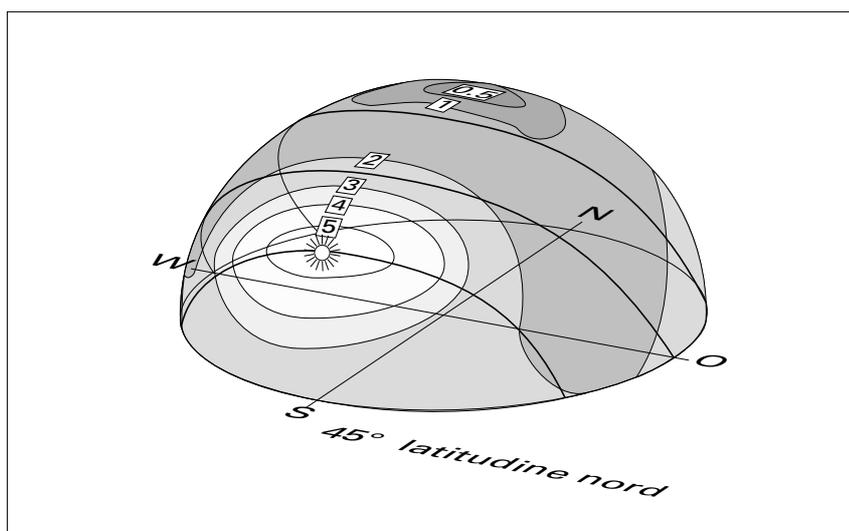


Figura 3.10:  
ripartizione delle luminanze della volta  
celeste con un cielo sereno CIE  
(21 dicembre, a mezzogiorno ora solare)



## ■ Nozione di fattore di luce diurna

A causa della difficoltà di determinare le prestazioni di un locale rispetto alla luce solare diretta (variazione continua della posizione del sole e delle penetrazioni solari), si preferisce definire le prestazioni di tale locale quando il cielo è coperto.

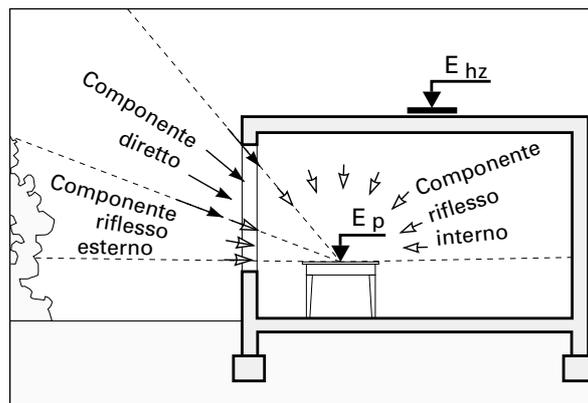
A questo scopo viene utilizzata una proporzione percentuale che permette di mettere in evidenza il rapporto tra la luce disponibile all'esterno e i livelli osservati all'interno di tale locale. Questa proporzione percentuale viene chiamata **fattore di luce diurna (D)** (cfr. figura 3.11).

Figura 3.11:

$$\text{fattore di luce diurna } D = \frac{E_p}{E_{hz}} [\%]$$

$E_p$  = densità luminosa sul piano di lavoro

$E_{hz}$  = densità luminosa orizzontale esterna



La figura 3.12 [7] stabilisce un rapporto tra il livello del fattore di luce diurna e la sensazione di luminosità percepita in un locale.

Si costata che la frazione di luce naturale realmente disponibile all'interno dei locali è relativamente debole (ossia di una percentuale minima). In realtà la quantità di luce esterna è tale che la sensazione di luminosità viene percepita quando il fattore di luce diurna raggiunge il 4%.

## ■ Copertura dei fabbisogni

È possibile stabilire una relazione tra il livello del fattore di luce diurna osservato in un locale e la copertura annua dei fabbisogni di luce di quest'ultimo coperti mediante la luce naturale. È ovvio che i fabbisogni di luce sono diversi per ogni tipo di attività, sia dal punto di vista quantitativo, sia da quello qualitativo.

L'abaco rappresentato alla figura 3.13 [8] permette di determinare la frazione di tempo durante la quale l'illuminazione esterna è sufficiente per coprire i fabbisogni interni durante il periodo di tempo corrispondente all'utilizzazione dei locali. Si nota così che un fattore di luce diurna del 5% permette di rinunciare all'illuminazione artificiale durante 50% del tempo di lavoro qualora la densità luminosa richiesta sul piano di lavoro sia di 500 lux (cfr. figura 3.13).

Questo abaco tiene conto, tuttavia, solo delle disponibilità a cielo coperto. È quindi pessimista poiché non tiene conto del contributo della volta celeste quando splende il sole. La copertura dei fabbisogni determinata in questo modo viene quindi soprattutto utilizzata nel caso di aperture orientate a nord.



FLD	< 1%	>1% <2%	>2% < 4%	>4% <7%	>7% <12%	>12%
	molto debole	debole	moderato	medio	elevato	molto elevato
Zona considerata	zona lontana dalle finestre (distanza ca da 3 a 4 volte l'altezza della finestra)			in prossimità delle finestre o sotto i lucernari		
Impressione di luminosità	da scuro a poco illuminato		da poco illuminato a chiaro		da chiaro a molto chiaro	
Impressione visiva del locale	Questa zona.....sembra essere separata.....da questa zona					
Ambiente	Il locale sembra essere chiuso su se stesso			Il locale è aperto verso l'esterno		

Figura 3.12: *impressione visiva percepita a dipendenza dal livello del fattore di luce diurna [7]*

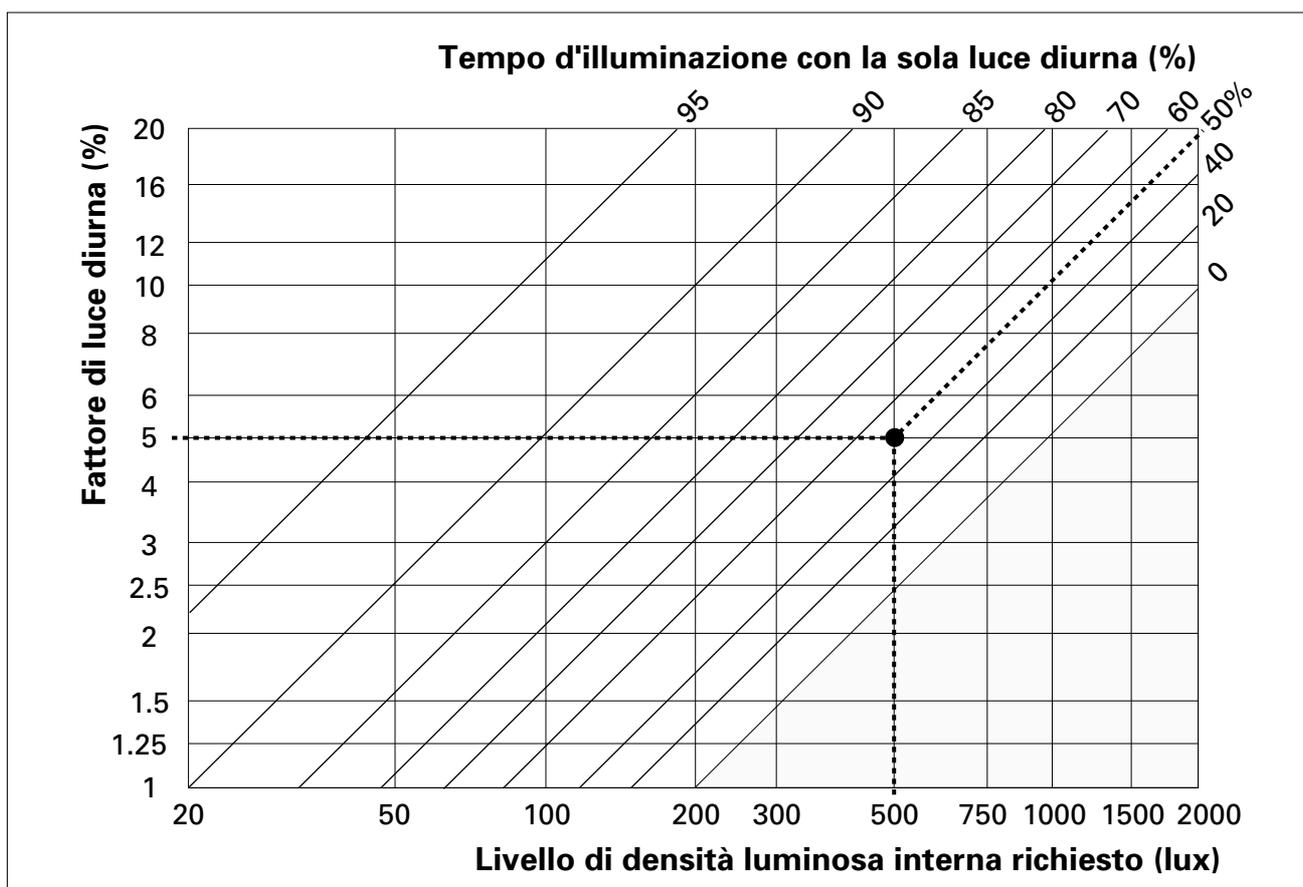


Figura 3.13: *copertura dei fabbisogni con la sola luce naturale, a dipendenza dalla densità luminosa interna richiesta e dal fattore di luce diurna rilevato. Periodo compreso tra le ore 7.00 e le ore 17.00 d'inverno e le ore 8.00 e le 18.00 d'estate (ora solare), a cielo coperto [8]*



La figura 3.14 [8] mostra che l'annuvolamento è relativamente importante sull'Altipiano, essendo superiore a 7.5 decimi, per oltre il 45% dell'anno. Allo stesso tempo il cielo sereno (meno di 2.5 decimi di annuvolamento) presenta una frequenza che varia dal 15 al 20% della quantità annua.

Per questo tipo di clima le aperture dovranno essere dimensionate in modo da favorire la penetrazione della luce diffusa. Si sa infatti che durante l'inverno i giorni di sole sono rari e che si potrà contare solo sulla luce proveniente dalla volta celeste.

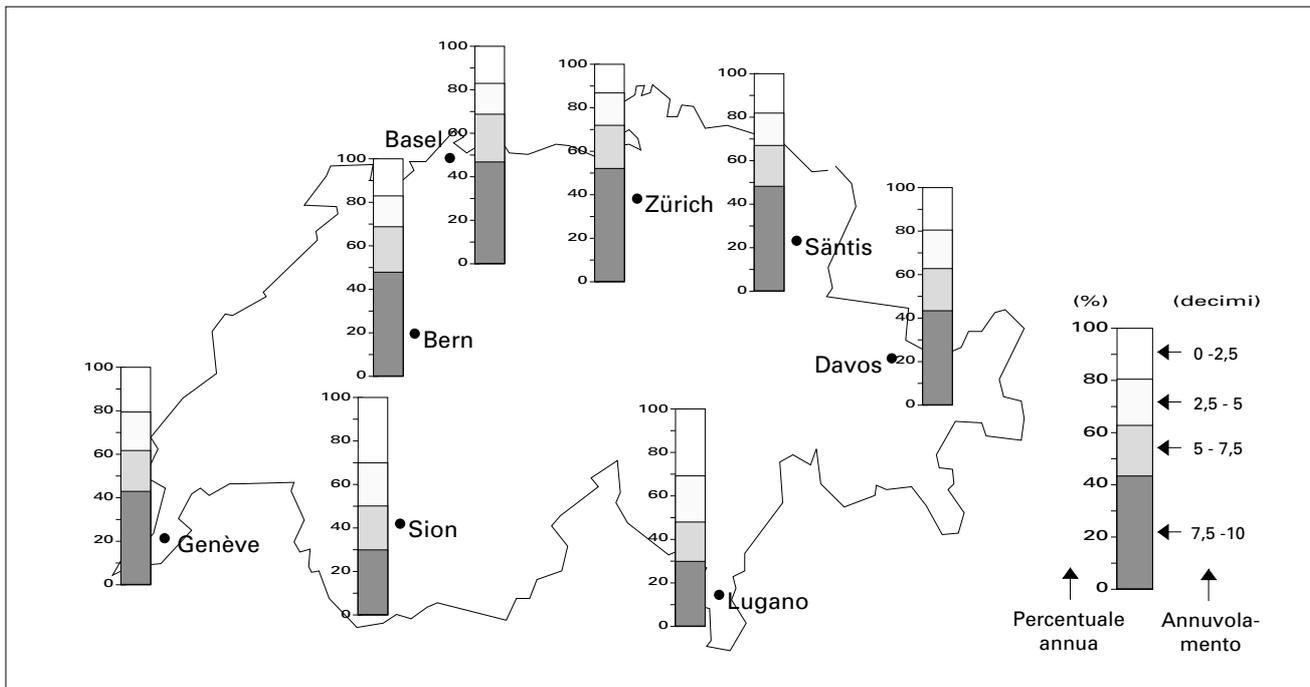


Figura 3.14:  
frequenza dei diversi tipi di cielo a seconda della loro nuvolosità (annuvolamento) [8]

Si nota una differenza considerevole per le città di Sion e di Lugano, per le quali la frequenza di giornate con cielo sereno (– di 2.5 decimi) è superiore o uguale al 30%. Essa è d'altronde uguale alla frequenza dei cieli fortemente coperti (7.5 decimi). Per queste regioni s'insisterà sull'utilizzazione della luce diretta, allo scopo di trarne profitto durante l'inverno, pure diminuendo i rischi di surriscaldamento durante l'estate (necessità di protezioni contro il sole).



### 3.5 Alcuni sistemi di aperture

#### Aperture laterali in opposizione ad aperture zenitali

Ognuno di questi due tipi di aperture si comporta in modo contraddittorio a seconda che si tratti di luce diretta o di luce diffusa.

#### ■ Luce diretta (sole)

Le figure 3.15 e 3.16 dimostrano che le aperture zenitali e le aperture sulle facciate hanno un comportamento radicalmente diverso per quanto concerne la selezione delle penetrazioni solari a seconda della stagione.

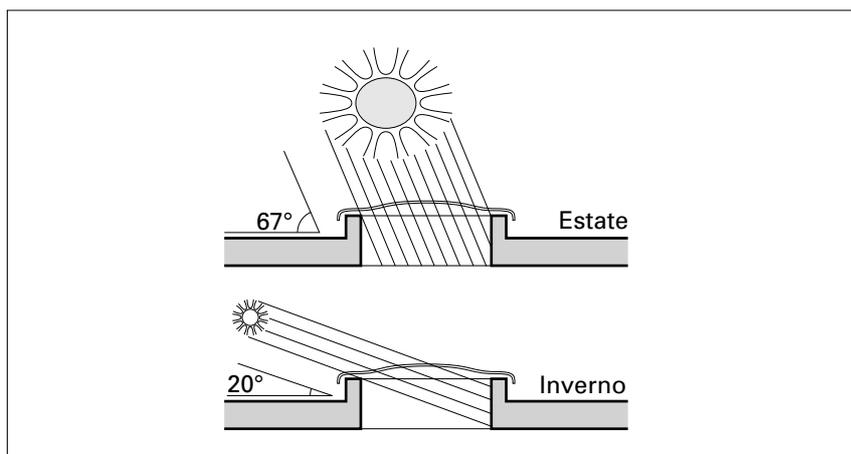


Figura 3.15:  
comportamento delle aperture zenitali  
rispetto alle penetrazioni solari, a seconda  
delle stagioni

- **Aperture zenitali:**  
esse captano malamente i raggi solari durante l'inverno, mentre li lasciano penetrare ampiamente durante l'estate. Ciò comporta disfunzioni termiche importanti sull'arco di tutto l'anno (penetrazione di aria fredda sotto le aperture durante l'inverno e surriscaldamenti notevoli durante l'estate).
- **Aperture sulle facciate poste a sud:**  
esse approfittano al massimo degli apporti solari durante l'inverno, mentre restano protette «in modo naturale» dalla penetrazione dei raggi solari durante l'estate. Il loro comportamento naturale procede quindi parallelamente ad una buona gestione della luce solare diretta a seconda della stagione.

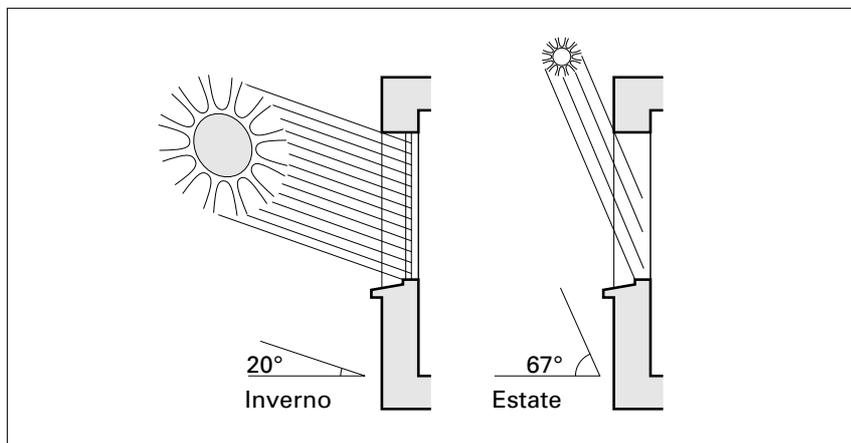


Figura 3.16:  
comportamento delle aperture sulle facciate  
rispetto alle penetrazioni solari, a seconda  
delle stagioni



## ■ Luce diffusa (cielo)

A cielo coperto le «prestazioni» dipendono innanzi tutto dalla parte di cielo «visibile» dall'apertura. La figura 3.17 illustra le prestazioni, a cielo coperto, di alcuni sistemi di apertura più diffusi.

- **Aperture zenitali:**  
quando si tratta di aperture orizzontali, esse «vedono» la volta celeste nella sua totalità: sono quindi molto efficaci a cielo coperto. Inoltre la luce penetra nei locali dall'alto, ciò che limita a priori i fenomeni di abbagliamento (la maggior parte delle attività vengono praticate con un asse di visione orizzontale).
- **Aperture sulle facciate:**  
quando si tratta di aperture verticali, nella migliore delle ipotesi esse «vedono» soltanto la metà del cielo. Di conseguenza hanno prestazioni luminose due volte minori delle aperture zenitali orizzontali. La luce penetra inoltre lateralmente nei locali, ciò che può creare situazioni di controluce o di abbagliamento in vicinanza delle aperture.

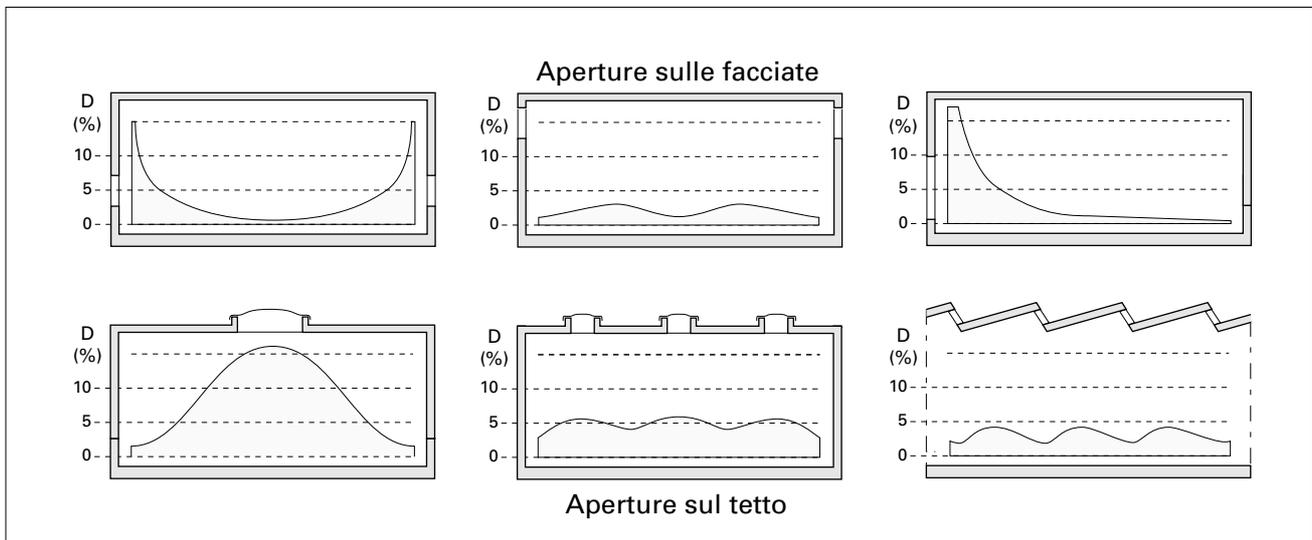


Figura 3.17:  
confronto tra le prestazioni di diversi  
sistemi di apertura usuali



### 3.6 Protezioni contro il sole

La contraddizione che esiste tra le prestazioni che si ottengono durante i giorni di sole e quelle osservate a cielo coperto richiede l'utilizzazione di elementi «correttivi» che vengono definiti con l'espressione di protezione contro il sole.

Passiamo in rassegna i «rischi» inerenti alla luce naturale e che possono essere eliminati da queste elementi di protezione contro il sole.

#### Rischi di abbagliamento

Essi possono essere previsti soprattutto quando il sole è basso all'orizzonte, ossia in inverno oppure all'inizio ed alla fine della giornata. I rischi di abbagliamento sono prodotti dalla differenza eccessiva tra i valori di luminanza presenti nel campo visivo. La nozione di disagio dovuta all'abbagliamento è tuttavia condizionata dalla natura dell'attività praticata e dal tipo di spazio considerato.

#### Rischi di surriscaldamento

Essi sono da prevedere soprattutto durante il periodo estivo quando l'irradiazione solare riesce a superare i vetri (effetto serra: i raggi infrarossi vengono letteralmente catturati dai vetri ed il locale si riscalda).

Quali sono i diversi tipi di protezione contro il sole che possono essere utilizzati di fronte a tali rischi?

#### Protezione esterna o interna

Per quanto concerne i rischi di abbagliamento, la posizione della protezione contro il sole rispetto ai vetri non ha grande influsso. È sufficiente che la protezione stessa sia situata tra l'occhio e la sorgente luminosa. I fenomeni di surriscaldamento creano al contrario la necessità d'istallare assolutamente la protezione contro il sole all'esterno del vetro, allo scopo di bloccare il flusso energetico solare prima che penetri nel locale in questione.

### ■ I diversi tipi di protezione contro il sole

#### – Schermo opaco:

qualora sia costituito da materiale opaco, lo schermo può sia respingere in modo puro e semplice la luce verso l'esterno, sia deviare i raggi del sole per dirigerli ad esempio verso il soffitto allo scopo di favorire i livelli di densità luminosa in fondo al locale (cfr. figura 3.18).

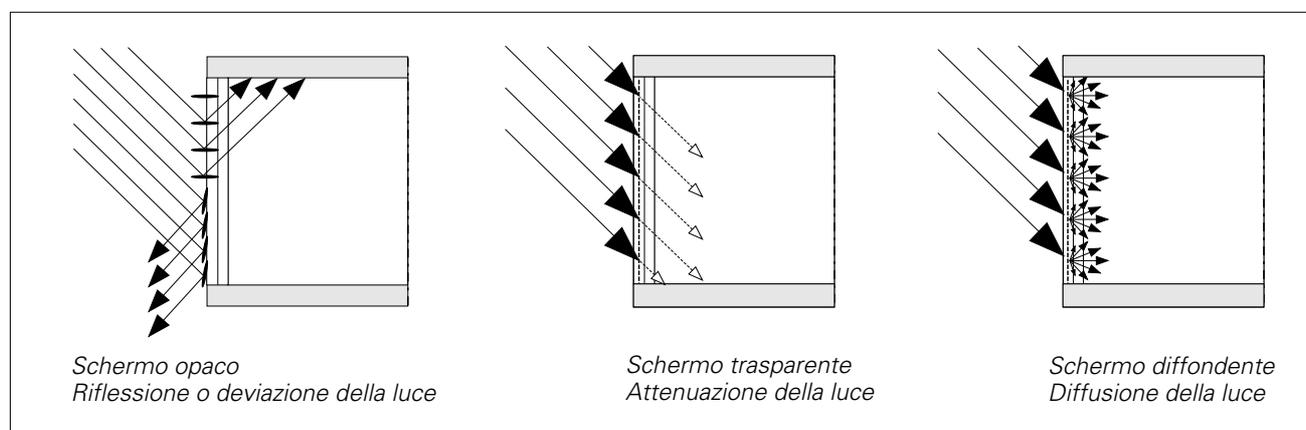


Figura 3.18:  
effetti dei diversi tipi di schermi contro il sole



- **Schermo traslucido:**  
questo tipo di schermo si comporta come una sorgente luminosa diffusa, con una luminanza costante su tutta la sua superficie (ad esempio avvolgibili di tela doppia o a strati). La luce non viene riflessa, bensì utilizzata a vantaggio dell'illuminazione interna (cfr. figura 3.18).
- **Schermo trasparente:**  
questo schermo può anche essere disponibile sotto la forma di un elemento attenuatore trasparente (vetro oppure materiale plastico colorato, avvolgibile di stoffa, lamiera perforata). Il fatto che esso rimane trasparente costituisce un elemento favorevole dal punto di vista psicologico (cfr. figura 3.18).  
Il grado di attenuazione di questo tipo di schermo deve tuttavia essere sufficientemente elevato per permettere la presenza di luce diretta nel campo visivo, ciò che presuppone un fattore di trasmissione della luce inferiore al 10%.

## ■ Protezione fissa contro il sole

### Facciata a sud (protezione orizzontale)

Nel caso di una facciata orientata verso sud, la protezione fissa contro il sole può essere realizzata mediante elementi che scorrono orizzontalmente davanti ai vetri. Il grado di protezione offerto dipende dalle dimensioni della sporgenza di questi elementi rispetto al piano dei vetri.

### Calcolo della sporgenza

- Occorre iniziare fissando una data limite a partire dalla quale non verrà più tollerata alcuna penetrazione solare all'interno del locale considerato (ad esempio il 21 aprile).
- Si calcola in seguito l'altezza del sole corrispondente a questa data (54° per Ginevra).
- Si riporta tale angolo su una sezione del locale in modo che la parte inferiore dei vetri sia allineata con la parte all'estremità della protezione contro il sole (cfr. figura 3.19).
- Se la facciata è orientata totalmente a sud (con una tolleranza di  $\pm 15\%$ ) si può allora essere sicuri che i raggi solari non potranno penetrare nel locale a partire dal 21 aprile.

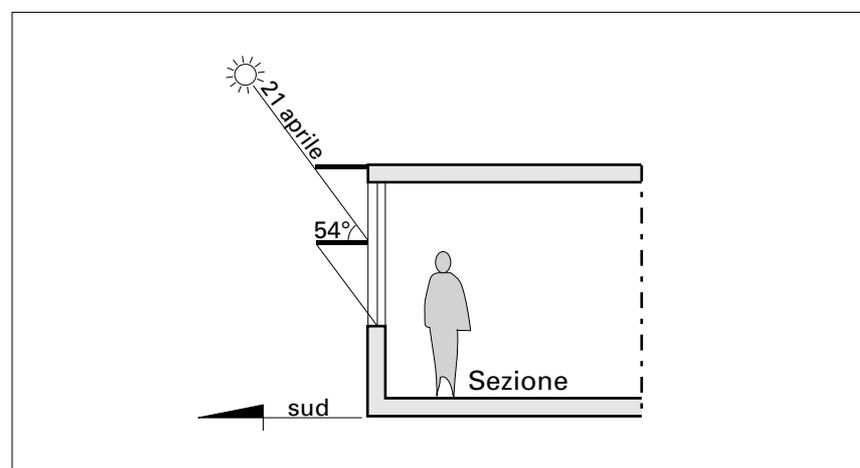


Figura 3.19:  
protezione contro il sole fissa sulla facciata a sud

**Facciata est/ovest (protezione verticale)**

Nel caso di facciate orientate verso est o verso ovest, una protezione orizzontale fissa non entra in considerazione poiché il sole è basso all'orizzonte quando i suoi raggi raggiungono i vetri. In tal caso è più facile bloccare l'irradiazione solare mediante elementi verticali (cfr. figura 3.21).

Nel caso delle facciate volte ad est la protezione è utile soprattutto allo scopo di evitare gli abbagliamenti, mentre per le facciate volte ad ovest si tratta innanzi tutto di proteggersi dal calore (raggi solari verso la fine della giornata).

Ogni volta che si installa una protezione contro il sole, si causa generalmente una diminuzione degli apporti di luce diffusa. Nel caso delle facciate volte ad est e ad ovest è quindi preferibile prevedere una protezione mobile contro il sole, allo scopo di non diminuire inutilmente gli apporti di luce diffusa (il mattino verso ovest e la sera verso est).



Figura 3.20:  
elemento fisso di protezione contro il sole sulla facciata a sud (ripresa fotografica eseguita in inverno: l'irradiazione solare non viene bloccata)



## ■ Protezione mobile contro il sole

Qualunque sia l'orientamento della facciata è illusorio credere di potersi proteggere completamente dalle penetrazioni dirette per mezzo di un sistema fisso. Nella maggioranza dei casi è quindi necessario combinare tale protezione fissa con uno schermo attenuatore mobile.

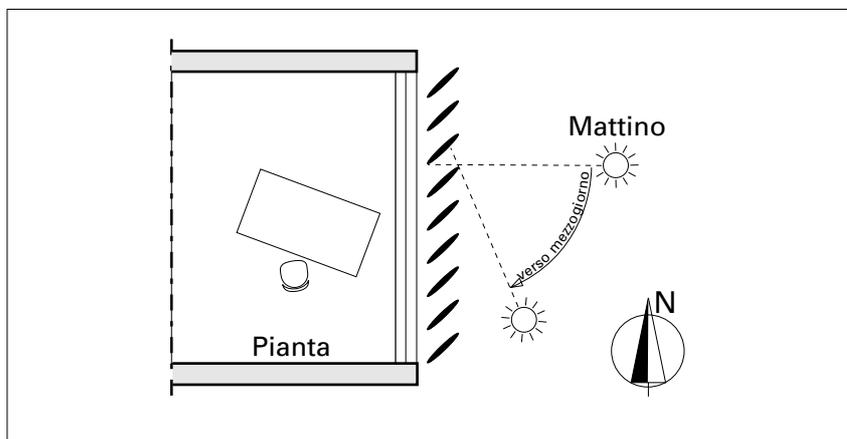


Figura 3.21:  
protezione fissa contro il sole sulle facciate volte ad est e ad ovest.

## Caratteristiche delle protezioni mobili contro il sole

Quando è situata all'esterno una protezione mobile presenta le caratteristiche seguenti:

- buon adattamento alle diverse situazioni (grado di protezione adeguato alle condizioni esterne).
- Eliminazione del surriscaldamento (i raggi solari non riescono a superare i vetri).
- Eliminazione dell'abbagliamento.
- Deviazione eventuale dei raggi luminosi (avvolgibili).

Misure da adottare

- Nel caso di sistemi non automatici le operazioni di manipolazione devono essere semplici al massimo per permettere a tutti gli utenti di modificare ogni giorno l'ambiente luminoso che li circonda.  
A questo scopo è necessario fornire agli utenti gli elementi d'informazione concernenti una gestione ottimale della luce naturale.
- Nel caso di sistemi automatici è importante fare in modo che l'utente abbia la possibilità di eseguire una «regolazione manuale» allo scopo di garantire un'adeguata flessibilità alle proprie attività.



*Figura 3.22:  
protezione contro il sole con elementi  
verticali mobili su una facciata rivolta ad  
ovest*



### 3.7 Combinazione con l'illuminazione artificiale

#### ■ Temperatura del colore

La luce naturale possiede una **temperatura del colore** elevata ( $> 6000^{\circ}\text{K}$ ), ciò che le conferisce un colore «freddo». Il nostro occhio è particolarmente sensibile a tale caratteristica quando il cielo è coperto ed i livelli di densità luminosa sono deboli.

In paragone la luce artificiale (soprattutto quella emessa dalla lampade ad incandescenza) sembra gialla o rosa (minor temperatura del colore, motivo per cui il colore è «caldo»). La mescolanza dei due tipi di luce ha la tendenza ad accentuare la percezione di questa differenza, ciò che non è sempre auspicabile.

#### ■ Zone d'illuminazione

La luce naturale, penetrando negli edifici, suddivide lo spazio creando una gerarchia luminosa tra le zone più illuminate e le zone più scure. Per quanto possibile si farà in modo che l'impianto d'illuminazione artificiale rispetti questa ripartizione.

L'obiettivo è quello di poter comandare l'inserimento ed il disinserimento delle lampade tenendo conto della presenza della luce naturale. Durante il giorno ciò permetterà di utilizzare l'illuminazione artificiale a beneficio dei punti più scuri, senza intervenire nelle zone che sono già sufficientemente illuminate. Questa misura intende promuovere un'utilizzazione razionale dell'elettricità.



## 4. L'illuminazione artificiale

<b>4.1</b>	<b>Caratteristiche delle diverse sorgenti luminose</b>	<b>47</b>
■	La lampada ad incandescenza	47
■	La lampada a scarica elettrica	48
■	La lampada ad induzione	51
■	Efficienza luminosa delle diverse sorgenti	52
■	Temperatura e resa del colore	53
■	Durata di vita delle sorgenti luminose	54
<b>4.2</b>	<b>Caratteristiche dei diversi tipi di corpi illuminanti</b>	<b>58</b>
■	Rendimento di un corpo illuminante	59
■	Criteri di comfort visivo	60
<b>4.3</b>	<b>Sistemi di comando dei corpi illuminanti</b>	<b>62</b>
<b>4.4</b>	<b>Fasi del progetto d'illuminazione artificiale</b>	<b>64</b>
■	Progetto d'illuminazione interna	64
■	Determinazione del livello di densità luminosa richiesto	64
■	Scelta del tipo di sorgenti luminose	64
■	Scelta del sistema d'illuminazione (diretto, indiretto, misto)	64
■	Scelta del corpo illuminante o degli apparecchi d'illuminazione	65
■	Calcoli e ripartizione dei corpi illuminanti	65





## 4. L'illuminazione artificiale

### 4.1 Caratteristiche delle diverse sorgenti luminose

Le diverse sorgenti di luce artificiale possono essere suddivise in tre grandi gruppi [3, 9]:

- le lampade ad incandescenza
- le lampade a scarica elettrica
- le lampade ad induzione.

#### ■ La lampada ad incandescenza

La lampada ad incandescenza è una sorgente luminosa in cui l'emissione di luce viene prodotta per mezzo di un corpo (filamento) portato ad incandescenza dal passaggio di una corrente elettrica (cfr. figura 4.1).

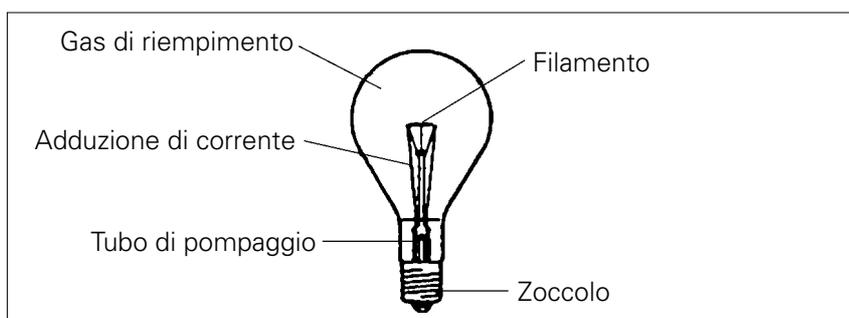


Figura 4.1:  
rappresentazione schematica di una lampada ad incandescenza

Una lampada ad incandescenza può essere reperita sul mercato nelle esecuzioni seguenti:

- chiara, se il bulbo di vetro è trasparente e non colorato;
- opaca, se il bulbo di vetro diffonde la luce in modo diffuso a causa della rugosità delle proprie pareti;
- opalescente, se il bulbo di vetro diffonde la luce in modo diffuso attraverso il proprio spessore;
- opalizzata, se il vetro è rivestito all'interno di un sottile strato diffondente.

Tra le principali categorie di lampade ad incandescenza menzioniamo:

- le lampade ad atmosfera gassosa, il cui filamento è sistemato in un bulbo di vetro riempito di un gas inerte;
- le lampade alogene munite di un filamento di tungsteno, la cui atmosfera gassosa contiene una certa percentuale di alogeni o di composti alogenati;
- le lampade per utilizzazioni speciali, quali le lampade per automobili, le lampade di segnalazione per le piste d'aeroporto oppure quelle per l'illuminazione dei palcoscenici.

La durata di vita media di una lampada ad incandescenza varia da 1000 a 2000 ore; la sua efficienza luminosa è compresa tra 10 e 20 lm/W.



## Osservazione utile

Le lampade alogene appartengono alla categoria delle lampade ad incandescenza (filamento riscaldato), mentre le lampade agli alogenuri metallici sono lampade a scarica elettrica. Le prime sono ad accensione istantanea e possono essere regolate per mezzo di un variatore; le seconde necessitano invece da 2 a 5 minuti prima di raggiungere il loro flusso luminoso massimo e non possono essere regolate per mezzo di un variatore. Le lampade a scarica elettrica producono molto meno calore per una stessa quantità di luce; la loro durata di vita è da due a tre volte superiore a quella delle lampade alogene. Inoltre non possono essere riaccese immediatamente dopo il loro spegnimento: necessitano di un tempo di raffreddamento di alcuni minuti. A seconda del tipo di lampada è possibile una riaccensione immediata utilizzando dispositivi d'innesco adeguati. Esistono lampade alogene che funzionano con la tensione di rete di 230 V, con differenti forme di zoccoli E 27, B 15d e R 7s, nonché lampade a bassa tensione con peduncoli di attacco, che necessitano di un trasformatore.

## ■ La lampada a scarica elettrica

La lampada a scarica elettrica è caratterizzata dal fatto che la luce vi è prodotta da una scarica elettrica in un gas, in un vapore metallico o in una miscela di parecchi gas e vapori (cfr. figura 4.2).

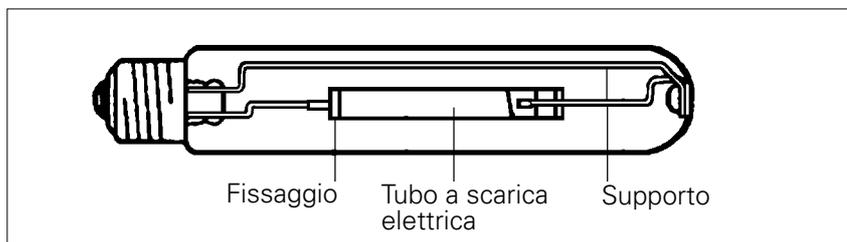


Figura 4.2:  
rappresentazione schematica di una  
lampada a scarica elettrica

Tra le categorie principali di lampade a scarica elettrica si annoverano le seguenti:

- tubi o globi fluorescenti
- lampade fluorescenti compatte
- lampade a vapori di mercurio ad alta pressione
- lampade a vapori di sodio a bassa pressione
- lampade a vapori di sodio ad alta pressione
- lampade agli alogenuri metallici
- lampade a luce mista
- lampade ad arco.

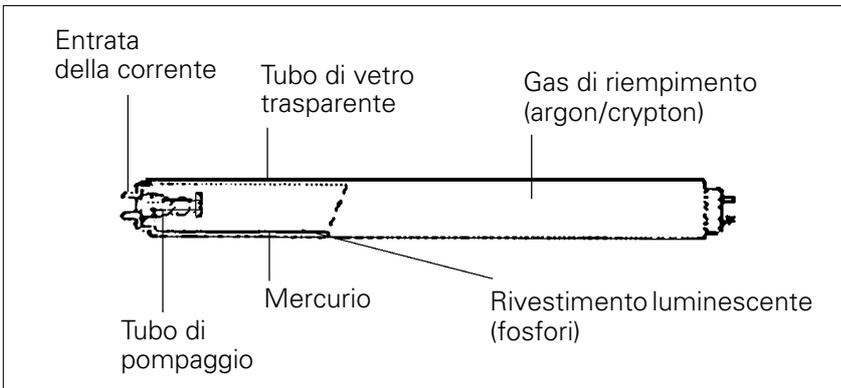
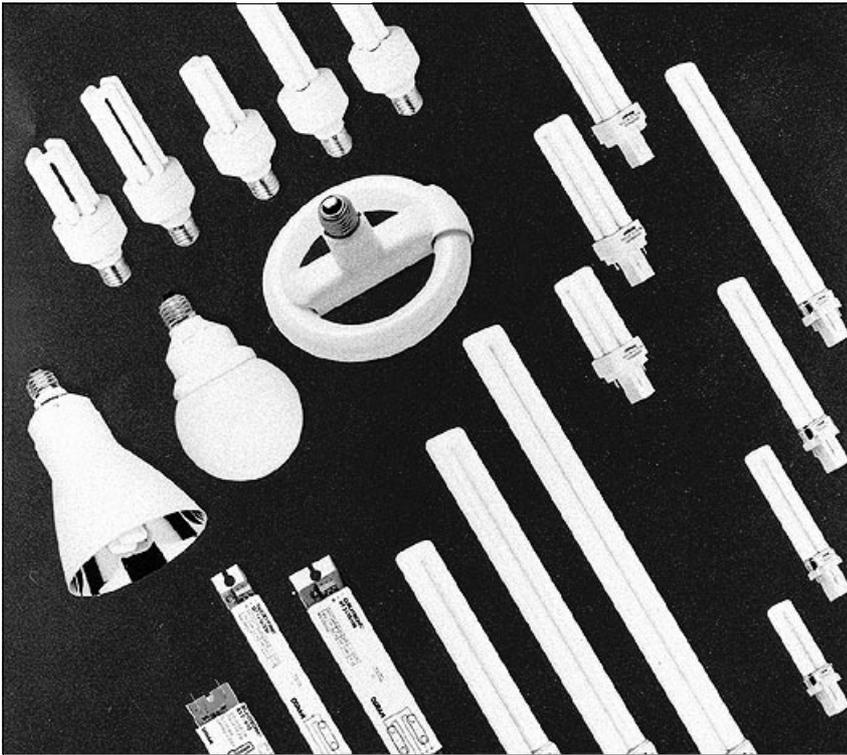


Figura 4.3:  
rappresentazione schematica di una lampada fluorescente (in basso) ed esempi di lampade fluorescenti (in alto)

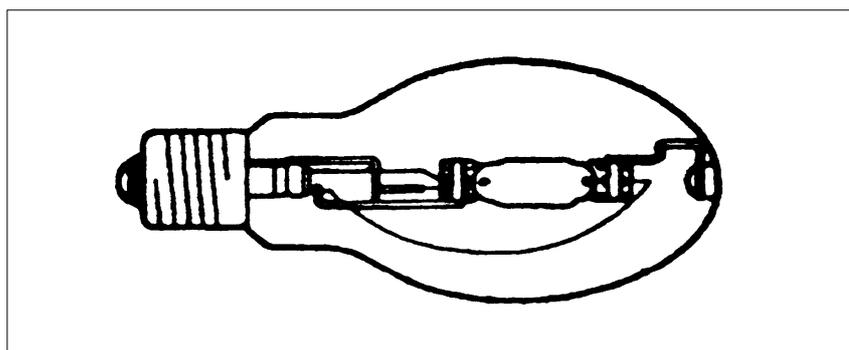


Figura 4.4:  
rappresentazione schematica di una lampada a vapori metallici (in basso) ed esempi di lampade ad alogenuri metallici a debole consumo d'energia (in alto)

Una grande evoluzione può essere segnalata nel settore delle lampade a scarica elettrica e, in modo particolare, in quello delle lampade fluorescenti compatte, le cui dimensioni diminuiscono, mentre aumenta la quantità di luce emessa. D'altro canto lo sviluppo di apparecchi di alimentazione ad alta frequenza completamente elettronici è oggi in grado di garantire a tali tipi di lampade un'accensione immediata, senza sfarfallamento, nonché un funzionamento esente da scintillio.

La durata di vita media di una lampada a scarica elettrica varia da 6000 a 8000 ore; la sua efficienza luminosa oscilla tra 60 e 180 lm/W.



## La lampada ad induzione

Attualmente esiste una sola lampada ad induzione (lampada QL della Philips). Produrre la luce mediante induzione significa utilizzare due principi noti:

- l'induzione elettromagnetica;
- la scarica elettrica in un gas.

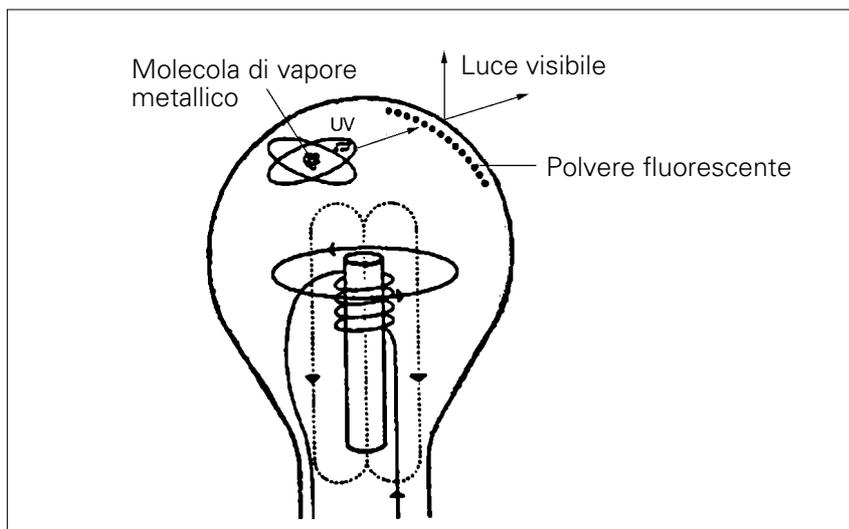


Figura 4.5:  
rappresentazione schematica di una  
lampada ad induzione

L'induzione elettromagnetica si produce quando una corrente elettrica passa attraverso una bobina. Nelle lampade a scarica elettrica, una corrente elettrica provoca un effetto di ionizzazione degli elettroni nel gas di riempimento. In questo modo si produce, ad esempio nelle lampade fluorescenti, una radiazione ultravioletta che viene trasformata in luce visibile dal rivestimento fluorescente all'interno della lampada. La combinazione di questi due effetti viene utilizzata nella nuova tecnologia del sistema d'illuminazione mediante induzione (cfr. figura 4.5).

Una lampada ad induzione consiste di un apparecchio elettronico che genera alta frequenza, di un accoppiatore di potenza e di una lampada a scarica elettrica a bassa pressione che non è munita né di elettrodo, né di filamento. Ne risulta una durata di vita di 60000 ore. L'**indice di resa del colore** è superiore a 80; attualmente esistono due tipi differenti di lampade, corrispondenti a temperature del colore di 3000 e 4000 K.



## ■ Efficienza luminosa delle diverse sorgenti

L'**efficienza luminosa** indica la capacità di una sorgente luminosa di trasformare l'energia elettrica in un flusso luminoso e ciò con un minimo di perdite sotto forma di calore. La figura 4.6 illustra l'efficienza delle diverse sorgenti già descritte in funzione della loro potenza elettrica. Nel calcolo di questa efficienza è importante includere il consumo degli apparecchi ausiliari che non è trascurabile nel caso delle lampade a scarica elettrica (ad esempio alimentatori per i tubi fluorescenti).

Per quanto concerne l'efficienza, le sorgenti luminose possono essere raggruppate nel modo seguente:

- sorgenti con efficienza elevata (lampade a vapori di sodio, lampade ad alogenuri metallici);
- sorgenti di media efficienza (tubi fluorescenti);
- sorgenti di efficienza debole (lampade ad incandescenza, lampade alogene).

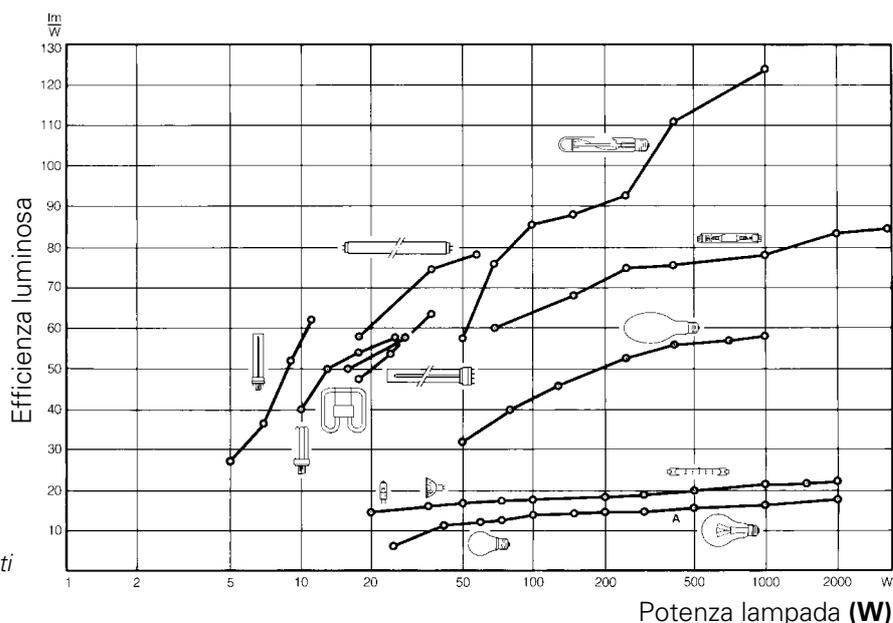


Figura 4.6:  
efficienza luminosa delle diverse sorgenti



## Temperatura e resa del colore

La **temperatura del colore** di una sorgente permette di definire il colore della luce emessa da una sorgente luminosa. L'**indice di resa del colore** fornisce un'indicazione in merito alla capacità della sorgente di riprodurre fedelmente i colori di oggetti che sono illuminati da quest'ultima [10, 11].

Queste due caratteristiche essenziali di una sorgente luminosa devono essere prese in considerazione al momento della scelta della sorgente stessa. Esse devono adattarsi all'impiego previsto; le lampade al sodio di tipo corrente (lampade ad alta pressione) utilizzate lungo le strade non sono, ad esempio, compatibili con le esigenze dell'illuminazione interna ( $25 < Ra < 65$ ).

Numerosi lavori e studi psicologici hanno dimostrato che le sorgenti luminose a bassa temperatura sono raccomandabili solo a livelli bassi di densità luminosa, mentre i livelli elevati di densità luminosa richiedono sorgenti «fredde» con un'elevata temperatura del colore. Questa regola viene illustrata dal diagramma di Kruithof che costituisce un primo criterio per la realizzazione di un ambiente gradevole (cfr. figura 4.7).

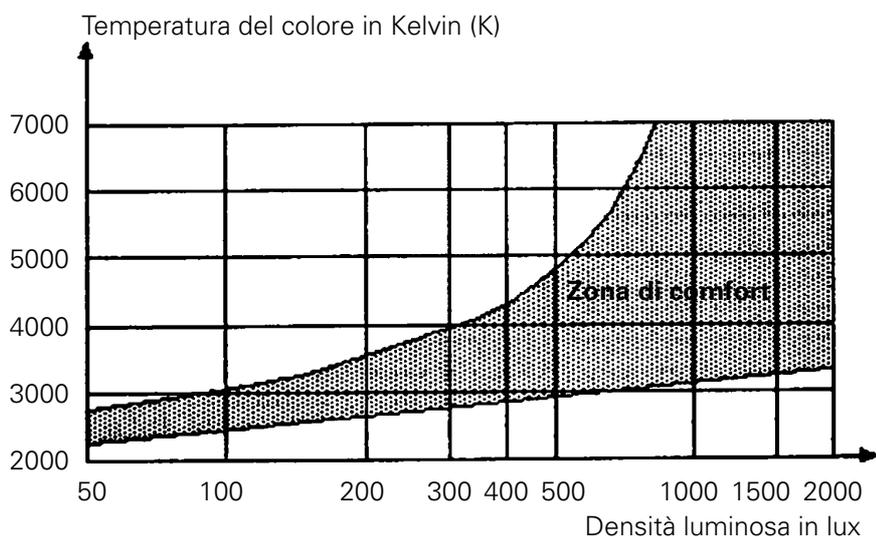


Figura 4.7: regola di Kruithof che determina la zona di comfort visivo a dipendenza dalla temperatura del colore e dalla densità luminosa



## Durata di vita delle sorgenti luminose

Alcuni fattori, quali la variazione di tensione della rete oppure la frequenza d'accensione e di spegnimento delle lampade fluorescenti, possono esercitare un influsso considerevole sulla loro durata di vita.

La figura 4.8 illustra la variazione della durata di vita di una lampada fluorescente in funzione del numero di commutazioni (accensione e spegnimento) giornalierie. È tuttavia ovvio che una gestione razionale di una lampada fluorescente allo scopo di ottenere un risparmio d'energia è possibile senza un cambiamento notevole della sua durata di vita (ad esempio 10 accensioni al giorno).

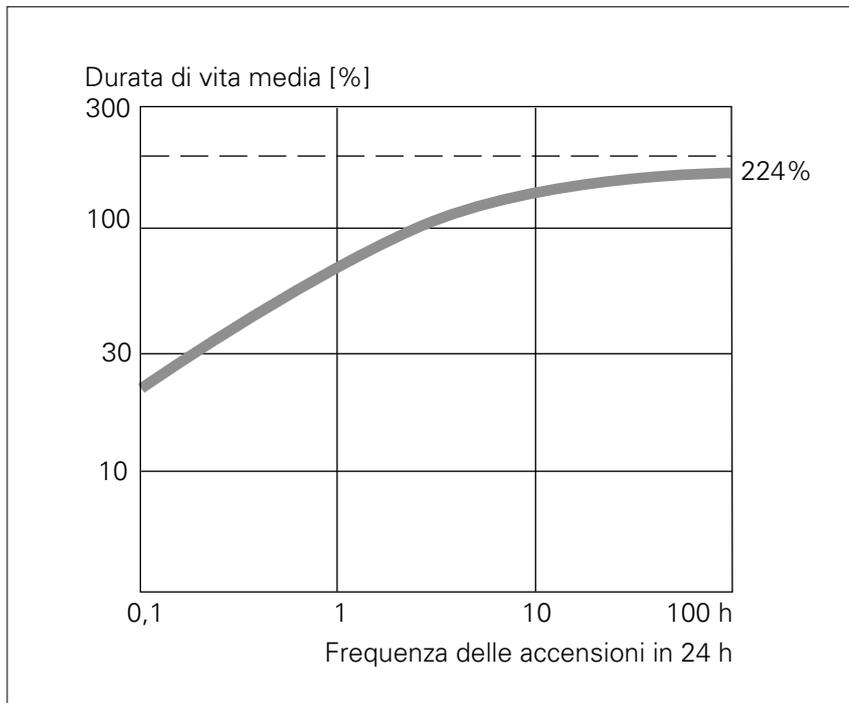


Figura 4.8: variazione della durata di vita media di una lampada fluorescente in funzione del numero di accensioni durante 24 ore

### Scelta di una sorgente luminosa

Nel riquadro seguente è riassunto l'insieme delle caratteristiche delle quali occorre tener conto al momento della scelta di una sorgente luminosa.

Una tabella comparativa con le principali caratteristiche di alcune sorgenti luminose è riportata alla figura 4.9. Un riassunto dei vantaggi e degli svantaggi di queste sorgenti luminose viene fornito alla figura 4.10.



## Caratteristiche di una sorgente luminosa delle quali occorre tener conto (lista di controllo rapida)

- tipo di corpo illuminante (in cui è inserita la lampada)
- dimensioni, zoccolo
- flusso luminoso (lm)
- potenza (W)
- efficienza luminosa (lm/W)
- erogazione di calore (quantità, direzione)
- tensione (230 V, bassa tensione)
- durata di vita
- temperatura del colore (K)
- indice di resa del colore (Ra)
- posizione di funzionamento
- regolazione del flusso luminoso mediante variatore (gradazione)
- frequenza delle accensioni
- costi d'acquisto e d'esercizio

Categoria	Tipo	Consumo [W]	Flusso luminoso [lm]	Zoccolo	Durata di vita [ore]	Temp. del colore [K]	Resa del colore [Ra]	Efficienza luminosa [lm/W]	Posizione di funzion.
Ad incandescenza	Opaca	60	730	E 27	1000	2700	100	12	P 360
	Opaca	100	1380	E 27	1000	2700	100	14	P 360
Alogene	ANSI EZX r	20	820	GX 5.3	2000	2925	100	41	P 360
	ANSI EZX 12	20	460	GX 5.3	2000	2925	100	38	P 360
	ANSI BAB 36	20	330	GX 5.3	2000	2925	100	38	P 360
Ad alogenuri metallici	HPI - T	250	17000	E 40	8000	4400	69	68	P 20
	HPI - T	400	31500	E 40	10000	4050	69	78	P 20
	MHN - TD	70	5500	R 7s	6000	4200	80	78	P 45
	MHN - TD	150	11250	R 7s	6000	4200	86	75	P 45
	MHN - TD	250	20000	Fc2	6000	4200	90	80	P 45
Fluorescenti	TLD 90 De luxe	36	2350	G 13	8000	3000	95	65	P 360
	TLD 90 De luxe	58	3750	G 13	8000	3000	95	65	P 360
Fluorescenti compatte	PLCE 11	11	600	E 27	8000	2700	85	55	P 360
	PLCE 20	20	1200	E 27	8000	2700	85	60	P 360
	PLC 18 W	18	1200	G 24q-2	8000	2700	85	67	P 360
	PLC 26 W	26	1800	G 24q-3	8000	2700	85	69	P 360
A luce mista	ML	100	1100	E 27	8000	3350	60	11	SH 30
	ML	160	3100	E 27	8000	3500	62	19	SH 30
	ML	250	5500	E 27	8000	3550	61	22	SH 45

S = in piedi, zoccolo in basso – H = sospesa, zoccolo in alto – P = orizzontale – Numero = deviazione permessa in °

Figura 4.9:  
tabella comparativa di alcune sorgenti luminose



## Lampada ad incandescenza classica

### Vantaggi

- luce calda con predominanza del rosso
- ottima resa dei colori
- prezzo basso

### Svantaggi

- efficienza luminosa pessima (12 lm/W)
- erogazione di calore elevata
- durata di vita mediocre (1000 ore)

## Lampade alogene

### Vantaggi

- efficienza luminosa superiore a quella delle lampade ad incandescenza classiche (30 lm/W)
- dimensioni ridotte
- ottima resa dei colori
- migliore focalizzazione della luce
- il comportamento dell'alogeno evita l'annerimento del bulbo per tutta la durata di vita

### Svantaggi

- temperatura molto elevata del bulbo e dello zoccolo
- è spesso necessario l'impiego di un trasformatore (perdite d'energia)
- luminanza maggiore
- manipolazione difficoltosa senza vetro frontale
- durata di vita media (2000 ore)

## Lampade fluorescenti

### Vantaggi

- durata di vita otto volte maggiore di quella di una lampada ad incandescenza
- bassa temperatura in superficie del tubo
- scelta di parecchi toni di colore (temperatura del colore oscillante tra 3000 K e 6500 K)

### Svantaggi

- la durata di vita di un tubo dipende in larga misura dal tipo di alimentatore impiegato, nonché dalla frequenza d'accensione
- scarsa capacità di focalizzazione della luce
- i tubi di potenza diversa non sono intercambiabili
- scelta del tono di luce adatto al compito previsto (un tono cattivo causa una diminuzione notevole del comfort visivo)

Figura 4.10a  
tabella sinottica dei vantaggi e degli  
svantaggi di alcune sorgenti luminose



## Lampade fluorescenti compatte

### Vantaggi

- efficienza luminosa elevata (da 4 a 5 volte superiore a quella di una lampada ad incandescenza)
- dimensioni ridotte

### Svantaggi

- tempo d'innesco
- costo d'acquisto più elevato

## Lampade ad alogenuri metallici

### Vantaggi

- efficienza luminosa elevata (75 lm/W)
- buona resa del colore
- possono sostituire vantaggiosamente le lampade alogene in certe situazioni
- lunga durata di vita (da 6000 ad 8000 ore)

### Svantaggi

- tempo d'innesco da 2 a 5 minuti
- tempo d'attesa necessario prima di una riaccensione
- limitazione dei toni del colore a seconda della potenza
- diminuzione del flusso luminoso dovuta all'invecchiamento
- costo d'acquisto elevato

## Lampade ad induzione

### Vantaggi

- buona efficienza luminosa (65 lm/W)
- buona resa del colore
- scelta della temperatura del colore (3000 K o 4000 K)
- durata di vita estremamente lunga (60000 ore)

### Svantaggi

- scatola di accensione elettronica ingombrante
- costo d'acquisto molto elevato

Figura 4.10b:  
tabella sinottica dei vantaggi e degli  
svantaggi di alcune sorgenti luminose



## 4.2 Caratteristiche dei diversi tipi di corpi illuminanti

Ciò che interessa innanzi tutto un illuminotecnico è la fotometria di un corpo illuminante [11]. Essa viene definita da due elementi essenziali:

- le sorgenti luminose
- i componenti ottici del corpo illuminante (riflettore, griglia, schermo diffusore).

Combinando questi due elementi si può definire la distribuzione luminosa ed il rendimento di ogni apparecchio. In generale la distribuzione della luce può aver luogo in modo intensivo, estensivo o asimmetrico. Questa distribuzione per ogni corpo illuminante è rappresentata mediante una curva di ripartizione dell'intensità luminosa misurata in candele (che ne indicano l'intensità). La figura 4.11 illustra una di queste curve.

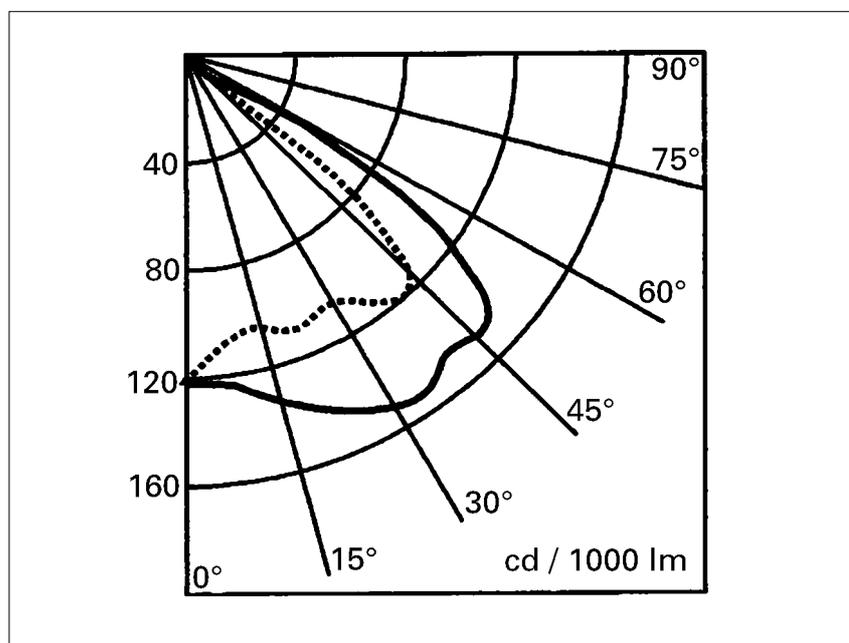


Figura 4.11:  
curva caratteristica di un corpo illuminante (flusso luminoso di 1000 lumen, secondo convenzione)

Ogni corpo illuminante è contrassegnato dalla propria classe di protezione elettrica (classe 0, I, II e F), nonché dall'indice di protezione IP, composto di due cifre e che caratterizza la resistenza opposta dall'apparecchio alla penetrazione dei corpi solidi e liquidi.



## Rendimento di un corpo illuminante

In generale il flusso luminoso emesso dalle sorgenti luminose di un corpo illuminante non raggiunge direttamente il piano di lavoro. Tale flusso subisce interazioni tra questi due punti, anche solo a causa delle riflessioni che si manifestano nel corpo illuminante e sulle griglie di protezione.

La figura seguente rappresenta i rapporti tra il flusso totale emesso dalle sorgenti luminose di un corpo illuminante, il flusso emesso dal corpo illuminante stesso ed il flusso luminoso che si manifesta sulla superficie di lavoro.

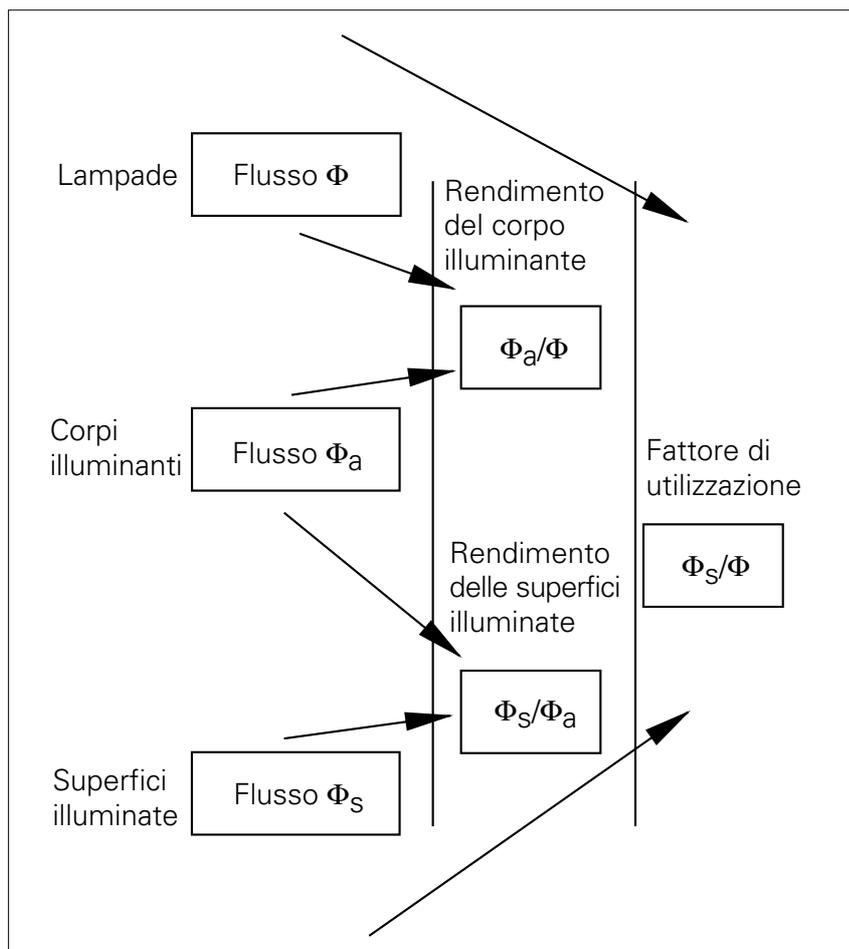


Figura 4.12:  
rappresentazione dei rendimenti essenziali di un corpo illuminante (il procedimento può essere utilizzato anche nel caso di parecchi corpi illuminanti)

Il **rendimento di un corpo illuminante** varia in pratica tra 0.5 e 0.99. I diversi sistemi di riflessione ed i diversi diffusori permettono una distribuzione specifica della luce nello spazio (fascio esteso, asimmetrico, bassa luminanza). I corpi illuminanti a bassa luminanza utilizzano dispositivi (griglie paraboliche, riflettori secondari) che permettono la ripartizione della luce in un fascio relativamente stretto e che limita l'abbagliamento. La forma, le dimensioni e la posizione della sorgente luminosa rispetto al riflettore principale hanno un influsso non solo sull'ottimizzazione della ripartizione della luce stessa nella direzione desiderata, ma anche sul rendimento del corpo illuminante.



### ■ Criteri di comfort visivo

Occorre nel modo più assoluto che un corpo illuminante adempia le esigenze di comfort visivo e, in modo particolare, sia in grado di eliminare le cause di mancanza di comfort dovuta all'abbagliamento.

L'assenza di abbagliamento diretto dovuto al corpo illuminante può essere facilmente verificabile per mezzo degli abachi di Bodmann e Söllner (cfr. figura 4.13). Questi ultimi definiscono i valori massimi ammissibili di luminanza a seconda del tipo di attività, della forma del locale e del livello medio desiderato di densità luminosa. È così possibile, ad esempio, constatare immediatamente che per le aule scolastiche occorre rinunciare all'impiego di corpi illuminanti muniti di diffusori prismatici.

Per ogni tipo di corpo illuminante i produttori mettono a disposizione curve di luminanza (longitudinali a linea punteggiata e trasversali a riga continua). Definendo la classe, ossia il grado di qualità del locale (che varia da A a E, secondo la classificazione CIE) ed il livello di densità luminosa media, è possibile determinare su questo abaco il valore massimo ammissibile della luminanza. Se la curva della luminanza dell'apparecchio fornita dal fabbricante si trova a sinistra della curva limite, la scelta è razionale. Nel caso contrario occorrerà scegliere un altro corpo illuminante.

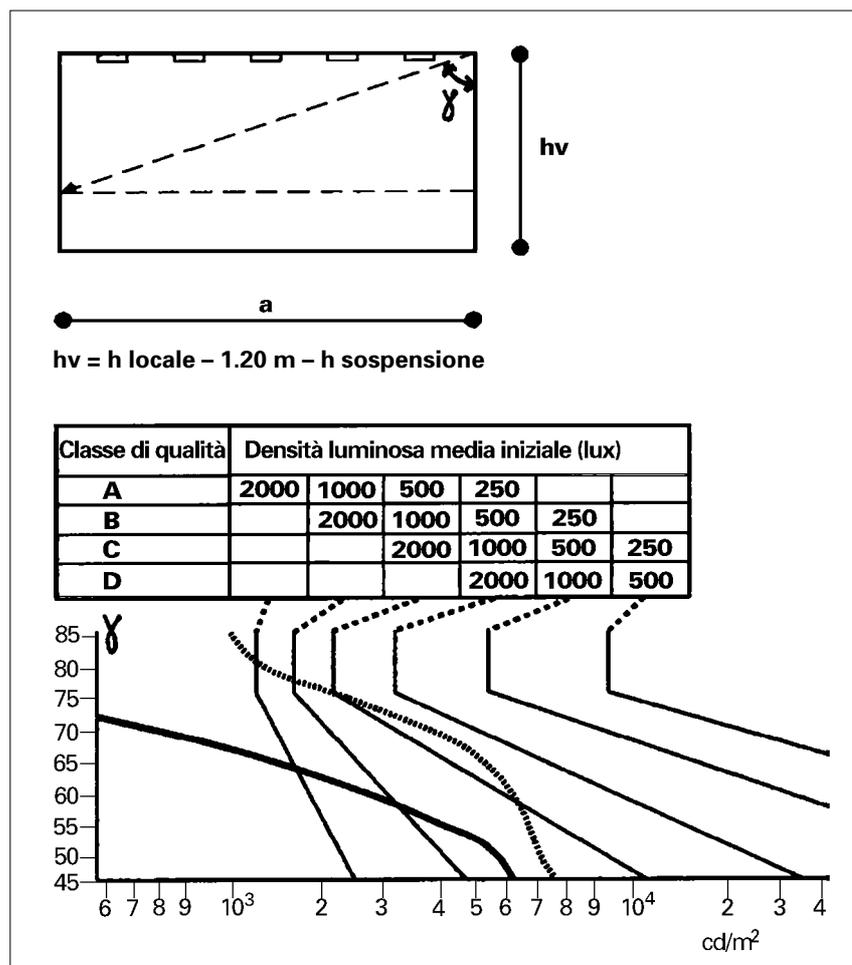


Figura 4.13: abaco semplificato di Bodmann e Söllner



Per i corpi illuminanti a fascio luminoso direzionale, il tipo di schema illustrato qui di seguito ci indica la forma e l'estensione del cono di luce.

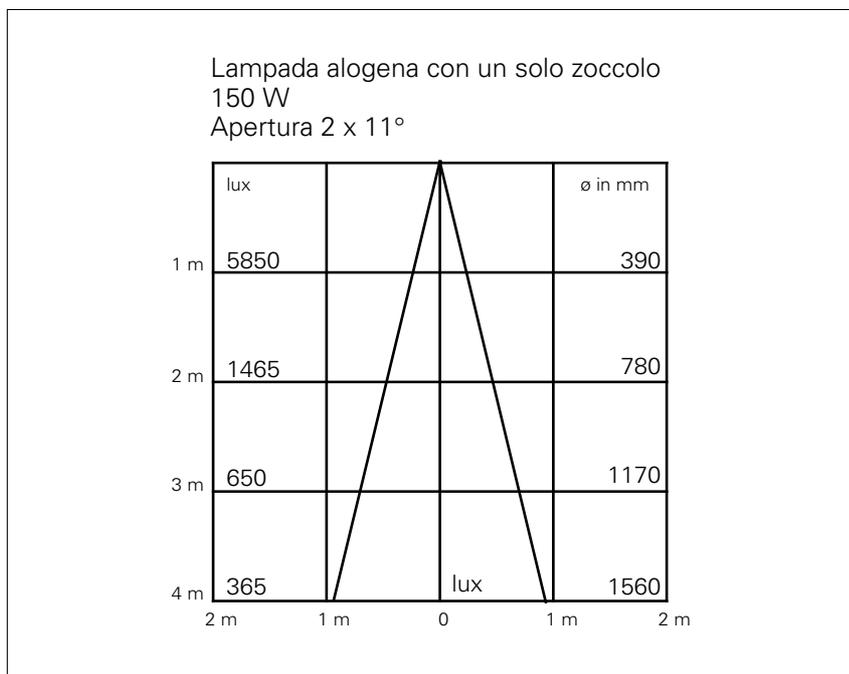


Figura 4.14:  
diagramma caratteristico di un corpo illuminante a fascio luminoso direzionale

Il semiangolo d'apertura (esempio:  $11^\circ$ ) è l'angolo formato dall'asse del fascio luminoso e dalla direzione in cui viene emessa un'intensità luminosa uguale alla metà dell'intensità massima. Questo diagramma permette di determinare, su un piano perpendicolare all'asse del fascio luminoso, il livello d'intensità luminosa sull'asse (a sinistra) ed il diametro in mm del cerchio (a destra) che delimita l'angolo d'apertura del fascio luminoso.

I proiettori intagliati ed i proiettori in ottone tagliato permettono di ottenere effetti visivi speciali, quali la proiezione d'immagini o di logotipi, la messa in rilievo di oggetti, rendendo in tal modo lo spazio più animato.

È sottinteso che la scelta dei corpi illuminanti deve corrispondere alla strategia del progetto d'illuminazione, ma anche a norme estetiche ed architettoniche, facilitando i lavori di cura e di manutenzione.



### 4.3 Sistemi di comando dei corpi illuminanti

Un impianto d'illuminazione convenzionale consiste di una rete di collegamenti dei punti di alimentazione elettrica per mezzo di cavi separati. I recenti sviluppi, nonché le tecniche di controllo e la tecnologia informatica hanno aperto nuove possibilità. I sistemi quali IFS 800 della Philips, Luxmate della Zumtobel oppure EOS 2 della Neuco sfruttano queste possibilità potenziali.

L'architettura di questi sistemi è caratterizzata da:

- un controllo locale di gruppi di corpi illuminanti, stabilito liberamente dall'utente (zone differenti);
- una gestione centralizzata dell'illuminazione (management);
- una trasmissione dei dati mediante bus.

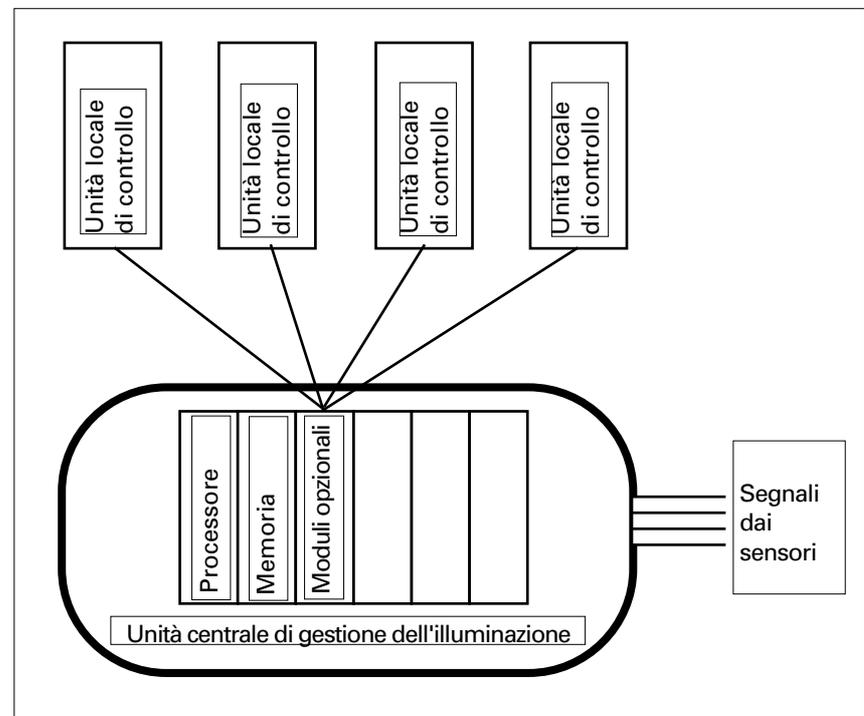


Figura 4.15:  
schema di principio di un sistema di gestione centralizzata dell'illuminazione

La gestione centralizzata dell'illuminazione riceve segnali (informazioni) provenienti da diversi sensori analogici o digitali. Questi sensori possono ad esempio essere cellule fotoelettriche che misurano la quantità di luce naturale in un punto del locale oppure rivelatori di movimento in una zona particolare (corridoi, bagni, uffici, ecc.).

Questo tipo d'installazione permette una memorizzazione preliminare (nella memoria dell'unità di gestione) degli stati d'illuminazione possibili, come ad esempio la regolazione e la messa in funzionamento automatica di diversi gruppi di corpi illuminanti a determinate ore del giorno.



## Caratteristiche dei sistemi centralizzati di gestione dell'illuminazione

### Vantaggi:

- Massima flessibilità a livello di comando dei corpi illuminanti. In caso di modificazioni dei locali, ad esempio di uno spostamento delle pareti, è sufficiente programmare di nuovo i gruppi di corpi illuminanti comandati dall'unità centrale di gestione; non è necessaria alcuna modificazione dei cavi e dei collegamenti elettrici.
- Permette di registrare molte informazioni per una gestione energetica ottimale, nonché per la manutenzione delle sorgenti luminose in condizioni reali d'impiego. Se queste informazioni sono sfruttate in modo corretto sarà possibile a media scadenza realizzare risparmi supplementari d'energia, nonché ottenere un miglior comfort visivo.

### Svantaggi:

- Questi sistemi richiedono un investimento iniziale elevato.
- L'interpretazione dei risultati provenienti dai sensori e dalle altre sonde utilizzati attualmente per comandare l'accensione delle sorgenti luminose, a dipendenza dalla variazione della luce naturale, non è ancora sfociata in un'utilizzazione che sia contemporaneamente efficace, affidabile e di semplice impiego.



## 4.4 Fasi del progetto d'illuminazione artificiale

### ■ Progetto d'illuminazione interna

L'impiego previsto, nonché le superfici del locale (dimensioni e forma delle aperture, direzione da cui proviene la luce naturale, caratteristiche dei materiali da costruzione) costituiscono i dati fondamentali del progetto. In possesso di tali dati lo svolgimento dell'operazione può avvenire nell'ordine menzionato qui di seguito.

### ■ Determinazione del livello di densità luminosa richiesto

Il livello di densità luminosa dipende dalla natura dell'attività eseguita nel locale. I valori raccomandati per le diverse attività vengono pubblicati regolarmente. Tali valori di densità luminosa vengono forniti per un piano di lavoro orizzontale, situato convenzionalmente a 85 cm dal pavimento.

### ■ Scelta del tipo di sorgenti luminose

Sono parecchi i criteri che determinano questa scelta; il loro numero e la loro importanza variano a seconda della natura del problema da risolvere. Occorre esaminare:

- l'efficienza luminosa,
- la durata di vita,
- la temperatura del colore,
- l'indice di resa del colore,
- la durata ed il tipo d'impiego.

Un calcolo globale della redditività deve comprendere l'investimento iniziale, l'esercizio, la manutenzione e le spese di sostituzione.

### ■ Scelta del sistema d'illuminazione (diretto, indiretto, misto)

Con un'illuminazione diretta le superfici orizzontali vengono generalmente ben illuminate, mentre il soffitto resta relativamente in ombra. Una disposizione adeguata delle sorgenti luminose permette di ottenere un'illuminazione buona e uniforme. La percezione spaziale può diventare monotona, senza carattere e senza accenti luminosi.

Nel caso di un'illuminazione indiretta la luce viene diffusa totalmente verso il soffitto. La diffusione della luce crea un'impressione rilassante. La mancanza di ombre può essere fastidiosa. Il flusso luminoso richiesto è più importante che non nel caso dell'illuminazione diretta, ciò che può sfociare in un aumento del consumo di energia elettrica.

Nel caso di un'illuminazione mista la luce viene diffusa sia verso l'alto, sia verso il basso.



## ■ Scelta del corpo illuminante o degli apparecchi d'illuminazione

La curva fotometrica del corpo illuminante deve corrispondere al tipo di distribuzione scelto per la luce. Avranno inoltre un'influsso su questa scelta criteri di affidabilità, estetici, di manutenzione, di condizioni ambientali (atmosfera umida, corrosiva, esplosiva) e, infine di costi.

## ■ Calcoli e ripartizione dei corpi illuminanti

Esistono programmi per PC che permettono di ottimizzare la ripartizione. In particolare quest'ultima deve essere determinata tenendo conto del contributo fornito dalla luce naturale (aperture con vetri).





## 5. Aspetti energetici

<b>5.1</b>	<b>Analisi della situazione attuale</b>	<b>69</b>
<b>5.2</b>	<b>Energia ed illuminazione naturale</b>	<b>71</b>
■	La finestra	71
■	Apporti del sole e guadagni interni	73
■	Bilancio globale dell'energia	76
■	Protezione contro il sole	77
<b>5.3</b>	<b>Asportazione del calore</b>	<b>79</b>
■	Ventilazione naturale	79
■	Ventilazione meccanica	80
<b>5.4</b>	<b>Combinazione dell'illuminazione naturale e di quella artificiale</b>	<b>84</b>
■	Concorrenza o complementarità?	84
■	Comportamento dell'utente	84
■	Comando e regolazione	86





## 5. Aspetti energetici

### 5.1 Analisi della situazione attuale

Se si osserva l'evoluzione del consumo d'energia degli edifici amministrativi durante gli ultimi 15 anni si constata che la domanda di calore è tre volte minore, mentre la domanda d'energia elettrica è aumentata da 2 a 3 volte. Questa evoluzione può essere spiegata tenendo conto dello sforzo considerevole effettuato per diminuire la domanda d'energia fossile: involucri di edifici più efficaci, utilizzazione sistematica del ricupero negli impianti di ventilazione, utilizzazione d'impianti ad alto rendimento, aumento dei carichi nei locali (apparecchi).

I motivi dell'aumento della domanda d'energia elettrica sono meno spiegabili; essi risiedono probabilmente nell'impiego molto più sistematico della ventilazione (aumento dei carichi interni e obbligo di ricupero), nonché aumento dell'impiego dei mezzi informatici nel disbrigo dei lavori di ufficio.

L'illuminazione artificiale non è certamente sufficiente a spiegare da sola l'aumento della domanda d'elettricità negli edifici amministrativi: l'aumento costante della sua efficienza ha compensato ampiamente l'aumento delle prestazioni. La figura 5.1 illustra un esempio di ripartizione di tale domanda in un edificio scarsamente ventilato: l'elettricità rappresenta il 34% della domanda globale d'energia (calore + elettricità), l'illuminazione il 45% del consumo di elettricità, ossia il 15% del consumo totale. Un'indagine effettuata su un edificio amministrativo, in cui ogni piano è stato dato in locazione ad una società che esplica un'attività diversa (vendita, banca, commercio, studio dentistico), ha dimostrato che l'illuminazione artificiale rappresenta, a seconda di tale attività, dal 25 al 50% del consumo totale di elettricità.

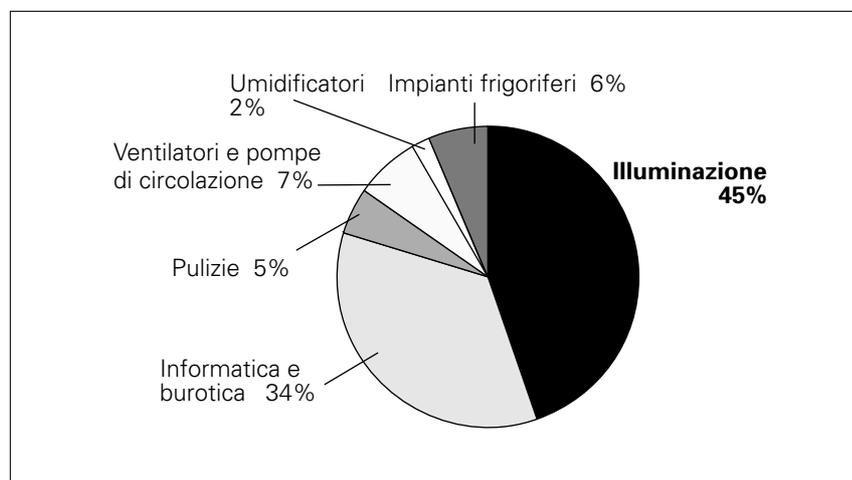


Figura 5.1: ripartizione del consumo di energia elettrica in un edificio amministrativo scarsamente ventilato: 1350 m<sup>2</sup> di superficie del pavimento (SRE), 3 piani, IER = 460 MJ/m<sup>2</sup>a, IEE = 240 MJ/m<sup>2</sup>a [12]

Nei centri commerciali il consumo di elettricità è molto importante (cfr. figura 5.2). Durante questi ultimi anni il suo aumento è stato costante. L'illuminazione artificiale costituisce una parte importante del consumo d'elettricità degli impianti di questo tipo di edifici (60%). Questa percentuale elevata si spiega soprattutto a causa della mancanza d'illuminazione naturale ed anche a causa della funzione decorativa attribuita all'illuminazione: il modo in cui i prodotti in vendita sono esposti è altrettanto importante di una sufficiente densità luminosa. L'irradiazione di calore da parte dell'illuminazione artificiale, spesso composta di lampade ad incandescenza (lampade alogene), richiede una ventilazione meccanica ed un raffreddamento importanti.

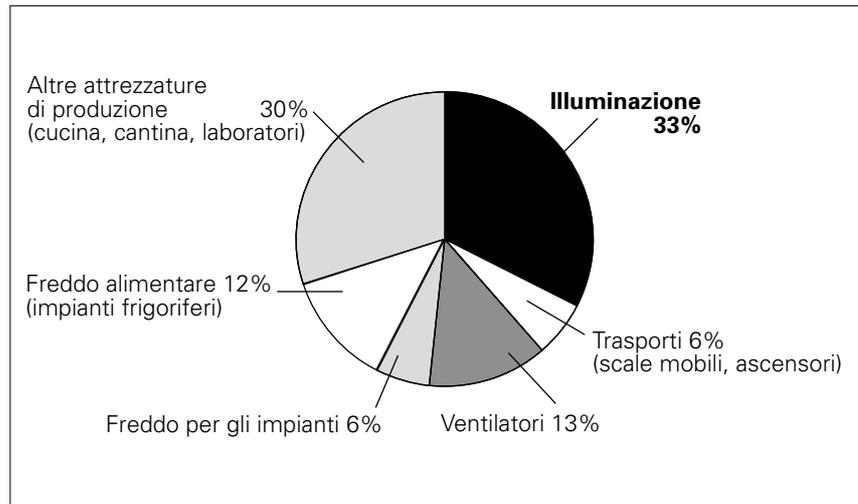


Bild 5.2:  
 ripartizione del consumo di energia elettrica in un centro commerciale: 10000 m<sup>2</sup> di superficie del pavimento (SRE), 8 piani, IER = 460 MJ/m<sup>2</sup>a, IEE = 730 MJ/m<sup>2</sup>a [12]

Negli uffici amministrativi il consumo di elettricità dovuto all'illuminazione artificiale tende piuttosto a diminuire, mentre quello dovuto alle attrezzature tende ad aumentare (burotica, informatica). Gli impianti di condizionamento dell'aria (ventilazione, climatizzazione) servono innanzi tutto ad eliminare il calore prodotto dagli apparecchi degli uffici e dal sole che penetra nei locali.

Nei centri commerciali è molto difficile diminuire il consumo di elettricità dovuta all'illuminazione poiché quest'ultima è strettamente necessaria per una tecnica di vendita razionale. La funzione principale degli impianti di condizionamento dell'aria è quella di eliminare il calore interno dovuto all'illuminazione ed alle persone, poiché gli apporti termici da parte del sole sono praticamente inesistenti. Nelle superfici commerciali utilizzate per la vendita dei generi alimentari, gli armadi frigoriferi costituiscono il carico principale, giacché la produzione di freddo è decentralizzata.



## 5.2 Energia ed illuminazione naturale

È generalmente noto che la luce naturale costituisce un fattore di qualità in un edificio. È d'altronde ragionevole supporre che la sostituzione della luce artificiale mediante la luce naturale sfoci in risparmi d'energia.

L'utilizzazione intensiva della luce naturale comporta tuttavia sempre alcuni rischi, poiché nel caso in cui non vi si presti sufficiente attenzione essa può contribuire ad aumentare la sensibilità dell'edificio alle condizioni meteorologiche esterne, creando un rischio maggiore sul piano del comfort termico e visivo. D'altro canto i risparmi realizzati sul consumo dovuto all'illuminazione possono essere ridotti a zero a causa di un aumento dei fabbisogni di riscaldamento, di ventilazione o di raffreddamento.

### ■ La finestra

La finestra è un elemento complesso dell'involucro di un edificio. Le sue funzioni sono le seguenti:

- proteggere lo spazio interno dalle perdite di calore;
- garantire la penetrazione dei raggi del sole;
- illuminare il piano di lavoro;
- offrire un contatto visivo con l'esterno;
- provvedere alla ventilazione dello spazio interno.

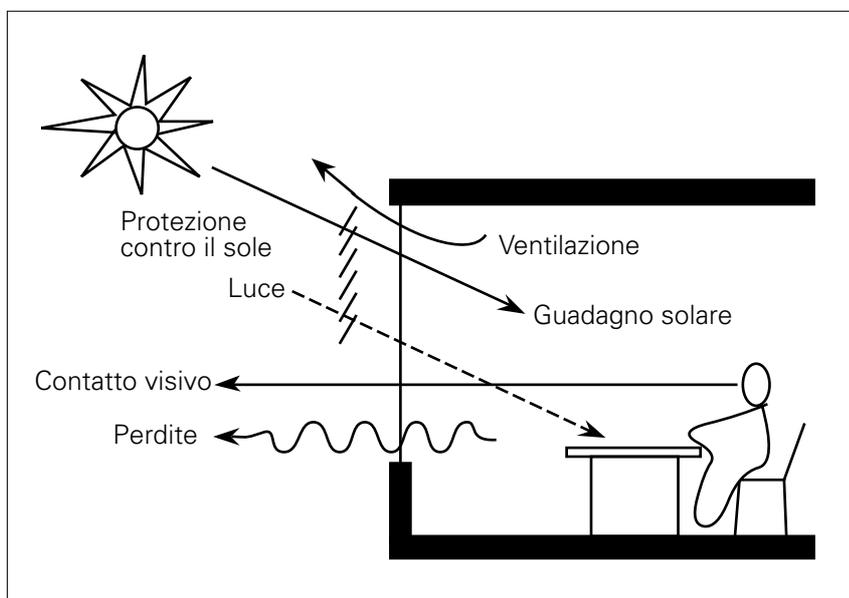


Figura 5.3:  
funzioni della finestra [13]

Elementi mobili o fissi permettono di dosare la penetrazione dell'irradiazione solare e della luce. La finestra è contemporaneamente una barriera ed un filtro. Solo se si tiene conto di tutti questi aspetti è possibile allestire un bilancio energetico equilibrato dell'edificio.

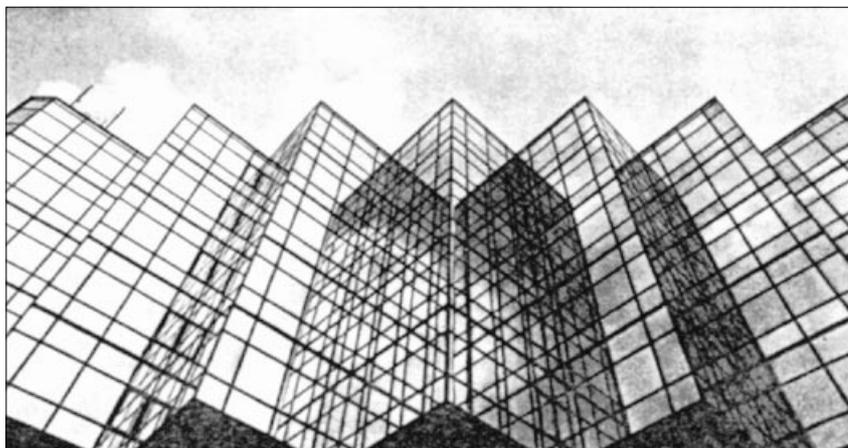


A partire dall'inizio di questo secolo, durante parecchi periodi sono state trascurate certe dimensioni della finestra, creando modelli di edifici amministrativi che costituiscono vere e proprie aberrazioni sotto l'aspetto energetico:

- facciate completamente coperte da vetri muniti di protezione solare, senza tener conto dell'orientamento dell'edificio e che richiedono un condizionamento;
- edifici con ampie superfici vetrate volte a sud e con aperture troppo piccole verso nord.

Le funzioni principali della finestra sono l'illuminazione, la ventilazione ed il contatto visivo. L'utilizzazione esagerata delle superfici vetrate negli anni cinquanta e sessanta richiedeva contemporaneamente un condizionamento totale degli edifici e l'impiego di vetri muniti di protezioni contro il sole. La crisi petrolifera degli anni settanta e la divulgazione delle prime nozioni concernenti l'energia solare passiva hanno trasformato la finestra in un semplice strumento di captazione dell'energia solare che doveva aprirsi esclusivamente verso il sud.

L'evoluzione attuale, basata sull'impiego plastico del vetro, tende a trascurare l'aspetto funzionale della finestra: riappaiono le facciate totalmente munite di vetri, i vetri per la protezione contro il sole ed i dispositivi ornamentali per la creazione di zone d'ombra (spesso senza una funzione vera e propria).



*Figura 5.4:  
edificio munito di facciate completamente coperte di vetri (vetri con protezione contro il sole)*

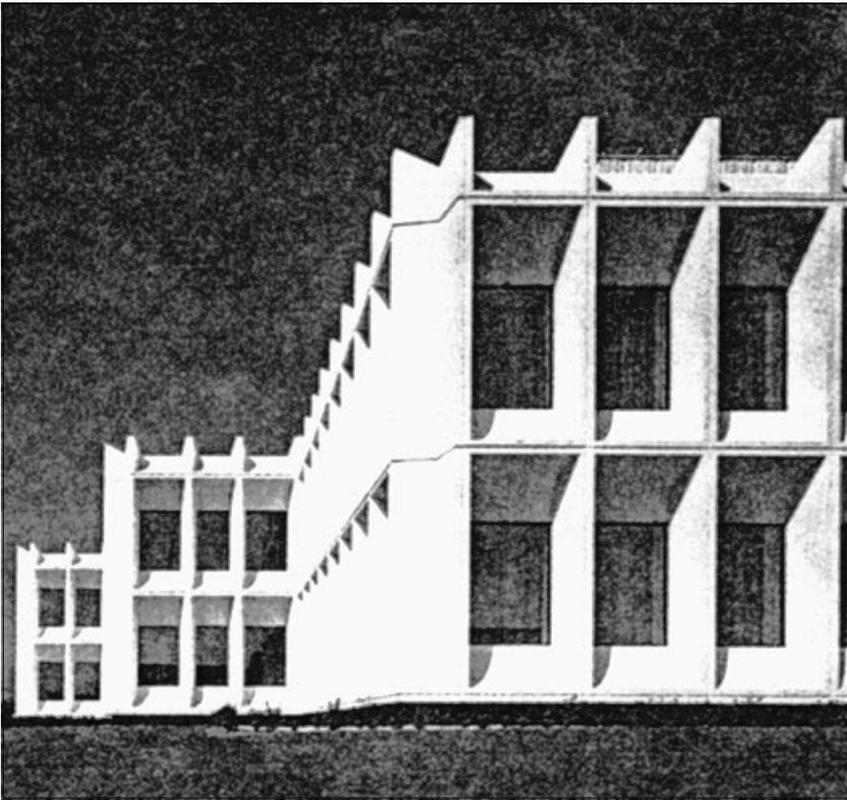


Figura 5.5:  
edificio munito di protezione contro il sole in tutte le direzioni

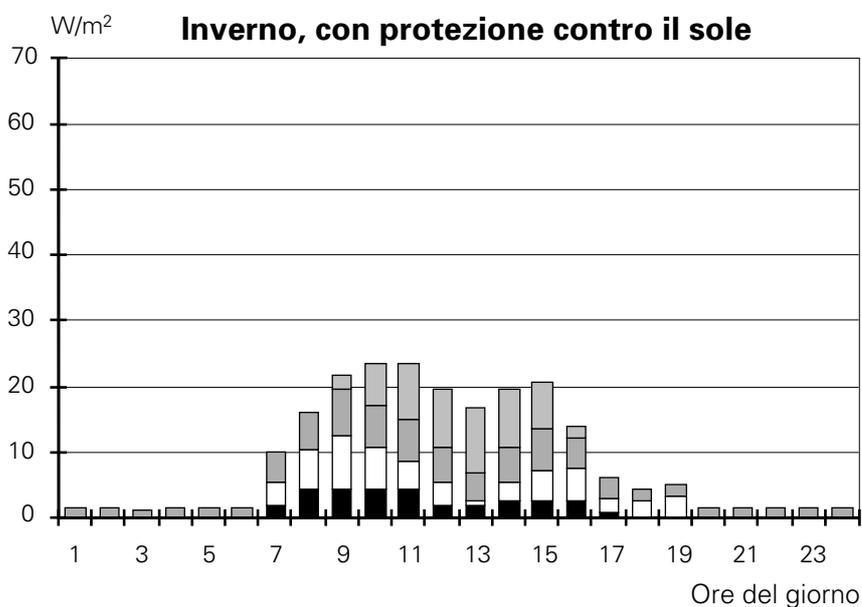
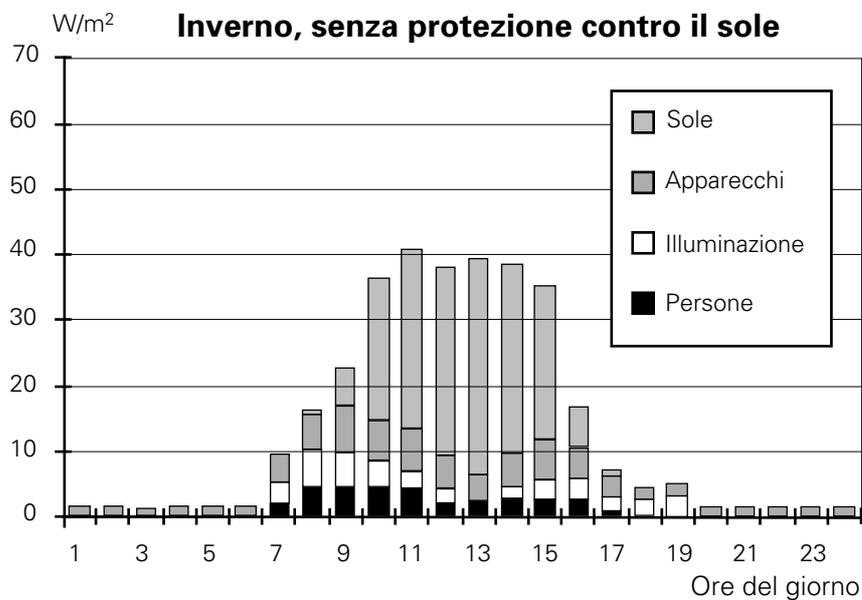
## ■ Apporti del sole e guadagni interni

Negli edifici amministrativi i guadagni dovuti al sole su una facciata posta a sud, ad est oppure ad ovest sono dello stesso ordine di grandezza dei guadagni interni. Poiché il loro manifestarsi è praticamente contemporaneo tra le ore 10 e le ore 17, si verifica una vera e propria concorrenza tra questi due apporti di calore che in pratica si sommano. Per risolvere tale problema ed utilizzare in modo razionale i guadagni solari e quelli interni occorre utilizzare i guadagni solari di sera, giacché è difficile avere un controllo dei guadagni interni (funzione dell'attività dell'edificio), oppure minimizzare gli apporti solari.

Nelle zone in cui si svolge un'attività d'ufficio normale non è giustificato, sotto l'aspetto energetico, aumentare la superficie vetrata oltre a quanto è necessario per una buona illuminazione naturale ed una ventilazione sufficiente. Il «sovradimensionamento» delle finestre può essere giustificato in zone vicine, in cui le esigenze del comfort termico e visivo sono ridotte: passaggi, sale d'aspetto, entrate, atri, ecc.



Studi recenti hanno dimostrato che, eccettuati gli edifici amministrativi che fanno un grande ricorso all'informatica ed i centri commerciali, il carico dovuto all'illuminazione ed ai guadagni solari rappresenta nettamente la percentuale più importante dei carichi termici in un locale.



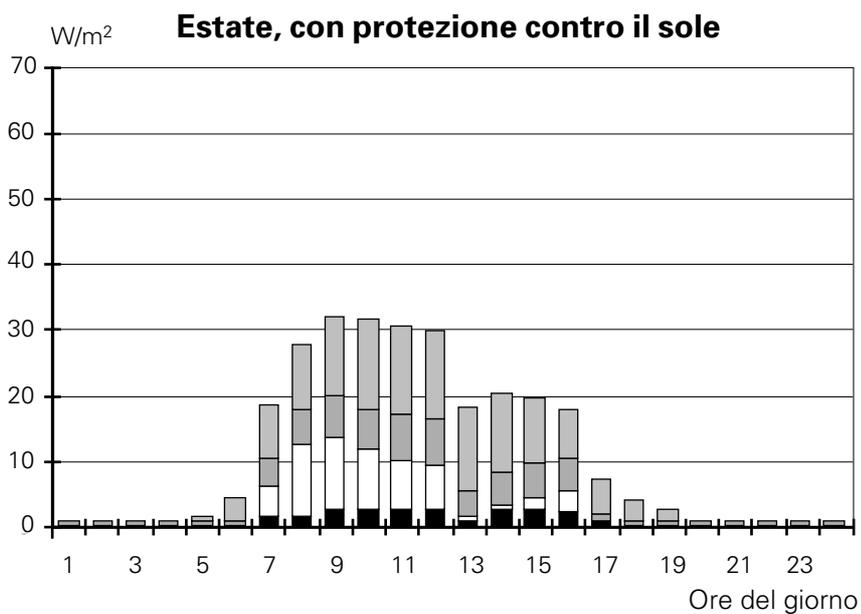
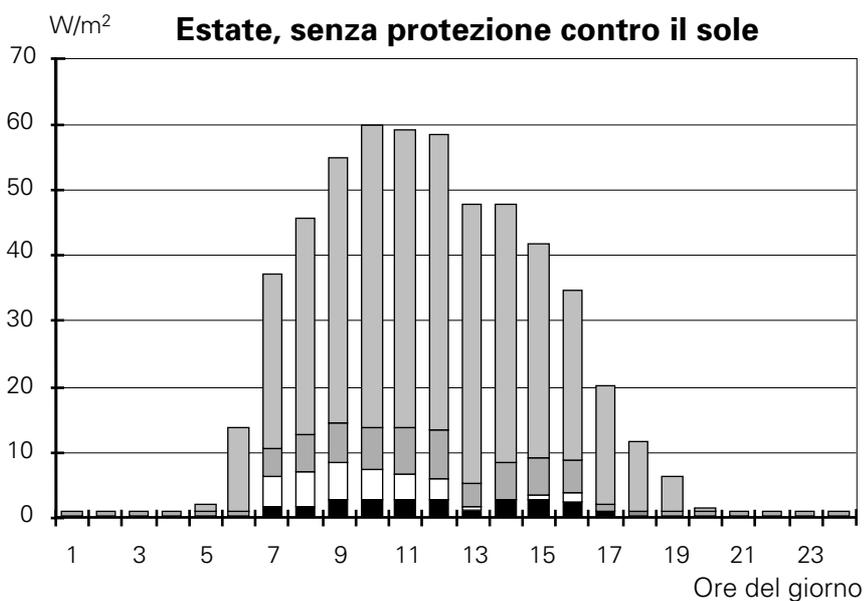


Figura 5.6:  
evoluzione dei carichi termici in un ufficio  
munito di vetri ad est ed a sud [16]

Superficie del pavimento = 35 m<sup>2</sup>  
Superficie vetrata = 11.5 m<sup>2</sup>

Vetri doppi, avvolgibili esterni di protezione  
contro il sole



### Bilancio globale dell'energia

Se si tiene conto di tutte le componenti del bilancio energetico di una finestra (energia necessaria per il riscaldamento, per l'illuminazione e per il raffreddamento del locale), le proporzioni usuali e la scelta dell'orientamento delle finestre ne risultano modificate [17].

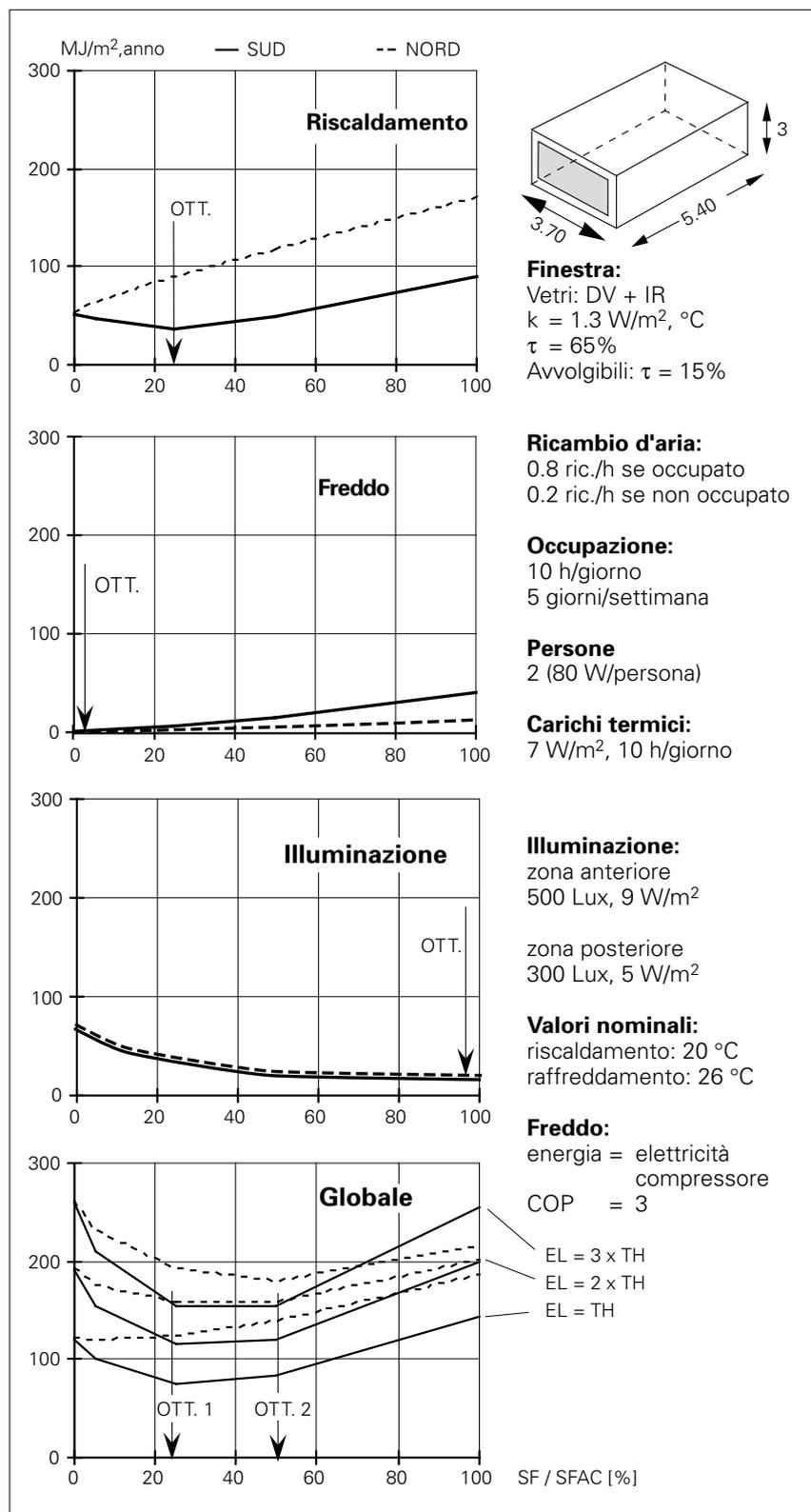


Figura 5.7: consumo specifico d'energia supplementare per il riscaldamento, il raffreddamento e l'illuminazione a dipendenza dalla superficie relativa delle finestre e dall'orientamento della facciata di un edificio.

- SF = superficie della finestra
- SFAC = superficie della facciata
- EL = 2 x TH equivalente energetico tra calore ed elettricità:
- EL = elettricità
- TH = energia termica
- OTT. = superficie ottimale per l'aspetto considerato (vi è notato l'orientamento a sud)



Se si desidera ottimizzare il consumo di energia per il calore, l'illuminazione, il raffreddamento oppure per tutti e tre, la superficie vetrata ottimale non è la stessa. La figura 5.7 dimostra chiaramente che, per un orientamento a sud, si ottiene una superficie ottimale differente a seconda dell'aspetto considerato (valore rispettivo di 25, 0, 100 oppure compreso tra 25 e 50%).

È quindi molto importante che una finestra venga dimensionata secondo un concetto globale in cui si prendano in considerazione tutti i parametri.

## ■ Protezione contro il sole

La protezione contro il sole deve essere termicamente efficace. Essa deve permettere un dosaggio equilibrato della luce, nonché una protezione contro gli abbagliamenti psicologici.

Le protezioni fisse, efficaci contro i surriscaldamenti estivi, non permetteranno di dosare la luce naturale. Esse richiedono una protezione interna supplementare contro il sole (tende leggere).

Affinché una protezione contro il sole venga realmente utilizzata, essa deve permettere un dosaggio della penetrazione della luce naturale e non deve ostacolare la ventilazione naturale.

L'utilizzazione di un vetro di protezione contro il sole non costituisce una soluzione raccomandabile dal punto di vista energetico:

- la sua trasmissione termica globale ( $g$ ) è sempre molto vicina alla trasmissione luminosa ( $\tau$ ) (effetto selettivo mediocre, cfr. figura 5.8).
- Il suo effetto di protezione è poco efficace in confronto a quello di una protezione esterna (avvolgibili o tende).
- Il contatto visivo con l'esterno è di qualità scadente (cattiva resa del colore, impossibile l'adattamento al livello luminoso ambiente).

Tipo di vetro	Trasmissione dell'energia ( $g$ ) [%]	Trasmissione della luce ( $\tau$ ) [%]
Vetro isolante		
Normale trasparente	77	81
Infrastop argento	48	48
Infrastop neutro	39	51
Parelio chiaro	50	43
Calorex A1	42	38
Stopray azzurro	36	50
Antisun verde	48	66

Figura 5.8: caratteristiche energetiche e luminose di alcuni vetri di protezione contro il sole [18]



Attenuazione del guadagno solare								
Tipo	Vetro normale	Vetro di protezione contro il sole	Tela interna	Sporgente	Tela esterna	Lamelle esterne	Sporgente e tela esterna	Sporgente e lamelle esterne
Sud	1	0.3-8	0.58	0.55	0.17	0.14	0.14	0.08
Est/Ovest	1	0.3-8	0.59	0.62	0.36	0.26	0.26	0.21

Figura 5.9:

efficienza termica delle protezioni contro il sole: il fattore di protezione termica ha come riferimento un vetro isolante doppio (fattore di protezione = 1). Quanto minore è questo fattore, tanto più efficace è la protezione; la protezione definita qui è quella termica e non quella luminosa.

Nel settore dell'illuminazione una protezione presenta la stessa efficienza se è situata all'interno o all'esterno della finestra, mentre nel settore termico essa è tre volte più efficace all'esterno che non all'interno [19]

Questo tipo di vetrata è utilizzato generalmente in edifici completamente climatizzati ed illuminati quasi esclusivamente in modo artificiale. Se si considera il bilancio energetico globale di una finestra, i suoi effetti sono negativi:

- riscaldamento: una superficie vetrata di grandi dimensioni causa perdite elevate durante la notte.
- Illuminazione: i vetri, la cui trasmissione della luce è debole e non modificabile, richiedono un'illuminazione artificiale praticamente continua.
- Freddo: una superficie vetrata di grandi dimensioni e con un debole fattore di protezione termica deve essere compensata mediante un impianto di condizionamento.



## 5.3 Asportazione del calore

### ■ Ventilazione naturale

In un edificio amministrativo la scelta di ricorrere in modo prioritario alla ventilazione naturale per garantire il ricambio dell'aria ed il raffreddamento dei locali dipende dalla concezione stessa dell'edificio e dalla sua posizione.

In una zona urbana o industriale, molto esposta al rumore, sarà tuttavia molto difficile ricorrere a tale soluzione.

Esistono tuttavia soluzioni integrate che permettono di risolvere il problema dell'illuminazione e della ventilazione naturali mediante una geometria di costruzione adeguata:

- divisione delle superfici delle finestre che devono essere aperte in modo tale da permettere un dosaggio del ricambio d'aria in inverno;
- la protezione contro il sole non deve impedire la ventilazione naturale;
- superfici chiare delle facciate per evitare una corrente d'aria calda ascendente;
- utilizzazione dell'effetto camino nel caso di edifici alti;
- sfruttamento delle differenze di pressione dovute al vento (orientamento dell'edificio secondo i venti predominanti).

La figura 5.10 illustra il caso di un atrio che serve quale «motore» per la ventilazione naturale. La depressione provocata da questo atrio, più considerevole che se ogni locale fosse ventilato separatamente, permette di avere a disposizione deflettori atti a ridurre il rumore delle prese esterne ed interne dell'aria di alimentazione (perdita di carico maggiore di quella di una finestra).

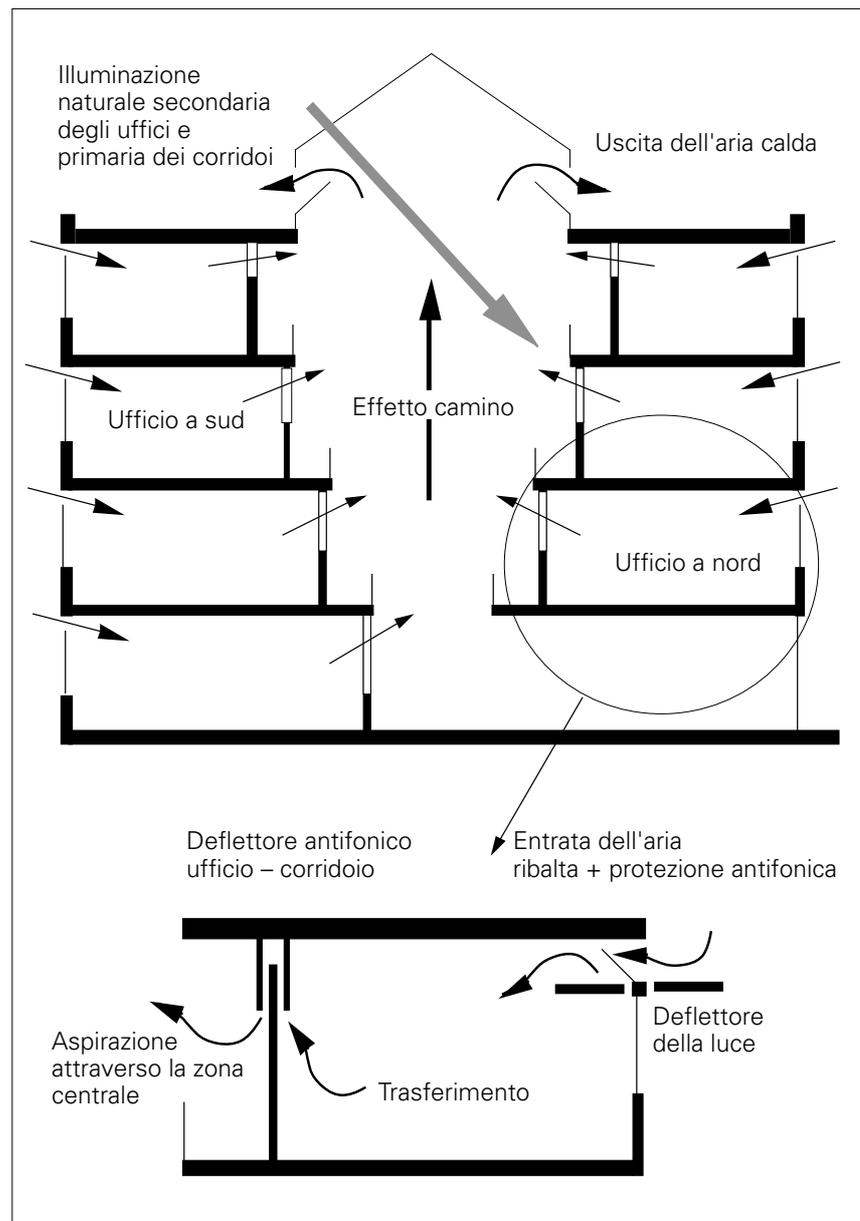


Figura 5.10: combinazione di un'illuminazione bilaterale e di una ventilazione naturale dovuta ad un effetto camino [20]

## Ventilazione meccanica

La ventilazione naturale permette un risparmio importante d'energia elettrica (assenza di motori).

La ventilazione meccanica serve da un lato al ricambio dell'aria dei locali e all'eliminazione da quest'ultima dei carichi termici che vi si producono (guadagni interni e solari). Come abbiamo già visto, l'illuminazione artificiale costituisce una parte importante dei carichi termici che si manifestano in un locale.

Questa affermazione deve tuttavia essere relativizzata.

Un impianto di condizionamento ben progettato deve servire all'asportazione dei guadagni termici dovuti all'illuminazione, nonché di quelli solari.



Anche qualora esistessero protezioni efficaci contro il sole, i guadagni solari sono, nella maggior parte dei casi, più elevati dei guadagni dovuti all'illuminazione. Il dimensionamento dell'impianto di asportazione del calore dovrà essere basato su uno o sull'altro di questi guadagni.

I nuovi sistemi di ventilazione (detti sistemi di ventilazione a spostamento) creano una suddivisione dei locali in zone: una zona bassa (zona I), detta di comfort, in cui la temperatura è controllata ed una zona alta (zona II) in cui la temperatura è più elevata. Il principio è quello di sfruttare la stratificazione naturale dell'aria calda e di addurre aria fresca a bassissima velocità (laminare) nella zona inferiore, ossia al suolo. Le diverse fonti di calore al suolo generano una corrente ascendente che trasferisce questo carico verso la zona alta da cui viene asportata.

Questo nuovo tipo di ventilazione richiede una quantità notevolmente minore di aria fresca che non nel caso del sistema di ventilazione mediante miscelazione. I carichi termici dovuti all'illuminazione vengono in gran parte dissipati nella zona alta ed hanno quindi un peso molto relativo nel bilancio dei carichi.

## Calcolo dei carichi termici dei corpi illuminanti

Si prende come esempio un corpo illuminante munito di un tubo fluorescente di 50 W (+ alimentatore elettronico: 5 W), con un rendimento del 75%. La sorgente luminosa emette il 36% della propria irradiazione nello spettro visibile e il 10% nell'infrarosso. Nelle due zone il bilancio termico di questo corpo illuminante è il seguente:

### zona I:

percentuale irradiata = potenza lampada x (percentuale luminosa + percentuale infrarosso) x rendimento del corpo illuminante, ossia:

$$50 \times (0.36 + 0.10) \times 0.75 = 17.25 \text{ W}$$

### zona II:

percentuale convettiva = potenza lampada x (1 - percentuale luminosa - percentuale infrarosso) + potenza lampada x (percentuale luminosa + percentuale infrarosso) x (1 - rendimento corpo illuminante) + potenza alimentatore, ossia:

$$50 \times (1 - 0.36 - 0.10) + 50 \times (0.36 + 0.10) \times (1 - 0.75) + 5 = 37.75 \text{ W}$$

**Totale zona I + II = 55 W**

Come si può vedere solo il 30% del calore dissipato dall'illuminazione avrà un influsso al momento del dimensionamento di un sistema di ventilazione a spostamento rispetto al 100% necessario nel caso di un sistema a miscelazione.

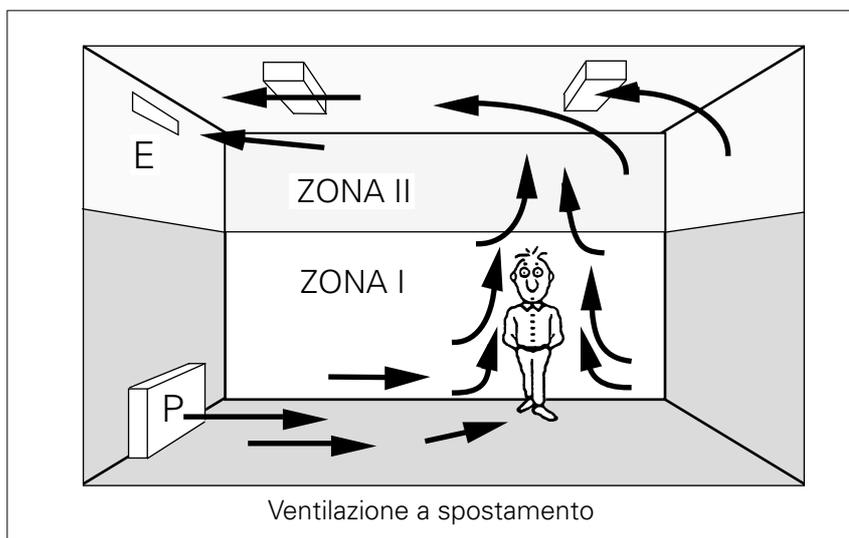
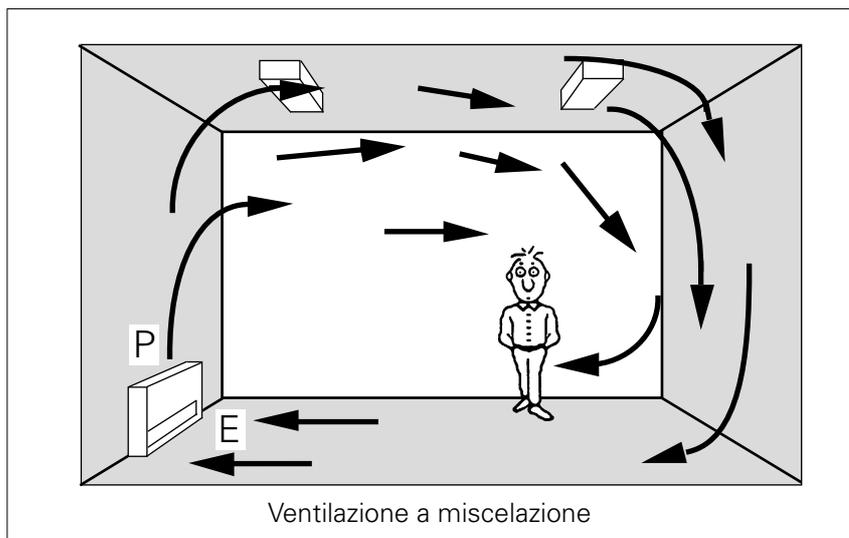


Figura 5.11:  
tipi di ventilazione a miscelazione ed a spostamento [21]  
P = aria fresca  
E = aria viziata

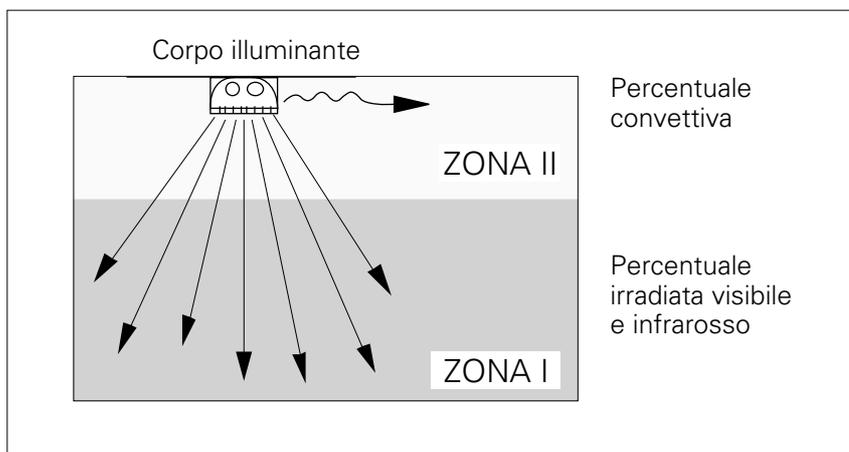


Figura 5.12:  
percentuale di calore emessa dall'illuminazione in ognuna delle zone



Un'altra soluzione per diminuire il carico termico dovuto all'illuminazione consiste nell'aspirazione dell'aria attraverso i corpi illuminanti del locale che deve essere ventilato. In tal modo la percentuale convettiva non viene emessa nel locale ed inoltre l'efficienza luminosa delle sorgenti viene migliorata a causa del fatto che il corpo illuminante è raffreddato in modo migliore. Questo tipo di tecnologia viene poco utilizzato nella prassi per i motivi seguenti:

- i costi d'investimento per i corpi illuminanti e il loro allacciamento alla rete di ventilazione sono elevati;
- la formazione di polvere che si produce rapidamente nei corpi illuminanti (che servono quali filtri dell'aria) ha un effetto negativo sul loro rendimento luminoso;
- il rumore causato dall'aria che passa tra gli elementi di latta del corpo illuminante è fastidioso.

Nei centri commerciali la ventilazione serve innanzi tutto all'asportazione dei carichi termici dovuti all'illuminazione. Esiste quindi un rapporto diretto tra un impianto d'illuminazione efficiente ed il dimensionamento dell'impianto di ventilazione stesso. Riducendo il calore residuo prodotto dall'impianto d'illuminazione si risparmia energia elettrica da una parte e dall'altra.



## 5.4 Combinazione dell'illuminazione naturale e di quella artificiale

### ■ Concorrenza o complementarità?

L'utilizzazione intensiva dell'illuminazione naturale può permettere un risparmio energetico importante. Per raggiungere tale scopo non è sufficiente un'illuminazione naturale intensiva, ma è necessario che l'illuminazione artificiale possa essere adattata all'offerta momentanea di luce naturale.

### ■ Comportamento dell'utente

I metodi di valutazione dell'impiego dell'illuminazione artificiale si basano su norme oppure su raccomandazioni concernenti il livello di densità luminosa, su regole che permettono di garantire un comfort ottimale oppure su abitudini. Quello che invece non si conosce abbastanza bene è il comportamento reale degli utenti nei confronti di un impianto d'illuminazione.

Uno studio effettuato in Germania [22] ha dimostrato che (cfr. figura 5.13):

- durante il 60% dell'utilizzazione normale degli uffici i corpi luminosi sono inseriti;
- la maggior parte degli utenti accendono i corpi luminosi non appena giungono sul posto di lavoro (sono, di regola, le donne di pulizia che li spengono al termine della giornata di lavoro);
- non è stato possibile dimostrare l'esistenza di un rapporto tra il livello d'illuminazione naturale e la frequenza di utilizzazione dei corpi illuminanti;
- benché i corpi illuminanti siano raggruppati in due zone (zona finestra e zona fondo del locale), la loro percentuale di utilizzazione è identica.



Uno studio effettuato nell'edificio LESO della SPFL ha dimostrato un comportamento analogo [23].

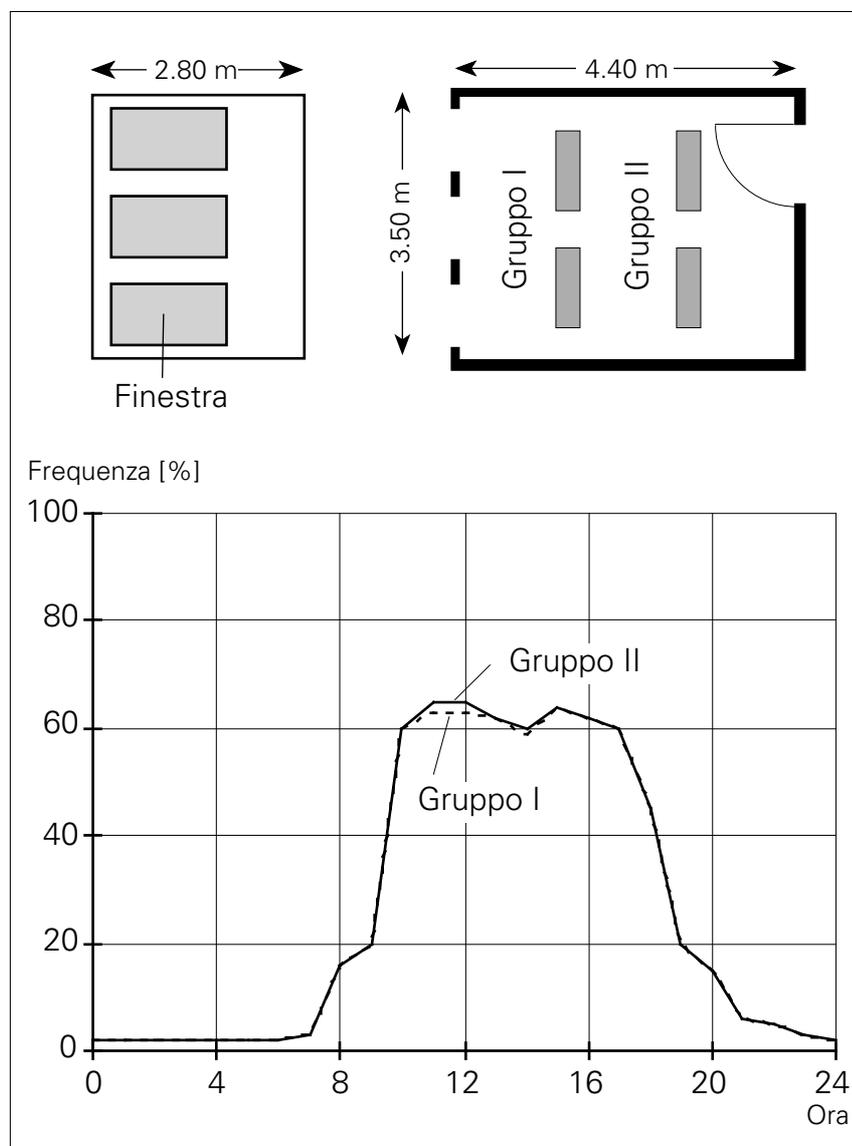


Figura 5.13: frequenza di utilizzazione di due gruppi di corpi illuminanti in un ufficio (misurazioni annue) [22]

Parecchie ragioni possono spiegare questo comportamento:

- il disinteresse nei riguardi del problema energetico;
- ci si dimentica di spegnere una lampada che non si nota più (l'utilizzazione di corpi illuminanti a bassa luminanza non genera alcun punto luminoso nel campo visivo: occorre sollevare il capo per rendersi conto che una lampada è accesa);
- il contrasto elevato tra il livello di densità luminosa naturale (da 2000 a 4000 lux) ed il livello di densità luminosa artificiale (da 300 a 500 lux): quando l'illuminazione naturale sostituisce quella artificiale, quest'ultima sfugge alla nostra attenzione a causa della propria intensità molto meno elevata.

Tutte queste constatazioni parlano a favore dei sistemi di regolazione automatici.



## ■ Comando e regolazione

Dal semplice interruttore manuale fino al sistema che inserisce automaticamente l'illuminazione artificiale al momento in cui percepisce una presenza in un locale e dosa tale illuminazione secondo il desiderio dell'utente, esiste tutta una gamma di tipi di comando e di regolazione: interruttori, temporizzatori, rivelatori di movimento, inserimento e disinserimento a dipendenza dalla luce esterna, regolazione continua in funzione della densità luminosa interna, regolazione continua dipendente dalla luce esterna e da possibili comportamenti dell'utente.

Anche in mancanza di una regolazione automatica di tipo sofisticato, nel caso di locali con corpi illuminanti multipli oppure di locali illuminati con luce naturale, occorre fare una riflessione sul modo migliore in cui possono essere raggruppati i comandi dei corpi illuminanti. Gli utenti consci della necessità di un risparmio energetico devono poter essere in grado di utilizzare gli impianti nel miglior modo possibile (figura 5.14).

Il comando mediante temporizzatori è interessante in tutti quei locali che vengono utilizzati per una breve durata e da numerosi utenti: i passaggi (corridoi, scale, entrate, atri), i locali sanitari, i depositi, i magazzini. Questo tipo di comando tende attualmente ad essere sostituito dai rivelatori di movimento.

### Scelta di un sistema di comando

La figura 5.15 fornisce, per tre livelli di fattore di luce diurna, la scelta della regolazione ottimale.

Nei locali caratterizzati da un livello d'illuminazione naturale importante è sufficiente un sistema di disinserimento automatico in funzione dell'illuminazione esterna. Anche a cielo coperto il livello naturale permette di garantire l'illuminazione del locale: l'illuminazione artificiale è utilizzata soltanto all'inizio ed alla fine della giornata.

Nei locali con un livello d'illuminazione naturale debole, l'illuminazione artificiale deve sempre assumere una funzione di complemento: soltanto un dosaggio preciso di questo «sostegno» (regolazione continua) può contribuire ad un risparmio d'energia.

Il problema fondamentale è costituito dal fatto che oggi manca l'esperienza concernente l'efficienza reale di tali sistemi di regolazione. È necessaria una valutazione migliore delle realizzazioni esistenti ben progettate e funzionanti.

### Risparmio energetico

Qui di seguito elenchiamo alcune regole fondamentali che occorre rispettare nel caso di un'utilizzazione intensiva dell'illuminazione naturale e che permettono di risparmiare energia:

- **l'illuminazione naturale deve essere sufficiente.**
- **È necessario ottimizzare la superficie delle finestre.**  
Trattandosi di un punto debole dell'involucro di un edificio, la diminuzione della sua superficie permette, d'inverno, un consumo minore di calore; d'estate causa invece un surriscaldamento minore oppure un minor consumo dell'energia che sarebbe utilizzata per il raffreddamento dei locali.



– **L'illuminazione naturale deve essere uniforme.**

Tutte le zone utilizzate di un locale devono poter disporre di una buona illuminazione naturale. Questa uniformità eviterà un'utilizzazione eccessiva dell'illuminazione artificiale per compensare un'eventuale mancanza di uniformità o un livello di densità luminosa troppo debole nelle zone sfavorite.

– **L'abbagliamento dovuto alle finestre deve essere controllato.**

Le situazioni di mancanza di comfort visivo causano l'utilizzazione delle protezioni contro il sole, nonché un impiego eccessivo dell'illuminazione artificiale.

– **Un locale deve reagire alle variazioni della densità luminosa esterna.**

Non si può pretendere dall'utente un azionamento frequente delle protezioni contro il sole.

Rammentiamo infine che la percentuale di utilizzazione dell'illuminazione artificiale dipende in larga misura dal fattore di luce diurna. Il passaggio da un fattore di 1% ad un fattore di 2% riduce la durata annua d'inserimento dell'illuminazione artificiale dal 60 al 38%, permettendo di realizzare un risparmio energetico di circa 40%.

Dal profilo del risparmio energetico è più importante aumentare il livello dell'illuminazione naturale delle zone poco illuminate (ad esempio il fondo di un locale) che non quello delle zone già fortemente illuminate (facciate). Il risparmio energetico dipende maggiormente da una buona uniformità dell'illuminazione naturale che non da un aumento generale del livello della densità luminosa.

Un risanamento o un miglioramento del consumo d'energia di un impianto d'illuminazione artificiale presuppone, in quasi tutti i casi, la sostituzione di tale impianto; il rapido invecchiamento dei corpi illuminanti e lo sviluppo accelerato della tecnologia dell'illuminazione non sono argomenti a favore di un investimento effettuato per un rinnovamento parziale di un impianto che esista da oltre dieci anni.

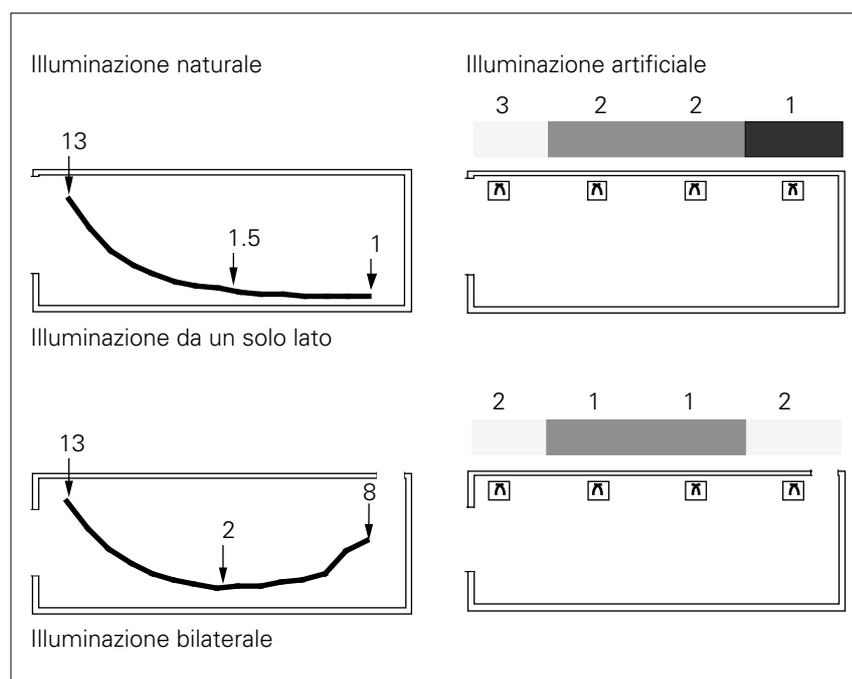


Figura 5.14: ripartizione in gruppi dei comandi dei corpi illuminanti in funzione dell'illuminazione naturale. Le cifre sulla parte sinistra del diagramma rappresentano il fattore di luce diurna, mentre quelle sulla parte destra raffigurano l'ordine d'inserimento dei corpi illuminanti [24]

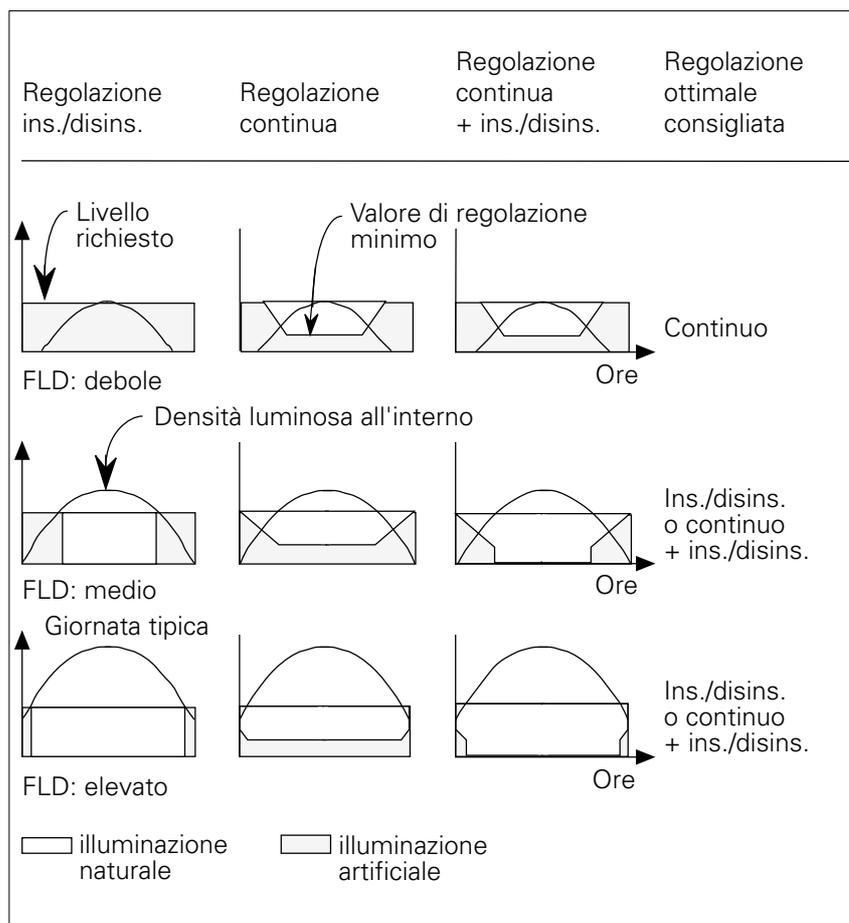


Figura 5.15: regolazione ottimale in funzione dell'illuminazione naturale e del tipo di locale (fattore di luce diurna) [25]



## 6. Strategia del progetto d'illuminazione

<b>6.1 In generale</b>	<b>91</b>
<b>6.2 Dati fondamentali del progetto</b>	<b>92</b>
■ Per chi viene allestito il progetto?	92
■ Illuminazione naturale	92
■ Illuminazione artificiale	92
■ Qual è il punto di vista del committente rispetto al problema energetico?	93
■ Riduzione dei costi d'esercizio	93
■ Miglioramento del prestigio	94
■ Durata di vita dell'edificio	94
■ Ubicazione e messa in opera dell'edificio	94
<b>6.3 Utilizzazione dell'edificio</b>	<b>96</b>
■ Qual è il fabbisogno d'illuminazione	96
■ Livelli di densità luminosa	96
■ Oscuramento	96
■ Sensibilità degli oggetti alla luce	97
■ Uniformità delle densità luminose	97
■ Quali utenti?	98
■ Quale durata d'utilizzazione?	98
■ Quali periodi di funzionamento?	99
■ Quale mobilio, quali equipaggiamenti?	100
■ Quale flessibilità?	100
<b>6.4 Costi</b>	<b>101</b>
■ Quali investimenti?	101
■ Illuminazione naturale	101
■ Illuminazione artificiale	101
■ Illuminazione e colore	101
■ Quali costi di funzionamento?	101
■ Quali possibilità di riutilizzazione dell'edificio?	103
<b>Vista d'insieme dei criteri decisionali concernenti un progetto d'illuminazione</b>	<b>104</b>





## 6. Strategia del progetto d'illuminazione

### 6.1 In generale

Il presente capitolo non ha la pretesa di dare ai propri lettori la ricetta miracolosa, fornendo loro un metodo «infallibile» per realizzare un buon progetto d'illuminazione. Il suo obiettivo è invece quello d'indicare un certo numero di criteri decisionali, esaminando il loro coinvolgimento per quanto concerne l'illuminazione. La maggior parte di questi criteri riguarda il progetto architettonico nella sua totalità; essi sono quindi senza dubbio già familiari ai progettisti (cfr. figura 6.1).

È opportuno analizzare a fondo la domanda del cliente, allo scopo di essere perfettamente in chiaro sul margine di manovra di cui il progettista può disporre. Allo scopo di accelerare le decisioni, è necessario che il cliente spieghi in modo preciso i propri desideri per quanto concerne i punti seguenti.



## 6.2 Dati fondamentali del progetto

### ■ Per chi viene allestito il progetto?

Un edificio riflette spesso la «cultura» di chi lo abita. Anche il modo in cui viene illuminato riflette il modo di vivere proprio dell'utente.

### ■ Illuminazione naturale

L'utilizzazione della luce naturale esercita un influsso diretto sulla forma dell'edificio (orientamento, organizzazione). Essa implica spesso l'impiego di sistemi (utilizzo della luce, protezione contro il sole, ecc.) che hanno un impatto visivo importante sull'aspetto esterno dell'edificio. L'immagine di un edificio che si adegua e reagisce all'ambiente che lo circonda è un criterio di valutazione che deve poter essere sfruttato nel migliore dei modi nel contesto attuale (aumento della sensibilità per quanto concerne i problemi ambientali).

### ■ Illuminazione artificiale

#### – «Vita diurna»:

le gerarchie luminose create nell'edificio, il colore di luce disponibile, ma anche il modo secondo cui vengono gestite le accensioni, ecc. sono tutti elementi che caratterizzano un luogo creandone un'immagine intima legata al suo funzionamento. L'illuminazione artificiale può essere utilizzata come un «vettore» che riflette lo «stato d'animo» dell'edificio in questione.

#### – «Vita notturna»:

la luce è il primo elemento per la valorizzazione di un oggetto, di uno spazio o di una situazione. È importante percepire perfettamente tutte le possibilità di creare una specie di dialogo tra gli spazi interni, ma anche di mettere in risalto un edificio, rivelandolo al pubblico e facendolo, per così dire, dialogare con il proprio ambiente.



Figura 6.1:  
edificio illuminato dalla luce naturale  
(Gateway Two Building, Londra)



La valorizzazione notturna degli edifici non deve necessariamente essere legata ad uno spreco di luce. Sarà preferibile sottolineare in modo preciso alcuni elementi architettonici significativi, invece d'illuminare le facciate nel loro insieme.



Figura 6.2:  
valorizzazione notturna del palazzo federale, Berna

## ■ Qual è il punto di vista del committente rispetto al problema energetico?

Fino a qual punto il committente è spinto da un interesse per una politica di limitazione del consumo energetico nell'edificio?

È importante rammentare che allorché si persegue lo scopo di stabilizzare il consumo di elettricità, in Svizzera il potenziale più facile da utilizzare a breve scadenza risiede nel risparmio energetico.

In questo senso i risparmi energetici rappresentano la fonte principale di «energie rinnovabili».

## ■ Riduzione dei costi d'esercizio

I guadagni sul piano finanziario possono essere importanti giacché, in caso di certi rinnovamenti degli impianti d'illuminazione, gli investimenti necessari possono essere ammortizzati in un lasso di tempo inferiore ai cinque anni. Oltre tale limite l'operazione è redditizia poiché permette la realizzazione di utili.



## ■ Miglioramento del prestigio

Il miglioramento del prestigio occupa una buona posizione tra i benefici secondari procurati dagli sforzi fatti in vista di un'utilizzazione oculata e parsimoniosa dell'energia elettrica.

Oggi, infatti, i problemi concernenti la protezione dell'ambiente preoccupano chiunque: da ciò scaturisce la necessità di una gestione rigorosa dell'energia.

## ■ Durata di vita dell'edificio

La durata di vita di un edificio esercita un influsso diretto sulla complessità dei sistemi d'illuminazione che devono essere installati. Al momento in cui occorre decidere in merito ad una strategia concernente l'illuminazione è opportuno creare una certa chiarezza su alcuni punti importanti:

- il termine di rimborso degli investimenti effettuati non deve superare la durata di vita prevista degli impianti;
- l'utilizzazione dell'impianto non deve richiedere un periodo «di tirocinio» e di regolazione esagerato;
- la durata di vita dei materiali e dei sistemi utilizzati deve corrispondere a quella dell'edificio.

## ■ Ubicazione e messa in opera dell'edificio

L'ubicazione dell'edificio è determinante per la potenzialità della luce naturale. Occorre quindi raccogliere le informazioni seguenti:

### **clima**

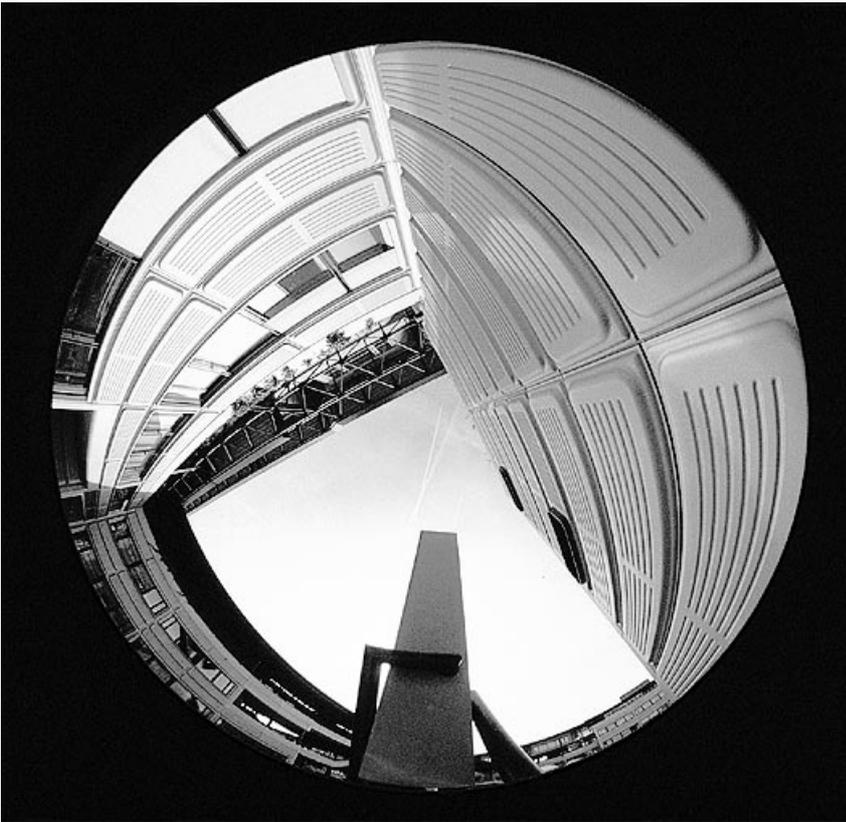
- numero delle ore d'insolazione;
- annuvolamento;
- limitazioni visuali causate dall'ambiente circostante;
- influsso sull'insolazione;
- influsso sulla visuale;
- eventuali superfici riflettenti (acqua, edifici, ecc.).

### **Disturbi dovuti all'ambiente**

- rumore (influsso sulle dimensioni dei vetri);
- inquinamento atmosferico (problemi di manutenzione).

### **Limitazioni legali**

Raccolta d'informazioni sulle limitazioni concernenti l'azzonamento (prescrizioni edilizie, diritti di terzi, ecc.).



*Figura 6.3:  
limitazione della visuale dovuta all'am-  
biente circostante (foto occhio di pesce)*



## 6.3 Utilizzazione dell'edificio

### ■ Qual è il fabbisogno d'illuminazione?

La conoscenza delle attività praticate in un edificio costituisce la base per la determinazione dei fabbisogni d'illuminazione dell'utente.

### ■ Livelli di densità luminosa

Ad ogni attività corrisponde un livello di densità luminosa «raccomandata». Per semplificare si distinguono quattro gamme di livelli di densità luminosa che dipendono strettamente dalla precisione del compito che deve essere effettuato:

- **lavori «materiali»** (orientamento, circolazione, immagazzinamento):  
> meno di 100 lux <
- **lavori usuali** (lettura, scrittura, lavoro ad uno schermo):  
> da 300 a 500 lux <
- **lavori delicati** (disegno, controllo di qualità):  
> da 500 a 1000 lux <
- **lavori molto delicati:** (pezzi di piccole dimensioni, controllo dei colori):  
> più di 1000 lux <

Per maggiori precisioni per quanto concerne queste raccomandazioni ci si potrà riferire alle direttive edite dall'Associazione svizzera degli elettrotecnici [26].

### Esempio: locale

Si possono distinguere tre tipi di attività che necessitano ognuna di un livello specifico di densità luminosa:

- lettura, scrittura, lavoro allo schermo (300-500 lux sul piano di lavoro).
- Riunioni, discussioni (300 lux).
- Sistemazione su scaffali (100 lux sul piano verticale).

È inutile dimensionare l'impianto d'illuminazione in funzione dell'attività più «golosa» d'illuminazione (fornire 500 lux su tutta la superficie del locale). Si può, ad esempio, prevedere di fornire un livello medio di 300 lux su una zona centrata sul piano di lavoro, accentuando l'illuminazione dello stesso piano in certi punti (illuminazione di un punto determinato). Gli scaffali di sistemazione situati nella periferia dei locali dispongono in tal modo della luce riflessa dalle diverse pareti del locale.

### ■ Oscuramento

A queste quattro gamme di livello di densità luminosa se ne può aggiungere una quinta che corrisponde all'oscuramento necessario per l'utilizzazione dei mezzi audiovisivi (proiezione di diapositive e lavagne luminose). In tali casi si raccomanderà una densità luminosa media inferiore a 20 lux.



Questa possibilità esercita un influsso sulla scelta del sistema di oscuramento da installare (possibilità di oscuramento totale), nonché sul tipo e sulla posizione dei comandi dell'impianto d'illuminazione artificiale.

## ■ Sensibilità degli oggetti alla luce

L'esposizione degli oggetti alla luce causa un degrado più o meno pronunciato dei colori, dei pigmenti e delle vernici (effetto fotochimico). I danni causati sono proporzionali alla quantità di luce ricevuta ed alla durata dell'esposizione. Questi effetti negativi non sono dovuti soltanto alle radiazioni ultraviolette, ma a tutto lo spettro della luce visibile.

Occorre tener conto di tale fenomeno ogni volta che si «espongono» oggetti alla luce, sia a scopi commerciali, sia nei musei [27].

## ■ Uniformità delle densità luminose

La differenza dei livelli di densità luminosa in un locale è spesso sentita come un elemento dinamizzante. La presenza di squilibri luminosi permette infatti di sottolineare certi tratti architettonici, di creare spazi privilegiati, rendendoli più attraenti.

Gli interessi legati ai risparmi energetici mirano agli stessi obiettivi.



*Figura 6.4:  
densità luminosa caratteristica di un museo delle belle arti del XIX secolo (Copenaghen, Danimarca)*



## ■ Quali utenti?

Le pretese degli utenti esercitano un influsso determinante sulla funzione e sull'equipaggiamento di un luogo.

### **Età degli utenti**

Questa grandezza esercita un influsso diretto sui livelli di densità luminosa necessari. Si sa, ad esempio, che con l'aumento dell'età dell'osservatore aumentano anche i suoi fabbisogni di luce. Per quanto concerne i bambini, saranno parimenti necessari livelli elevati di densità luminosa ed un ottimo indice di resa del colore (lotta contro la mancanza di rendimento scolastico).

### **Utenti permanenti**

Un utente permanente è in grado di sviluppare un certo numero di abitudini che tendono a razionalizzare il suo ambiente. È capace, ad esempio, d'imparare il funzionamento di un sistema d'illuminazione, utilizzandolo nel migliore dei modi.

Nei locali destinati ad utenti «fissi» potranno quindi essere previsti sistemi di comando manuali, fornendo tuttavia un'informazione specifica sull'uso ottimale di tali comandi.

### **Utenti occasionali**

Un utente occasionale non può permettersi, al contrario, di dedicare tempo a studiare il funzionamento del proprio ambiente. Non si può quindi pretendere che egli intervenga per regolare l'illuminazione.

Nei locali destinati ad accogliere utenti diversi sarà quindi opportuno rendere automatico il controllo dell'illuminazione.

## ■ Quale durata d'utilizzazione?

La maggior parte dei disturbi visivi, legati allo svolgimento di un compito, dipendono dalla durata di quest'ultimo.

Certi ambienti luminosi sono infatti percepiti, di primo acchito, come molto gradevoli, mentre nel corso della giornata lavorativa si rivelano difficili da sopportare. In un locale determinato sarà quindi opportuno adattare la qualità e la quantità di luce disponibili alla durata d'utilizzazione della stessa da parte dei medesimi utenti.

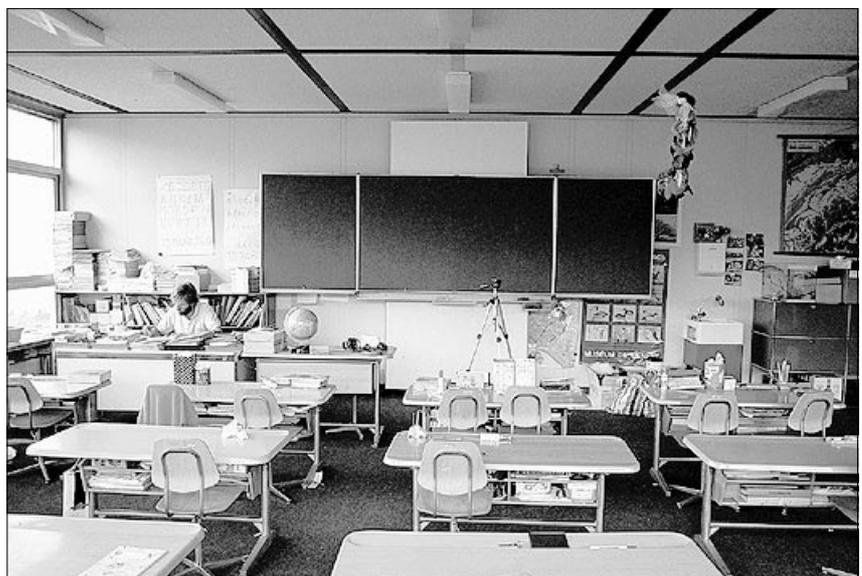


Figura 6.5:  
aula scolastica illuminata dalla luce naturale (Collège des Pâles, Pully)



### **Esempio: locale con una fotocopiatrice in self-service**

L'utilizzazione di tale locale può senz'altro essere costante durante tutto il giorno (succedersi di utenti).

Ognuno degli utenti, salvo eccezioni, rimane tuttavia raramente più di un quarto d'ora in un simile locale. Se d'altronde questi utenti godono di buone condizioni d'illuminazione naturale nei loro uffici rispettivi, si potrà ad esempio ammettere che abbiano un bisogno minimo di luce naturale quando si recano nel locale per usare la fotocopiatrice.

## **Quali periodi di funzionamento?**

La conoscenza dei periodi di funzionamento di un edificio è determinante per quanto concerne la strategia da mettere in atto nel settore dell'illuminazione.

### **Orari**

#### **Esempio: una scuola**

Il dimensionamento di un impianto d'illuminazione può essere stabilito in funzione degli orari delle lezioni, ossia tenendo conto del fatto che prima delle 8 del mattino e dopo le 17, ad esempio, nell'edificio non vi sono scolari. Questo periodo permette di prevedere un apporto sostanziale di luce naturale per quanto concerne l'illuminazione «standard» (coincidenza con la durata del giorno).

Ciò non significa, tuttavia, che l'edificio non sia occupato al di fuori di tali orari (riunioni degli insegnanti, riunioni amministrative, assemblee dei genitori, presenza del personale addetto alla manutenzione, ecc.).

È tuttavia possibile considerare tale presenza come «marginale». Se si stabilisce una gerarchia dei fabbisogni d'illuminazione si parlerà di fabbisogni «secondari». Al momento dell'istallazione degli impianti che devono soddisfare questi fabbisogni occorrerà tener conto di questo fatto. È infatti inutile prevedere un impianto estremamente «s sofisticato» qualora debba funzionare soltanto una o due ore al giorno. In tal caso si arrischia di trovarsi confrontati con tempi assolutamente sproporzionati di rimborso degli investimenti.

### **Stagioni**

I periodi delle vacanze scolastiche corrispondono parimenti, in una scuola, ad una mancata occupazione dei locali. Durante tale periodo sarà opportuno accertarsi che l'edificio «lasciato in balia di se stesso» possa funzionare senza danni (surriscaldamenti), pur tenendo conto del fatto che durante questo periodo la nozione di comfort viene trascurata.



## ■ Quale mobilio, quali equipaggiamenti?

La presenza di equipaggiamenti specifici nell'edificio esercita un influsso sulla gestione dell'illuminazione.

### **Presenza di mobilio**

Il tipo di mobilio, nonché il modo in cui esso è disposto possono esercitare un grande influsso sulla distribuzione della luce.

Gli scaffali di una biblioteca, ad esempio, a dipendenza dal fatto che siano disposti perpendicolarmente oppure parallelamente alle aperture poste sulle facciate, permetteranno la penetrazione della luce in profondità nel locale oppure, al contrario, si comporteranno come una vera e propria barriera fisica che impedisce il passaggio della luce.

### **Presenza di macchine**

Certi equipaggiamenti o certe macchine non possono essere esposti direttamente all'irradiazione solare, sia per motivi termici (ad esempio unità di produzione di freddo nelle grandi superfici di vendita), sia per motivi di comfort visivo (macchine utensili: problemi di abbagliamento dovuti ai riflessi sulle parti metalliche che possono causare infortuni sul lavoro).

È inoltre importante tener conto dell'eventuale sporcizia interna causata dalle macchine, per potere calcolare le sue ripercussioni per quanto concerne la sporcizia o il degrado dei sistemi d'illuminazione.

## ■ Quale flessibilità?

È importante stabilire lo sviluppo nel tempo dell'utilizzazione di un edificio e, di conseguenza, della sua flessibilità.

### **Luce naturale**

In occasione di una riorganizzazione interna è possibile che si sia costretti a spostare una parete divisoria in modo da sistemarla nel posto in cui si trova un'apertura. Il collegamento della parete avverrà quindi preferibilmente nel settore di un elemento di falegnameria esistente, allo scopo di non «tagliare» un vetro in due. È perciò importante che la suddivisione delle finestre venga eseguita in modo da poter realizzare lo spostamento di una parete in tempi successivi.

Per poter sfruttare in modo ottimale la luce naturale anche in profondità dovrebbe essere evitata in qualsiasi caso una sistemazione degli elementi di una parete divisoria parallelamente ad una finestra.

### **Luce artificiale**

Allo stesso modo, per la sistemazione dei corpi illuminanti occorrerà tener conto delle eventuali suddivisioni che potranno essere effettuate in futuro, allo scopo di renderle più semplici. Ciò concerne anche l'orientamento dei corpi illuminanti (paralleli alle finestre), nonché i loro comandi d'inserimento (creazione di zone).



## 6.4 Costi

### ■ Quali investimenti?

Occorre per principio rammentare che un edificio ben illuminato non deve automaticamente essere anche un edificio costoso.

### ■ Illuminazione naturale

La maggior parte dei problemi creati dal controllo della luce naturale possono essere risolti con procedimenti ed elementi costruttivi usuali.

### ■ Illuminazione artificiale

Un impianto d'illuminazione artificiale efficiente si basa soprattutto sulla scelta adeguata del materiale, nonché sul modo in cui lo stesso è utilizzato.

A questo proposito s'insisterà sul fatto che, quanto più tempestivamente verranno trattati i problemi d'illuminazione nelle fasi di progettazione, tanto più facilmente le soluzioni scelte potranno integrarsi nell'ambito di una concezione globale. Ciò persegue lo scopo di una riduzione dei costi iniziali mediante una razionalizzazione del progetto.

### ■ Illuminazione e calore

È per principio difficile fare una distinzione netta tra illuminazione e calore. Gli investimenti effettuati per una gestione ottimale dell'illuminazione avranno infatti importanti ripercussioni sul comportamento termico dell'edificio.

I costi dell'installazione di protezioni contro il sole possono, ad esempio, essere compensati da un risparmio sostanziale dovuto all'assenza di un impianto di condizionamento.

### ■ Quali costi di funzionamento?

Come in molti altri settori l'investimento effettuato all'inizio in un edificio deve poter essere compensato da una diminuzione dei costi di funzionamento. Ciò concerne sia le spese di manutenzione dei sistemi d'illuminazione, sia le spese riguardanti il consumo d'energia.

#### **Illuminazione artificiale**

- Manutenzione dei corpi illuminanti:

il rendimento di un corpo illuminante diminuisce regolarmente con il trascorrere del tempo, segnatamente a causa del depositarsi della polvere (ciò vale in modo particolare nel caso dei sistemi d'illuminazione indiretta). La pulitura periodica dei corpi illuminanti costituisce quindi uno dei compiti che devono essere eseguiti.



Figura 6.6:  
impianto d'illuminazione artificiale otti-  
mizzato per quanto concerne l'energia

- Sostituzione delle sorgenti luminose:

una sorgente luminosa è caratterizzata dal suo prezzo d'acquisto, dalla sua efficienza luminosa (luce fornita in funzione del consumo energetico), nonché dalla sua durata di vita.

Tale durata di vita, che varia enormemente da una tecnologia all'altra, condiziona la frequenza delle operazioni di sostituzione delle lampade e causa differenze notevoli nelle spese per la mano d'opera. È importante tener conto del fatto che certe sorgenti luminose a basso consumo energetico (ad esempio tubi fluorescenti compatti) hanno una durata di vita maggiore delle sorgenti luminose convenzionali (lampade ad incandescenza). La diminuzione sostanziale dei costi dell'energia elettrica va quindi di pari passo, in questo caso, con una diminuzione dei costi di manutenzione.

### **Illuminazione naturale**

- Pulitura dei sistemi:

la maggior parte del controllo della luce naturale è garantito per mezzo di sistemi che riflettono e deviano la luce. Ciò presuppone la presenza di elementi specifici che presentano caratteristiche fotometriche precise (elevato fattore di riflessione, luminanza). Il rendimento di questi sistemi dipende in modo decisivo dal grado di sporcizia degli elementi. È quindi necessario prevedere la possibilità di poterli pulire facilmente.

- Durata di vita dei materiali:

un certo numero di materiali detti «nuovi» offrono prospettive attraenti per quanto concerne la loro possibilità di giocare con la luce (isolamento trasparente, film olografici, ecc.). Al momento attuale la durata di vita di tali materiali non è tuttavia ancora nota. Al loro posto sarà quindi preferibile utilizzare materiali più usuali la cui affidabilità è stata stabilita da lungo tempo (vetro, lamiera d'alluminio, ecc.).



– Azionamento dei sistemi:

certi sistemi di controllo della luce solare sono concepiti per essere totalmente passivi (sistemi fissi), mentre altri sono mobili e si adeguano a dipendenza dalla sorgente luminosa a disposizione. Tra questi due estremi esistono soluzioni intermedie che presentano tuttavia una «mobilità» ridotta. È il caso dei sistemi a due posizioni (inverno-estate). Essi richiedono due azionamenti all'anno, azionamenti che devono essere iscritti nella pianificazione dei servizi di manutenzione dell'edificio. Si darà generalmente la preferenza a questi tipi di dispositivi che sono caratterizzati da una grande affidabilità di funzionamento.

## ■ Quali possibilità di riutilizzazione dell'edificio?

Una gestione ottimizzata dell'illuminazione causa indirettamente una riduzione delle quantità di rifiuti speciali prodotti dall'edificio per tutta la sua durata di vita oppure al momento della sua demolizione.

Infatti la diminuzione dell'impiego dell'illuminazione artificiale deve sfociare in un «consumo» minore di lampade.

Per ogni lampada «risparmiata» in questo modo si evita il riciclaggio del gas racchiuso nel suo bulbo (ioduri metallici, sodio, vapori di mercurio). A questo proposito si può rammentare che esistono ditte specializzate che offrono da poco tempo un servizio efficiente nel settore della raccolta e del riciclaggio delle lampade usate.

Parimenti, ogni volta che sarà possibile evitare l'installazione di un'unità di condizionamento si eviterà, allo stesso tempo, il problema del riciclaggio del freon utilizzato.

Queste preoccupazioni finora considerate come «marginali» devono oggi essere integrate pienamente nella strategia globale del progetto d'illuminazione.



### Vista d'insieme dei criteri decisionali concernenti un progetto d'illuminazione

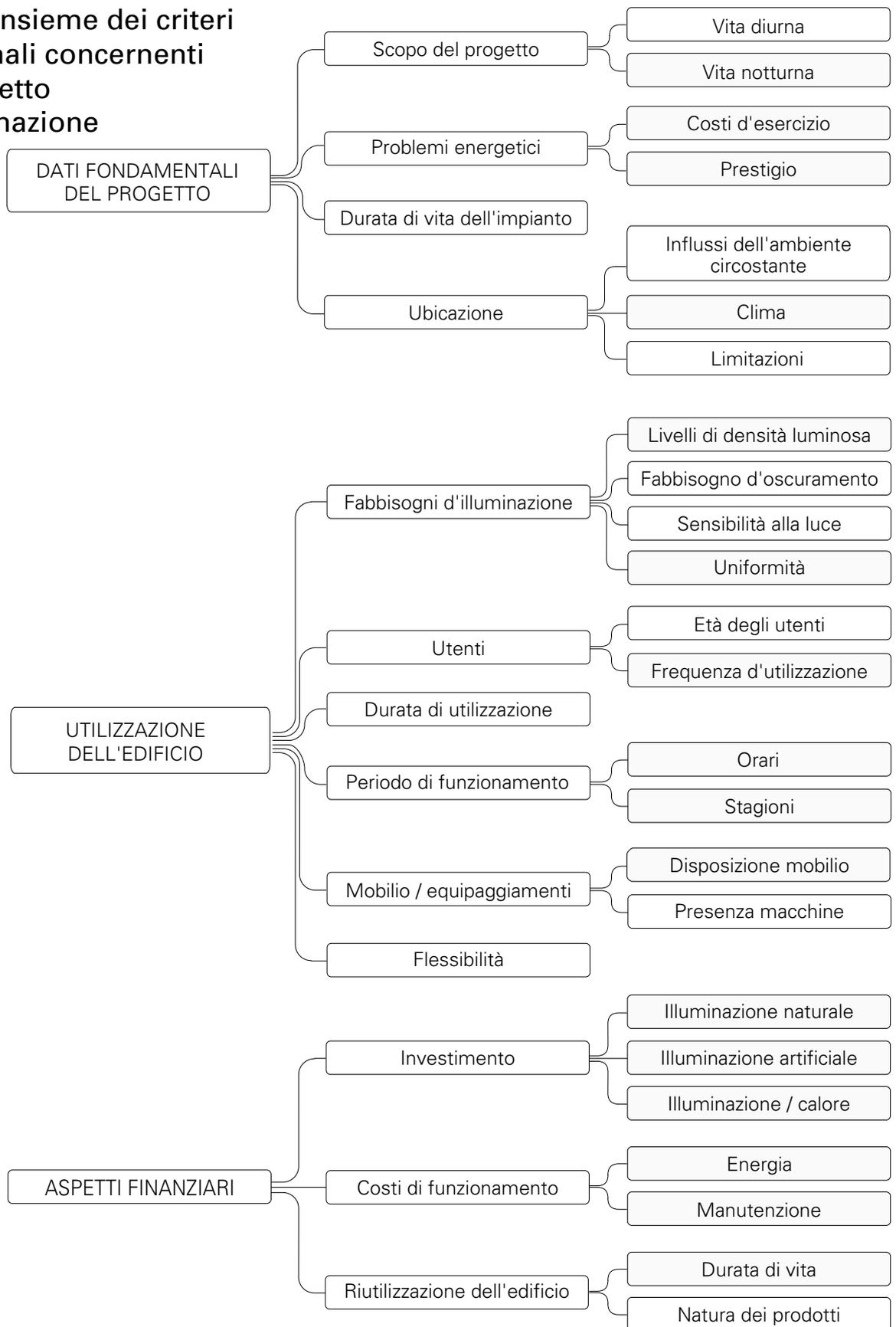


Figura 6.7: tabella sintetica dei criteri decisionali del progetto d'illuminazione

 Punti importanti sotto l'aspetto del risparmio energetico



## 7. Terminologia

La presente terminologia è destinata a spiegare i termini e le espressioni propri della fotometria che sono generalmente sconosciuti al profano. Il repertorio delle definizioni seguenti corrisponde ai termini in **grassetto** del manuale.

### ■ **Acuità visiva**

$$A [mn^{-1}]$$

Misura la capacità dell'occhio di distinguere gli oggetti di piccole dimensioni. L'acuità visiva non è altro che l'inverso della minore distanza angolare alla quale due oggetti possono ancora essere distinti (ad esempio punti o linee). L'acuità visiva si esprime generalmente in decimi; un'acuità visiva di 10/10 equivale a:  $A = 1 \text{ mn}^{-1}$ .

### ■ **Annuvolamento**

Grandezza che descrive la porzione del cielo coperta dalle nuvole. Essa viene espressa nella maggioranza dei casi in ottavi (numero compreso tra 1 e 8); un ottavo corrisponde a  $1/8$  di cielo.

### ■ **Campo visivo**

$$[deg]$$

Con questa espressione s'intende il settore angolare in cui un oggetto può essere percepito senza muovere la testa o gli occhi. Si distinguono i campi visivi monoculare e binoculare.

### ■ **Contrasto delle luminanze**

$$C [-], C = \frac{L-L_0}{L_0}$$

Si tratta della differenza tra la luminanza  $L$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] e la luminanza di riferimento  $L_0$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] divisa per la luminanza  $L_0$ .

### ■ **Curva di sensibilità spettrale**

$$V (\lambda)$$

Curva proporzionale alla sensibilità alla luce provocata da raggi di lunghezza d'onda differenti ma dalla stessa potenza. Il massimo di questa curva ( $\lambda_{\text{max}} = 555 \text{ nm}$ ) corrisponde al colore giallo verde che è quello che l'occhio umano percepisce nel modo migliore.

### ■ **Densità luminosa**

$$E [lx], E = \frac{d\phi}{dA}$$

Flusso luminoso  $d\phi$  [ $\text{lm}$ ] ricevuto per unità di superficie  $dA$  [ $\text{m}^2$ ]. La densità luminosa viene misurata in lux.

### ■ **Efficienza luminosa**

$$\eta [-], \eta = \frac{\phi}{\phi_e}$$

Quoziente tra il flusso luminoso  $\phi$  [ $\text{lm}$ ], proprio di una radiazione elettromagnetica, ed il flusso energetico  $\phi_e$  [ $\text{W}$ ] della stessa radiazione. Nel caso di una sorgente luminosa si sostituisce il flusso energetico con la potenza elettrica consumata.



## ■ Ergorama

Settore del campo visivo in cui è percepita la forma degli oggetti. L'ergorama copre un campo di  $2 \times 30^\circ$ , centrato attorno all'asse visivo.

## ■ Fattore di luce diurna

$$D [\%], D = \frac{E_i}{E_a}$$

Quoziente tra la densità luminosa  $E_i$  [lx] dovuta alla luce naturale in un punto di un locale e la densità luminosa orizzontale esterna simultanea  $E_a$  [lx]. Il fattore di luce diurna viene generalmente espresso in percentuale.

## ■ Fattore di riflessione

$$\rho [-], \rho = \frac{\phi_r}{\phi_i}$$

Quoziente tra il flusso luminoso  $\phi_r$  [lm], riflesso da un materiale ed il flusso incidente  $\phi_i$  [lm]. Si fa una distinzione tra il fattore di riflessione speculare (parte della luce riflessa in modo speculare) ed il fattore di riflessione diffusa (parte della luce riflessa in modo diffuso).

## ■ Fattore di trasmissione

$$[-], \tau = \frac{\phi_t}{\phi_i}$$

Quoziente tra il flusso luminoso  $\phi_t$  [lm] trasmesso da un materiale ed il flusso incidente  $\phi_i$  [lm]. Si fa una distinzione tra il fattore di trasmissione regolare (parte della luce trasmessa regolarmente) ed il fattore di trasmissione diffusa (parte della luce trasmessa in modo diffuso).

## ■ Fattore di utilizzazione

$$Fu [-], Fu = \frac{\phi_r}{\phi_s}$$

Quoziente tra il flusso luminoso  $\phi_r$  [lm], ricevuto da una superficie di riferimento (superficie di lavoro) e la somma dei flussi emessi dall'insieme delle sorgenti luminose  $\phi_s = \sum \phi_s$ .

Il fattore di utilizzazione è il prodotto del rendimento dei corpi illuminanti e del rendimento delle superfici illuminate ( $Fu = \eta_l \cdot \eta_R$ )

## ■ Flusso luminoso $\phi$ [lm], $\phi = 683 \cdot \int V(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda) \cdot d\lambda$

Quantità di luce emessa per unità di tempo. Il flusso luminoso  $\phi$ , caratteristico di una radiazione elettromagnetica, è legato al flusso energetico  $\phi_e$  [W] proprio della stessa radiazione per il tramite della curva di sensibilità spettrale dell'occhio  $V(\lambda)$ . Il flusso luminoso viene espresso in lumen.

## ■ Fovea

Regione della retina caratterizzata da una sensibilità massima alla luce. La fovea corrisponde al campo visivo centrale.

## ■ Indice d'apertura

$$i_0 [\%]$$

Quoziente tra la superficie totale d'apertura di un locale (comprese le intelaiature) e la superficie del pavimento.



## ■ Indice del vetro

 $i_v$  [%]

Quoziente tra la superficie netta del vetro di un locale (intelaiatura non compresa) e la superficie del pavimento.

## ■ Indice di resa del colore

 $Ra[-]$ 

Grandezza che indica la capacità di una sorgente luminosa artificiale di «rendere» i colori nello stesso modo di una sorgente luminosa di riferimento. Fino ad una temperatura di 5000 K la sorgente di riferimento non è nient'altro che il corpo nero, mentre oltre a questo valore la fonte di riferimento è la luce naturale. L'indice di resa del colore è compreso tra 0 e 100; il valore corrispondente alla sorgente di riferimento è di 100.

## ■ Intensità luminosa

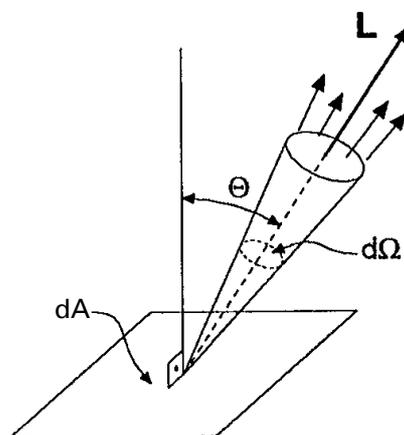
$$I \text{ [cd]}, I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

Flusso luminoso  $d\phi$  [lm], emesso da una sorgente luminosa, per l'unità d'angolo solido  $d\Omega$  [sr] in una determinata direzione. L'intensità luminosa è misurata in candele.

## ■ Luminanza

$$L \left[ \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right], L = \frac{d\phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta}$$

Quoziente tra il flusso luminoso  $d\phi$  [lm] emesso o riflesso per unità di superficie  $dA$  [m<sup>2</sup>] da un materiale, in una direzione definita da un cono elementare, ed il prodotto dell'elemento d'angolo solido  $d\Omega$  [sr] corrispondente e della superficie apparente dell'elemento di superficie  $dA$ .



La luminanza è definita in un punto della superficie di una sorgente luminosa o di un materiale e per una direzione data. Essa viene espressa in candele/m<sup>2</sup>.

## ■ Panorama

Settore del campo visivo in cui si percepisce solo il movimento degli oggetti. Il panorama copre un campo di 2 x 60° centrato attorno all'asse visivo.



■ **Rendimento delle superfici illuminate**

$$U [-], U = \frac{\phi_r}{\phi_L}$$

Quoziente tra il flusso luminoso  $\phi_r$  [lm] ricevuto dalla superficie di riferimento (superficie di lavoro) e la somma dei flussi emessi dall'insieme dei corpi illuminanti  $\phi_L = \sum_i \phi_i$

■ **Rendimento di un corpo illuminante**

$$\eta_l [-], \eta_l = \frac{\phi_l}{\phi_s}$$

Quoziente tra il flusso luminoso  $\phi_l$  [lm] emesso da un corpo illuminante ed il flusso  $\phi_s$  [lm] emesso dalla sorgente luminosa.

■ **Spettro visibile**

Settore della radiazione elettromagnetica denominata come luce e che provoca una sensazione visiva. Le lunghezze d'onda comprese tra 380 e 700 nm fanno parte dello spettro visibile.

■ **Temperatura del colore**

$$T_c [K]$$

Temperatura assoluta di un corpo nero che emette una radiazione della stessa caratteristica cromatica di quello considerato. La temperatura del colore è espressa in Kelvin; il sole emette una radiazione di una temperatura del colore di 5700 K.



## 8. Bibliografia

- [1] **«IES Lighting Handbook, Application and Reference Volume»**  
Illuminating Engineering Society of North America  
New York, 1984
- [2] D. Falk et al.  
**«Seeing the Light: Optics in Nature, Photography, Color,  
Vision and Holography»**  
J. Wiley, New York, 1985
- [3] **«Handbuch für Beleuchtung»**  
LiTG-SLG-LTAG, ecomed-Fachverlag, Landsberg, 1992
- [4] **«Le Soleil, Chaleur et Lumière dans le bâtiment»**  
EPFL-ITB /LESO-PB, SIA D 056, 1990
- [5] **«Sunlighting as Formgiver in Architecture»**  
William M.C. Lam, VNR, New York, 1986
- [6] **«Concepts and Practice of Architectural Daylighting»**  
Fuller More, VNR, New York, 1985
- [7] **Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), Doc 040**
- [8] **«Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht»**  
Associazione svizzera degli elettrotecnici, norma svizzera ASE  
8911, 1989
- [9] **«IES Lighting Handbook»**  
Illuminating Engineering Society, New York, 1987
- [10] H. Rossotti  
**«Colour: Why the World isn't grey»**  
Princeton University Press, Princeton, 1983
- [11] **«La photométrie en éclairage»**  
Association Française de l'Eclairage, Paris, 1992
- [12] C. Weinmann  
**«SIA 380/4, Rapport Surfaces de vente»**  
Elektrowatt, 1991
- [13] T. Baumgartner, P. Chuard, B. Wick  
**«Energiegerechte Schulbauten, Handbuch für Planer»**  
SIA D090, 1992
- [14] Sorane SA  
**«Conception énergétique de la deuxième étape de l'EPF  
à Lausanne»**  
Résumé, 1985
- [15] H.P. Eicher, Pauli  
**«Elektroenergieverbrauch von Betriebseinrichtungen»**  
RAVEL Untersuchungsprojekt Nr. 32.51, 1992



- [16] H.P. Eicher, M. Stalder  
**«Interne Lasten und Ihre Auswirkungen für die passive Sonnenenergienutzung»**  
HBT-BEW, 1990
- [17] C. Erikson, J.B. Gax, N. Morel  
**«Influence de la fenêtre sur le bilan énergétique d'une construction»**  
IEA annex XII, EPFL, 1986
- [18] Institut Suisse du Verre dans le bâtiment  
**«Docuverre Vitrages réfléchissants et absorbants»**  
1981
- [19] E. Sälzer, U. Gothe  
**«Bauphysik-Taschenbuch»**  
1986
- [20] D. Aiulfi  
**«Etude de ventilation naturelle pour un concours d'architecture»**  
Sorane, Lausanne, 1991
- [21] C.A. Roulet, N. Kohler, P. Chuard  
**«Aération des bâtiments»**  
Programme d'impulsion, EPFL, 1989
- [22] M. Szerman  
**«Manuelle Tagslichtnutzung in Büroräumen»**  
CISBAT '91, EPFL, 1991
- [23] J.L. Scartezzini, F. Bottazzi, M. Nygard-Ferguson  
**«Application des méthodes stochastiques: dimensionnement et régulation»**  
EPFL, 1989
- [24] D. Chuard  
**«L'éclairage dans les écoles»**  
Utilisation rationnelle de l'énergie dans les écoles, à paraître en 1993
- [25] F. Moore  
**«Concepts and Practice of Architectural Daylighting»**  
1985
- [26] **Norme Suisse ASE 8912-2.1977**
- [27] **«Guide pour l'éclairage des musées, des collections particulières et des galeries d'art»**  
AFE, Editions LUX, Paris, 1991
- [28] **«Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires»**  
AFE, Editions LUX, Paris, 1991