



illuminazione

illuminazione degli uffici



■ **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:**

W. Lips, ergonomo, INSAI, Lucerna

J. Lausset, Ch. Perrottet SA, illuminotecnici

Ch. Perrottet, Ing.-Conseils SA, Epalinges

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:**

Baudocu, INSAI, CUEPE/UNIGE, LESO-PB/EPFL,

Régent, Ch. Perrottet Ing.-Conseils, Zumtöbel

■ **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 3-905251-14-0

Edizione originale: ISBN 3-905233-44-4

Copyright ©

Ufficio federale dei problemi congiunturali,
3003 Berna, gennaio 1994.

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. 724.329.2 i)

Form. 724.329.2 i 2.96 500 U30235



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 – 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 associazioni, 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. Scartezzini 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

1. Introduzione	7
2. Ergonomia visiva applicata al lavoro d'ufficio	11
2.1 Esigenze concernenti il lavoro allo schermo	13
2.2 Sistemazione del posto di lavoro munito di schermo	19
2.3 Esigenze concernenti le altre attività d'ufficio	24
3. Tecniche d'illuminazione naturale	25
3.1 Considerazioni generali	27
3.2 I materiali e la luce	29
3.3 Studio di alcuni sistemi di apertura	37
3.4 Strumenti utili per decidere	54
3.5 Esempio di realizzazione	63
4. Tecniche d'illuminazione artificiale	67
4.1 L'ufficio e le zone	69
4.2 Obiettivi dell'illuminazione artificiale	70
4.3 Criteri e parametri di un progetto d'illuminazione	72
4.4 Tipi d'illuminazione artificiale	73
4.5 Comando dell'illuminazione	88
4.6 Bilancio finale	90
4.7 Esempi di realizzazione	91
5. Valutazione globale del progetto d'illuminazione	101
5.1 Procedimento generale	103
5.2 Costi d'investimento	105
5.3 Costi d'esercizio	106
5.4 Risparmio energetico	108
6. Liste di controllo	113
6.1 Lista di controllo «illuminazione naturale»	113
6.2 Lista di controllo «illuminazione artificiale»	116
7. Bibliografia	119
Elenco delle pubblicazioni RAVEL	121



1. Introduzione

■ Perché questo manuale?

Il settore dei servizi (settore terziario) comprende un numero importante di attività diverse, note più generalmente con il nome di «lavoro d'ufficio (banche, assicurazioni, amministrazioni)». Da quest'ultimo dipende una percentuale importante del consumo di energia elettrica a livello nazionale (23.7% nel 1989), in aumento costante durante questi ultimi dieci anni (in media 2.3% all'anno).

Una percentuale notevole del consumo d'energia elettrica del settore terziario (banche, assicurazioni, amministrazioni) può essere attribuita all'illuminazione dei locali. In un determinato edificio, questa frazione, dipende soprattutto dal tipo di attività che vi si svolge: essa varia general-



Figura 1.1:
illuminazione diretta/indiretta mediante lampadari mobili e applique complementari in un locale adibito ad ufficio (gestione ed amministrazione)



mente dal 20% (ad esempio centro d'informatica) all'80% (biblioteca, libreria). Il costo elevato dell'energia elettrica costituisce uno dei motivi che deve incitarci a moderare ed a ridurre tale consumo. Ai nostri giorni vi si aggiungono necessità più impellenti come la tutela del nostro ambiente e la preservazione delle risorse energetiche.

Caratteristiche del progetto

Locale:	ufficio di vasta superficie
Utilizzazione:	gestione ed amministrazione (lavoro allo schermo)
Fotometria:	locale con vetri, profondità 5-12 m (classe 2 SIA 380/4), fattori di riflessione superiori ai valori limite (ρ soffitto = 0.7, ρ pareti = 0.5, ρ pavimento = 0.3)
Tipo d'illuminazione:	diretta/indiretta mediante lampadari mobili ed applique complementari
Densità luminosa:	400-600 lux sul posto di lavoro
Sorgenti luminose:	lampade a fluorescenza con stabilizzatori elettronici HF (1 x PL 24 W come applique, 2 x TL 55 W come lampadari)
Corpi illuminanti:	lampadari Trilux 3E
Comando:	mediante commutatore generale per l'illuminazione ambiente (applique PL 24 W e 1 lampada TL 55 W); mediante commutazione singola per l'illuminazione complementare (1 x TL 55 W per ogni posto di lavoro)
Potenza installata:	9.5 W/m ² (illuminazione del posto di lavoro ed illuminazione complementare)
Risparmi energetici:	fino al 60% di risparmi potenziali rispetto ad un impianto d'illuminazione indiretta convenzionale (lampade alogene)

Le nuove tecniche d'illuminazione (cfr. figura 1.1) permettono sia di adempiere i criteri usuali di valutazione di un progetto d'illuminazione (ergonomia ed estetica), sia di ridurre in modo considerevole il consumo d'energia elettrica dell'impianto rispetto ad un impianto convenzionale. L'esempio di realizzazione illustrato alla figura 1.1 fornisce un'idea di ciò che oggi deve costituire un nuovo obiettivo per i progettisti nel settore dell'illuminazione.

L'essenza del presente manuale è costituita dall'applicazione delle conoscenze che permettono di raggiungere questo obiettivo.



■ Qual è l'obiettivo del presente manuale?

Lo scopo del presente manuale è quello di fornire una panoramica dei metodi che permettono di ridurre il consumo d'energia elettrica degli impianti d'illuminazione degli uffici (settore terziario). Questi metodi coprono un ampio settore che comprende problemi d'ergonomia visiva (comfort visivo), di architettura (estetica) e d'energetica dell'edificio (consumo d'energia). Essi comprendono le tecniche d'illuminazione naturale (utilizzo intensivo della luce naturale), le tecniche d'illuminazione artificiale (sorgenti luminose e corpi illuminanti ad alto rendimento), nonché le soluzioni che permettono d'integrare in un progetto questi due aspetti dell'illuminazione (strumenti utili per decidere, comandi dell'illuminazione).

Il presente manuale intende essere sufficientemente pratico per permettere ai responsabili della costruzione (architetti, ingegneri consulenti, elettroinstallatori) di applicare queste nuove tecniche. Alcuni esempi di realizzazione permettono di visualizzare le diverse nozioni presentate, mentre liste di controllo allestite direttamente come strumenti operazionali per l'impiego pratico sono elencate alla fine del manuale.

Il documento serve quel supporto al corso di formazione continua nel settore del programma d'impulso RAVEL (sezione «Illuminazione degli uffici»). Esso completa un manuale di base («Principi d'illuminotecnica») che spiega le nozioni fondamentali dell'illuminazione interna degli edifici nell'ambito di un corso d'introduzione (sezione «Introduzione»). Sono disponibili due altre opere: esse concernono l'illuminazione nel settore industriale e quella delle superfici di vendita.



2. Ergonomia visiva applicata al lavoro d'ufficio

2.1	Esigenze concernenti il lavoro allo schermo	13
■	Contesto attuale	13
■	Caratteristiche del lavoro allo schermo	15
2.2	Sistemazione del posto di lavoro munito di schermo	19
■	Densità luminosa	19
■	Ripartizione delle luminanze	19
■	Luce naturale	20
■	Illuminazione artificiale	22
2.3	Esigenze concernenti le altre attività d'ufficio	24



2. Ergonomia visiva applicata al lavoro d'ufficio

L'ergonomia è la disciplina che si occupa delle condizioni psicofisiologiche del lavoro, nonché delle relazioni che intercorrono tra l'essere umano e la macchina.

Per quanto concerne il suo rapporto con i problemi d'illuminazione occorre rammentare che: «Il trattamento dei problemi concernenti l'illuminazione interna non deve basarsi soltanto sulle esigenze visive e sui fabbisogni concernenti la fisiologia del lavoro. La luce riveste anche un aspetto che si potrebbe qualificare come «igienico». Solo la combinazione armoniosa dei due aspetti quantitativo e qualitativo della luce è in grado di esercitare un effetto benefico sulla salute, che secondo l'OMS è definita non solo come un'assenza di malattia, ma anche come un benessere sia fisico, sia psichico e sociale (secondo HENTSCHEL, 1972)».

Da questa citazione, ancora molto attuale, si può dedurre che un procedimento ergonomico vero e proprio può essere soltanto globale ed interdisciplinare. Esso richiede, per così dire, l'integrazione di punti di vista spesso fondamentalmente diversi. L'importanza reale della luce, nell'ambito del lavoro d'ufficio, deve essere compresa mediante l'analisi sistematica dell'unità complessa costituita dal posto di lavoro.

2.1 Esigenze concernenti il lavoro allo schermo

■ Contesto attuale

Oggi sarebbe ben difficile immaginare la nostra vita quotidiana senza l'onnipresenza dei terminali muniti di schermi di visualizzazione (chiamati qui di seguito «schermi»). La loro penetrazione nei settori d'attività più diversi (amministrazioni, banche, telecomunicazioni, trasporti, ecc.) è stata semplicemente fulminea: nel 1975 in Svizzera esistevano 30000 schermi, mentre oggi se ne contano più di un milione [1].

Tali schermi sono generalmente destinati ad attività molto differenziate (cfr. figura 2.1). Le principali sono le seguenti:

- l'elaborazione dei testi e la contabilità;
- la fabbricazione gestita dal computer (CIM per «Computer Integrated Manufacturing»);
- il disegno assistito dal computer (CAD per «Computer Aided Design»).



Figura 2.1:
posti di lavoro muniti di schermi di
visualizzazione (elaborazione di testi)

In un certo senso lo schermo costituisce un dispositivo di visualizzazione d'informazioni (cfr. figura 2.2). Queste ultime vengono visualizzate per lo più su uno schermo catodico (CRT: Cathode Ray Tube) e, più recentemen-



Figura 2.2:
schermo

te, su uno schermo a cristalli liquidi. Lo schermo è collegato ad un computer. L'immissione d'informazioni (dati) viene generalmente eseguita mediante una tastiera (cfr. figura 2.2) oppure mediante uno mouse.



Tutto l'insieme fa parte del posto di lavoro, com'è il caso di un tavolo, di una sedia e di un portacarte (cfr. figura 2.1).

Può essere fatta una distinzione tra due tipi di attività allo schermo, a causa delle loro esigenze diverse:

- l'immissione dei dati;
- il lavoro di tipo interattivo.

Il riquadro seguente riassume le caratteristiche principali di questi due tipi d'attività.

Caratteristiche principali delle attività d'immissione dei dati e del lavoro di tipo interattivo

Immissione di dati

- Lavoro generalmente monotono che richiede una grande capacità di concentrazione.
- Posizioni del corpo e della testa rigide (ricorso all'apparato di sostegno).
- Sguardo per lo più fisso sul documento e solo di sfuggita verso lo schermo.
- Sforzo visivo dovuto soprattutto alla difficoltà di lettura dei documenti e ad un'eventuale luminanza del piano di lavoro.

Lavoro di tipo interattivo

- Lavoro vario che richiede grandi capacità di concentrazione, di assimilazione e di redazione.
- Tendenza più debole alle posizioni forzate.
- Sguardo generalmente fisso sullo schermo (immissione e lettura delle informazioni).
- Sforzo visivo dovuto soprattutto alla lettura dello schermo.

Caratteristiche del lavoro allo schermo

Il lavoro allo schermo si distingue dal lavoro d'ufficio tradizionale nei seguenti punti essenziali:

- l'informazione è generalmente visibile su un piano verticale (invece che su un piano orizzontale);
- i caratteri tipografici sono ancora molto spesso rappresentati in chiaro su sfondo scuro (cfr. figura 2.3);
- il campo visivo è limitato dalla posizione di lavoro seduta e dalla posizione fissa dello schermo;
- il flusso rapido delle informazioni, nonché gli inevitabili tempi d'attesa creano una sollecitazione considerevole del sistema nervoso centrale.

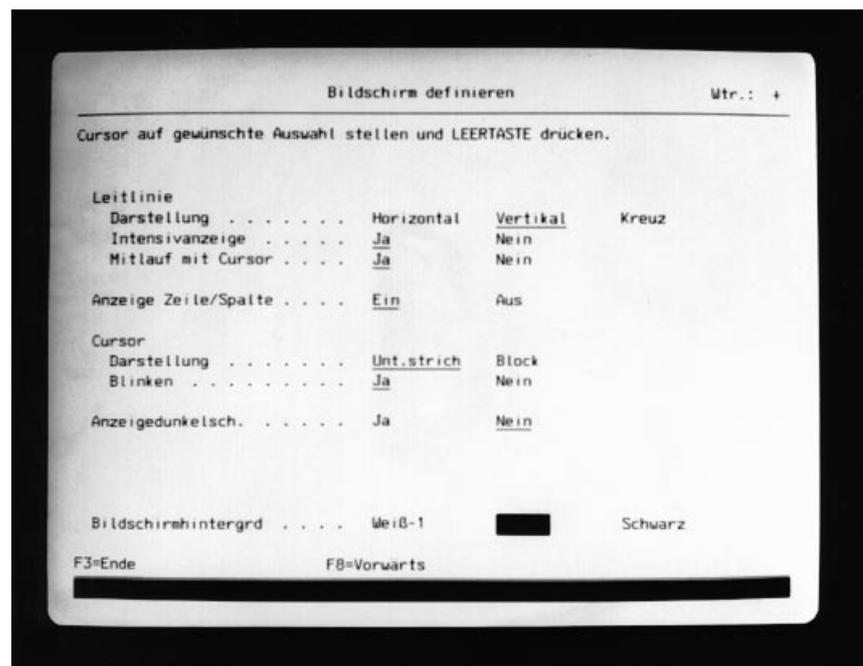
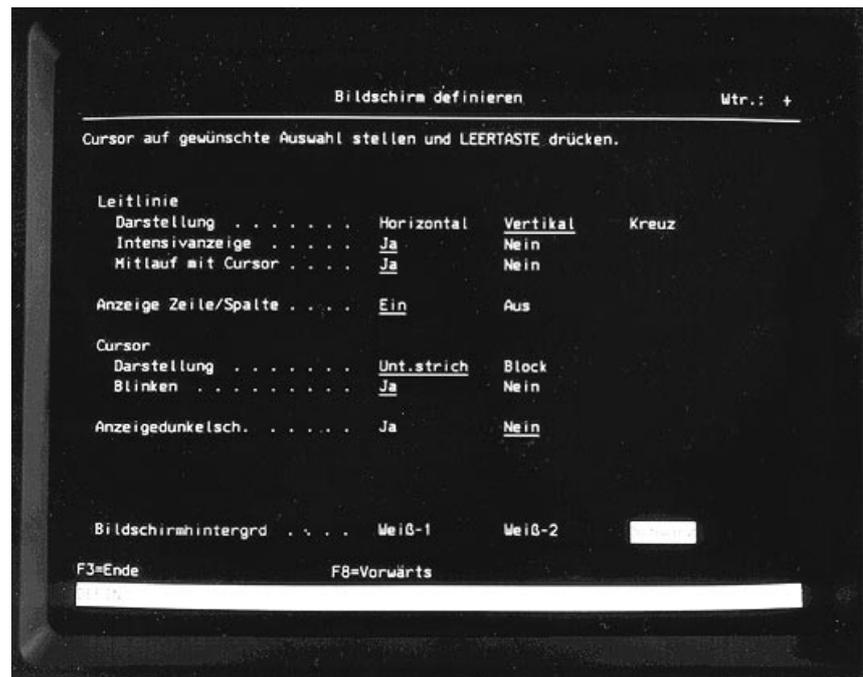


Figura 2.3:
 rappresentazione di caratteri tipografici
 sullo schermo. Contrasto normale (in
 basso) e contrasto invertito (in alto). Il
 contrasto invertito causa generalmente
 una sollecitazione visiva maggiore (ri-
 schio di riflessi, aumento dello sforzo
 d'adattamento visivo)

Senza dubbio l'organo della vista è quello che, nel suo assieme, è più fortemente sollecitato dal lavoro allo schermo. Diverse lamentele vengono generalmente mosse a questo proposito (mal di testa, bruciore agli occhi, lacrimazione, ecc.); esse non si distinguono fundamentalmente da quelle provocate da un lavoro d'ufficio convenzionale, ma sono più frequenti. Ciò si spiega in parte con lo sforzo intellettuale più elevato del lavoro allo schermo (diminuzione della soglia di tolleranza) oppure con difficoltà d'ordine psicologico dovute a nuove forme di lavoro e d'organizzazione (informatizzazione).



Alcuni disturbi visivi hanno tuttavia un'origine specifica e sono causati dal notevole sforzo visivo dovuto al lavoro allo schermo; i seguenti fattori ne sono i motivi principali:

- esigenze più elevate di accomodazione e di adattamento (le distanze e l'intensità luminosa variano continuamente);
- abbagliamento diretto ed indiretto (corpi illuminanti, riflessi sullo schermo);
- forma inadeguata di alcuni caratteri;
- nitidezza e contrasto dei caratteri insufficienti;
- sfarfallio dello schermo.

I progressi tecnici nel settore degli schermi di visualizzazione hanno permesso di controllare alcuni di questi fattori. La tabella seguente riassume, a questo proposito, le caratteristiche principali che gli schermi devono possedere dal punto di vista dell'ergonomia visiva.



Parametro	Configurazione ottimale	Effetto principale
Schermo		
Dimensioni	Adatte al posto di lavoro	Caratteri leggibili in tutta la zona di lavoro
Curvatura	Schermo più piatto possibile	Diminuzione dei riflessi provenienti da sorgenti luminose ambientali
Mobilità	Inclinabile ed orientabile, spostabile orizzontalmente e verticalmente	Posizione ottimale in funzione delle esigenze di lavoro
Involucro	Superfici opache di colore neutro	Minor luminanza dell'involucro in confronto a quella dello sfondo dello schermo e del documento
Superficie vetrata	Trattamento della superficie con filtri polarizzanti	Eliminazione dei riflessi senza attenuazione dei caratteri
Simboli		
Rappresentazione	Positiva (caratteri scuri su sfondo chiaro) con elevata frequenza di rinnovamento dell'immagine (90 Hz)	Riduzione dello sforzo d'adattamento visivo (rapporto di luminanza «schermo/documento» ridotto, assenza di sfarfallio)
Contrasto	Rapporto di luminanza «carattere/schermo» compreso tra 6 e 10 (luminanza dei caratteri: 100 cd/m ²)	Leggibilità soddisfacente, assenza di affaticamento della vista
Colore	Colori pastello chiari (schermo)	Riduzione dello sforzo visivo di accomodazione (nessun colore puro)
Dimensioni	Altezza minima dei caratteri: 3-4 mm (distanza di visione: 60-80 cm)	Lettura facile (dimensione angolare: 25°)
Proporzioni	Rapporto larghezza/altezza compreso tra 3 e 4 (spessore del tratto: 15% dell'altezza; spazio: 15-20%)	Leggibilità massima
Stabilità	Elevata frequenza di scansione, tempo di rimanenza adeguato	Assenza di sfarfallio

Figura 2.4:
caratteristiche tecniche ottimali degli
schermi di visualizzazione



2.2 Sistemazione del posto di lavoro munito di schermo

Tutti i componenti del posto di lavoro munito di uno schermo hanno un'importanza per quanto concerne l'ergonomia visiva. Occorre tuttavia distinguere i problemi collegati con l'illuminazione dei locali da quelli che dipendono dalla disposizione dello schermo rispetto al posto di lavoro. Questi diversi punti verranno trattati brevemente qui di seguito.

■ Densità luminosa

In un posto di lavoro munito di schermo possono essere eseguiti due compiti principali le cui esigenze per quanto concerne la densità luminosa sono opposte:

- leggere il documento e la tastiera (ciò richiede un'elevata densità luminosa orizzontale);
- prendere conoscenza dell'informazione visualizzata sullo schermo (ciò richiede una densità luminosa verticale minima per poter ottenere un massimo di contrasto tra i caratteri e lo schermo).

Le disposizioni ottimali per quanto concerne la densità luminosa sono, di conseguenza, le seguenti:

- densità luminosa orizzontale compresa tra 300 e 500 lux (luminanza del documento: 80-150 cd/m²);
- densità luminosa verticale compresa tra 100 e 200 lux (luminanza dei caratteri: 100 cd/m²).

Livelli di densità luminosa più elevati (fino a 1000 lux in orizzontale) sono ammissibili solo per brevi periodi.

■ Ripartizione delle luminanze

Valori di luminanza molto diversi gli uni dagli altri sollecitano molto il sistema visivo (meccanismo d'adattamento). È dunque auspicabile che il rapporto delle luminanze nella zona di lavoro (campo visivo) sia moderato [2, 4, 5, 6]:

- nell'ergorama (cfr. capitolo 2 «Principi d'illuminotecnica») non si deve superare il rapporto 1:3;
- nel panorama non si deve superare il rapporto 1:10;
- in tutto il locale il rapporto delle luminanze minime e massime deve essere inferiore a 1:40.

Questi criteri riguardano in modo particolare il rapporto di luminanza degli oggetti seguenti:

- lo schermo ed il documento;
- lo sfondo dello schermo ed il documento.

La figura 2.5 illustra due situazioni opposte per quanto concerne la distribuzione delle luminanze: la prima è soddisfacente, la seconda è inadeguata.



■ Luce naturale

Il livello di densità luminosa dovuto alla luce naturale è soggetto a variazioni importanti (oltre 20000 lux in vicinanza delle finestre). La luce naturale pone dunque un problema particolare per quanto concerne i posti di lavoro muniti di schermo.

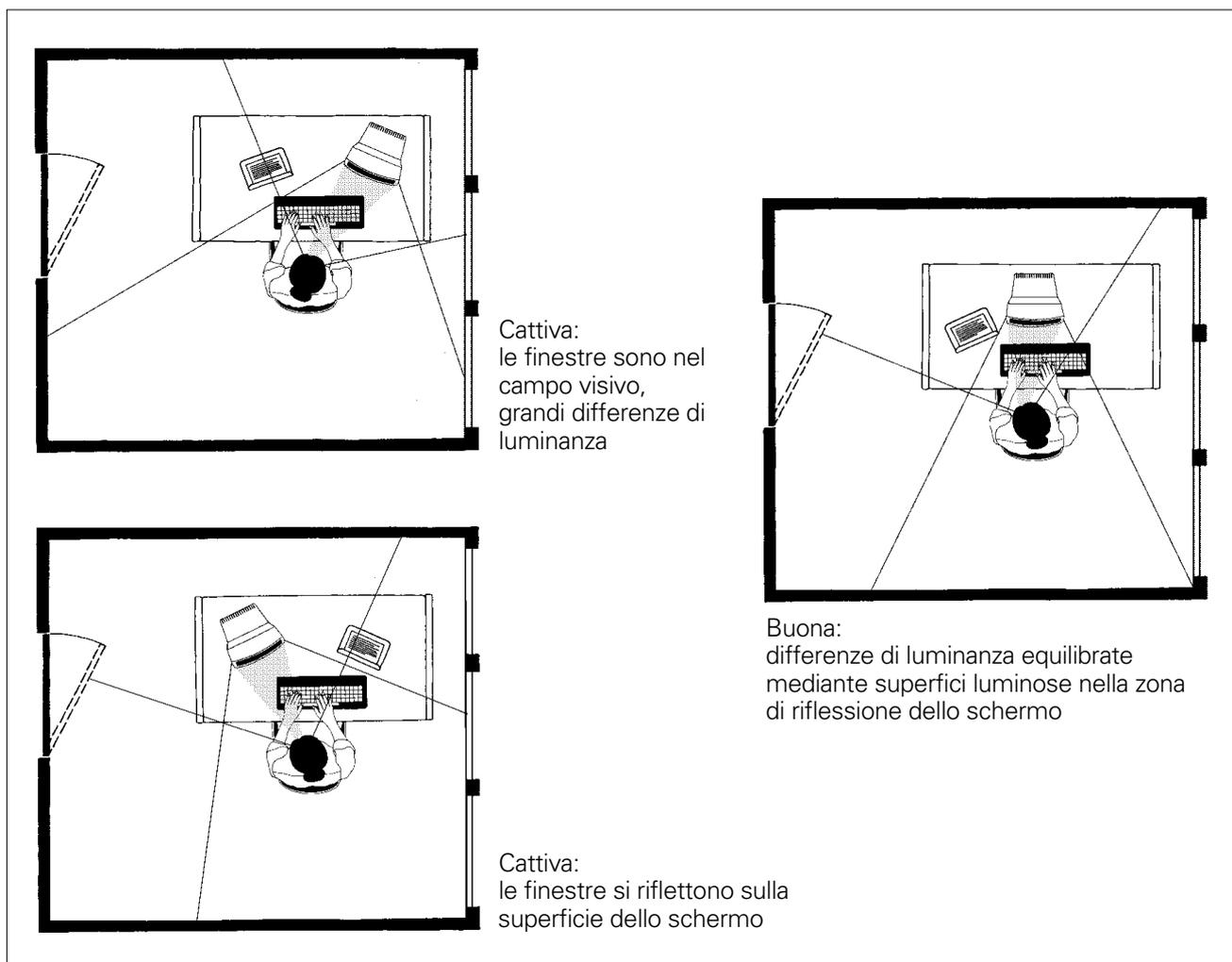
Occorre, di conseguenza, tener conto dei punti seguenti:

- nessuna finestra deve trovarsi davanti o dietro allo schermo;
- l'asse principale dello sguardo deve essere parallelo alle finestre;
- gli schermi devono essere sistemati nelle zone lontane dalle finestre;
- le finestre devono essere munite di protezioni contro il sole esterne, efficaci sotto l'aspetto del comfort termico e visivo (ad esempio avvolgibili);
- le finestre munite di protezioni esterne contro il sole insoddisfacenti devono essere provviste di tende interne (ad es. tendaggi per la protezione contro il sole);
- le tende interne devono essere di tessuto serrato, con tinte unite e chiare (tinte pastello).



Rapporto delle luminanze	Sinistra	Destra
Tra lo schermo ed il documento	1:3	1:50
Tra lo schermo e la scrivania	1:5	1:25
Tra lo schermo e lo sfondo	1:15	1:400

Figura 2.5: ripartizione corretta (a sinistra) ed errata (a destra) delle luminanze al posto di lavoro munito di schermo. I rapporti di luminanza corrispondenti sono riportati nella tabella



Cattiva:
le finestre sono nel campo visivo, grandi differenze di luminanza

Buona:
differenze di luminanza equilibrate mediante superfici luminose nella zona di riflessione dello schermo

Cattiva:
le finestre si riflettono sulla superficie dello schermo

Figura 2.6: disposizione dello schermo in un locale illuminato dalla luce naturale



■ Illuminazione artificiale

I corpi illuminanti devono essere disposti in modo da evitare il più possibile i riflessi sulla superficie dello schermo (cfr. figura 2.7).

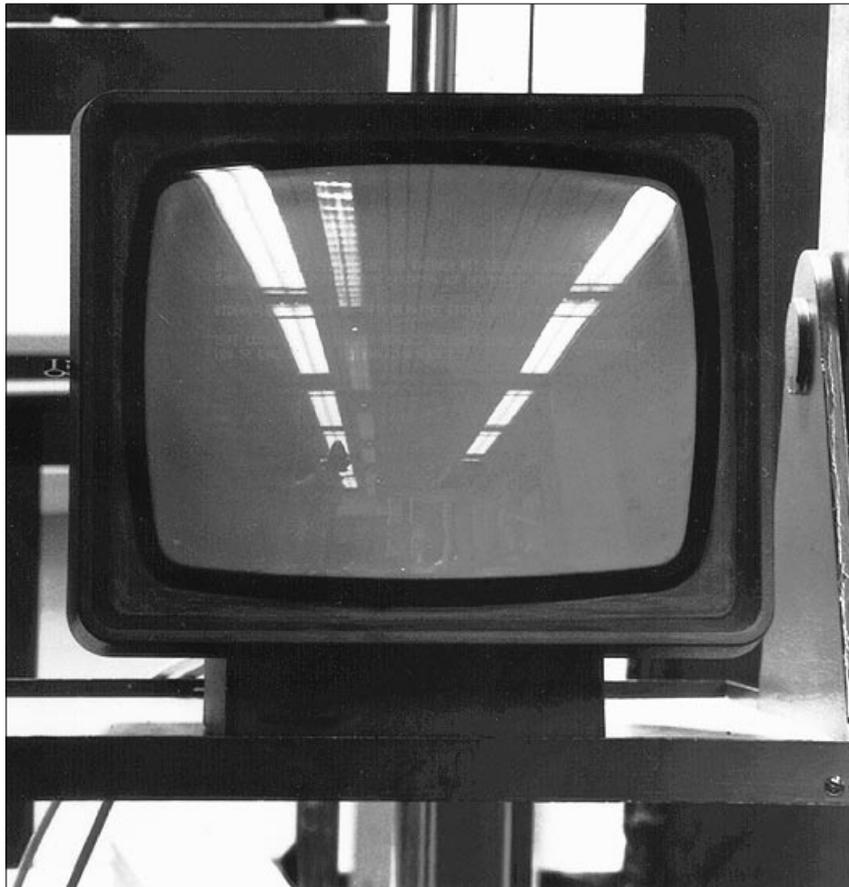


Figura 2.7:
riflessi di diversi corpi illuminanti su uno schermo

La scelta dei corpi illuminanti, nonché la loro disposizione permettono di raggiungere tale obiettivo. Le soluzioni concrete sono le seguenti:

- utilizzare corpi illuminanti muniti di griglie o di lamelle adeguate in caso d'illuminazione diretta (cfr. figura 2.8);
- sistemare i corpi illuminanti in file parallele alle finestre (cfr. figura 2.9);
- posare i corpi illuminanti secondo un angolo di almeno 30° al di sopra del livello degli occhi (luminanza apparente del corpo illuminante inferiore di 200 cd/m² per un utente in posizione di lavoro);
- utilizzare una strategia d'illuminazione indiretta (muri e soffitto di colore chiaro);
- utilizzare sorgenti luminose di colore «bianco neutro» oppure «bianco caldo».



Figura 2.8:
paragone tra un corpo illuminante speciale per posti di lavoro muniti di schermo (BAP, «dark light») ed un corpo illuminante convenzionale a griglia. La luminanza del secondo è eccessiva

La figura 2.9 illustra la configurazione ottimale di un sistema di finestre (protezione contro il sole, tenda interna), dell'illuminazione artificiale (file parallele alle finestre) e della disposizione dei posti di lavoro (asse principale dello sguardo parallelo alle finestre).

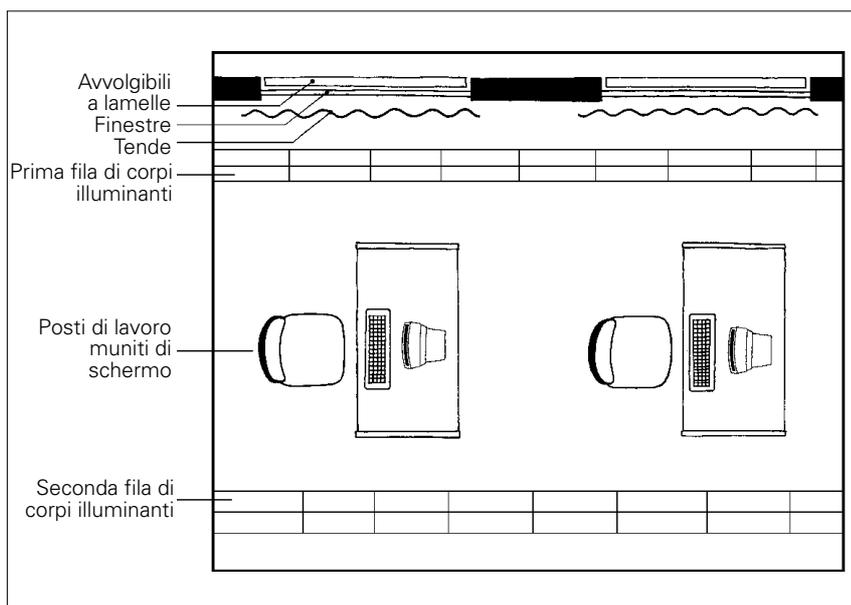


Figura 2.9:
configurazione ottimale dei posti di lavoro, del sistema di finestre e dell'illuminazione artificiale



2.3 Esigenze concernenti le altre attività d'ufficio

Le principali attività d'ufficio che non richiedono sempre l'utilizzazione di uno schermo sono le seguenti:

- la lettura e la scrittura;
- il disegno.

Le esigenze per quanto concerne l'illuminazione, proprie a queste attività, sono basate sulle considerazioni seguenti:

- queste attività vengono svolte su piani orizzontali (lettura, scrittura, disegno) oppure verticali (armadi, biblioteche, tavole da disegno);
- esse sono limitate ad un campo visivo ristretto (è possibile un'illuminazione specifica del posto di lavoro);
- i piani di lavoro orizzontali sono spesso alla stessa altezza (75 cm);
- il disegno sollecita in modo particolare il sistema visivo (dettagli di piccole dimensioni).

Su questa base è possibile formulare le raccomandazioni raggruppate nel riquadro seguente:

Raccomandazioni per le attività di lettura, di scrittura e di disegno

Densità luminose

Lavori d'ufficio usuali:	300-500 Lux (300 lux in caso di un forte apporto di luce naturale)
Disegno tecnico:	750 Lux

Luminanze

Pareti:	50-100 cd/m ²
Soffitto:	100-300 cd/m ²
Superficie di lavoro:	100-300 cd/m ²

Temperatura del colore

«Bianco caldo» oppure «bianco neutro»

Queste raccomandazioni possono essere applicate anche alle posizioni oblique della tavola di disegno. Occorre inoltre garantire:

- l'assenza di riflessi sul piano di lavoro (disposizione adeguata delle tavole di disegno rispetto ai corpi illuminanti ed alle finestre, superficie opaca);
- l'assenza di ombre pronunciate e fastidiose (dare la preferenza a corpi illuminanti di grandi dimensioni).

Le raccomandazioni che vengono applicate a queste attività d'ufficio, nonché ad altre, vengono diffuse e trattate regolarmente in pubblicazioni ufficiali [3].



3. Tecniche d'illuminazione naturale

3.1	Considerazioni generali	27
3.2	I materiali e la luce	29
■	Le vetrate	29
■	Materiali translucidi	32
■	I materiali da costruzione per pareti	34
3.3	Studio di alcuni sistemi di apertura	37
■	Indice di apertura	37
■	I serramenti	37
■	Le aperture sulle facciate	38
■	Le aperture sul tetto	45
■	Aperture orizzontali	45
■	Gli atri	49
■	Aperture verticali	50
■	I canali di luce	51
3.4	Strumenti utili per decidere	54
■	Abachi	54
■	Modelli su scala ridotta	54
■	Misurazioni	57
■	Misure all'esterno	57
■	Misurazioni sotto un cielo artificiale	59
■	Misurazioni con il simulatore di luce diretta	60
■	Programmi informatici	60
3.5	Esempio di realizzazione	63
■	Sistema di luce naturale Istituto di patologia, Università di Berna	63
■	Sistema di luce naturale Istituto di patologia, Università di Berna locale 174	64
■	Sistema di luce naturale Istituto di patologia, Università di Berna locale 576	65
■	Caratteristiche particolari	66



3. Tecniche d'illuminazione naturale

3.1 Considerazioni generali

L'illuminazione di un locale adibito ad ufficio mediante la luce naturale offre numerosi vantaggi, sia dal punto di vista dell'utente (impatto psicofisiologico), sia per quanto concerne il risparmio energetico. Ciò nonostante tale scelta presenta alcuni «rischi». L'importanza del flusso luminoso a disposizione (che costituisce una delle qualità basilari della luce naturale) può infatti creare problemi di abbagliamento (contrasti eccessivi, riflessi, ecc.).

Abbiamo visto nel secondo capitolo («Ergonomia visiva applicata al lavoro d'ufficio») che la posizione e l'orientamento del posto di lavoro devono tener conto della direzione della luce e della ripartizione delle luminanze nel campo visivo. Da ciò risulta che qualunque sia il locale preso in considerazione è sempre necessario sistemare con attenzione il piano di lavoro, onde evitare situazioni di mancanza di comfort visivo.

Nel presente capitolo non ritorneremo sulla configurazione e sulla posizione del posto di lavoro. Eviteremo, per così dire, la nozione di sistemazione dell'ufficio, per insistere maggiormente sul modo in cui la luce naturale penetra attraverso le aperture; lo scopo è quello di caratterizzare le qualità di queste ultime.

Con il termine di «qualità» esamineremo dapprima la capacità delle aperture di far penetrare la luce diffusa in profondità in un locale e, secondariamente, la loro capacità di proteggersi dagli effetti indesiderabili del sole (luce diretta).

Per questo motivo ci occuperemo dei parametri di un locale tipo adibito ad ufficio con un'apertura sulla facciata:

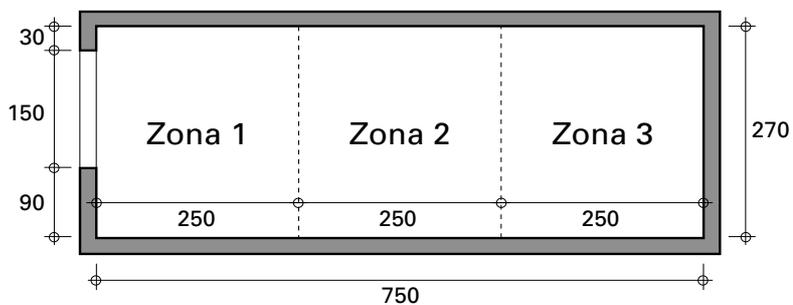
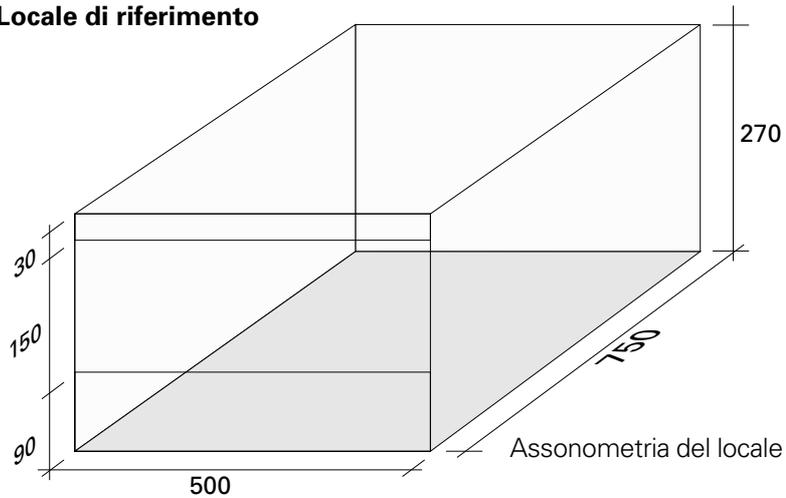
- la qualità dei vetri;
- i rivestimenti delle pareti;
- le proporzioni dell'apertura.

Il locale summenzionato viene scomposto, in modo arbitrario, in tre zone distinte allo scopo di evidenziare i risparmi potenziali di elettricità, a seconda dell'utilizzazione più o meno intensiva della luce naturale.

Tali valutazioni sono state eseguite mediante il programma informatico «ADELINE» [7] per condizioni di densità luminosa corrispondenti a quelle di un cielo coperto in modo uniforme.



Locale di riferimento



Caratteristiche principali

Dimensioni : 7.5 x 5 x 2.7 m

Indice di apertura : 20%

Fotometria :
psoffitto = 0.7
pmuri = 0.5
ppavimento = 0.3

Fattore di luce diurna: misurato sul piano di lavoro (0.8 m)

Illuminazione artificiale: 3 file di corpi illuminanti paralleli alle finestre



3.2 I materiali e la luce

Prima di parlare delle aperture è necessario definire in modo esatto l'interazione tra i materiali e la luce. A questo scopo esamineremo i principali materiali che garantiscono il passaggio della luce dall'esterno all'interno dell'edificio, per poi trattare i materiali di rivestimento delle pareti.

■ Le vetrate

Materiali trasparenti

La trasparenza è una qualità molto ambita poiché permette un contatto visivo diretto tra l'interno e l'esterno dell'edificio. Tale trasparenza implica che i raggi luminosi non vengano deviati in modo massiccio oppure dispersi attraverso le vetrate. Al massimo sono assorbiti parzialmente oppure riflessi verso l'esterno.

Vetro chiaro

Un vetro chiaro di 6 mm di spessore trasmette oltre al 90% della luce ($\tau = 0.92$). I vetri doppi isolanti posseggono, in media, un fattore di trasmissione di 84% ($\tau = 0.84$). Si noterà che i vetri selettivi (vetri che riflettono l'infrarosso) non si distinguono più dai vetri classici per quanto concerne il colore (nessuna alterazione dei colori).

Vetro riflettente

Sul mercato esistono numerosi vetri e fogli di plastica riflettenti (cfr. figura 3.1). I primi sono stati largamente utilizzati durante questi ultimi anni nelle nuove costruzioni, mentre i fogli di plastica vengono utilizzati prevalentemente per i rinnovamenti.

Queste due soluzioni, spesso adottate a torto per ridurre la penetrazione del sole, causano una diminuzione sensibile dei livelli interni di densità luminosa. Questa diminuzione deve generalmente essere compensata mediante l'impiego quasi permanente dell'illuminazione artificiale. Rimane insoluto il problema dell'eccesso di calore durante l'estate, anche per quanto concerne le facciate ad est e ad ovest. Infatti la parte del flusso luminoso che viene riflessa supera raramente il 45%. Ciò significa che il fattore di trasmissione è vicino al 40% ($\tau = 0.4$): la trasmissione dell'energia solare resta quindi ancora troppo importante.

Inoltre l'attenuazione è insufficiente per evitare l'abbagliamento, ciò che rende necessario l'impiego di avvolgibili. Per tutti questi motivi questo tipo di vetri è sconsigliabile.



DATI DI BASE	τ totale	τ rosso	τ verde	τ azzurro	τ diffuso	τ diretto
chiaro, 4 mm	0.933	0.926	0.941	0.920	0.000	0.933
float, 3 mm	0.927	0.909	0.924	0.904	0.000	0.927
float, 6 mm	0.922	0.902	0.927	0.907	0.000	0.922
granulato, 6 mm	0.910	0.902	0.927	0.907	0.358	0.552
martellato, 4 mm	0.919	0.918	0.918	0.918	0.181	0.738
stratificato, 8 mm	0.908	0.902	0.927	0.907	0.000	0.908
armato, 7 mm	0.848	0.829	0.892	0.843	0.028	0.820
vetro armato, 6.5 mm	0.819	0.738	0.917	0.795	0.002	0.817
Diaplus, 6 mm	0.805	0.797	0.811	0.766	0.002	0.803
Antelio grigio chiaro, 6 mm	0.437	0.416	0.459	0.419	0.000	0.424
Antelio marronechiaro, 6 mm	0.424	0.441	0.429	0.332	0.000	0.424
Parsol bronze, 10 mm	0.341	0.367	0.358	0.266	0.000	0.341

Figura 3.1:
fattori di trasmissione di diversi vetri

Vetro colorato

I vetri colorati presentano la proprietà di assorbire una parte del flusso luminoso. Dal punto di vista termico tale proprietà è poco interessante poiché il calore non viene respinto come nel caso dei vetri riflettenti. Il vetro si scalda e di conseguenza si comporta come un radiatore, contribuendo così all'aumento della temperatura interna dei locali.

Tra i colori dei vetri utilizzati più comunemente si trovano il marrone ed il verde (cfr. figura 3.1). I vetri verdi sono parzialmente selettivi, ma creano un ambiente luminoso freddo. In caso di cielo coperto gli utenti potrebbero allora tentare di riscaldare l'ambiente interno inserendo l'illuminazione artificiale (luce calda).

In generale si può dire che l'utilizzazione di vetri colorati sfocia quindi sfortunatamente in un aumento dell'impiego dell'illuminazione artificiale, a causa della diminuzione degli apporti forniti dalla luce naturale.

Si noterà che il colore della luce naturale resta poco percettibile e, di conseguenza, meno fastidioso, quando tutti i vetri di uno stesso locale sono identici. Al contrario la giustapposizione di parecchi colori diversi crea confusione e nuoce alla percezione dei colori.

L'utilizzazione di vetri verdi crea d'altronde una percezione rosa dell'illuminazione artificiale (colore complementare).

La figura 3.2 indica l'influsso di un vetro colorato o riflettente sulla ripartizione della luce all'interno di un locale (fattore di trasmissione del 40%). Si nota che la differenza tra i fattori di luce diurna medi è molto importante. Le quantità di luce a disposizione sul fondo del locale (zona 3) sono quasi divise per tre. In questa parte del locale ciò crea una dipendenza totale dall'illuminazione artificiale.

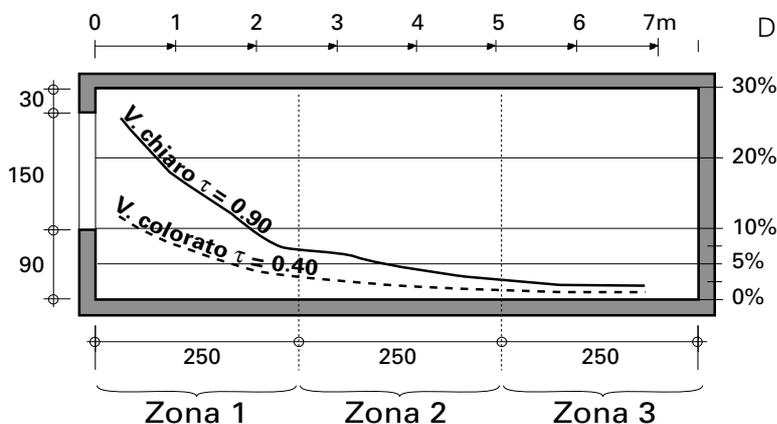
Isolamento trasparente

Gli sviluppi più recenti hanno permesso la fabbricazione di prodotti trasparenti il cui potere isolante (per uno spessore di alcuni centimetri) è paragonabile a quello di sistemi di muri con isolamento di fibra di vetro (valore k di $0.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ per uno spessore di 30 mm). Contemporaneamente il fattore di trasmissione della luce resta relativamente elevato (cfr. figura 3.5).



Vetro chiaro / vetro colorato
Influsso del fattore di trasmissione del vetro

Fattore di luce diurna (D)



Copertura dei fabbisogni

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Vetro chiaro	89% (D=15%)	73% (D=4.8%)	28% (D=2.2%)
Vetro colorato	82% (D=6.8%)	15% (D=1.8%)	0% (D=1.2%)

Copertura dei fabbisogni annui mediante la luce naturale (periodo compreso tra le 7h00 e le 17h00 d'inverno e le 8h00 e le 18h00 d'estate; per una densità luminosa interna richiesta di 300 lux)

Impatto energetico

Il vetro colorato riduce in modo considerevole la copertura dei fabbisogni annui mediante la luce naturale nelle zone 2 e 3 (aumento considerevole del consumo d'energia)

Figura 3.2: paragone tra le prestazioni di un vetro chiaro e di un vetro colorato

Questi prodotti, detti aerogel, presentano la caratteristica di racchiudere in sé delle microscopiche bolle d'aria che rappresentano oltre il 90% del volume, ciò che spiega la loro debole conduttività termica.

Il diametro delle bolle è inferiore alla lunghezza d'onda della radiazione visibile: la trasparenza viene quindi conservata. A causa della sua estrema leggerezza questo tipo di materiale è fragile e richiede l'inserimento tra due vetri.

Attualmente vengono svolti numerosi lavori allo scopo di ottenere, ad un costo ragionevole, pannelli di dimensioni tali da poter essere utilizzati nell'edilizia (attualmente pannelli di 0.20 m x 0.20 m)

Costateremo in seguito che esistono altri materiali le cui prestazioni termiche e le cui caratteristiche d'installazione sono simili: si tratta tuttavia di materiali translucidi.



■ Materiali translucidi

In generale

Esiste un certo numero di casi nei quali si desidera sfruttare la luce naturale, eliminando la trasparenza tra l'interno e l'esterno. Si parla allora di materiali diffondenti, opalescenti o translucidi.

In generale si noterà il fatto che l'assenza totale di trasparenza è sentita in modo negativo dagli utenti. Si tenterà quindi sempre, nell'ambito del possibile, di garantire un punto di contatto visivo con l'esterno.

Si noterà inoltre che il fattore di trasmissione luminosa dei materiali diffondenti è inferiore a quello dei materiali trasparenti (valori di rado superiori a 65%). La diffusione della luce può essere utilizzata per impedire ai raggi solari di penetrare direttamente fino al piano di lavoro (cfr. figura 3.3). La luce viene distribuita in tutte le direzioni. Con un fattore di trasmissione identico il vetro diffondente tende quindi a distribuire la luce in modo più uniforme.

Questo tipo di soluzione è tuttavia delicato e può perfino rivelarsi inefficace. Infatti quando un materiale translucido viene fortemente illuminato (sole) diventa molto luminoso e si comporta, di conseguenza, come una fonte di abbagliamento.

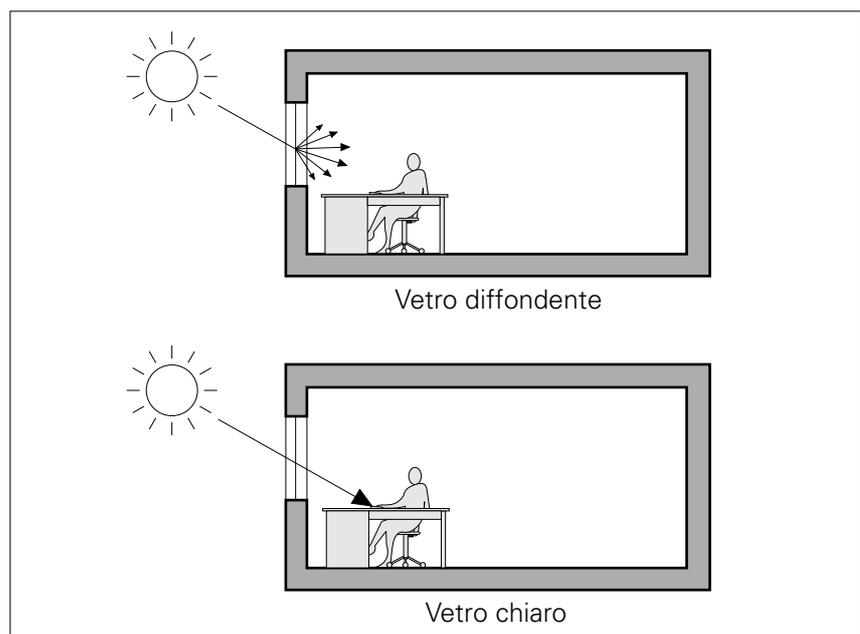


Figura 3.3:
distribuzione della luce mediante un
vetro diffondente

Esiste una grande varietà di prodotti translucidi o opalescenti.



Prodotti di vetro

Vetro smerigliato, vetro martellato, vetro armato; questi materiali presentano le stesse caratteristiche termiche dei vetri trasparenti. Il loro impiego è spesso giustificato da un desiderio di «privacy» o di sicurezza rispetto all'esterno. Essi sono meno efficienti dei vetri trasparenti combinati o equipaggiati con avvolgibili.

Prodotti sintetici

I materiali alveolari (cfr. figure 3.4 e 3.6) offrono due tipi di vantaggi rispetto ai prodotti di vetro:

- posseggono un coefficiente di scambio termico minore di quello di un doppio vetro isolante poiché attenuano le perdite di calore mediante correzione (valore $k \approx 1.3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, mentre il valore k del vetro doppio normale è di 3.2);
- a seconda del modo in cui sono installati, essi possono deviare parzialmente la luce e favorire in questo modo la densità luminosa sul fondo del locale.

Isolamento translucido

Con questo nome vengono definiti i prodotti nuovi la cui caratteristica è quella di trasmettere la luce in modo diffuso, pur possedendo una debole conduttività termica. Tra questi citiamo segnatamente: la schiuma di polimetilmetacrilato (PMMA), le fibre di vetro, il policarbonato a nido d'ape, le strutture capillari, le sfere di aerogel.

La loro installazione implica, come per l'isolamento trasparente citato in precedenza, l'inserimento tra due vetri a scopo protettivo. La figura 3.5 mostra la variazione del fattore di trasmissione di questi diversi prodotti in funzione del loro spessore. Sulla stessa figura ed a titolo indicativo abbiamo indicato le prestazioni dell'isolamento trasparente (aerogel denso).

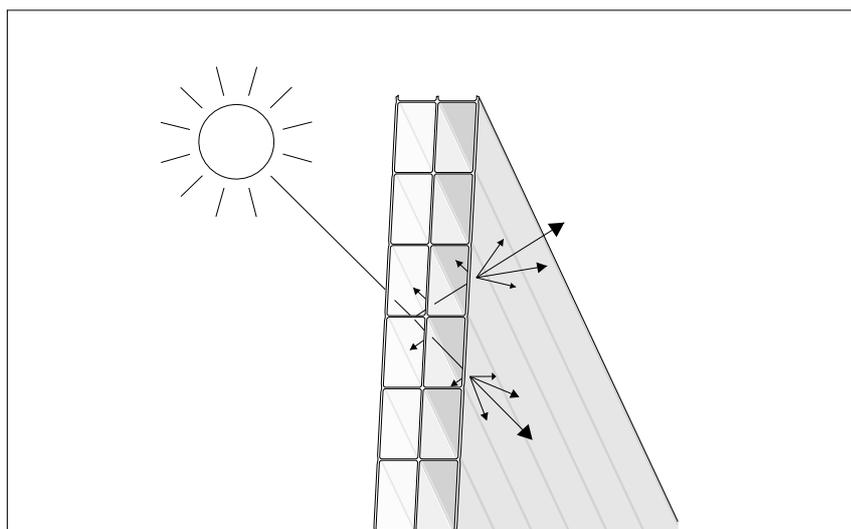


Figura 3.4:
diffusione della luce mediante un materiale alveolare

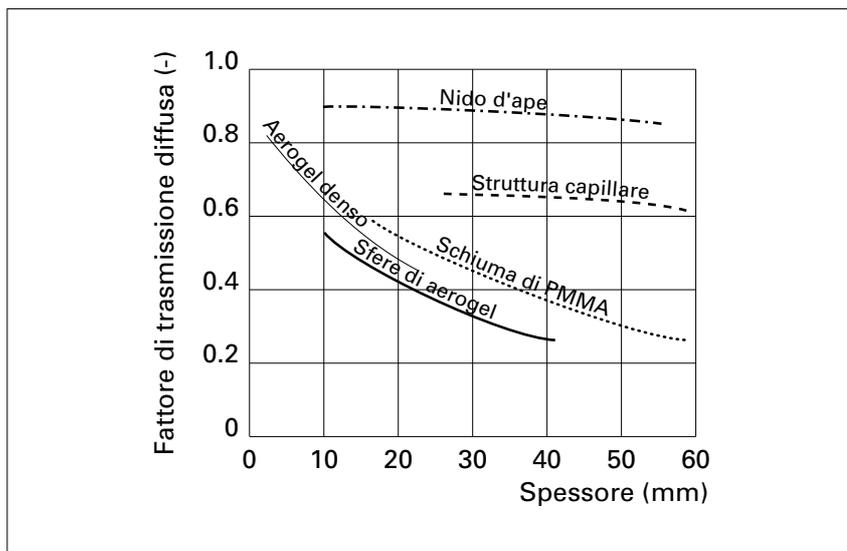


Figura 3.5: evoluzione del fattore di trasmissione diffusa in funzione dello spessore dei materiali isolanti traslucidi

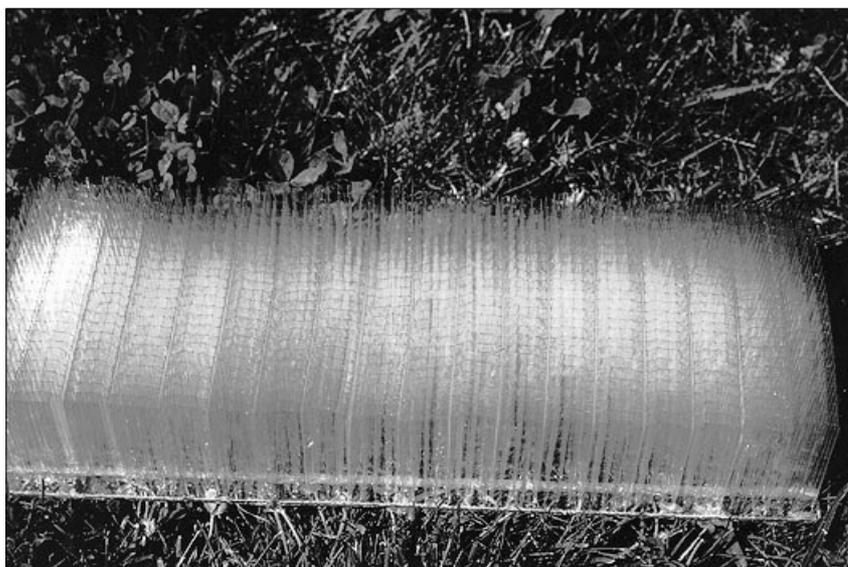


Figura 3.6: esempio d'isolamento traslucido

■ I materiali da costruzione per pareti

Fattore di riflessione

Il fattore di riflessione dei materiali da costruzione per le pareti di un locale svolge un ruolo molto importante nella distribuzione dei livelli di densità luminosa. La figura 3.7 indica, per il locale tipo, l'andamento del fattore di luce diurna, calcolato sul piano di lavoro, in funzione dei fattori di riflessione delle diverse pareti:

- la curva definita «7-5-3» rappresenta il caso in cui il fattore di riflessione del soffitto è del 70%, quello dei muri del 50% e quello del pavimento del 30%. Si considera questa configurazione come una configurazione limite per i locali nel settore delle prestazioni di servizio;
- la curva «7-7-7» rappresenta il caso di un locale in cui tutte le pareti posseggono un fattore di riflessione uguale al 70%: ciò corrisponde ad un locale completamente bianco (fattore di riflessione dell'intonaco di gesso: 70%). Ciò costituisce una configurazione ideale che non è tuttavia sempre realizzabile in pratica;



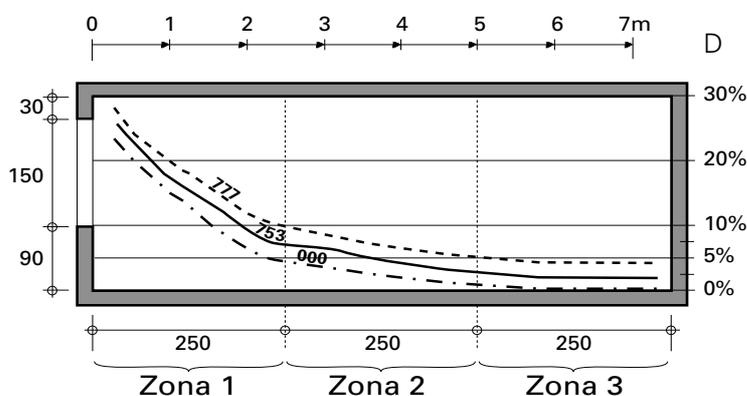
- la curva «0-0-0» rappresenta il caso di un locale completamente nero, in cui tutta la luce è assorbita dalle pareti.

Se si esegue un paragone tra le configurazioni «7-5-3» e «0-0-0» si nota che il fattore di luce diurna medio è moltiplicato per 1.75 nella zona 1, per 2.28 nella zona 2 e per 3.66 nella zona 3. Ciò significa che quasi tre quarti della densità luminosa disponibile sul fondo del locale è dovuta alle riflessioni della luce sulle pareti del locale stesso.

Paragonando le configurazioni «7-7-7» e «7-5-3» si nota che le quantità di luce disponibili sul fondo del locale sono moltiplicate per 1.70 (zona 3).

Pareti chiare / pareti scure
Influsso del fattore di riflessione delle pareti

Fattore di luce diurna (D)



777: $p_{soffitto} = 0.70$, $p_{muri} = 0.70$, $p_{pavimento} = 0.70$ (locale bianco)
 753: $p_{soffitto} = 0.70$, $p_{muri} = 0.50$, $p_{pavimento} = 0.30$ (riferimento)
 000: $p_{soffitto} = 0.00$, $p_{muri} = 0.00$, $p_{pavimento} = 0.00$ (locale nero)

Copertura dei fabbisogni

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
777 locale bianco	92% (D=18%)	83% (D=7.5%)	70% (D=4.5%)
753 locale di riferimento	89% (D=15%)	73% (D=4.8%)	28% (D=2.2%)
000 locale nero	88% (D=13%)	40% (D=2.5%)	0% (D=0.5%)

Copertura dei fabbisogni annui mediante la luce naturale (periodo compreso tra le 7h00 e le 17h00 d'inverno e le 8h00 e le 18h00 d'estate; per una densità luminosa interna richiesta di 300 lux)

Impatto energetico

I risparmi sono notevoli soprattutto nella zona 3: la configurazione ideale è caratterizzata da una copertura dei fabbisogni annui del 70%, contro il 28% per la configurazione limite

Figura 3.7: paragone delle prestazioni del locale tipo in funzione del fattore di riflessione delle pareti



Per quanto concerne la copertura dei fabbisogni di luce, queste variazioni sfociano in differenze considerevoli. La zona 3 guadagna, di conseguenza, 70% di autonomia rispetto all'illuminazione artificiale tra le due configurazioni estreme.

Questi esempi dimostrano quanto sia importante tener conto della fotometria dei materiali di rivestimento interno degli edifici. Se costituisce un'illusione voler utilizzare materiali completamente bianchi per tutte le pareti, ci si deve in ogni caso avvicinare alla configurazione ideale (7-7-7) e considerare la configurazione limite (7-5-3) come un limite inferiore. Ogni volta che verranno utilizzati materiali più scuri (soprattutto per il pavimento) ciò sfocerà in una diminuzione sensibile del livello della luce naturale sul fondo del locale e, di conseguenza, in un aumento del consumo d'energia.

Questa osservazione vale anche per i rivestimenti delle facciate esterne, segnatamente nei centri urbani, e per i cortili interni. Nel caso di questi ultimi è infatti importante permettere che la luce affluisca fino ai piani inferiori. Occorre quindi ridurre l'assorbimento dei raggi luminosi dovuto alle molteplici riflessioni sulle facciate.

Colore

Il colore della luce ha un effetto determinante sul comfort degli utenti (cfr. abaco di Kruithoff, capitolo 4 del manuale «Principi d'illuminotecnica»). A questo proposito occorre rammentare che ad un livello elevato di densità luminosa deve corrispondere un'elevata temperatura del colore (verso l'azzurro), mentre, al contrario, un livello d'intensità luminosa debole richiede una temperatura inferiore del colore (verso il rosso).

Si farà quindi in modo che i colori delle pareti siano preferibilmente orientati verso il giallo (piuttosto che verso l'azzurro), cosicché l'ambiente luminoso non sia percepito come glauco oppure triste quando le quantità di luce naturale a disposizione sono deboli (inizio e fine della giornata, cielo invernale coperto).

Ciò è il caso in modo particolare per le pareti esposte direttamente alla luce naturale (pareti situate nelle immediate vicinanze dell'apertura, pavimento). Questa misura si rivela particolarmente adeguata nel caso di aperture che non possono fruire della luce diretta (esposizione a nord).



3.3 Studio di alcuni sistemi di apertura

■ Indice di apertura

L'indice di apertura caratterizza, in un determinato locale, il rapporto tra la superficie di apertura e la superficie del pavimento; esso viene espresso in percentuale.

Se si tiene conto soltanto dell'illuminazione, è grande la tentazione di aumentare le dimensioni dei vetri allo scopo di approfittare nel migliore dei modi della luce disponibile proveniente dall'esterno. Sappiamo tuttavia che le aperture costituiscono i punti principali di scambio termico tra l'edificio e l'esterno. È questo il motivo per cui le dimensioni dei vetri hanno un influsso diretto sui fabbisogni d'illuminazione, ma anche sul fabbisogno di riscaldamento e di condizionamento.

Se si tiene conto di questi tre tipi di fabbisogni è possibile definire, per ogni esposizione o ogni orientamento, un indice di apertura ottimale; la figura 3.8 fornisce tali valori.

Orientamento dell'apertura	Indice di apertura
sud	25-30%
est / ovest	20-25%
nord	15-20%
orizzontale	10-15%

Figura 3.8:
indice di apertura raccomandato in funzione dell'orientamento del vetro

Questi valori sono indicativi e devono essere utilizzati con precauzione, soprattutto in funzione del clima relativo all'ubicazione. Comunque sia si eviterà di superarli.

Oltre che dall'indice di apertura, le prestazioni del locale per quanto concerne la luce naturale dipenderanno soprattutto dalla geometria di tale apertura. Il primo elemento di una buona gestione della luce naturale si basa sulla captazione di quest'ultima.

Insisteremo su questo aspetto poiché esso esercita un influsso diretto sulla geometria delle aperture. Dopo aver passato in rassegna le misure che permettono di aumentare la captazione della luce diffusa, ci occuperemo degli elementi che permettono di correggere gli eventuali influssi negativi connessi con la luce diretta (protezione contro il sole).

Poiché la maggior parte dei locali utilizzati come uffici possiede aperture sulle facciate, ci occuperemo dapprima di queste ultime. In seguito vedremo come le aperture zenitali possono essere utilizzate in un certo numero di casi.

■ I serramenti

Dopo aver trattato i materiali delle vetrate, è opportuno affrontare rapidamente il problema dei serramenti. Qualunque sia il sistema di apertura adottato, è generalmente importante ridurre al minimo le dimensioni di questi ultimi. Lo spessore della parete dell'apertura può infatti essere trattato in modo da favorire la penetrazione della luce naturale; i serramenti



si comportano tuttavia sempre come ostacoli a tale luce. La superficie dei serramenti può rappresentare fino al 25% della superficie dell'apertura. Se non vi si presta sufficiente attenzione, tutti gli sforzi eseguiti per aumentare la captazione della luce naturale possono essere fortemente ridotti da serramenti troppo larghi.

■ Le aperture sulle facciate

Il parapetto

Altezza del parapetto

La luce naturale utile proviene essenzialmente dalla parte alta dei vetri. L'altezza del parapetto non esercita quindi un influsso sensibile sui livelli di densità luminosa sul fondo del locale (cfr. figura 3.9).

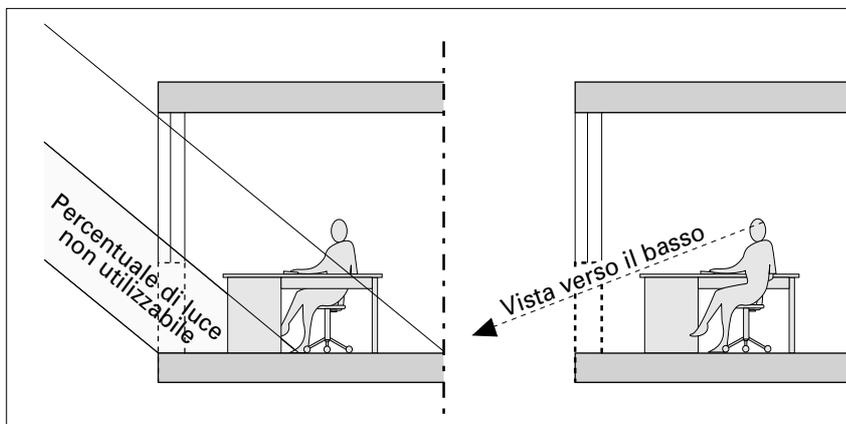


Figura 3.9:
esempio di locale senza parapetto

Il vantaggio principale procurato da un parapetto di debole altezza risiede nella possibilità di aumentare il campo visivo verso il basso. Ciò può essere apprezzabile qualora ci si trovi al pianterreno (continuità dello spazio tra l'interno e l'esterno).

Occorre tuttavia notare che un terreno esterno chiaro può raggiungere valori di luminanza elevati quando il cielo è sereno. I problemi di abbagliamento possono in tal caso essere importanti. A questo proposito sarà utile notare che non siamo molto disposti a tollerare le luminanze forti nella parte bassa del campo visivo, mentre siamo abituati alla presenza di forti luminanze nella parte superiore (vista del cielo).

Di regola ed indipendentemente da qualsiasi considerazione estetica, ogni volta che si vorrà ridurre la superficie dei vetri (aspetti termici o finanziari), lo si potrà fare aumentando l'altezza del parapetto senza per questo nuocere alla quantità di luce disponibile sul fondo del locale.

- Taglio del parapetto
- Parapetto basso

La parte superiore del parapetto può essere utilizzata per riflettere la luce in direzione del soffitto (cfr. figura 3.10). Il contributo fornito all'illuminazione del locale, pur non essendo molto importante, non è comunque trascurabile.

È possibile aumentare nel modo seguente il contributo fornito:

- aumento della profondità dell'angolo aperto;
- utilizzazione di materiali che favoriscono la riflessione della luce (vernici chiare, alluminio spazzolato, ecc.);
- riduzione dell'altezza dei serramenti.



Inoltre, allo scopo di evitare che gli utenti del locale vengano abbagliati dalla luce riflessa sarà opportuno inclinare il davanzale verso l'esterno di circa 15° (cfr. figura 3.10).

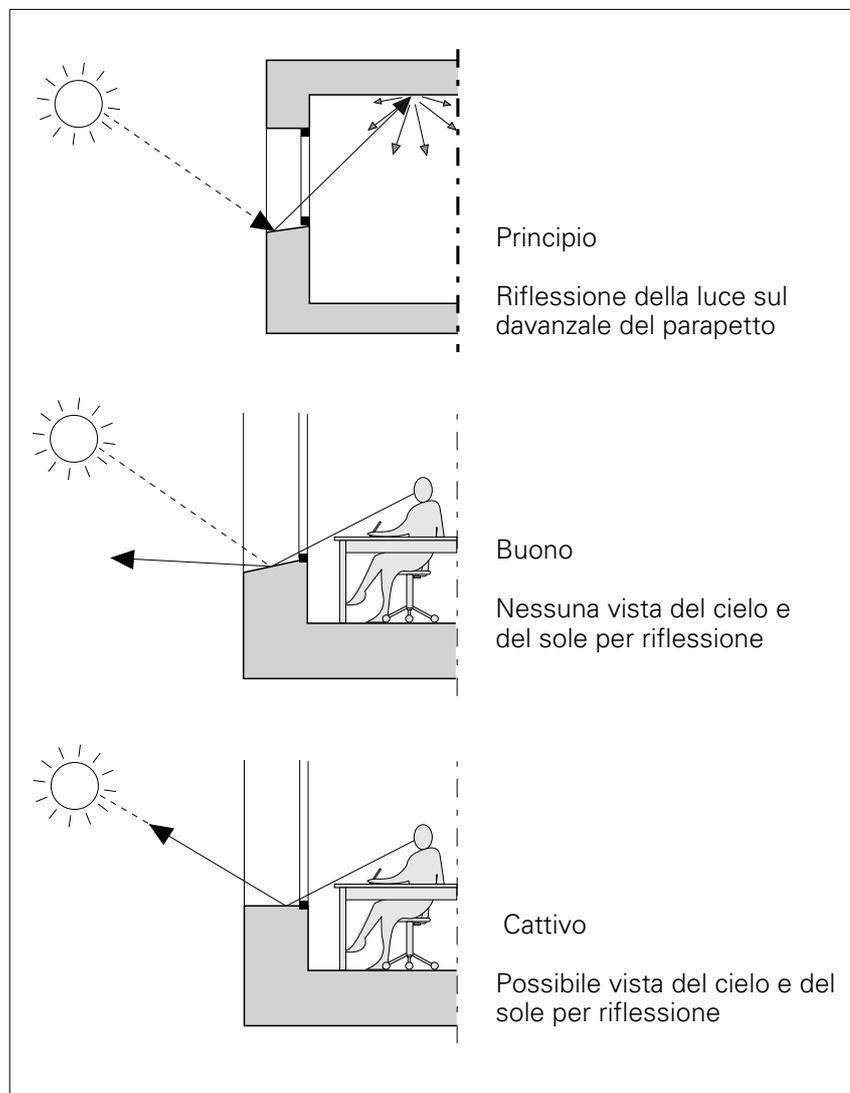


Figura 3.10:
utilizzo del davanzale del parapetto
come elemento di captazione della luce
naturale



– Parapetto alto

Nel caso in cui l'apertura è situata in alto è opportuno creare uno smussamento nel davanzale interno in modo da favorire la penetrazione della luce (cfr. figura 3.11). Questa misura può rivelarsi molto utile nel caso di locali seminterrati, nei quali l'accesso alla luce diurna è costituito da un'apertura posta in alto.

Apertura alta

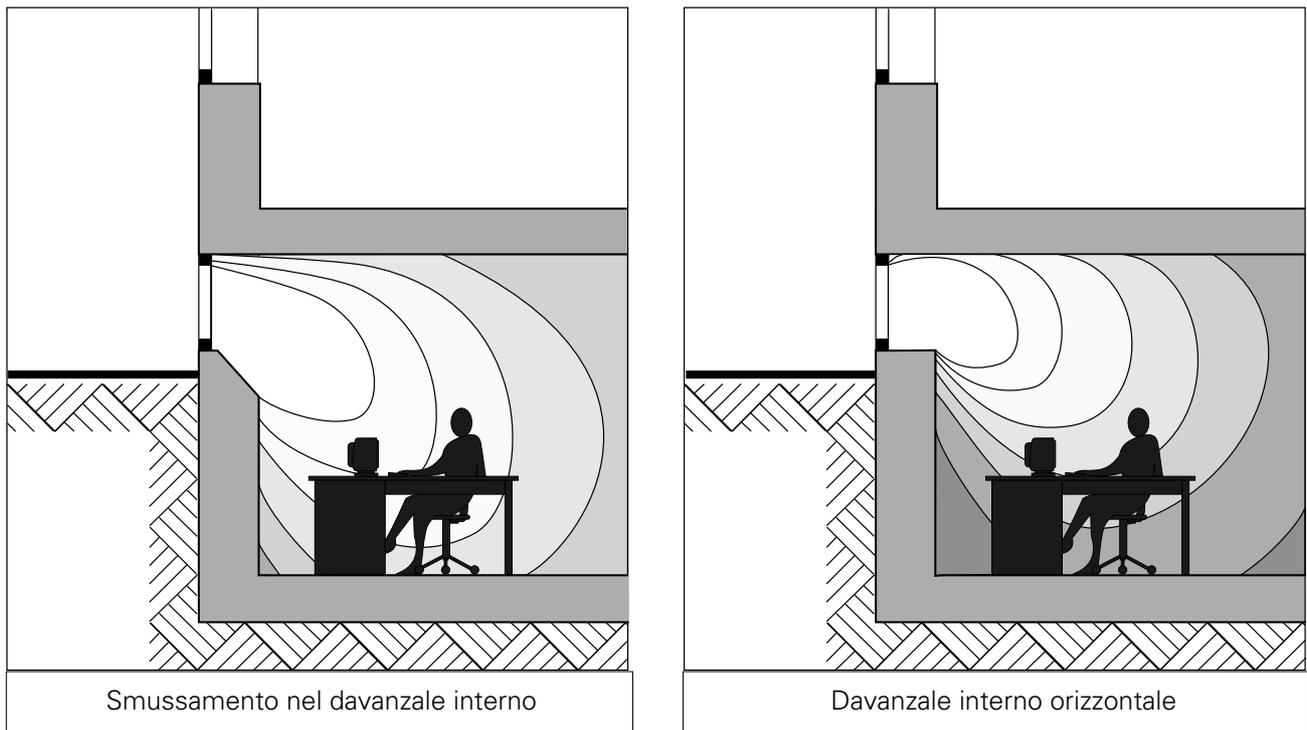


Figura 3.11:
apertura in alto. Creazione di uno smussamento nello spessore del muro



L'architrave delle finestre

– Alzata dell'architrave

Come abbiamo detto in precedenza, la luce naturale utile proviene soprattutto dalla parte alta dei vetri. Questo è vero specialmente per quanto concerne l'illuminazione in fondo al locale.

È questo il motivo per cui si tenterà di ridurre, nell'ambito del possibile, l'alzata dell'architrave in rapporto al soffitto. La figura 3.12 mostra, in modo schematico, l'impatto di tale misura sulla ripartizione trasversale del fattore di luce diurna e sul consumo d'energia.

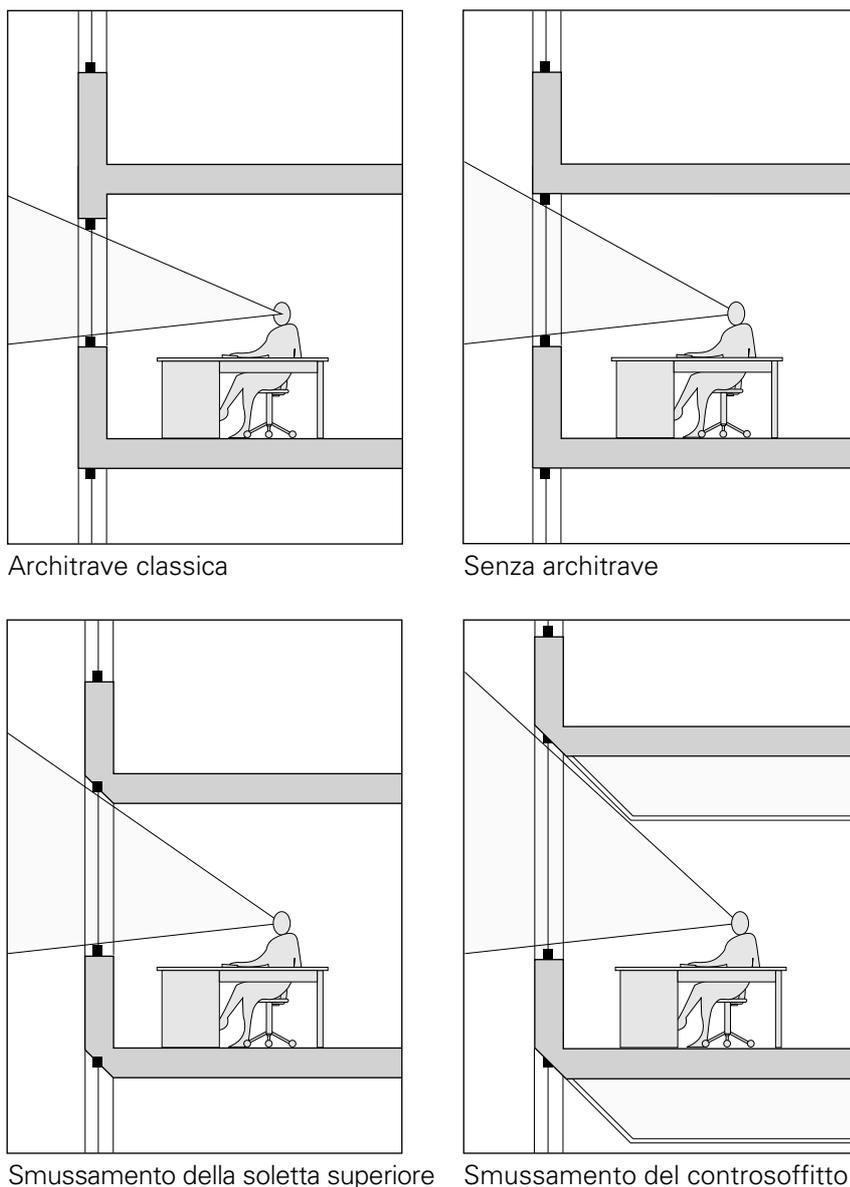


Figura 3.12:
rappresentazione schematica delle possibilità offerte dall'aumento delle aperture verso l'alto (soppressione dell'alzata dell'architrave, creazione di uno smussamento nella soletta superiore oppure nel controsoffitto)

– Taglio dell'architrave

Il taglio smussato, ossia lo smussamento dell'architrave, costituisce un mezzo molto efficace per favorire la penetrazione della luce nei locali (cfr. figura 3.12). Questa misura è tanto più interessante, quanto maggiore è lo spessore del muro. Questo principio può essere facilmente applicato ad un controsoffitto (cfr. paragrafo 3.5 «Esempio di realizzazione»).

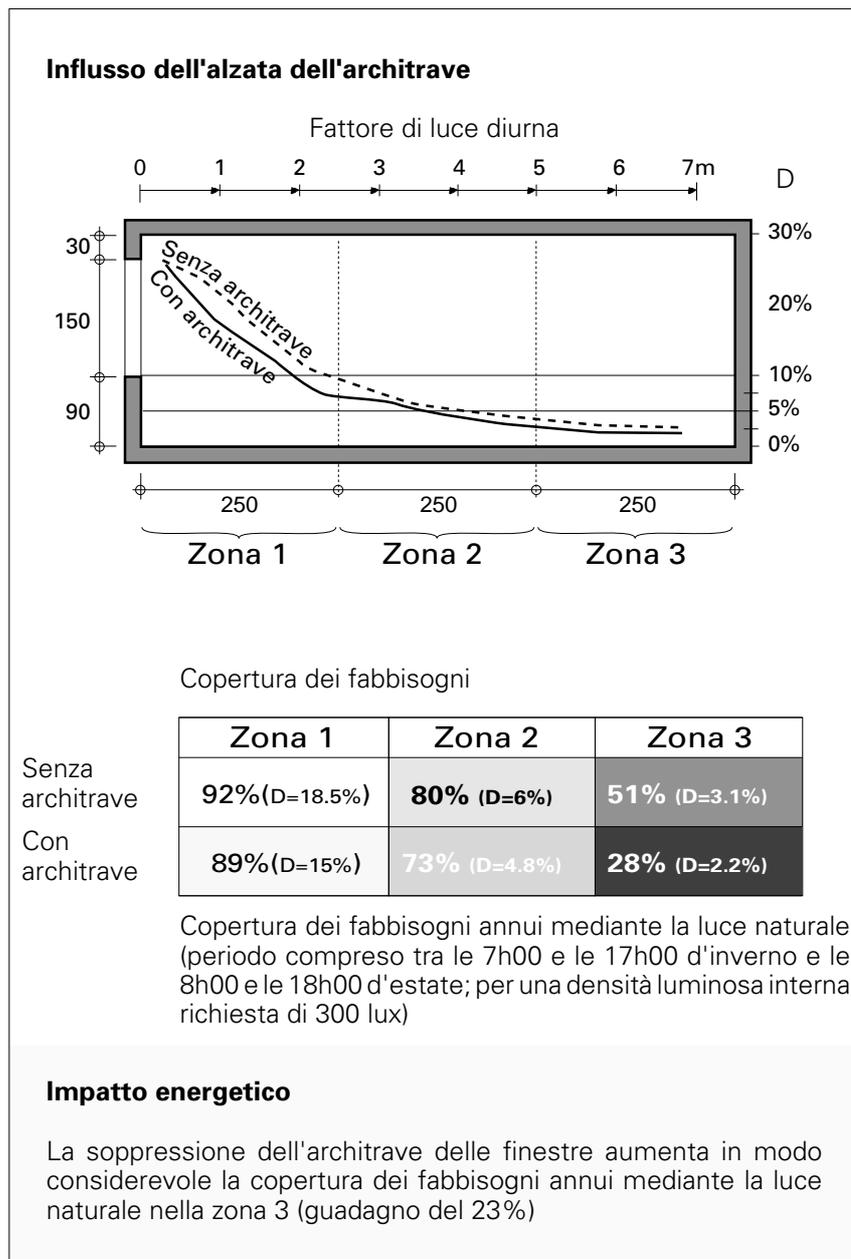


Figura 3.13: influsso dell'alzata dell'architrave della finestra sulla ripartizione trasversale del fattore di luce diurna e sul consumo d'energia

I vani delle finestre

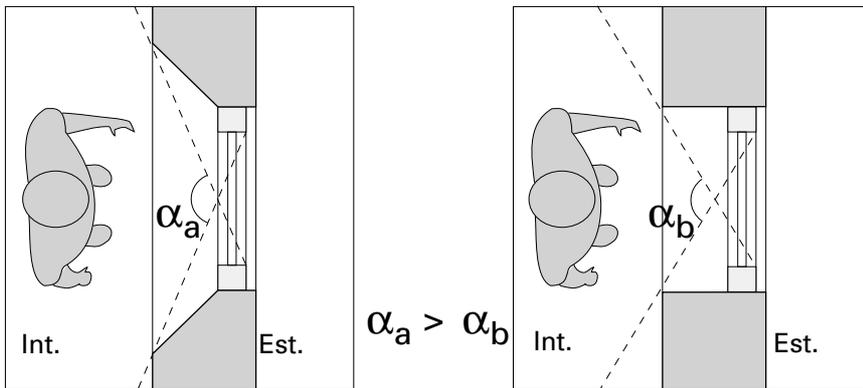
Il taglio di sbieco dei vani delle finestre costituisce pure un mezzo per migliorare la captazione della luce naturale (cfr. figura 3.14). I vantaggi che ne scaturiscono sono i seguenti:

- miglior distribuzione laterale della luce verso l'interno;
- transizione più progressiva dei livelli di luminanza tra il vetro ed i muri che lo circondano;
- taglio di sbieco particolarmente interessante nel caso di muri spessi o di aperture strette.

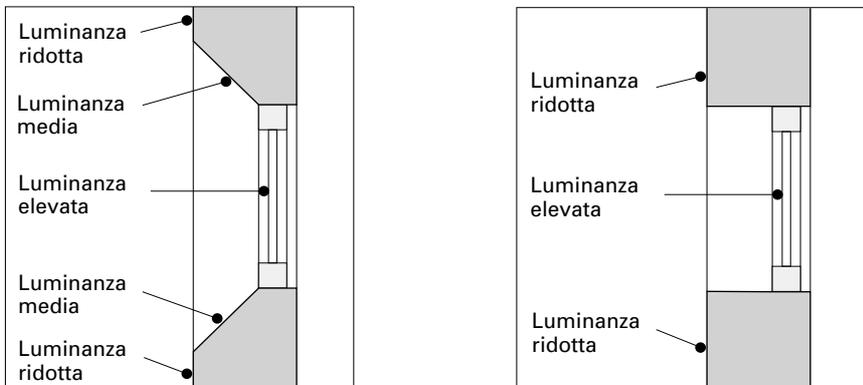


Taglio di sbieco

Taglio ortogonale



Aumento dell'angolo visivo verso l'esterno



Riduzione dei contrasti di luminanza (transizione luminosa più tenue)

Figura 3.14:
possibilità offerte dalla creazione di uno smussamento nei vani delle finestre

Lo smussamento può essere realizzato anche nella parte esterna del vano, ciò che contribuisce ad aumentare l'angolo visivo dell'apertura. In questo caso va tuttavia perso il beneficio della transizione progressiva tra la luminanza della finestra e quella dei muri.

Le protezioni contro il sole

Per quanto concerne le aperture sulle facciate ci si potrà riferire ai paragrafi 3.5 e 5.2 del manuale «Principi d'illuminotecnica», in cui sono descritti ed analizzati i diversi tipi di protezione contro il sole.

I deflettori della luce (lightshelf)

La figura 3.15 illustra il principio di funzionamento di questo sistema sviluppato negli Stati Uniti negli anni settanta. La luce viene riflessa in direzione del soffitto mediante un piano orizzontale oppure leggermente inclinato, posto nella parte superiore del vetro.



Caratteristiche del deflettore della luce (lightshelf)

Vantaggi

- Aumento dei livelli di densità luminosa sul fondo del locale.
- Riduzione dei livelli di densità luminosa in prossimità dell'apertura.
- Protezione efficace contro il sole in estate.
- Protezione contro gli abbagliamenti (eliminazione dell'irradiazione solare diretta).

Svantaggi

- Diminuzione dell'impiego della luce naturale a cielo coperto.
- Necessità di disporre di un'altezza considerevole sotto il soffitto (al minimo 2.70 m).
- Problemi di pulitura.

Raccomandazioni

- Utilizzazione da limitare alle facciate orientate a sud.

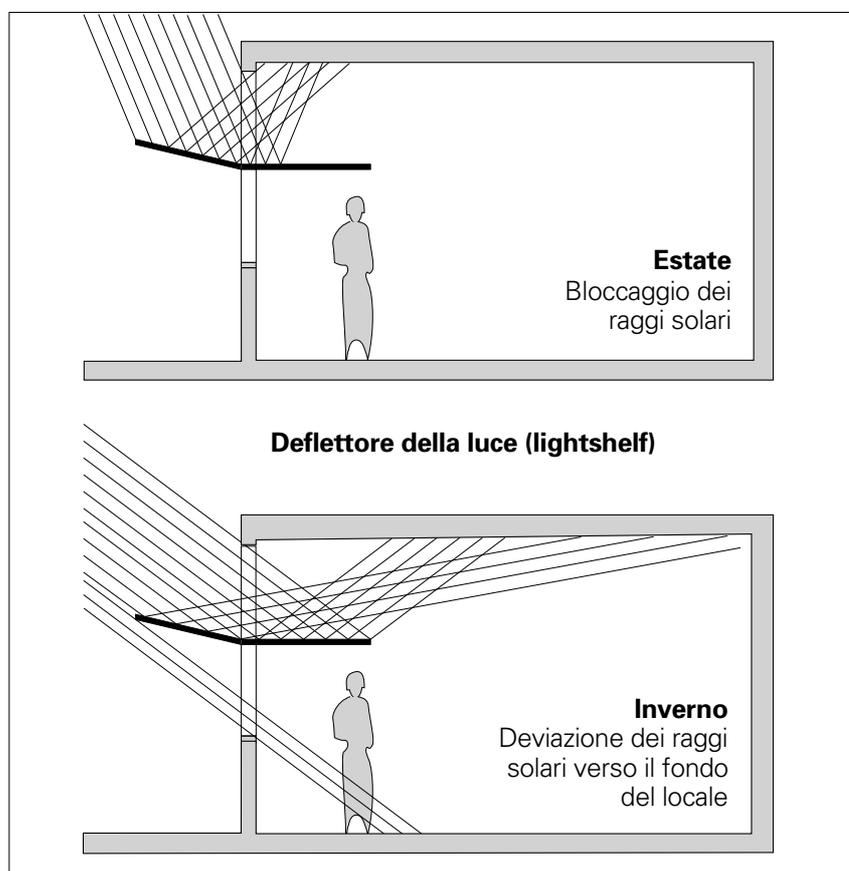


Figura 3.15:
descrizione schematica del principio di
funzionamento di un deflettore della luce



Figura 3.16:
esempio di deflettore della luce (edificio
dello Stato della California, Sacramento,
USA)

■ Le aperture sul tetto

Gli uffici che dispongono di aperture sul tetto rappresentano solo una parte esigua del parco immobiliare. Esistono tuttavia numerosi casi nei quali è possibile sfruttare in modo ottimale la luce zenitale.

In primo luogo si pensa a tutti i locali situati all'ultimo piano degli edifici. La creazione di aperture nel tetto può infatti dimostrare di essere una soluzione che valorizza tali spazi. Mediante un dispositivo semplice essa permette di riequilibrare i livelli di densità luminosa sul fondo del locale. È inoltre possibile illuminare mediante «canali di luce» locali che si trovano uno o due piani più in basso del tetto.

Le aperture sul tetto si differenziano tra di loro a seconda che presentino un vetro orizzontale o verticale.

■ Aperture orizzontali

Esse sono molto efficaci quando il cielo è coperto. Schematicamente si può considerare che sono due volte più efficaci delle aperture verticali poiché esse abbracciano la totalità della volta celeste. Il loro comportamento è invece poco soddisfacente per quanto concerne l'irradiazione solare diretta; queste aperture favoriscono l'irradiazione solare d'estate e la ostacolano d'inverno. Ciò è contrario ad una gestione razionale delle irradiazioni solari.

Lucernari

Come abbiamo visto in precedenza il taglio di sbieco del muro riveste un'importanza basilare per l'efficienza delle aperture sulle facciate. Lo stesso vale per le aperture sul tetto. La figura 3.17 dimostra che l'altezza del lucernario, nonché il suo taglio, hanno un vasto influsso sulla distribuzione della luce all'interno dei locali:



- l'altezza dei lucernari deve essere ridotta al minimo, allo scopo di evitare l'assorbimento della luce dovuto alle diverse riflessioni;
- l'allargamento del lucernario verso il basso permette parimenti di allargare il cono di distribuzione della luce. Questa misura permette altresì di creare una transizione di luminanze più progressiva tra il vetro e la soletta del tetto;
- in generale i lucernari dovranno essere trattati con un colore chiaro, di preferenza con una leggera tinta gialla o ocra, allo scopo di ottenere una luce più calda.

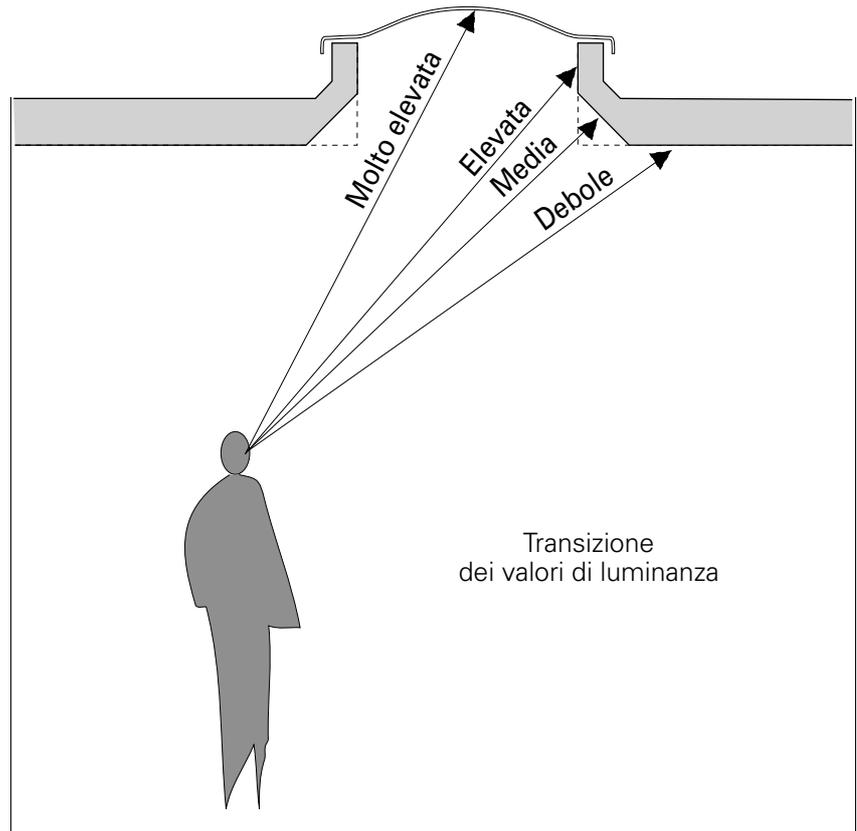


Figura 3.17:
taglio di sbieco del tetto attorno ai
lucernari



Figura 3.18:
esempi di aperture zenitali (aeroporto di
Copenaghen, Danimarca)

Protezioni contro il sole

Indipendentemente dal tipo di protezione scelto sarà preferibile installarla all'esterno onde evitare i surriscaldamenti estivi. Occorrerà inoltre prevedere un sistema di apertura – chiusura della vetrata allo scopo di poter eliminare il calore mediante convezione naturale.

Protezione fissa (parasole)

Si tratta senz'altro del sistema meno costoso, ma è anche il meno efficiente. Esso ostacola infatti la penetrazione della luce quando il cielo è coperto e non permette un aumento dell'irradiazione solare durante l'inverno.

Protezione mobile (avvolgibili, avvolgibili di tessuto)

L'utilizzazione di avvolgibili con lamelle mobili costituisce una soluzione «di lusso» molto efficace poiché può teoricamente essere adattata a tutte le situazioni. La realizzazione pratica di questa soluzione non è tuttavia sempre possibile a causa degli aspetti finanziari.

L'utilizzazione di avvolgibili di tessuto è più realista. Un certo numero di fabbricanti d'intelaiature e di finestre propone d'altronde sistemi mobili integrati di protezione contro il sole. Si dovrà fare in modo che il fattore di trasmissione energetica dell'avvolgibile non superi il 15%.



Protezione semi mobile (adeguamento a seconda della stagione)

Si tratta di un compromesso che offre vantaggi reali sia per quanto concerne la gestione dell'irradiazione solare, sia per quanto concerne la manutenzione. Schematicamente si tratta di un sistema di lamelle fisse, montate su un'intelaiatura.

Quest'ultima ruota e permette alle lamelle sia di captare e di deviare la luce solare durante l'inverno, sia di assorbirne i raggi durante l'estate (ogni lamella presenta due lati ben distinti: un lato riflettente ed un lato opaco).

Il cambiamento di posizione viene effettuato manualmente due volte all'anno (agli equinozi).

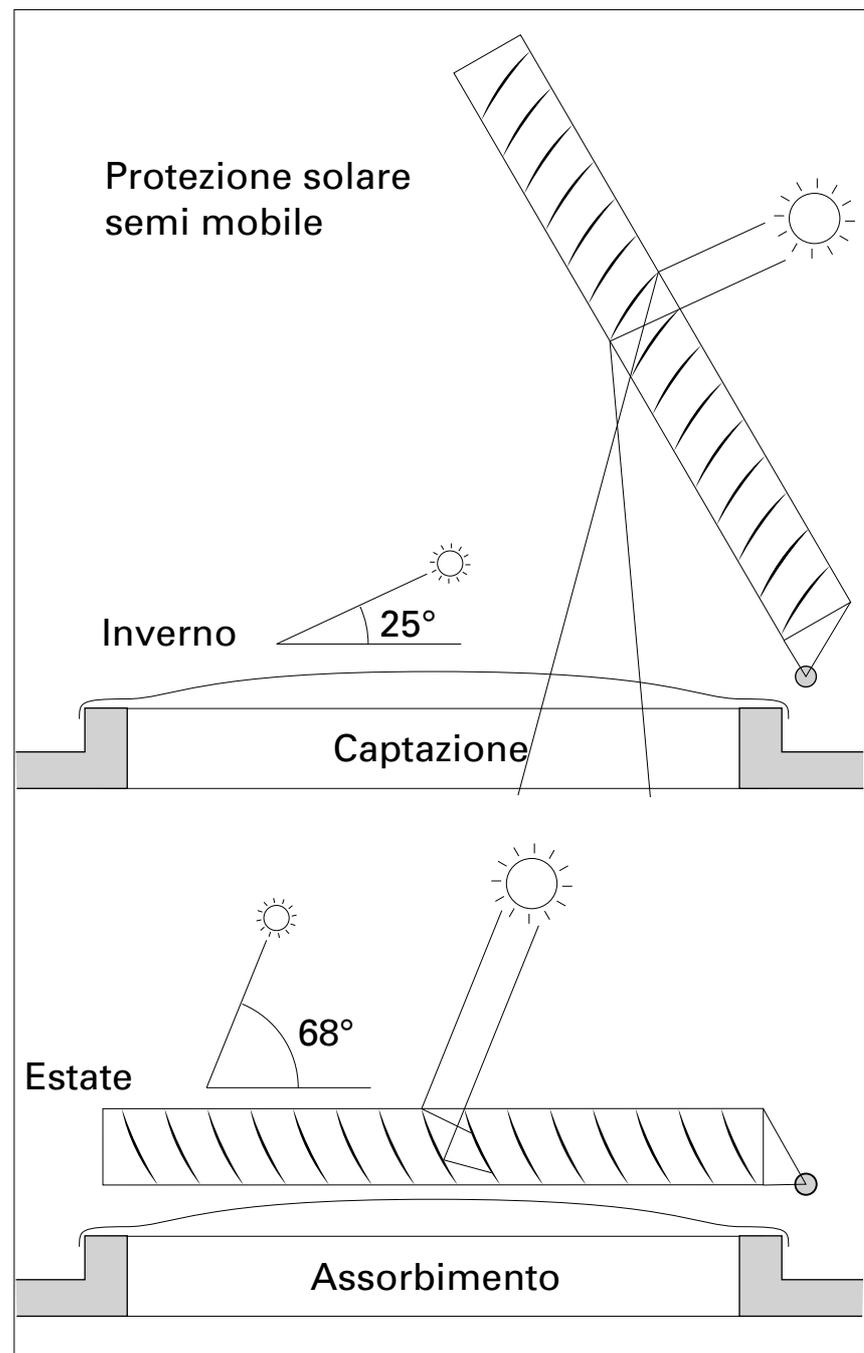


Figura 3.19:
protezione semi mobile contro il sole
(adattamento a seconda delle stagioni)



■ Gli atri

Le aperture zenitali vengono spesso utilizzate per fornire un apporto luminoso a superfici diverse da quelle a cui appartengono: è il caso degli atri.

Il problema che si pone in tale caso risiede nella difficoltà di distribuire la luce lateralmente su parecchi piani.

Nella maggior parte dei casi si constata che le pareti dell'atrio servono quali punti di fissaggio di ballatoi. Questi impediscono alla luce di penetrare negli spazi situati da un lato e dall'altro. In tale caso l'atrio non fornisce apporti luminosi importanti all'edificio. Al massimo offre l'opportunità di creare un ambiente visivo gradevole.

Raccomandazioni concernenti gli atri

- Allo scopo di favorire la discesa della luce fino ai piani inferiori, all'atrio verrà data una forma a «V» (larghezza massima in alto, restringimento in basso).
- Le facciate interne verranno trattate con colori chiari allo scopo di limitare l'assorbimento della luce.
- Si tenterà di ridurre al minimo l'ostacolo rappresentato dai ballatoi. La figura 3.20 illustra un esempio di realizzazione in cui il ballatoio è stato posto al centro dell'atrio. Questa configurazione permette di favorire gli apporti luminosi sulle facciate interne dell'atrio e, di conseguenza, garantisce un miglior sfruttamento della luce naturale negli spazi serviti in questo modo.
- Poiché le quantità di luce disponibili in un atrio sono meno importanti che non nel caso di una facciata rivolta direttamente verso l'esterno, è opportuno sovradimensionare le aperture prospicienti a questo spazio, allo scopo di compensare tale situazione.

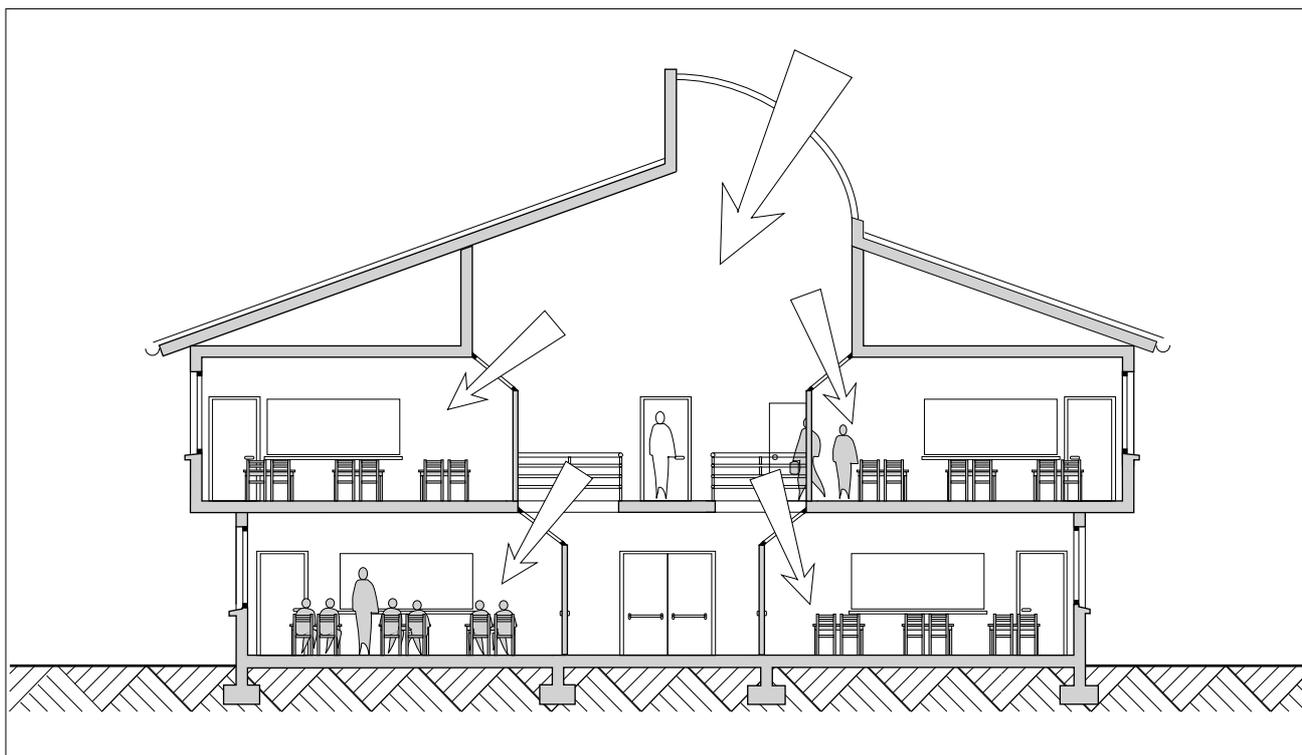


Figura 3.20:
esempio di atrio con ballatoio centrale
(CES di Modane, Francia)

■ Aperture verticali

Quando sono munite di vetrate verticali, le aperture sul tetto vengono generalmente orientate verso sud o verso nord.

Orientamento verso sud

Si tratta dell'orientamento più favorevole per quanto concerne la sorgente luminosa. Abbiamo del resto visto che il moto solare favorisce la captazione della luce durante l'inverno, pur limitandone gli apporti durante l'estate. Per quanto concerne le protezioni contro il sole, ci si ritrova nella stessa situazione come nel caso delle aperture sulle facciate orientate verso sud.

Orientamento verso nord

Si tratta dell'orientamento meno rischioso per quanto concerne l'irradiazione solare. Le perdite termiche sono invece importanti. È questo il motivo per cui sarà preferibile utilizzare un materiale del tipo «isolamento traslucido» (cfr. paragrafo 3.2), piuttosto che un vetro doppio normale. Eccezion fatta per i casi particolari, si può constatare che un ufficio munito di un'apertura sul tetto orientata verso il nord, sarà munito parimenti di un'altra apertura con una migliore esposizione. In tal caso è quindi possibile utilizzare un materiale non trasparente (contatto verso l'esterno mediante l'altra apertura).



I canali di luce

Numerosi spazi, a causa della loro posizione centrale nel cuore degli edifici, non hanno un accesso diretto verso l'esterno. Occorre quindi che la luce naturale attraversi altri volumi per giungere fino a loro. L'esempio degli atri, testé illustrato, costituisce una prima soluzione.

Un'altra soluzione consiste nel creare canali di luce, l'unico scopo dei quali è quello di permettere l'infiltrazione della luce naturale attraverso i piani. La figura 3.22 mostra l'esempio di un canale di luce installato in un edificio scolastico a Collioure (Francia). Il sistema è composto da due parti distinte che illustrano la problematica summenzionata:

- la parte alta serve a captare la luce; essa è orientata verso sud. La forma del captatore è stata ottimizzata in questo caso in modo da favorire le prestazioni per un'altezza del sole di 30° (inizio novembre, metà febbraio);
- la parte inferiore è costituita da un canale le cui pareti sono rivestite da fogli di alluminio anodizzato (il fattore di riflessione deve essere il massimo possibile allo scopo di limitare le perdite luminose dovute all'assorbimento).

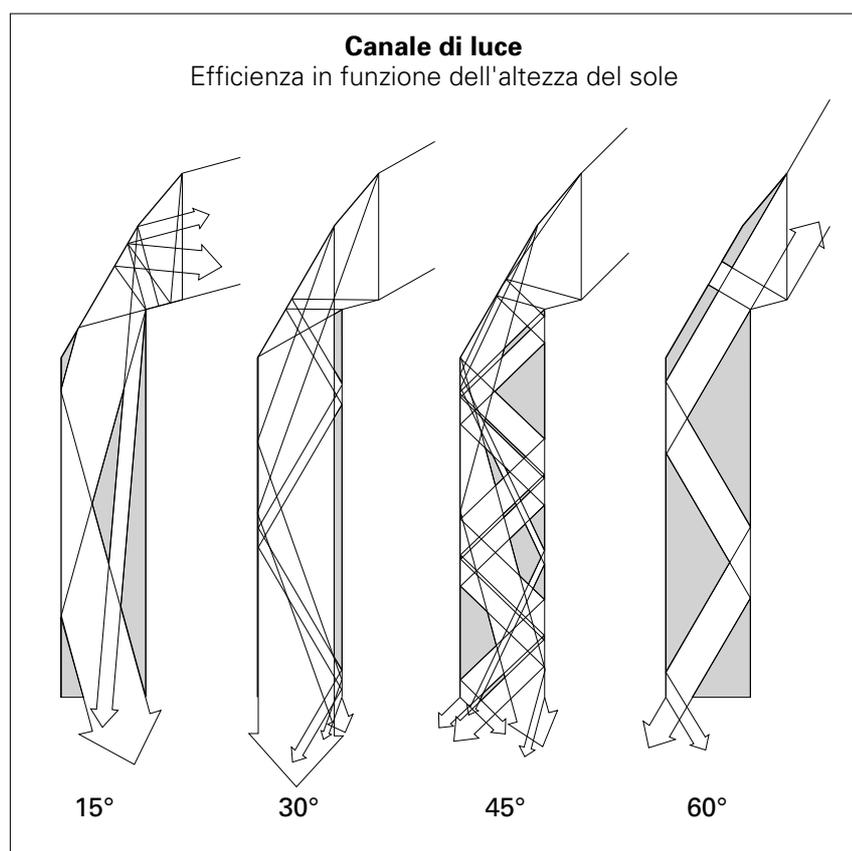


Figura 3.21:
efficienza di un canale di luce in funzione dell'altezza del sole

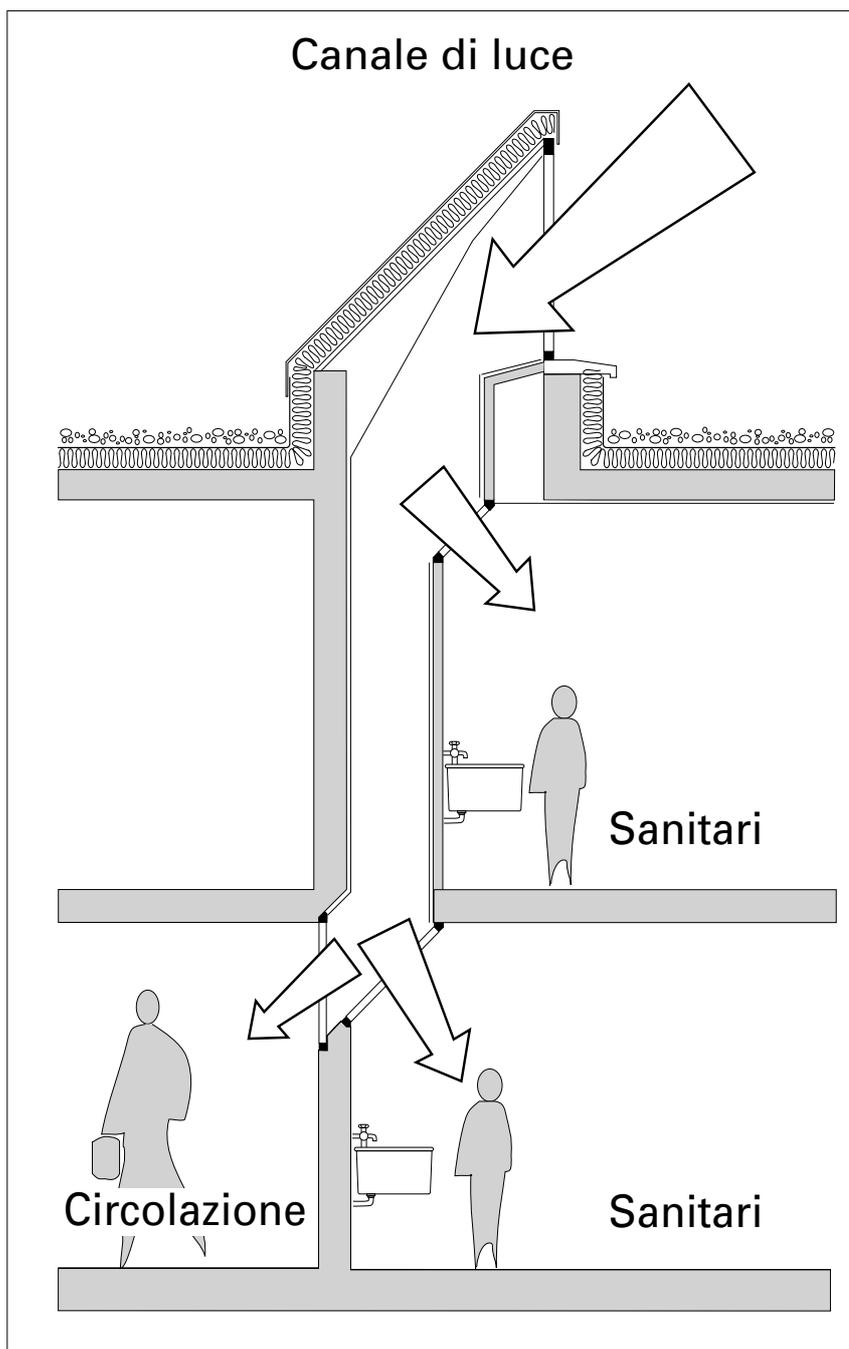


Figura 3.22:
esempio di realizzazione di un canale di
luce (scuola materna di Collioure, Francia)



Caratteristiche dei canali di luce

Vantaggi

- Offrono prestazioni interessanti quando il cielo è sereno.
- Valorizzano gli spazi collegandoli simbolicamente con l'esterno.
- Facilitano la localizzazione e l'orientamento nell'edificio.
- Permettono lo sviluppo e la crescita di piante nelle vicinanze immediate del canale.

Svantaggi

- Non permettono la pratica di attività lavorative.
- Offrono prestazioni ridotte quando il cielo è coperto.

Raccomandazioni

- Nella prassi il rapporto tra la sezione del canale e la sua altezza non deve oltrepassare $1/8$. Se questo rapporto viene superato gli apporti di luce naturale saranno praticamente insignificanti.
- È possibile riscaldare il colore della luce trattando una delle pareti del canale con una vernice dal colore bruno giallastro.



3.4 Strumenti utili per decidere

La scelta di un particolare sistema di utilizzazione della luce naturale richiede in generale l'impiego di strumenti che servano quale ausilio per la decisione. Questi ultimi sono di diversa natura e permettono di progettare e di dimensionare questi sistemi:

- sul piano quantitativo (densità luminosa, luminanze);
- sul piano qualitativo (ambienti visivi).

I principali strumenti utili per decidere verranno menzionati qui di seguito.

■ Abachi

Certi organismi, come la Commissione internazionale dell'illuminazione (CIE), hanno sviluppato metodi che permettono, utilizzando abachi, di prevedere il fattore di luce diurna di un locale in funzione delle caratteristiche dell'apertura (forma, dimensioni, posizione) e dalla distanza rispetto a quest'ultima.

Se questi metodi si rivelano pratici ed efficaci nel caso di locali di forma semplice (forme rettangolari o quadrate, locali a forma di parallelepipedo), esse sono invece inefficaci nel caso di geometrie più complesse [12, 14].

■ Modelli su scala ridotta

Occorre prima di tutto precisare che il fatto che un modello sia su scala ridotta non esercita alcun influsso sui meccanismi di riflessione della luce. Ciò significa che si può perfettamente conoscere la distribuzione della luce in un locale costruendo un modello su scala ridotta, alla condizione di rispettare la fotometria dei materiali che saranno utilizzati. Il problema più complesso risiede infatti nella riproduzione della sorgente di luce naturale (posizione, direzione, intensità).

Il principale vantaggio offerto dai modelli su scala ridotta risiede nella loro semplicità di realizzazione (pratica in uso presso gli architetti).

Metodi e precauzioni

- Scala del modello

Le dimensioni dei modelli sono determinate soprattutto dalla possibilità di visualizzare gli ambienti luminosi interni, per mezzo di una telecamera o di un apparecchio fotografico. È infatti assolutamente necessario potere effettuare la messa a punto dell'obiettivo su almeno una delle pareti del locale. In generale vengono utilizzati obiettivi per riprese macroscopiche con una distanza focale inferiore a 28 mm. Essi permettono infatti di ottenere un'immagine chiara ad una distanza molto ravvicinata e offrono inoltre un ampio angolo di apertura.

Ciò induce a prevedere un'altezza del locale compresa tra 10 e 15 cm ed una profondità dell'ordine di 30 cm. Per la maggior parte degli edifici ciò corrisponde ad una scala di 1:20 o di 1:25.

- Possibilità di evoluzione

I modelli dovrebbero poter essere modificati facilmente, allo scopo di favorire lo studio di diverse varianti (dimensioni delle aperture, fotometria



delle pareti, ecc.). La figura 3.23 mostra un modello su scala ridotta realizzato mediante cartone schiuma. Questo materiale presenta il vantaggio di poter essere tagliato facilmente e permette di creare deflessioni negli angoli sfruttando i diversi strati di cui è costituito (cfr. figura 3.24). L'assemblaggio dei diversi elementi e delle pareti permette di evitare l'impiego di mezzi di fissaggio permanenti, quali ad esempio la colla. La pratica dimostra che l'utilizzazione di spilli permette una grande flessibilità in caso di modifiche.

In previsione di un'analisi sotto un simulatore di luce diretta oppure un cielo artificiale si tenterà di dare la preferenza ai materiali leggeri e solidi, facendo in modo che le dimensioni totali dei modelli non superino 1 m per 1 m.

Esempio di un modello utilizzato nel settore dell'illuminotecnica

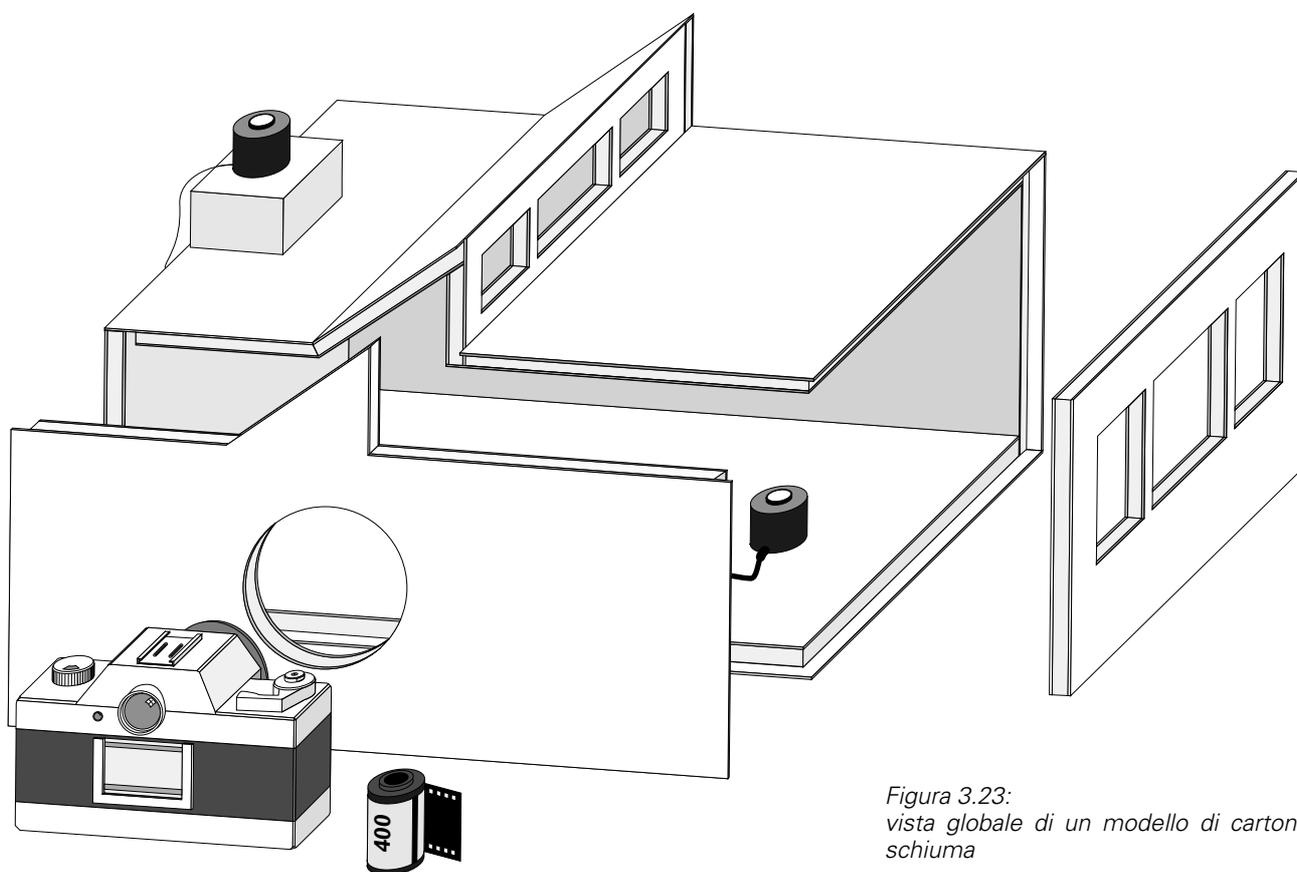


Figura 3.23:
vista globale di un modello di cartone
schiuma

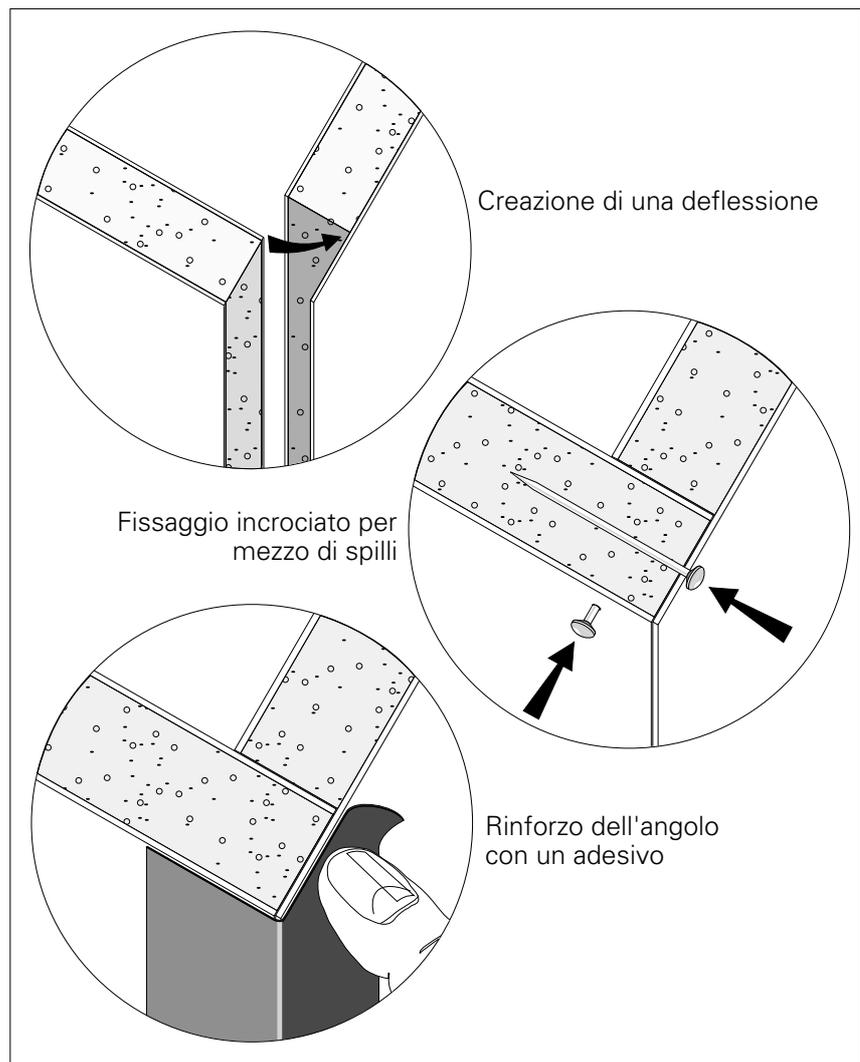


Figura 3.24:
dettagli d'assemblaggio
(modelli di cartone schiuma)

Trasparenza

Per non correre il rischio di sopravvalutare le densità luminose all'interno dei modelli, occorrerà evitare che le pareti offrano una trasparenza troppo elevata alla luce. Si utilizzerà, di conseguenza, cartone schiuma dello spessore di 1 cm, trattando gli angoli in modo da creare una deflessione ed utilizzando inoltre un adesivo sulla parte esterna allo scopo di rendere l'oggetto perfettamente impermeabile ai raggi luminosi.

Scelta dei materiali

Come abbiamo rammentato in precedenza, è molto importante tener conto della fotometria dei materiali del modello. È infatti assolutamente necessario per le pareti interne (muri, pavimento, soffitto) utilizzare materiali (carta, cartoni, tessuti, ecc.) il cui fattore di riflessione e la cui luminanza siano i più possibili simili a quelli dei materiali utilizzati in realtà (calcestruzzo, gesso, vernici, ecc.).



■ Misurazioni

L'utilizzazione di modelli offre non soltanto la possibilità di visualizzare gli ambienti luminosi sotto l'aspetto qualitativo, ma permette anche di quantificare le prestazioni di un locale rispetto alla luce naturale. A questo scopo verranno utilizzati fotometri (luxmetri).

In generale si sistema uno di questi luxmetri sul piano orizzontale all'esterno del modello, allo scopo di utilizzarlo quale riferimento. Il o gli altri luxmetri vengono sistemati all'interno del modello nei punti dei quali si desidera conoscere in modo particolare il livello di densità luminosa (la misurazione deve essere eseguita ad un'altezza corrispondente a quella del piano di lavoro). È allora possibile determinare il fattore di luce diurna nel locale, nello stesso modo in cui avverrebbe in realtà (rapporto tra le densità luminose interne e quelle esterne).

■ Misure all'esterno

Luce diffusa

La determinazione dei fattori di luce diurna può avvenire sistemando il modello all'esterno, a condizione che ci si trovi in presenza di un cielo perfettamente coperto ed uniforme. Si verificherà l'uniformità del cielo sistemando un luxmetro verticalmente e misurando la densità luminosa in direzione dei quattro punti cardinali. Se i quattro valori così misurati sono troppo diversi (rapporto superiore a 1.5), i risultati ottenuti potrebbero essere troppo inesatti ed i livelli del fattore di luce diurna poco vicini alla realtà. Occorrerà quindi armarsi di pazienza nell'attesa di condizioni più favorevoli.

Luce diretta

La visualizzazione delle penetrazioni dirette del sole può aver luogo, a cielo sereno, utilizzando il quadrante solare polare (cfr. figura 3.25, con riferimento alle istruzioni pertinenti). Questo strumento permette, con un minimo di mezzi, di effettuare rapidamente verifiche di un certo numero di posizioni tipiche del sole.



Quadrante solare (modelli all'esterno)

Secondo «Sunlighting», W.C. LAM, VNR, 1986

- Fotocopiare su carta bristol, poi tagliare e piegare l'abaco come indicato nello schema seguente.
- Regolare la latitudine secondo l'ubicazione dell'edificio.
- Orientare lo gnomone perpendicolarmente al piano dell'abaco.
- Fissare l'abaco su un piano orizzontale del modello, tenendo conto del nord.
- Far ruotare il modello rispetto al sole, individuando il mese e l'ora scelta in funzione dell'ombra proiettata sull'abaco dallo gnomone.

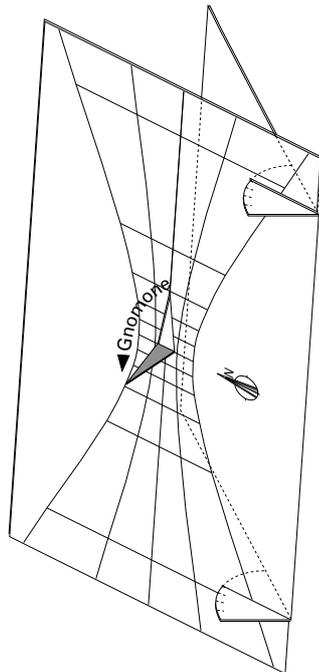
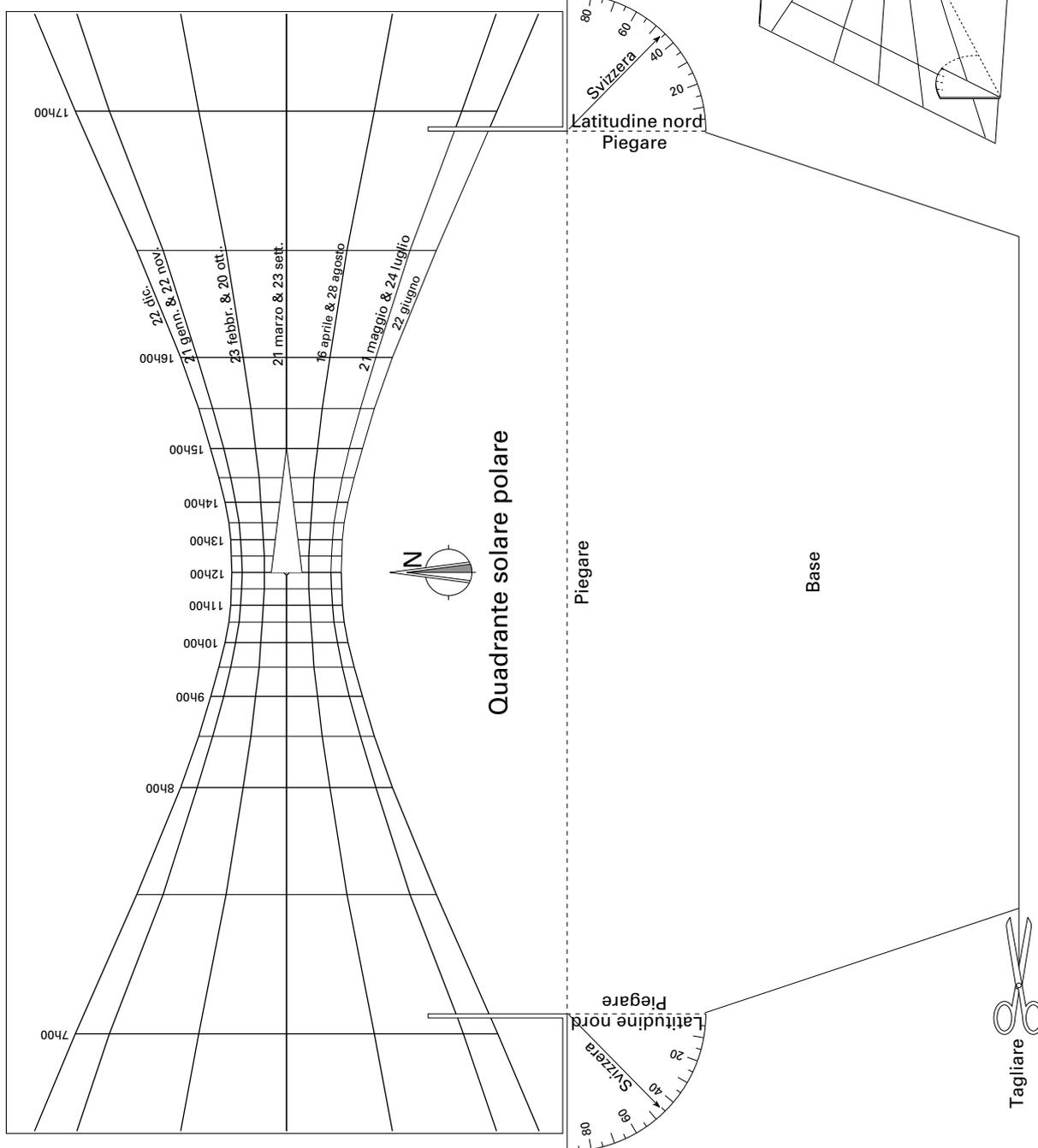


Figura 3.25: quadrante solare polare (modelli posti all'esterno)



Misurazioni sotto un cielo artificiale

Il vantaggio presentato dai cieli artificiali (simulatori di luce diffusa) risiede nel fatto che essi permettono di controllare la distribuzione delle luminanze. In Svizzera si distinguono due tipi principali di cieli artificiali.

Cielo a specchi

Si tratta di un soffitto a volta munito di un gran numero di tubi fluorescenti situati dietro a pannelli diffondenti, in modo da presentare una luminanza uniforme. Le pareti del soffitto a volta sono rivestite di specchi allo scopo di «moltiplicare» il cielo, prolungandolo fino all'orizzonte.

La distribuzione delle luminanze è molto simile a quella del cielo coperto CIE (luminanza dello zenit = tre volte la luminanza dell'orizzonte). Il modello è posto al centro del dispositivo; le misurazioni vengono effettuate quando l'operatore del sistema è uscito dal recinto, allo scopo di evitare qualsiasi interferenza con la luce riflessa dagli specchi.

Cielo a scansione

Si tratta di un emisfero di 5 m di diametro, ricoperto da 145 dischi luminosi (cfr. figura 3.26). Solo un sesto della volta celeste è costruito (25 dischi luminosi); la simulazione dell'insieme della volta celeste viene ottenuta nel modo seguente:

- rotazioni successive del modello situato al centro del simulatore (angolo di rotazione di 60 gradi);
- misurazione delle componenti della densità luminosa e memorizzazione delle riprese video ad ogni rotazione;
- somma dei dati ed immagini successive;
- in questo modo si ottiene la misura fotometrica globale e la visualizzazione finale dell'ambiente luminoso, dopo i sei movimenti di rotazione.

Poiché ogni sorgente luminosa è modulabile individualmente, questo strumento permette, di conseguenza, di riprodurre una grande varietà di cieli differenti.

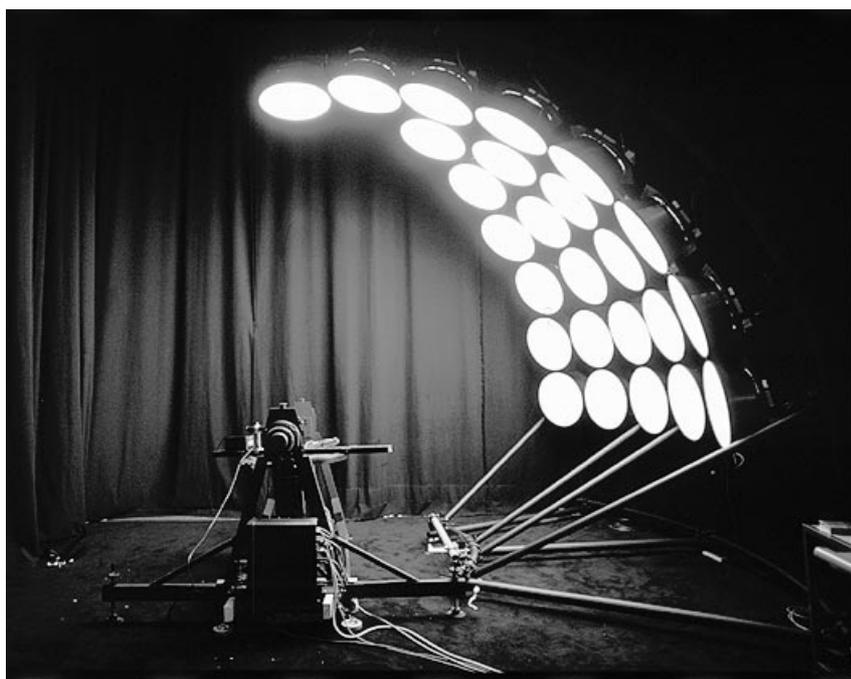


Figura 3.26:
simulatore di luce diffusa
(cielo artificiale a scansione, SPFL)



■ Misurazioni con il simulatore di luce diretta

Il simulatore di luce diretta permette di riprodurre gli spostamenti del sole nel cielo a qualsiasi ora, in qualunque giorno dell'anno e a qualsiasi latitudine del luogo considerato (cfr. figura 3.27).

Esso offre così la possibilità di tener conto dell'aspetto dinamico della luce naturale che proviene direttamente dal sole. L'accoppiamento con una telecamera video permette di realizzare filmati che illustrano lo svolgimento di una giornata, oppure il passaggio da una stagione all'altra ad un'ora determinata. Questo strumento permette di risolvere problemi concernenti l'illuminazione interna dei locali, nonché quelli che richiedono calcoli di ombre o di riflessi dovuti all'ambiente che circonda un edificio.

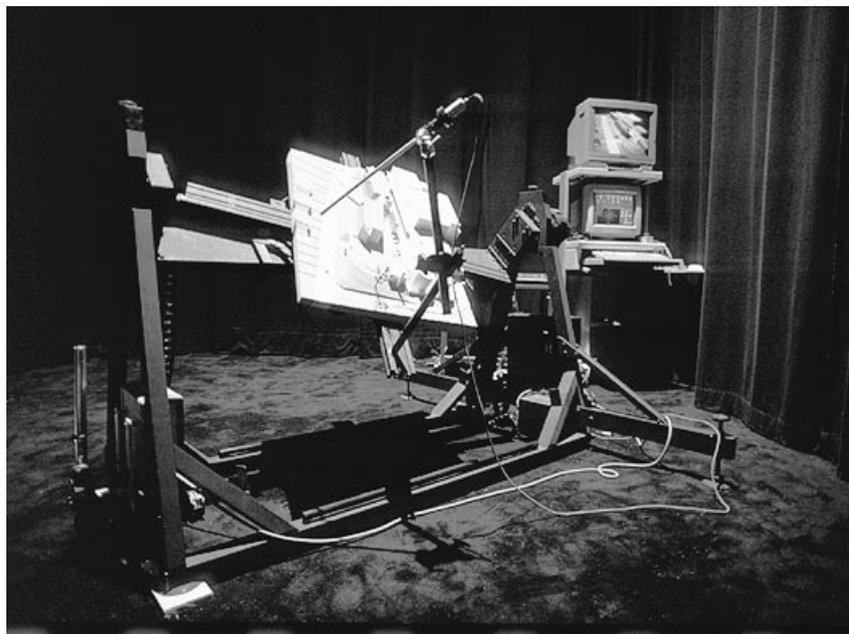


Figura 3.27:
simulatore di luce diretta
(simulatore automatizzato SPFL)

■ Programmi informatici

La propagazione della luce nei locali può essere riprodotta per mezzo di strumenti informatici utilizzando tecniche basate su immagini digitali. L'interesse è quello di poter eseguire studi dettagliati dei parametri e con una precisione difficile da raggiungere mediante i modelli. Ciò permette, ad esempio, di verificare rapidamente l'influsso della geometria di un locale, di far variare la fotometria delle sue pareti oppure l'inclinazione di una protezione contro il sole.

I risultati ottenuti vengono riprodotti sotto forma d'immagini sintetiche, di curve del fattore di luce diurna e d'indicatori del comfort visivo (cfr. figure 3.28, 3.29 e 3.30).

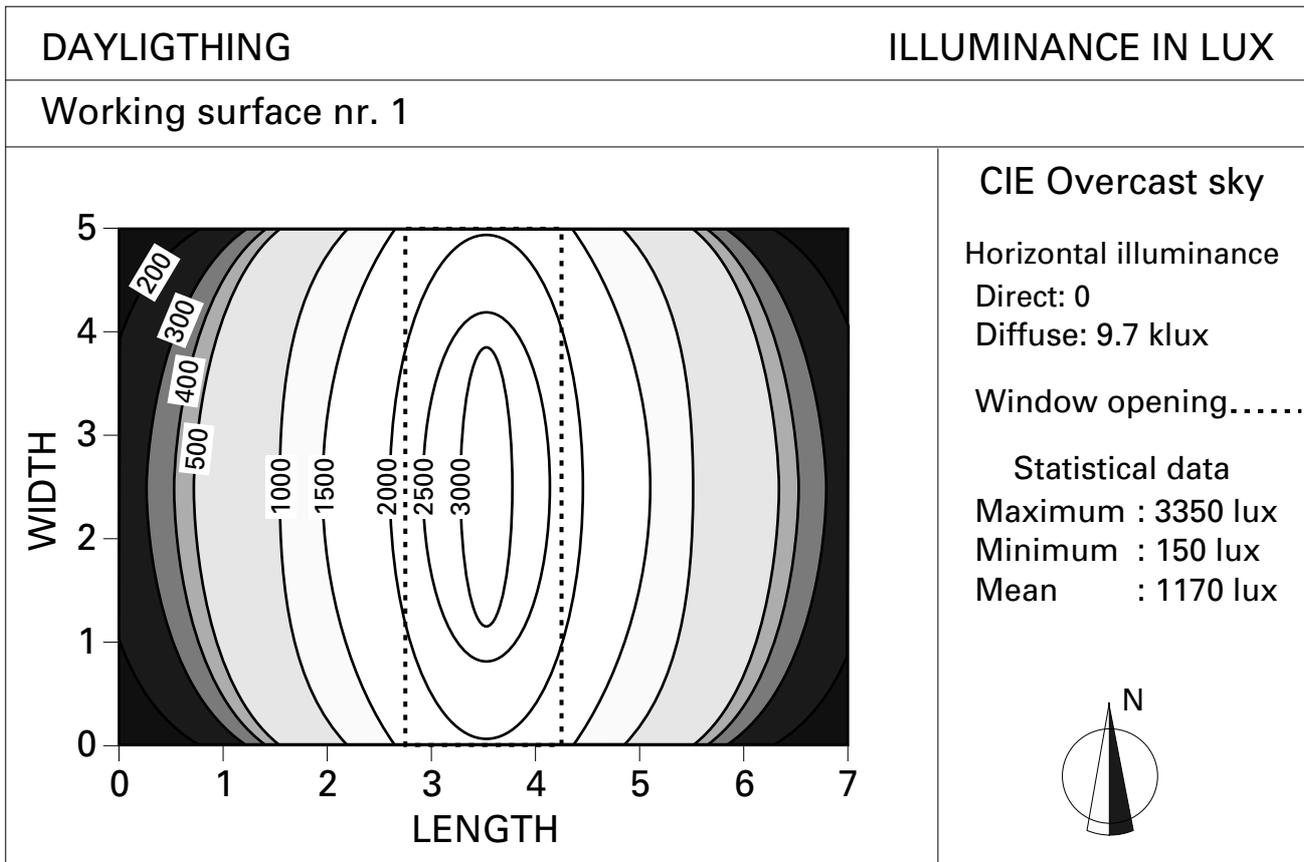


Figura 3.28:
 diagramma isolux
 (programma ADELIN/SUPERLITE)

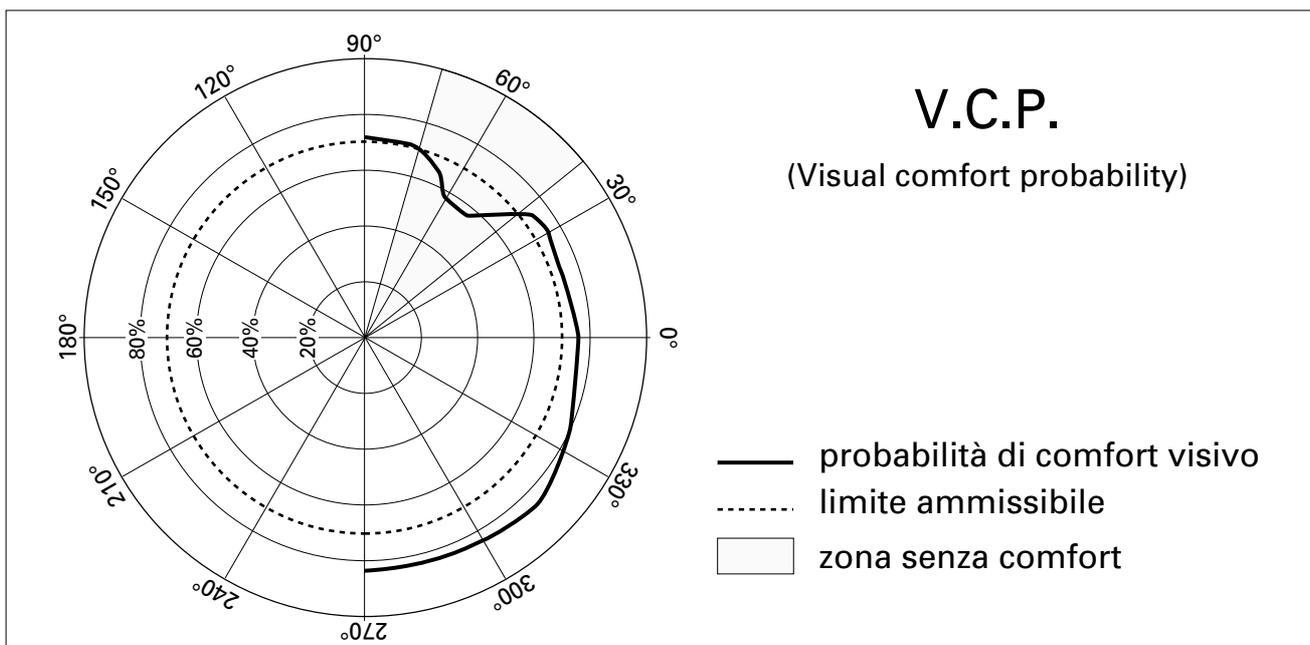


Figura 3.29:
 probabilità di comfort visivo in funzione
 della direzione dello sguardo (algoritmo di
 Guth, programma ADELIN/RADIANCE)

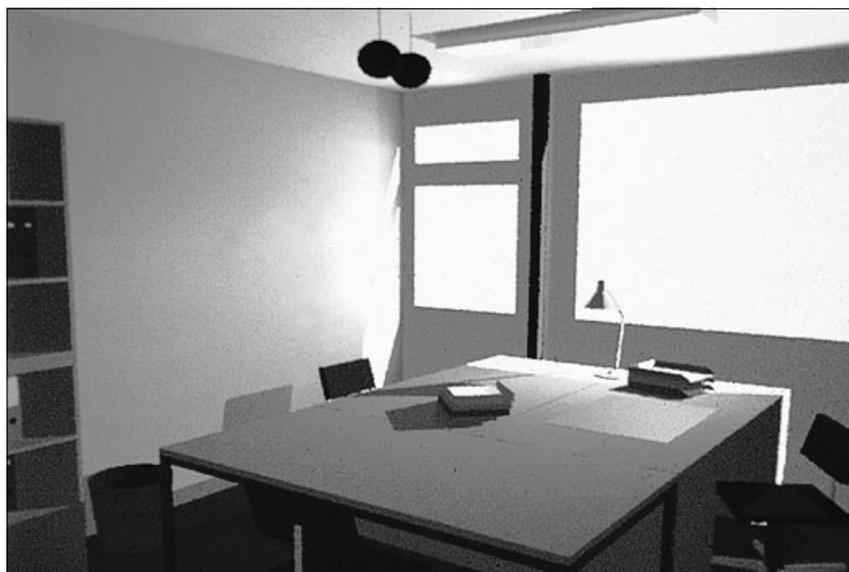


Figura 3.30:
visualizzazione infografica di un locale illuminato dalla luce naturale (unità solare del LESO-PB/SPFL, programma ADELINER/RADIANCE)

L'Associazione svizzera d'illuminazione (SLG) ha allestito una lista dei programmi disponibili oggi sul mercato. La tabella seguente ne fornisce una panoramica.

Programma	Applicazioni	Distributore
LUCY	Interno	(Ercò) Neuco
LMT-PC	Interno	Fluora, LMT
CALCULUX (LIDEC)	Interno	Philips
COPHOS	Interno	Zumtobel
LICHPLAN	Interno	Schultheis
LUXUS	Interno	Züllig + Rhyner
PIN	Interno	BAG, Staff, Hoffmeister
EXL	Campi sportivi	BAG
SILICHT	Interno	Siemens
SISTR	Rete stradale	Siemens
SIPLATZ	Piazze	Siemens
LICHT	Interno	Neuco, Trilux
XENON	Interno	Tulux
LICHT05-PC/E	Illuminazione pubblica	AEG
LICHT05-PC/L	Reti stradali	AEG
LICHT11-PC	Interno	AEG
RELUX	Interno	Regent
LUMENMICRO	Interno/esterno + luce naturale	Belux (USA)
EASYLIGHTS	Interno, rete stradale, piazze	PRC Krochmann
EASYDAYS	Luce naturale	PRC Krochmann
SUPERLITE	Luce naturale	EMPA
ADELINER	Luce naturale interno/esterno	SPF Losanna
SONNE	Luce naturale	Steinbeis

Figura 3.31:
lista degli strumenti informatici di simulazione in illuminotecnica disponibili sul mercato secondo comunicazione dell'Associazione svizzera d'illuminazione (SLG)



3.5 Esempio di realizzazione

- Sistema di luce naturale
Istituto di patologia, Università di Berna



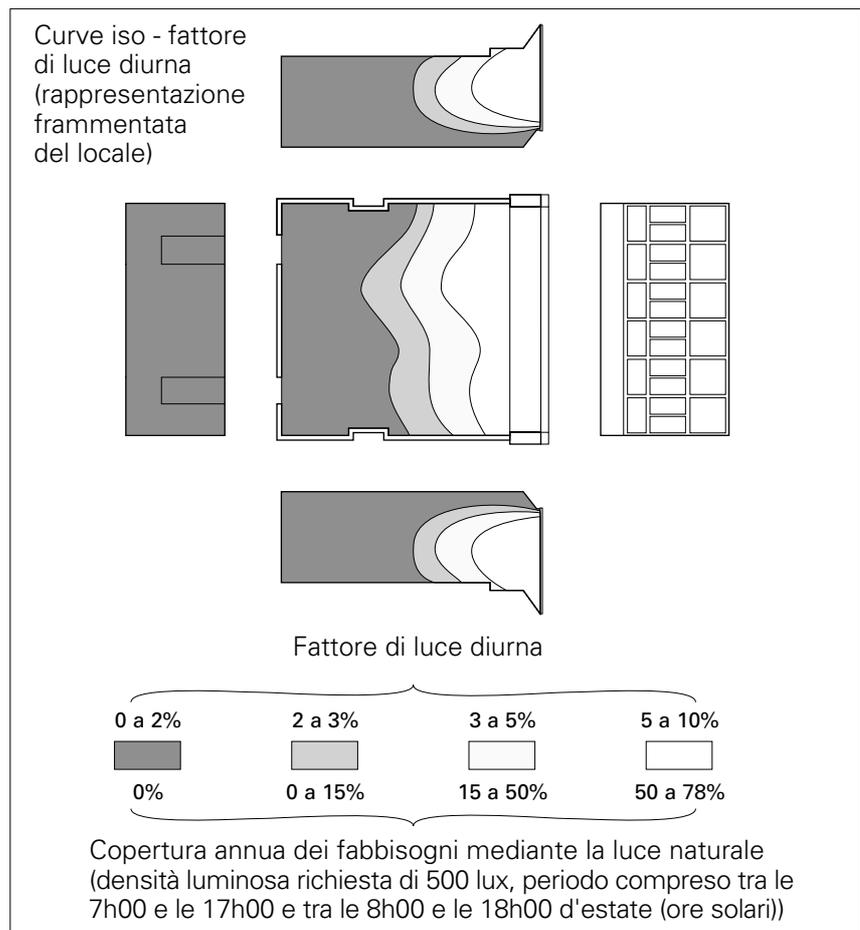
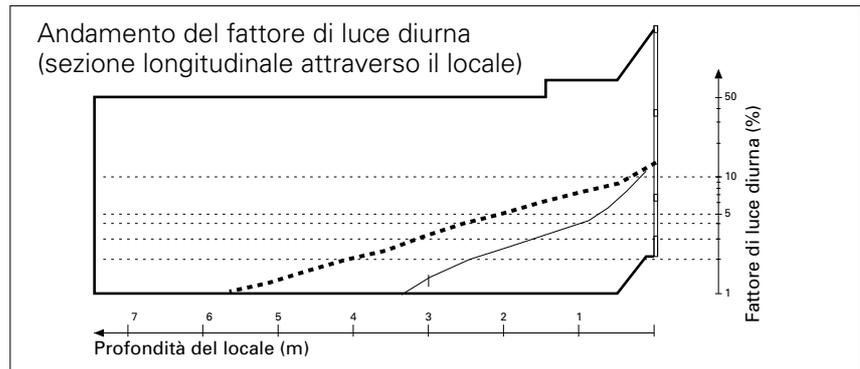
Figura 3.32:
panoramica dell'edificio

Dati generali

Edificio:	Istituto di patologia, Università di Berna
Architetto:	Itten & Brechbühl
Ubicazione:	in città
Orientamento dei locali:	nord-est
Utilizzazione:	uffici, laboratori di ricerca, locali d'insegnamento
Superficie del pavimento:	20100 m ²
Progettazione:	1986
Costruzione:	1991



■ Sistema di luce naturale
Istituto
di patologia,
Università di Berna
locale 174

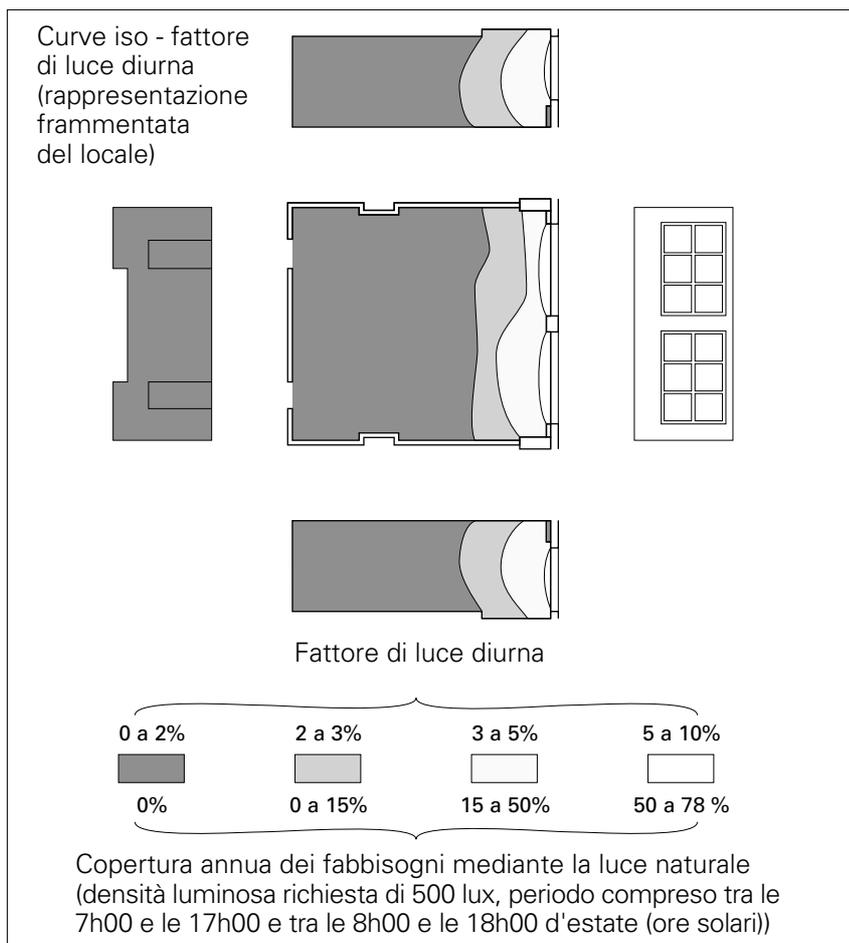
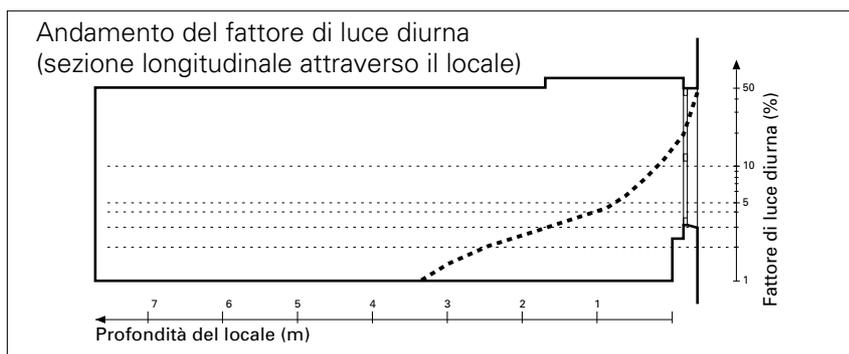


Caratteristiche del locale

Superficie:	52.65 m ²
Profondità:	7.45 m
Altezza:	2.64 m
Superficie vetrata:	15.50 m ²
Indice d'apertura corretto:	29.5%
Fattori di riflessione del soffitto (vernice bianca - metallo perforato bianco):	0.83-0.71
Fattori di riflessione dei muri (vernice bianca - calcestruzzo grezzo):	0.84-0.27
Fattore di riflessione del pavimento (linoleum grigio):	0.30
Vetri:	vetro doppio selettivo
Protezione contro il sole:	avvolgibili di tela



Sistema di luce naturale
Istituto di patologia,
Università di Berna
locale 576



Caratteristiche del locale

Superficie:	54.45 m ²
Profondità:	7.70 m
Altezza:	2.64 m
Superficie vetrata:	6.60 m ²
Indice d'apertura corretto:	12.1%
Fattori di riflesso del soffitto (vernice bianca - metallo perforato bianco):	0.81-0.71
Fattori di riflessione dei muri (vernice bianca - calcestruzzo grezzo):	0.84-0.27
Fattore di riflessione del pavimento (linoleum grigio):	0.30
Vetri:	vetro doppio selettivo
Protezione contro il sole:	avvolgibili a lamelle orientabili



■ Caratteristiche particolari

Una delle caratteristiche notevoli di questo edificio risiede nella configurazione delle architravi delle finestre. In una parte dei locali esse sono infatti tagliate di sbieco (1° e 2° piano), ciò che ha come effetto di aumentare la superficie vetrata nella parte alta (cfr. locale 174). Il paragone con i locali muniti di architravi classiche (locale 576) mostra un guadagno notevole a livello del fattore di luce diurna, soprattutto nelle parti lontane dalle aperture. La copertura annua dei fabbisogni di luce solo mediante la luce naturale è, di conseguenza, ampiamente garantita.



4. Tecniche d'illuminazione artificiale

4.1	L'ufficio e le zone	69
4.2	Obiettivi dell'illuminazione artificiale	70
4.3	Criteria e parametri di un progetto d'illuminazione	72
■	Contesto generale	72
4.4	Tipi d'illuminazione artificiale	73
■	Illuminazione diretta	73
■	Illuminazione indiretta	82
■	Illuminazione diretta/indiretta	84
■	Illuminazione con due componenti	86
4.5	Comando dell'illuminazione	88
4.6	Bilancio finale	90
4.7	Esempi di realizzazione	91
■	Ristrutturazione di un impianto d'illuminazione artificiale Edificio UAP, Losanna	91
■	Natura della ristrutturazione	92
■	Paragone tra gli impianti	92
■	Prestazioni dell'illuminazione	93
■	Risparmi d'energia	94
■	Analisi dei costi	94
■	Ristrutturazione di un impianto d'illuminazione artificiale Edificio UCFSM, Berna	95
■	Natura della ristrutturazione	95
■	Paragone degli impianti	96
■	Prestazioni dell'illuminazione	97
■	Risparmi d'energia	98
■	Analisi dei costi	98



4. Tecniche d'illuminazione artificiale

4.1 L'ufficio e le zone

La parola «ufficio» è molto più vecchia dell'invenzione della luce elettrica e risale ad un centinaio di anni fa. A quei tempi, in francese, si chiamava «bureau», ossia ufficio, un mobile, un tavolo o una scrivania.

A causa dell'industrializzazione e della meccanizzazione, le attività di un grande numero di persone del mondo civilizzato si sono spostate, dapprima dai campi alle officine ed alle fabbriche ed in seguito dalle fabbriche agli uffici. Oggi si chiama «ufficio» un locale in cui si trovano mobili, tavoli, posti di lavoro.

Un edificio amministrativo o una superficie destinata ad uffici sono spesso divisi in diverse zone (settori), ai quali vengono associati:

- uffici cellulari (uffici di piccole dimensioni);
- uffici cellulari rappresentativi (di prestigio);
- uffici di grande superficie;
- uffici per sedute e/o per conferenze (con o senza equipaggiamento audiovisivo);
- locali di formazione (per personale interno, esterno o temporaneo);
- ricezione, telefoniste;
- archivi;
- superfici destinate ai passaggi.

Per queste superfici viene spesso richiesta una massima flessibilità architettonica, allo scopo di potere adattare le zone all'evoluzione dei servizi, dei compiti, della mobilità e dell'organizzazione ottimale dell'azienda. La flessibilità della ripartizione degli spazi è d'importanza capitale, in particolare per quanto concerne le superfici previste per la locazione.

Il presente capitolo tiene conto soprattutto dell'illuminazione dei posti di lavoro nei tre tipi di zone. Tiene parimenti conto dello strumento di lavoro che ha conosciuto un'evoluzione fulminea: il terminale munito di schermo.

I lavori d'ufficio si svolgono soprattutto a due livelli:

- su una superficie orizzontale per la lettura, la scrittura ed il disegno;
- su una superficie verticale per i lavori allo schermo, il disegno su tavola, nonché gli armadi e gli scaffali.

Si suppone che i piani di lavoro orizzontali siano tutti alla stessa altezza (circa 0.75 m). Anche i locali sono della stessa altezza (circa 3 m).



4.2 Obiettivi dell'illuminazione artificiale

L'illuminazione artificiale deve soprattutto adempiere agli scopi seguenti:

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

L'illuminazione è in primo luogo destinata al senso della vista e, di conseguenza, all'occhio che rappresenta l'organo d'informazione più importante dell'uomo. Ciò è vero finché le condizioni dell'ambiente fisiologico sono adeguate al processo di percezione.

Le esigenze concernenti le tecniche d'illuminazione artificiale sono molto elevate; esse devono poter soddisfare una molteplicità di criteri di qualità. Ciò comprende criteri oggettivi, calcolabili e quantificabili, nonché valori non misurabili ed irrazionali che interessano l'aspetto soggettivo del benessere delle persone (comfort, sentimenti, emozioni).

La luce non ha quindi un influsso unicamente sulla vista, ma contribuisce anche allo stimolo ed al comfort dell'uomo e, di conseguenza, al suo rendimento ed alla sua sicurezza.

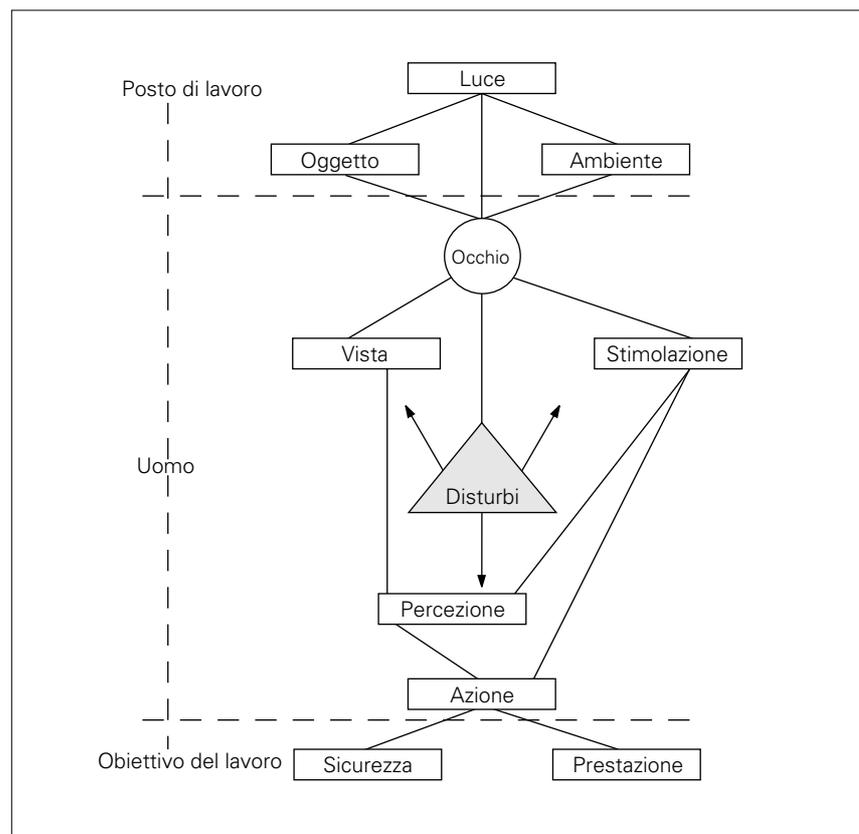


Figura 4.1:
rappresentazione schematica dell'influsso della luce sull'uomo nell'ambito del lavoro



La luce raggiunge l'occhio in tre modi:

- direttamente dalla sorgente (finestra, corpo illuminante);
- mediante riflessione su un oggetto (foglio di carta);
- mediante riflessione dell'ambiente (pareti, soffitto, mobili).

La luce riflessa dall'oggetto è determinante. Da questa riflessione luminosa dipende la percezione dell'informazione e l'azione (cfr. figura 4.1). La velocità e la qualità di questo processo sono tuttavia funzione della stimolazione (flessibilità mentale) che a sua volta è comandata dalla luce.

Contrariamente alla funzione visiva, la percezione è soprattutto un processo psichico. Tutti gli aspetti di tale processo, che determinano l'accettazione dell'illuminazione ed il benessere dell'uomo sul posto di lavoro non sono completamente spiegati.

Può tuttavia essere formulata la regola generale seguente.

Regola generale dell'illuminazione artificiale

La vista dell'uomo è adattata alla luce naturale. Una buona illuminazione deve cercare di creare le stesse condizioni:

- luce emessa da sorgenti di grandi dimensioni (volta celeste).
- Corpo illuminante al di sopra dell'orizzonte.
- Ripartizione equilibrata delle luminanze nel campo visivo.
- Deboli contrasti di luminanze.
- Componente verticale intensa dell'illuminazione.
- Ombre dolci (eccetto nel caso di luce solare diretta).
- Evitare le luminanze ed i riflessi fastidiosi.



4.3 Criteri e parametri di un progetto d'illuminazione

■ Contesto generale

L'elaborazione e la realizzazione di un progetto d'illuminazione non potrebbero essere lasciate al caso. Allo scopo di permettere una progettazione efficace del suo intervento, l'illuminotecnico deve venire integrato fin nell'inizio al gruppo di progettazione per:

- poter conoscere l'oggetto architettonico (struttura, trama, volume, zone, orientamenti, protezione contro il sole, materiali, ecc.);
- conoscere i fabbisogni del committente (ad esempio risparmio energetico);
- definire il grado di flessibilità di sistemazione (ripartizione delle superfici, mobilità dei posti di lavoro);
- prevedere l'integrazione dei corpi illuminanti nel piano architettonico (previo accordo con l'architetto).

Egli si basa sulla propria esperienza e valuta il progetto sulla base di un certo numero di criteri di qualità.

Criteri di valutazione (criteri di qualità)

I parametri decisivi, per quanto concerne la qualità, sono i seguenti:

- densità luminosa orizzontale e verticale adeguate (grandezza misurabile);
- protezione contro le luminanze e gli abbagliamenti indiretti;
- limitazione dell'abbagliamento diretto;
- ripartizione armoniosa delle luminanze (sensazione di luminosità);
- risparmi energetici;
- ripartizione delle ombre;
- colore della luce;
- resa del colore.

Per soddisfare nel migliore dei modi questi criteri di qualità (nella maggior parte soggettivi) in un contesto ben definito, l'illuminotecnico deve fare la scelta di un tipo d'illuminazione a partire dai parametri tecnici seguenti.

Parametri tecnici

I parametri di natura tecnica da tenere in considerazione sono i seguenti:

- valutazione delle percentuali di luce diurna;
- tipi di sorgenti luminose;
- tipi di corpi illuminanti;
- disposizione dei corpi illuminanti (rispetto al posto di lavoro);
- comando dell'illuminazione;
- consumo d'energia;
- problemi di manutenzione;
- carichi termici;
- costi (investimento ed esercizio).

I criteri ed i parametri tecnici summenzionati vengono sviluppati nei paragrafi seguenti.

Il consumo d'energia e, di conseguenza, anche il risparmio energetico dipendono soprattutto dalla scelta di un comando adeguato dell'illuminazione e, anche se in misura minore, dagli altri parametri tecnici menzionati.



4.4 Tipi d'illuminazione artificiale

I quattro tipi principali d'illuminazione artificiale degli uffici sono i seguenti:

- illuminazione diretta
- illuminazione indiretta
- illuminazione diretta/indiretta
- illuminazione a due componenti.

■ Illuminazione diretta

Questo tipo d'illuminazione implica la proiezione della luce, direttamente dalla sorgente o dal corpo illuminante, fino alla superficie di lavoro.

L'illuminazione diretta costituisce il tipo più diffuso a partire dallo sviluppo dei tubi fluorescenti (1950). Si può fare una distinzione tra tre tecniche d'illuminazione diretta che corrispondono alle tre suddivisioni del presente paragrafo.

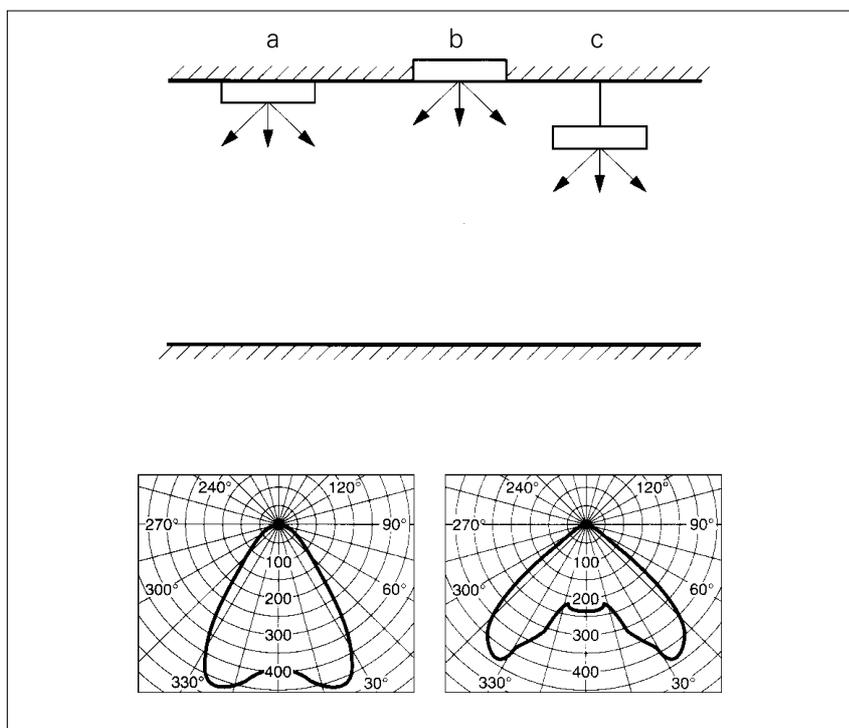


Figura 4.2:
principio dell'illuminazione diretta con
tubi fluorescenti a) visibili, b) incorporati,
c) sospesi

La figura 4.2 illustra tre categorie di corpi illuminanti adatti all'illuminazione diretta; le curve fotometriche esprimono l'intensità luminosa (I), misurata in candele, emessa da questi ultimi. L'intensità e la forma della curva (l'angolo di radiazione) sono determinate da:

- il tipo di sorgente luminosa (flusso luminoso);
- la struttura del corpo illuminante e della sua ottica (riflettore e griglie).

Gli esempi della figura 4.2 mostrano le curve di due corpi illuminanti ad illuminazione diretta (angolo di radiazione di 45°): quella di sinistra irradia in profondità e quella di destra in larghezza (irradiazione a forma di ala di pipistrello o «batwing», caratterizzata da una debole intensità a 0°).

Per le illuminazioni di tipo fluorescente devono essere utilizzati alimentatori a risparmio energetico oppure ad alta frequenza.



Regola importante per quanto concerne i tubi fluorescenti

Per le sorgenti luminose di tipo fluorescente, utilizzate in generale per l'illuminazione diretta, gli apparecchi ausiliari (alimentatori) causano un consumo non trascurabile di corrente elettrica rispetto al consumo delle sorgenti stesse (fino al 30% di consumo per gli apparecchi di vecchio tipo).

Per questo tipo d'illuminazione occorre dare la preferenza ai seguenti tipi di alimentatore che offrono un risparmio energetico:

- alimentatori con poca perdita (modello VVG, consumo da 5 a 7 W).
- Alimentatori elettronici ad alta frequenza (modello EVG, consumo da 3 a 5 W).

Durante la ristrutturazione d'impianti d'illuminazione artificiale la sostituzione dei vecchi corpi illuminanti con dispositivi moderni muniti di alimentatori elettronici o di alimentatori a debole perdita permette di migliorare la qualità e la densità luminosa, pur risparmiando energia (fino al 30% del consumo del vecchio impianto).

Corpi illuminanti a diffusore o a lamelle

Questo tipo di corpi illuminanti fornisce una buona illuminazione generale per i posti di lavoro che non sono muniti di schermo; essi devono essere evitati in caso contrario (riflessi fastidiosi). La figura 4.3 illustra questo tipo di corpi illuminanti.

Le figure 4.4 e 4.5 illustrano due casi d'illuminazione diretta in un ufficio di piccole dimensioni ed in un ufficio di grandi dimensioni. La figura 4.6 fornisce un esempio di tale tipo d'illuminazione.

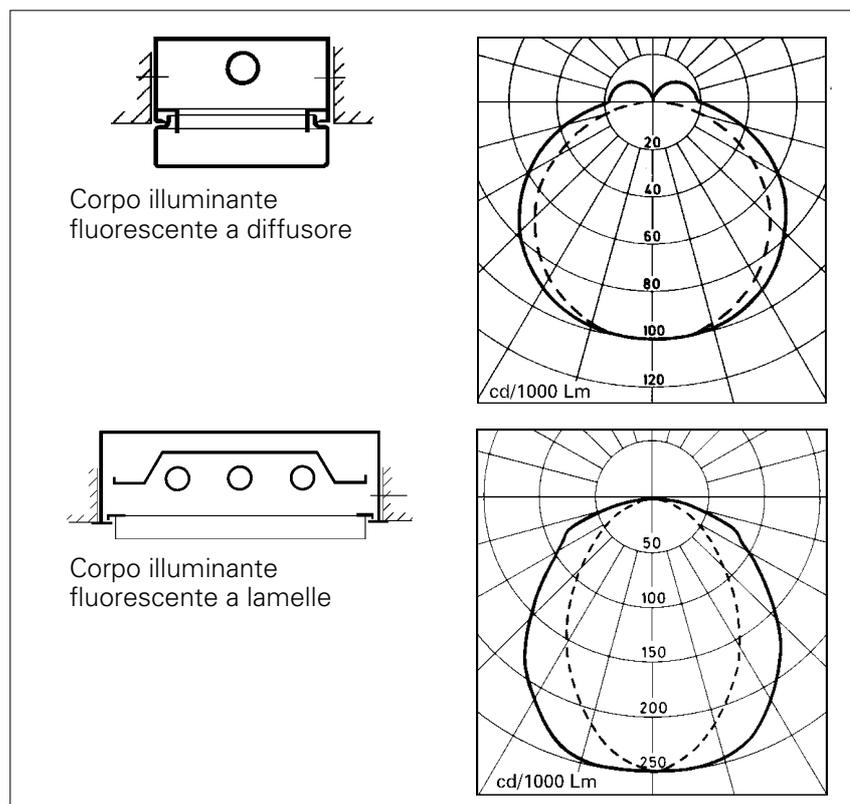


Figura 4.3: corpi illuminanti adeguati a posti di lavoro senza schermo



Caratteristiche dell'illuminazione diretta mediante corpi illuminanti a diffusore o a lamelle

- L'abbagliamento diretto viene generalmente attenuato dalla grande superficie di diffusione.
- Nessuna protezione viene garantita contro l'abbagliamento indiretto provocato dai riflessi su superfici brillanti (carta, mobili).
- Negli uffici di grandi dimensioni la disposizione dei corpi illuminanti deve essere parallela alle finestre. Il loro comando deve avvenire su file separate, se possibile mediante sensore di densità luminosa. La loro disposizione può essere interrotta a seconda delle condizioni architettoniche allo scopo di ottenere una maggiore flessibilità per quanto concerne le separazioni.
- La ripartizione delle luminanze è buona; essa è simile a quella della volta celeste.

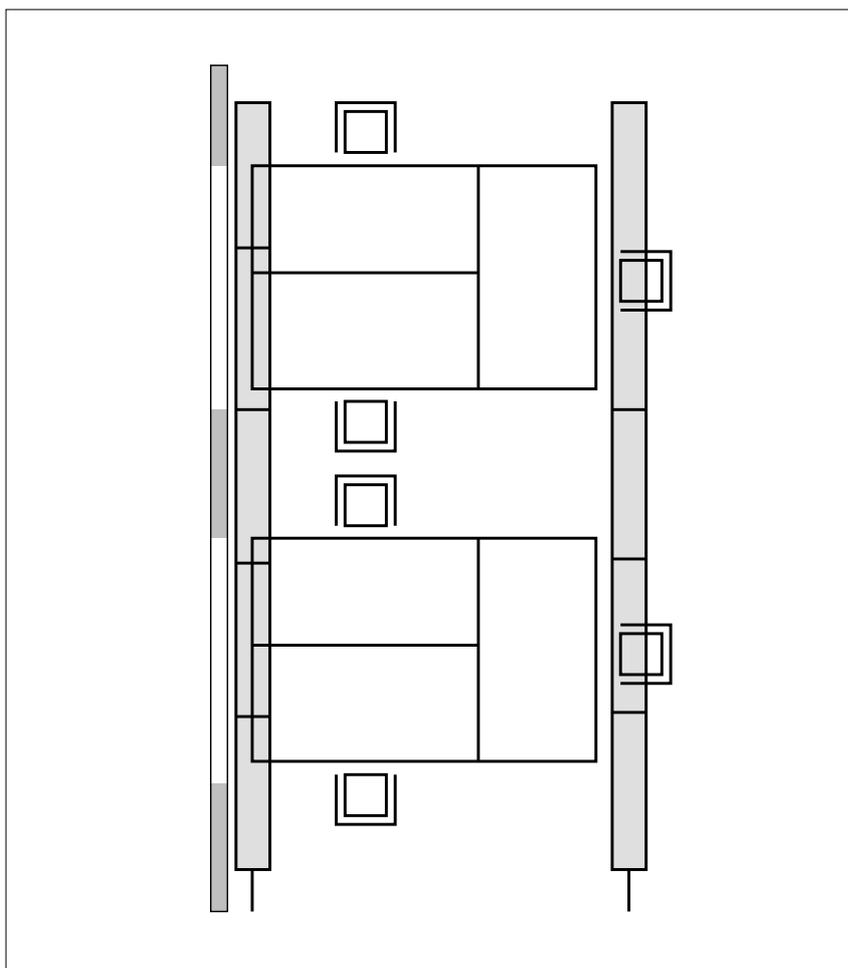


Figura 4.4:
disposizione dei corpi illuminanti in un ufficio di piccole dimensioni «convenzionale». Grande libertà nella sistemazione dei posti di lavoro



Figura 4.5:
disposizione dei corpi illuminanti in un ufficio di grandi dimensioni. Possibilità di eseguire separazioni, libertà di sistemazione dei posti di lavoro

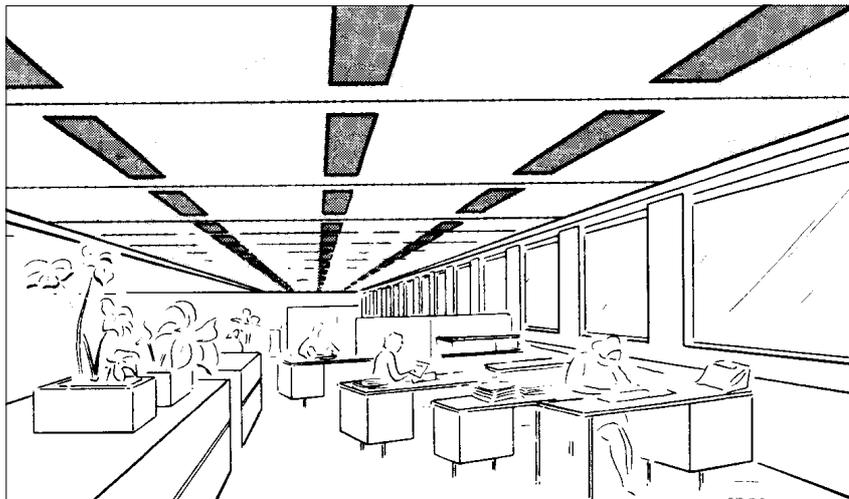


Figura 4.6:
illuminazione diretta di un ufficio (corpi illuminanti a lamelle)



Illuminazione diretta mediante soffitto luminoso

Quanto maggiore è la superficie che emette la luce (soffitto luminoso), tanto minore è il rischio di abbagliamento per la medesima densità luminosa sul piano di lavoro (diminuzione delle luminanze). La figura seguente illustra questo tipo d'illuminazione.

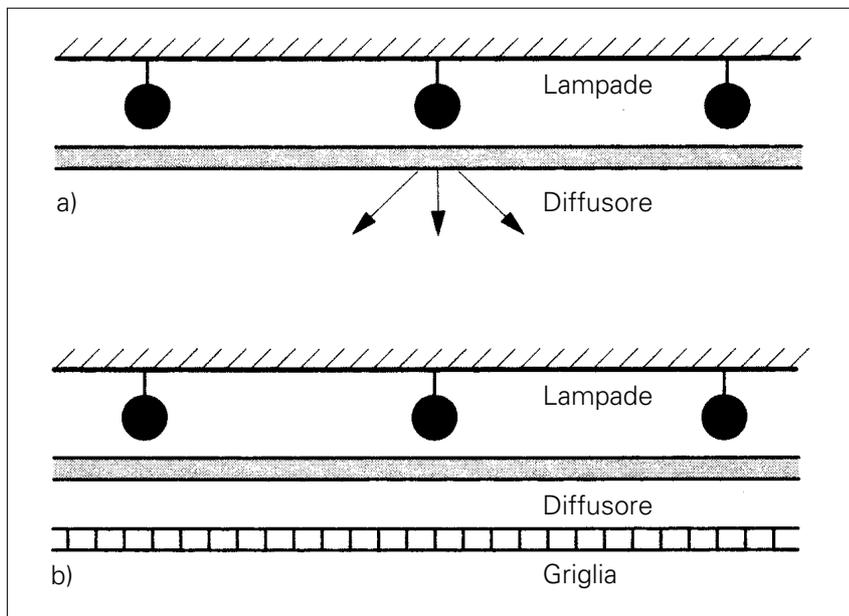


Figura 4.7:
illuminazione mediante soffitto luminoso
a) soffitto luminoso con diffusore
b) soffitto luminoso con diffusore e griglia

Questo tipo d'illuminazione è adatto ad uffici di grande superficie, a condizione che i posti di lavoro siano ad oltre 6 m dalle finestre. Il rendimento di questo tipo d'illuminazione è tuttavia debole; ai nostri giorni è quindi poco utilizzato.

Caratteristiche dell'illuminazione diretta mediante soffitto luminoso

- Questo tipo d'illuminazione è poco raccomandabile a causa del suo debole rendimento luminoso. Generalmente non è giustificabile quando si tratta di risparmiare elettricità.
- Esso crea, inoltre, problemi di manutenzione dovuti alle difficoltà di pulizia e di cura degli elementi diffusori.

Illuminazione diretta per posti di lavoro muniti di schermo

L'introduzione dell'informatica e quindi l'utilizzazione di schermi e di tastiere quali strumenti di lavoro, temporanei o permanenti, non hanno affatto modificato gli obiettivi ed i criteri di valutazione di un impianto d'illuminazione artificiale (cfr. paragrafi 4.2 e 4.3).

Il rispetto dei criteri di protezione contro l'abbagliamento e quelli di una ripartizione adeguata delle luminanze riveste tuttavia un'importanza molto maggiore.

A causa del suo effetto riflettente e della sua luminanza lo schermo richiede un adeguamento della strategia d'illuminazione, intervenendo sia sui corpi illuminanti, sia sul tipo d'illuminazione.



Le caratteristiche dei corpi illuminanti, adeguati all'illuminazione diretta dei posti di lavoro allo schermo, devono di conseguenza basarsi su considerazioni concernenti la geometria del posto di lavoro.

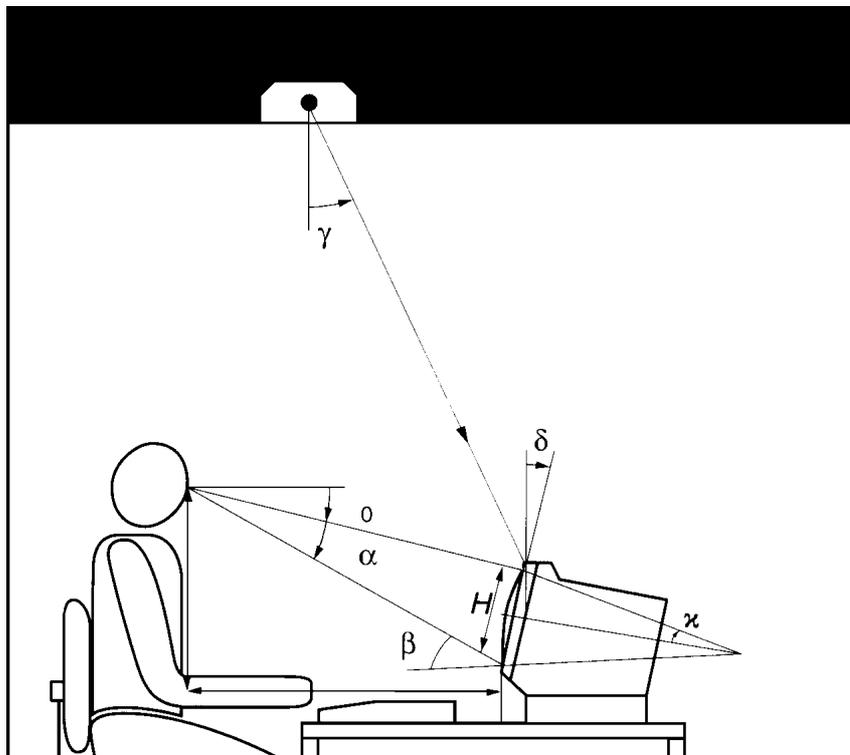


Figura 4.8: geometria di un posto di lavoro allo schermo. Base per la definizione della fotometria di un corpo illuminante (angolo di radiazione della luce)

I corpi illuminanti che rispondono a tali esigenze sono muniti di un'ottica ad effetto specchiante (riflettore, griglia) destinata a ridurre le luminanze della superficie che emette la luce. Inoltre quest'ultima è fortemente concentrata allo scopo di evitare gli abbagliamenti diretti ed indiretti.

Le curve fotometriche di questi corpi illuminanti vengono fornite alla figura 4.2.

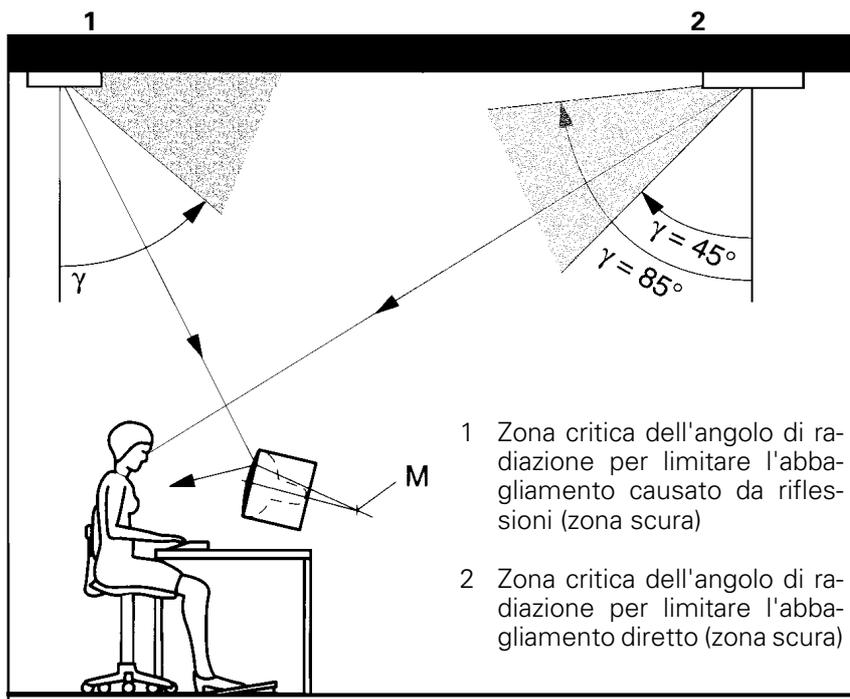


Figura 4.9: angoli critici di radiazione che permettono di limitare i rischi di abbagliamento



Questa tecnica di guida della luce artificiale si è preoccupata soprattutto dell'eliminazione – o della riduzione – delle luminanze e dei riflessi sullo schermo. Questo scopo è generalmente stato raggiunto, ma talvolta a scapito degli utenti.

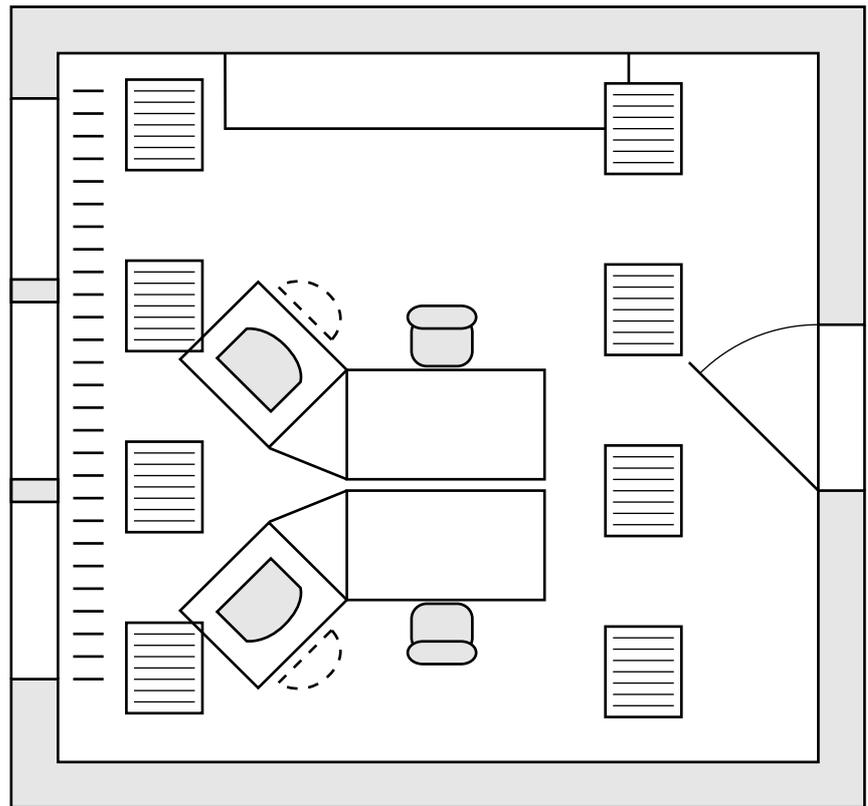
Nel riquadro seguente è riassunto un certo numero di vantaggi e di svantaggi concernenti questi corpi illuminanti.

Caratteristiche dell'illuminazione diretta per posti di lavoro allo schermo

- Questo tipo d'illuminazione è compatibile con una diminuzione generale del livello di densità luminosa e, di conseguenza, con una diminuzione del consumo d'energia.
- Con questo tipo d'illuminazione è possibile raggiungere una potenza media di 7 W/m^2 (locale illuminato dalla luce naturale). Un comando dipendente dalla luce naturale permette di ottenere una potenza media di 3 W/m^2 (valore mirato), nel migliore dei casi.
- Esso è caratterizzato da una densità luminosa verticale ridotta; al contrario la densità luminosa orizzontale è notevolmente più elevata. Ne possono risultare riflessioni e riflessi fastidiosi sul posto di lavoro (mobili, tastiera, carta).
- La zona al di sopra dell'angolo di radiazione – tra 45° e 85° – è poco illuminata: il soffitto e la parte alta delle pareti sono quindi scure ($L < 220 \text{ cd/m}^2$). Per questo motivo tale tipo d'illuminazione viene definito come «darklight» (luce scura).
- I corpi illuminanti adatti a questo tipo d'illuminazione sono caratterizzati in generale da una luminanza debole, a causa della loro ottica ad effetto specchiante. Il rischio di riflessi sullo schermo ne risulta ridotto.
- La ripartizione delle luminanze è molto irregolare e, di conseguenza, contraria a quella della luce naturale (si dovrebbe, per analogia, chiamare quest'ultima «clearlight»). Questo tipo d'illuminazione è quindi talvolta tenuto in scarsa considerazione dagli utenti.

Nonostante questi svantaggi, tale tipo d'illuminazione è sempre molto diffuso. Un comando con regolazione automatica o manuale può contribuire al miglioramento del sistema, senza renderlo tuttavia totalmente conforme ai criteri di valutazione di una buona illuminazione.

La disposizione dei corpi illuminanti avviene per principio in modo simmetrico e parallelo alle finestre, allo scopo di ottenere un'illuminazione generale uniforme (cfr. figura 4.10).



*Figura 4.10:
disposizione uniforme di corpi illuminanti
quadrati in un ufficio di piccole dimensioni.
Alle finestre sono sospese tende contro
l'abbagliamento diretto della luce naturale*

La sistemazione dei posti di lavoro resta libera. Essa si orienterà tuttavia sempre a seconda delle sorgenti luminose, allo scopo di evitare nel migliore dei modi i riflessi fastidiosi e gli abbagliamenti diretti. Questo tipo d'illuminazione viene utilizzato anche negli uffici di grandi dimensioni.



Figura 4.11:
esempio di un'illuminazione diretta del
tipo «darklight» (ufficio munito di schermi)



■ Illuminazione indiretta

L'illuminazione indiretta consiste nell'utilizzare una superficie, generalmente il soffitto, quale riflettore per diffondere la luce. I corpi illuminanti sono sia sospesi al soffitto, sia a stelo, sia utilizzati sotto forma di applique (cfr. figura 4.12).

Le sorgenti luminose sono costituite da lampade fluorescenti o da lampade a scarica elettrica (lampade ad alogenuri metallici). Ad uguale livello di densità luminosa, il loro consumo di energia è identico. Esso è nettamente inferiore a quello delle lampade alogene che non sono raccomandabili a causa della loro scarsa efficienza luminosa.

Le lampade a scarica elettrica sono molto compatte, ciò che permette di inserirle in corpi illuminanti di struttura particolare. Esse non possono invece venir regolate, contrariamente ai tubi fluorescenti alimentati ad alta frequenza (alimentatori elettronici HF). Utilizzando sorgenti luminose ed apparecchi ausiliari efficaci è possibile ottenere potenze installate dell'ordine di 12 W/m^2 , anche con un'illuminazione diretta.

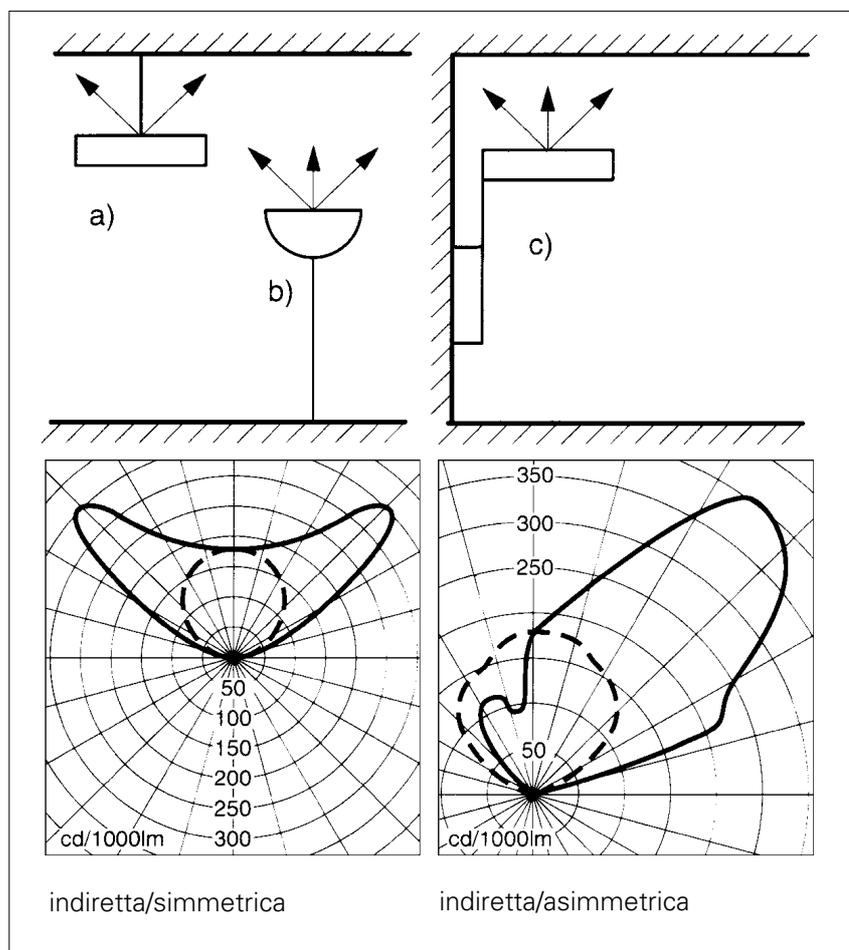


Figura 4.12:
principio di un'illuminazione indiretta
mediante
a) corpi illuminanti sospesi,
b) lampadari mobili o su stelo,
c) applique

Questo tipo d'illuminazione può essere considerato come un'illuminazione di un punto determinato del posto di lavoro; la luce residua è generalmente sufficiente per gli spostamenti.



Il rendimento di tale tipo d'illuminazione (lampadari muniti di tubi fluorescenti) può essere notevolmente migliorato mediante:

- una regolazione automatica mediante sensore oppure manuale;
- una regolazione meccanica dell'ottica tale da permettere di modificare la forma della superficie che diffonde la luce (soffitto), nonché la sua luminanza.

Il riquadro seguente riassume le principali caratteristiche di questo tipo d'illuminazione.

Caratteristiche dell'illuminazione indiretta

Vantaggi

- Buona protezione contro gli abbagliamenti a causa della diffusione della luce per mezzo del soffitto (nessun abbagliamento diretto).
- Ripartizione adeguata delle luminanze (caratteristiche simili a quelle della luce naturale).
- Densità luminosa orizzontale e verticale soddisfacente.
- Risparmi energetici possibili grazie alla commutazione individuale sul posto di lavoro (la luce viene utilizzata soltanto in funzione dei fabbisogni). Gli utenti devono tuttavia essere motivati; nella migliore delle ipotesi tale risparmio energetico può giungere fino al 50% in un ufficio di vasta superficie (4 o più posti di lavoro) rispetto ad un'illuminazione diretta con comando manuale.
- Libertà totale per la sistemazione delle superfici e dei mobili (lampadari mobili). La luce residua è generalmente sufficiente per gli spostamenti.
- Nessuna installazione sul soffitto, manutenzione facilitata.

Svantaggi

- Questo tipo d'illuminazione può sfociare in un consumo d'energia eccessivo qualora le sorgenti luminose utilizzate non avessero un'efficienza luminosa sufficientemente elevata (lampade alogene). Lo stesso vale nel caso in cui gli utenti non siano sufficientemente motivati ed informati per quanto concerne un'utilizzazione razionale (illuminazione dipendente dal fabbisogno).
- I corpi illuminanti muniti di lampada a scarica elettrica (alogenuri metallici) necessitano di un periodo di riscaldamento (2 min). Talvolta è percettibile uno sfarfallio.
- Assenza di ombre (è difficile la percezione di oggetti tridimensionali).
- Per certe sorgenti luminose la luminanza del soffitto può essere troppo elevata.



Figura 4.13:
esempio di un'illuminazione diretta/indiretta (lampade fluorescenti). Cfr. anche la figura 1.1 (capitolo introduttivo)

■ Illuminazione diretta/indiretta

Questo tipo d'illuminazione è simile al tipo indiretto, descritto al paragrafo precedente, ma si differenzia dallo stesso a causa del fatto che una parte della luce viene proiettata direttamente anche sul piano di lavoro (tipo diretto). La parte indiretta resta tuttavia dominante.

Esistono corpi illuminanti nei quali una stessa sorgente produce l'illuminazione indiretta e quella diretta. Altri posseggono due sorgenti distinte con comandi separati.



I vantaggi di questo tipo d'illuminazione sono identici a quelli dell'illuminazione indiretta. Inoltre la parte diretta crea ombre vantaggiose e permette di ridurre la luminanza del soffitto.

Questo tipo d'illuminazione è più economico se viene utilizzato come illuminazione di un punto determinato, ossia con corpi illuminanti mobili. La parte indiretta è generalmente sufficiente come illuminazione generale; la parte diretta viene utilizzata per illuminare il piano di lavoro (illuminazione di un punto determinato). La sistemazione sul posto di questo tipo d'illuminazione deve tuttavia essere determinata in modo molto preciso, allo scopo di rispondere ai criteri di qualità dell'illuminazione del posto di lavoro.

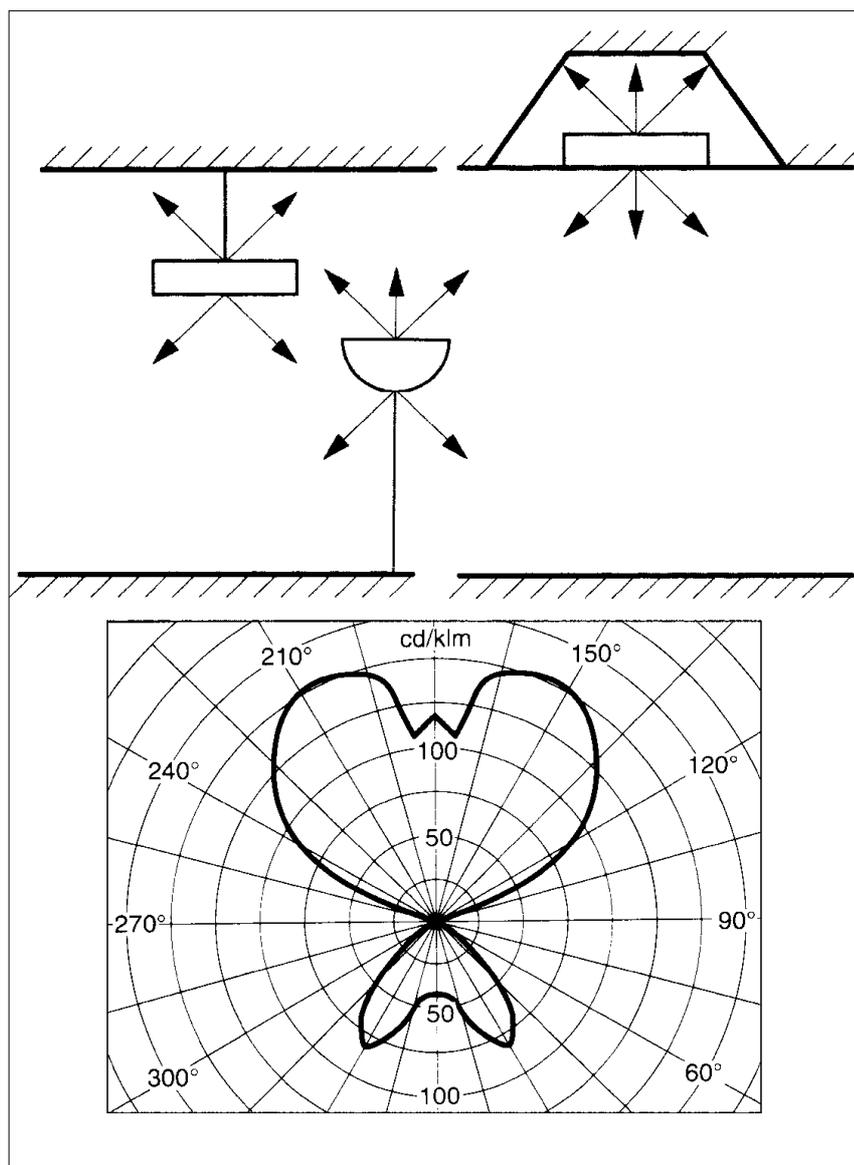


Figura 4.14:
combinazione di un'illuminazione diretta ed indiretta (corpi illuminanti sospesi, mobili o incassati)

L'utilizzazione di tubi fluorescenti è indispensabile se si vuole ottenere una potenza installata ragionevole (dell'ordine di 10 W/m²) ed un consumo d'energia moderato.



■ Illuminazione con due componenti

Il principio di questa illuminazione è il seguente:

- una prima componente garantisce un'illuminazione generale diretta o indiretta di debole densità luminosa (circa 300 lux sul piano di lavoro);
- una seconda componente garantisce l'apporto direttamente sul posto di lavoro (illuminazione di un punto determinato).

La componente dell'illuminazione generale, anche per una densità luminosa più debole, deve possedere le stesse caratteristiche dell'illuminazione diretta summenzionata. La combinazione con un'illuminazione di un punto determinato non deve creare contrasti troppo elevati tra la superficie di lavoro orizzontale, da un lato, ed il soffitto e le pareti dall'altro, affinché le funzioni visive degli utenti non vengano sollecitate in modo eccessivo diventando così motivo di un affaticamento rapido.

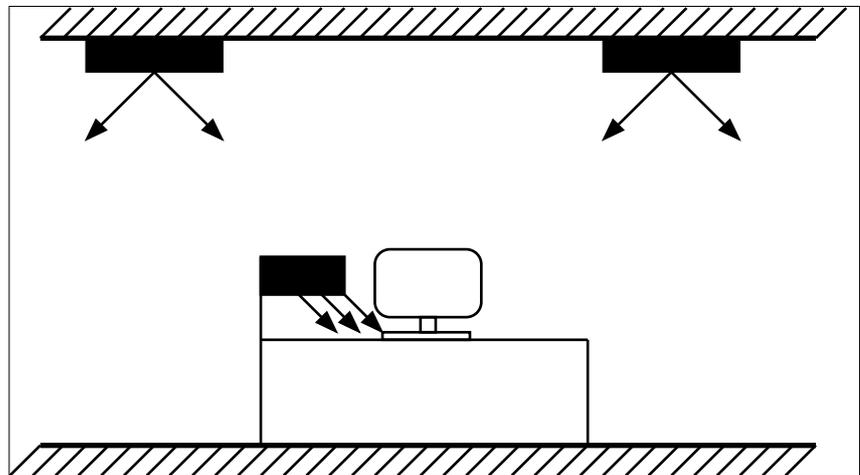


Figura 4.15:
illuminazione con due componenti (illuminazione generale diretta ed illuminazione di un punto determinato). Questo tipo d'illuminazione è generalmente male accettato

Un'illuminazione generale indiretta, completata da un'illuminazione di un punto determinato, è simile al tipo descritto in precedenza. Essa è tuttavia accettata più volentieri dagli utenti.

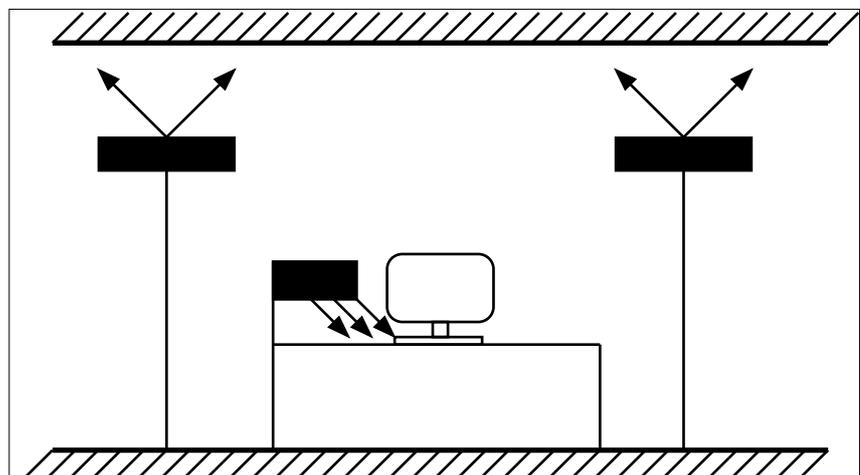


Figura 4.16:
illuminazione con due componenti (illuminazione generale indiretta ed illuminazione di un punto determinato). Generalmente questo tipo d'illuminazione è ben accettato



La scelta dell'illuminazione di un punto determinato è tuttavia delicata. Gli abbagliamenti diretti e indiretti possono disturbare l'utente, nonché il suo vicino.

Sono adeguati i corpi illuminanti con luminanza debole ed installati su bracci orientabili, eventualmente regolabili. Le lampade alogene devono essere evitate a causa del loro consumo d'energia e della loro luminanza elevati.

Ogni componente è comandata separatamente; l'illuminazione di un punto determinato deve essere regolata dall'utente a partire dal suo posto di lavoro.

Caratteristiche dell'illuminazione con due componenti

- Il debole livello di densità luminosa generale (250 lux) permette di ottenere risparmi energetici importanti.
- L'utilizzazione di sorgenti luminose efficaci (tubi fluorescenti, lampade a scarica elettrica) è tuttavia necessaria (evitare l'impiego di lampade alogene).
- L'inserimento a dipendenza dal fabbisogno di sorgenti d'illuminazione di un punto determinato assicura risparmi energetici supplementari. È tuttavia necessario informare gli utenti ed equipaggiare queste sorgenti con un regolatore.
- L'illuminazione di un punto determinato è spesso di tipo diretto e può, di conseguenza, generare contrasti evidenti nonché riflessi fastidiosi.



4.5 Comando dell'illuminazione

La valutazione di un impianto sotto l'aspetto economico tiene conto di tre fattori principali:

- la qualità dell'illuminazione (accettazione da parte degli utenti);
- l'investimento (progettazione, realizzazione);
- i costi d'esercizio (manutenzione, consumo d'energia).

Il comando dell'illuminazione esercita un influsso su questi tre fattori. Il consumo e, di conseguenza, il risparmio energetico dipendono così in misura notevole dalla scelta di un comando adeguato. Possono essere considerati come comandi adeguati:

- la consapevolezza e la responsabilità degli utenti (inserimento dei corpi illuminanti a dipendenza dal fabbisogno);
- l'utilizzazione ottimale della luce naturale (l'illuminazione naturale deve costituire parte integrante del progetto d'illuminazione);
- l'illuminazione deve essere installata nel punto conveniente ed utilizzata al momento opportuno (illuminazione di un punto determinato).

È interessante constatare che i Romani applicavano già queste tecniche alcuni secoli prima della nostra era (cfr. figura 4.17).

Il seguente riquadro riassume le diverse possibilità di comando dell'illuminazione artificiale che permettono di ridurre il consumo d'energia.

Comando dell'illuminazione e risparmio d'energia

Si possono prevedere diverse tecniche di comando dell'illuminazione:

- inserimento e disinserimento individuale dell'illuminazione a seconda del fabbisogno, per ogni posto di lavoro, ufficio o zona (illuminazione di un punto determinato).
- Inserimento dell'illuminazione allo stesso modo, ma il disinserimento avviene in modo centralizzato per zona e ad un dato momento (ad es. durante la pausa di mezzogiorno), oppure a dipendenza dalla luce naturale (ad es. ad intervalli del 25%).
- Inserimento dell'illuminazione allo stesso modo, ma regolazione automatica e continua della stessa mediante luce naturale (da 0 a 100%).

Precauzioni

- Il livello massimo di densità luminosa deve essere regolabile allo scopo di poter tener conto dell'invecchiamento dell'impianto e dei fabbisogni individuali (un utente di 20 anni non ha gli stessi bisogni di un utente di 60 anni). Il valore massimo deve essere verificato e regolato di anno in anno.
- Deve esistere la possibilità di commutare la regolazione dal modo automatico a quello manuale; ciò contribuisce a fare in modo che l'impianto venga accettato più facilmente e permette di adeguare individualmente la densità luminosa ai diversi compiti.



*Figura 4.17:
finestra circolare che illumina il labrum
(vasca per le abluzioni) nel caldarium (ter-
me di Pompei, architetto Vitruvio). Me-
diante un lucernario rettangolare è possi-
bile illuminare il resto del locale*

Un comando che garantisce una regolazione come quella summenzionata richiede un investimento relativamente elevato. A seconda del tipo d'illuminazione desiderato, tale investimento può tuttavia essere ammortizzato in alcuni anni. Ciò è il caso per un'illuminazione diretta, regolata dalla luce naturale.



Oggi i lampadari mobili, impiegati con il tipo d'illuminazione diretta/indiretta, possono essere muniti di variatori automatici o manuali e di rivelatori di movimento. È così possibile realizzare una riduzione notevole dei kWh consumati.

4.6 Bilancio finale

La sollecitazione visiva ed intellettuale degli impiegati d'ufficio è in costante aumento. Per questo motivo sono in continua evoluzione le esigenze concernenti l'ambiente di un posto di lavoro, la cui illuminazione costituisce un fattore importante. Nel settore dell'illuminazione sono necessarie misure di risparmio energetico. Le esigenze di un progetto d'illuminazione sono quindi spesso contraddittorie.

Una progettazione sulla base del solo calcolo della densità luminosa media per mezzo di un metodo tradizionale (calcolo dei rendimenti) oggi non è più sufficiente. Il processo di percezione che determina, in fin dei conti, il benessere, l'accettazione dell'illuminazione e le prestazioni dell'essere umano sul posto di lavoro è molto complesso. Lo scopo principale del progettista è quello d'influenzare in modo positivo questi rapporti. Egli lo può tuttavia fare soltanto se ha un'esperienza sufficientemente vasta, nonché una buona dose di abilità e se s'identifica continuamente con i problemi posti (ad es. risparmi energetici).

Una valutazione preliminare per mezzo di una scala di valori, unita a diversi criteri d'apprezzamento di un'illuminazione, permette di fare un paragone tra le diverse soluzioni e di facilitare così la scelta definitiva di un impianto.

Una valutazione successiva con la collaborazione degli utenti permette di verificare sul posto se l'adeguamento della scelta è stato effettuato.



4.7 Esempi di realizzazione

- Ristrutturazione di un impianto d'illuminazione artificiale edificio UAP, Losanna



Figura 4.18:
vista dell'edificio dell'UAP a Losanna

Dati generali

Committente:	Union des Assurances de Paris (UAP)
Progettista (ristrutturazione):	Bonnard et Gardel Ing.-Conseils, Losanna
Ubicazione:	Avenue de Cour 26, 1006 Losanna
Utilizzazione:	uffici
Costruzione:	pianterreno + 4 piani
Superficie del pavimento:	2000 m ² (di cui 400 m ² come zone passaggio)
Anno di costruzione:	1969
Anno di ristrutturazione:	1991



■ Natura della ristrutturazione

I lavori di ristrutturazione intrapresi sono di notevole entità. Sono state effettuate trasformazioni importanti, non soltanto a livello dell'illuminazione artificiale, ma anche per quanto concerne i controsoffitti, la distribuzione dei locali e le zone di passaggio.

L'impianto d'illuminazione elettrica è stato completamente rinnovato, dopo rifacimento preliminare del controsoffitto. I nuovi corpi illuminanti sono stati inseriti in quest'ultimo; sono stati rifatti a nuovo l'impianto elettrico, nonché il quadro di comando dell'alimentazione.

Dopo la ristrutturazione l'ufficio standard comprende sei corpi illuminanti (invece dei dieci iniziali). Quattro sono comandati da un sensore di densità luminosa, mentre gli altri, situati nella parte posteriore del locale, sono comandati manualmente.

■ Paragone tra gli impianti



Figura 4.19:
vista del vecchio impianto d'illuminazione

Vecchio impianto

Corpo illuminante:	FL 1 x 40 W con diffusore di vetro acrilico opalino
Sorgente:	tubo fluorescente Philips 34, 1 x 40 W, D 38 mm
Alimentatore:	alimentatore magnetico (consumo: 13 W)
Flusso luminoso:	2060 lm
Consumo totale di ogni corpo illuminante:	53 W



Figura 4.20:
vista del nuovo impianto d'illuminazione

Nuovo impianto

Corpo illuminante:	1 x 50 W, munito di ottica specchiante ad alto rendimento
Sorgente:	tubo fluorescente Philips 83 e 84, 1 x 50 W, D 26 mm
Alimentatore:	alimentatore elettronico HF 28 kHz (consumo: 5 W)
Flusso luminoso:	5200 lm
Consumo totale di ogni corpo illuminante:	55 W

■ Prestazioni dell'illuminazione

La densità luminosa sul piano di lavoro è stata misurata prima e dopo la ristrutturazione. I valori indicano che è stato ottenuto un aumento importante del livello medio:

- vecchio impianto: $E_m = 240 \text{ Lux}$
- nuovo impianto: $E_m = 620 \text{ Lux}$

Oltre a quanto concerne il livello medio di densità luminosa, la situazione è stata notevolmente migliorata sul piano dell'ergonomia visiva:

- eliminazione dell'abbagliamento diretto da parte dei corpi illuminanti;
- miglior ripartizione dell'illuminazione;
- eliminazione dello sfarfallio.



■ Risparmi d'energia

Malgrado l'aumento notevole del livello di densità luminosa è stato possibile constatare importanti risparmi d'energia durante il periodo di misurazione. Nel corso di un anno di utilizzazione è stato così possibile ottenere una diminuzione del consumo d'energia del 47%. Tale diminuzione può essere attribuita alla diminuzione della potenza installata ed al comando dell'illuminazione naturale. Se si diminuisce la densità luminosa sulla superficie di lavoro fino al valore delle raccomandazioni per gli uffici (300 lux), il risparmio d'energia corrispondente è del 73%.

La tabella seguente illustra, a titolo comparativo, le caratteristiche di consumo di un piano dell'edificio, prima e dopo la ristrutturazione.

Grandezze caratteristiche	Vecchio impianto	Nuovo impianto
Numero dei corpi illuminanti	122	85
Potenza installata		
uffici	16 W / m ²	12 W / m ²
corridoio	15 W / m ²	8 W / m ²
Consumo annuo		
uffici	–	6550 kWh
corridoio	–	1920 kWh
totale piano	15880 kWh	8470 kWh

■ Analisi dei costi

È difficile eseguire un'analisi dettagliata dei costi a causa dell'ampiezza delle ristrutturazioni eseguite (tramezze tra i locali, controsoffitti, equipaggiamento elettrico). Questa analisi è inoltre giustificabile soltanto se le prestazioni di densità luminosa sono state considerevolmente aumentate nel nuovo impianto (aumento del triplo del livello di densità luminosa). Ciò nonostante è stato possibile ottenere una diminuzione importante dei costi d'esercizio dell'impianto. La valutazione di questi costi viene allestita come segue:

Spese annue	Vecchio impianto	Nuovo impianto
Energia elettrica	3'080.– Fr.	1'650.– Fr.
Sostituzione dei tubi	590.– Fr.	210.– Fr.
Manutenzione	500.– Fr.	180.– Fr.
Costi d'esercizio	4'170.– Fr.	2'040.– Fr.

Per l'insieme dell'edificio la riduzione dei costi d'esercizio dell'impianto d'illuminazione è di 8'500.– Fr./anno. I due terzi dell'importo sono da attribuire alla diminuzione del consumo d'elettricità (costo del kWh secondo tariffa diurna (TA): 19.5 ct.).



Ristrutturazione di un impianto d'illuminazione artificiale Edificio UCFSM, Berna



Figura 4.21:
vista dell'edificio dell'UCFSM a Berna

Dati generali

Committente:	Ufficio delle costruzioni federali
Progettista (ristrutturazione):	Piazza Ing.-Conseils, Bienne
Ubicazione:	Fellerstrasse 21, 3027 Bern-Bümplitz
Utilizzazione:	Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale (UCFSM)
Costruzione:	2 piani nel sottosuolo, 1 pianterreno, 5 piani superiori
Superficie del pavimento:	34000 m ² (di cui 29000 m ² di depositi)
Anno di costruzione:	1964
Anno di ristrutturazione:	1990

Natura della ristrutturazione

La ristrutturazione è consistita nel sostituire i corpi illuminanti e gli alimentatori mediante componenti più efficienti. Sono state apportate modifiche allo schema dell'impianto elettrico, in modo da suddividere l'insieme dell'impianto in due zone: una presso le finestre e l'altra al centro dei locali. Nelle vicinanze delle porte d'accesso sono stati installati nuovi commutatori. Prima di procedere alla ristrutturazione è stata eseguita una specie di «procedura di consultazione» presso gli utenti. Sono state proposte tre varianti d'illuminazione differenti (illuminazione diretta, indiretta e combinata) e installate in locali modello. Tali varianti sono potute essere valutate dagli utenti; la soluzione finale adottata è costituita da un'illuminazione diretta con bassa luminanza.



■ Paragone degli impianti

La ristrutturazione dell'illuminazione dei locali adibiti ad ufficio è la seguente:



Figura 4.22:
vista del vecchio impianto d'illuminazione degli uffici

Vecchio impianto

Corpo illuminante:	tubo fluorescente doppio Novelectric 2 x 40 W
Sorgente:	tubi fluorescenti OSRAM 2 x 36 W, D 26 mm
Alimentatore:	alimentatore magnetico, KVG Leuenberger, 1967
Consumo totale di ogni corpo illuminante:	109 W ($\cos \phi = 0.531$)

Nuovo impianto

Corpo illuminante:	tubo unico Zumtöbel RAD-A 1 x 36 W
Sorgente:	tubo fluorescente OSRAM 1 x 36 W, D 26 mm
Alimentatore:	alimentatore a deboli perdite tipo VVG EC4, 1990
Consumo totale di ogni corpo illuminante:	43 W ($\cos \phi = 0.482$)

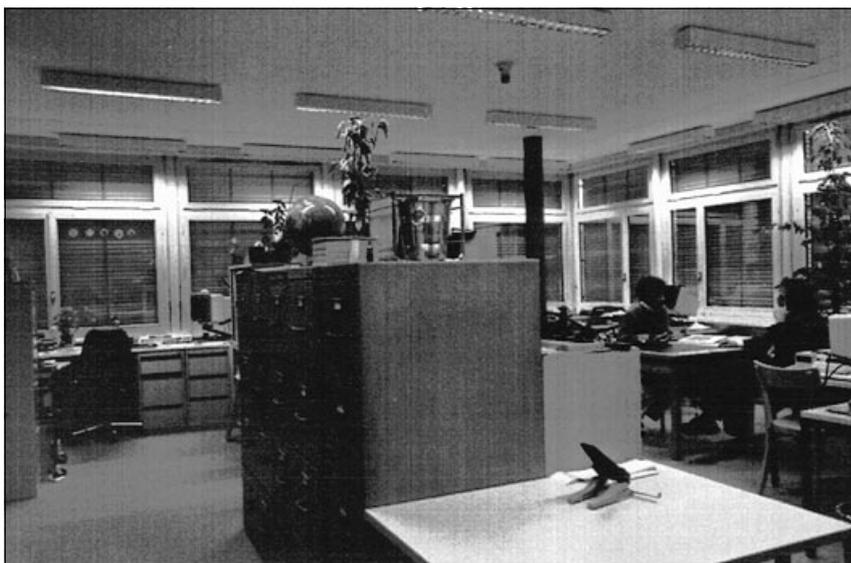


Figura 4.23:
vista del nuovo impianto d'illuminazione
degli uffici

La tabella seguente riassume in sintesi la ristrutturazione eseguita nell'edificio.

Locali	Numero di corpi illuminanti	
	Vecchio impianto	Nuovo impianto
Depositi	2825 (1 x 36 W, KVG)	1934 (1 x 58 W, EVG)
Uffici	1430 (2 x 36 W, KVG)	1090 (1 x 36 W, VVG)
Corridoi	50 (2 x 36 W, KVG)	50 (2 x 18 W, VVG)
Trombe delle scale	32 (2 x 36 W, KVG)	32 (1 x 36 W, VVG)
Numero totale di corpi illuminanti	4337 (5849)	3259 (3259)

■ Prestazioni dell'illuminazione

Le densità luminose sul piano di lavoro, valutate per il nuovo impianto, sono le seguenti:

- Uffici: $E_m = 480 \dots 600$ [lux]
- Depositi: $E_m = 290 \dots 370$ [lux]

Dei questionari, distribuiti agli utenti dopo la ristrutturazione, hanno permesso di evidenziare la soddisfazione generale per quanto concerne il nuovo impianto. Criteri soggettivi riguardanti il comfort visivo, la percezione dei colori e l'ambiente luminoso sono generalmente stati classificati come «buono» e «ottimo» da parte degli utenti.



Risparmi d'energia

Il nuovo impianto deve permettere di realizzare notevoli risparmi d'energia a causa soprattutto della diminuzione importante della potenza installata nei locali ($P_i = 9...12 \text{ W/m}^2$ invece di 25 W/m^2 negli uffici).

Un paragone tra i consumi valutati dei due impianti nei locali adibiti ad ufficio è riportato nella tabella seguente: il risparmio d'energia annuo raggiunge il 75%.

Caratteristiche degli uffici	Vecchio impianto	Nuovo impianto
Potenza di allacciamento alla rete	103 kW	34 kW
Consumo annuo	170000 kWh	45000 kWh

Analisi dei costi

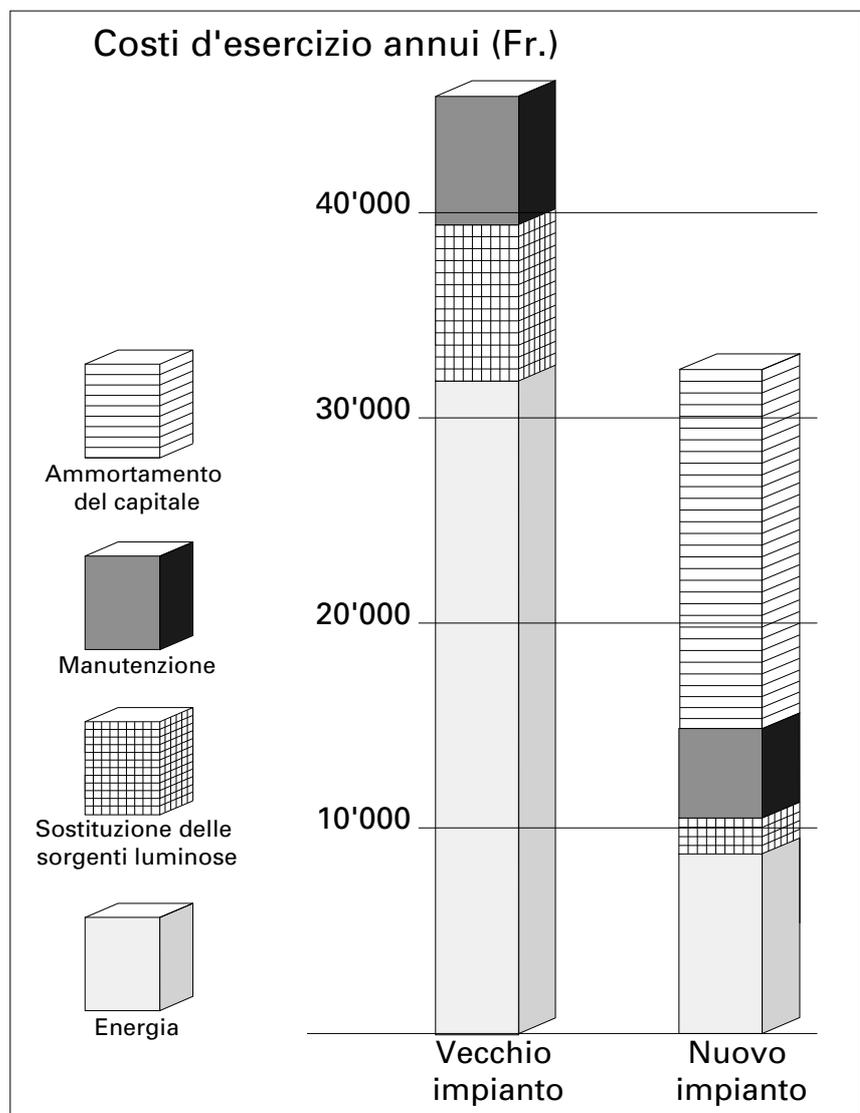


Figura 4.24: paragone tra i costi d'esercizio del vecchio e del nuovo impianto

La figura 4.24 fornisce un'idea del paragone tra i costi d'esercizio dei due impianti per quanto concerne i locali adibiti ad ufficio (pianterreno e 5 piani superiori). Si nota, in particolare, la diminuzione considerevole del costo dell'energia dell'impianto d'illuminazione ottenuta con la ristrutturazione.



Per gli stessi locali il bilancio finanziario dell'operazione è il seguente:

Dati di base

Durata di vita dell'impianto	15 anni
Tasso d'interesse	7%
Costo del kWh	11 ct. (giorno), 6 ct. (notte)
Tasso di rincaro annuo	5%
Tasso di rincaro dell'elettricità	5%
Fattore di annualità	0.096
Fattore del valore medio	1.445

Calcolo dell'ammortamento

Investimento globale	159'000.– Fr.
Ammortamento degli investimenti	17'520.– Fr.
Risparmi annui sui costi d'esercizio	7'800.– Fr.
Risparmi annui sui costi dell'energia	23'110.– Fr.
Tempo di rimborso	8 anni

La stessa analisi applicata all'insieme dell'impianto indica un tempo di rimborso identico (investimento globale: Fr. 690'000.-, risparmi annui: Fr. 85'700.-).



5. Valutazione globale del progetto d'illuminazione

5.1	Procedimento generale	103
5.2	Costi d'investimento	105
5.3	Costi d'esercizio	106
■	Manutenzione	106
■	Pulitura	106
■	Cura	106
5.4	Risparmio energetico	108
■	Consumo di corrente elettrica per l'illuminazione	108
■	Carichi interni	110
■	Conseguenze secondarie	111



5. Valutazione globale del progetto d'illuminazione

5.1 Procedimento generale

Prima d'iniziare un progetto d'illuminazione è necessario allestire un inventario tenendo conto delle condizioni specifiche dell'oggetto e degli obiettivi che devono essere raggiunti. Le prime scelte verranno fatte sulla base degli elementi architettonici, quali modulo, altezza, colore, nonché i livelli di prestazione.

Verrà allestito l'inventario dei locali e si terrà conto della loro utilizzazione, del livello di densità luminosa richiesto nonché delle condizioni particolari che devono essere rispettate. Nel nostro esempio il livello di densità luminosa sarà di 300 lux. La scelta di un livello di densità luminosa adeguato al fabbisogno costituisce il primo criterio di risparmio energetico. La scelta della sorgente luminosa è altrettanto importante: la sua efficienza luminosa può variare da 10 a 200 lm/W. L'utilizzazione controllata dell'illuminazione naturale permette di limitare il consumo di corrente elettrica. Infatti se si comanda l'impianto in funzione dell'apporto di luce naturale, è possibile dosare in modo esatto l'apporto d'illuminazione artificiale allo scopo di fare in modo che le due sorgenti combinate forniscano un livello di densità luminosa adeguato. Ne risultano un comfort d'utilizzazione ottimale ed una diminuzione corrispondente del consumo d'energia.

Sulla base di queste condizioni verranno elaborate diverse varianti di soluzione. Esse verranno analizzate sulla base dei criteri fondamentali seguenti:

- conformità sul piano tecnico;
- raggiungimento del comfort visivo;
- investimento iniziale;
- risparmi d'energia;
- facilità di manutenzione;
- aspetto estetico.

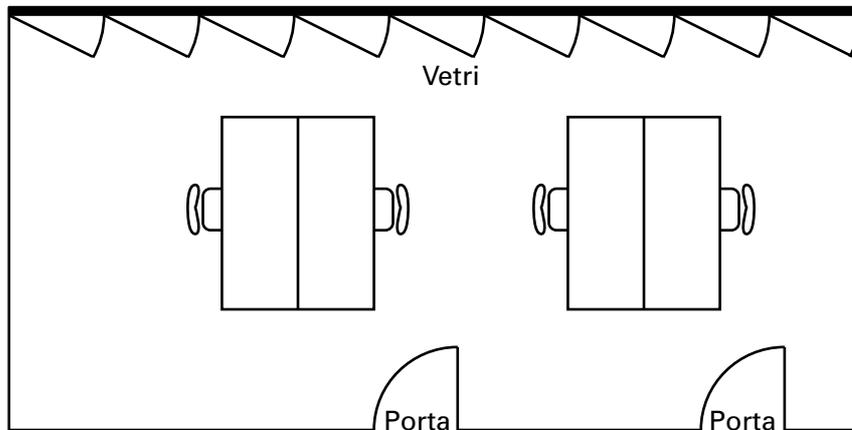
Per un determinato progetto verranno analizzate le soluzioni corrispondenti a questi criteri.

Possibili varianti dell'illuminazione

- Illuminazione diretta per mezzo di tubi fluorescenti 36 W
- Illuminazione diretta per mezzo di tubi fluorescenti 58 W
- Illuminazione diretta per mezzo di tubi fluorescenti PL 4 x 18 W
- Illuminazione diretta/indiretta per mezzo di tubi fluorescenti 36 W
- Illuminazione indiretta per mezzo di tubi fluorescenti 36 W
- Illuminazione indiretta per mezzo di lampade a scarica elettrica di 150 W (alogenuri metallici) e lampade di sostegno (tubi compatti)



Locale considerato



Caratteristiche principali

Dimensioni del locale: 10.5 x 5 x 2.8 m

Superficie: 50 m²

Livello di densità luminosa: 300 Lux

Coefficiente di utilizzazione: 0.65

Rendimento dei corpi illuminanti: 0.70

Fattore di svalutazione: 0.80

Il primo punto dell'analisi riguarderà gli investimenti iniziali per le diverse varianti.



5.2 Costi d'investimento

Per determinare questi costi occorre tenere in considerazione gli elementi seguenti:

- impianti;
- attrezzatura;
- montaggio;
- sorgenti luminose.

Per l'ultima variante (illuminazione indiretta) viene supposto che il livello di densità luminosa non sia uniforme, ma sufficiente per il posto di lavoro; la si supporrà completata da una lampada da tavolo munita di un tubo a debole consumo (lampada compatta).

Una successione di paragoni ci permetterà di determinare la soluzione più vantaggiosa dal punto di vista economico. Questo criterio non è tuttavia il solo che deve essere preso in considerazione per la scelta della soluzione definitiva.

	Varianti	Numero corpi illuminanti	Costo lampadari [Fr.]	Costi ausiliari [Fr.]	Costo impianto [Fr.]	Investimento [Fr.]
1	Diretta 2 x 36 W	6	1'244.–	324.–	900.–	2'468.–
2	Diretta 1 x 58 W	8	1'792.–	195.–	1'200.–	3'187.–
3	Diretta PL 4 x 18 W	8	2'856.–	260.–	1'200.–	4'316.–
4	Diretta/indiretta 2 x 36 W	10	1'460.–	430.–	1'800.–	3'690.–
5	Indiretta 2 x 36 W	16	2'340.–	688.–	2'880.–	5'908.–
6	Lampadario 150 W	4	3'920.–	–	600.–	4'520.–

Figura 5.1:
tabella degli investimenti iniziali

Ogni variante del progetto presenta caratteristiche tecniche ben definite: potenza, durata di vita dei tubi e delle lampade, prezzo del materiale con invecchiamento programmato, logorio del materiale a seconda del numero e dei tipi d'accensione.

Il paragone tra i sistemi di comando verrà eseguito in funzione delle possibilità di utilizzazione dei locali:

- accensione mediante uno o parecchi gruppi (manuale);
- accensione mediante rivelatore di movimento;
- accensione mediante comando programmato;
- accensione regolata con un potenziometro o una cellula fotometrica pilotata dalla luce naturale.

Nel singolo caso di utilizzazione ognuna di queste soluzioni può offrire vantaggi tecnici e risparmi.

Il nostro apprezzamento (cfr. tabella 5.1) tiene conto dei costi dei lampadari, delle spese d'installazione, di adattamento dei fissaggi e del soffitto, nonché del costo delle linee (tariffa forfettaria ASE).



5.3 Costi d'esercizio

■ Manutenzione

Fin dall'inizio del suo studio il progettista deve preoccuparsi dei problemi concernenti la manutenzione. Un impianto d'illuminazione deve infatti essere facilmente accessibile; la concezione globale deve essere semplice e chiara.

Il materiale scelto sarà smontabile e dovrà garantire la possibilità di un lavoro in condizioni che eliminino ogni rischio di rottura (collegamento degli schermi, facilità di sostituzione dei tubi e delle lampade). La scelta del materiale sarà il più uniforme possibile allo scopo di limitare al massimo le riserve e di evitare complicate ricerche al momento di riparazioni.

Nei punti particolarmente difficili da raggiungere verranno utilizzate lampade con una durata di vita molto lunga (ad esempio lampade ad induzione, durata di vita di 60000 ore). Per giustificare questa scelta verrà eseguito un paragone sotto l'aspetto finanziario tra l'investimento ed i costi d'esercizio.

Nei locali che devono avere un certo prestigio ed in quelli di lavoro la sostituzione sistematica delle sorgenti luminose verrà effettuata a $\frac{4}{5}$ della durata di vita dei tubi e delle lampade, da un lato per evitare le sostituzioni sporadiche costose e dall'altro per garantire il comfort desiderato dal progettista.

I tubi e le lampade sostituiti verranno utilizzati in locali secondari quali depositi, scantinati, ecc. Contemporaneamente verranno sostituiti anche gli alimentatori, i quali hanno una durata di vita limitata.

■ Pulitura

I corpi illuminanti moderni sono equipaggiati con riflettori di qualità e ben progettati sia per quanto riguarda la loro forma, sia per quanto riguarda i materiali di cui sono composti. La polvere provoca una diminuzione del rendimento del corpo illuminante che può raggiungere il 30%.

Un corpo illuminante con un rendimento dell'80% può diventare mediocre dopo un tempo relativamente breve. La pulitura dello schermo e del riflettore verrà effettuata al momento della sostituzione dei tubi e delle lampade. La sostituzione sistematica dei tubi e delle lampade favorisce questo procedimento.

■ Cura

I costi per la cura di un impianto d'illuminazione devono tener conto di tutti gli elementi concernenti la cura stessa:

- costo di sostituzione delle sorgenti luminose;
- costo di sostituzione degli accessori;
- costi di pulitura.



Questi diversi costi vengono calcolati per la durata di un anno ed è possibile eseguire un paragone tra di loro, valutando l'interesse rivestito da ogni singola soluzione. Le ipotesi di calcolo sono le seguenti:

- costi di cura (base di utilizzazione 1800 h/anno);
- sostituzione dei tubi e degli alimentatori (durata 15 min);
- pulitura dei corpi illuminanti ogni due anni (durata 15 min).

	Varianti	Numero corpi illuminanti	Durata di vita delle sorgenti luminose [Ore]	Costi annui di manutenzione [Fr.]
1	Diretta 2 x 36 W	6	6000	158.-
2	Diretta 1 x 58 W	8	6000	202.-
3	Diretta PL 4 x 18 W	8	8000	298.-
4	Diretta/indiretta 2 x 36 W	10	6000	264.-
5	Indiretta 2 x 36 W	16	6000	423.-
6	Lampadario 150 W	4	12000	145.-

*Figura 5.2:
costi di manutenzione delle diverse varianti*



5.4 Risparmio energetico

■ Consumo di corrente elettrica per l'illuminazione

Il consumo di corrente elettrica per l'illuminazione costituisce un fattore importante.

La scelta delle sorgenti luminose ad alto rendimento è essenziale, ma non sempre possibile. In certi casi, infatti, sono necessarie opzioni diverse a causa di problemi di comfort e di colore. Sarà sempre necessario fare una distinzione tra i criteri di funzionamento e quelli di redditività.

Nel primo caso la sorgente luminosa verrà scelta in funzione di criteri quali la resa del colore, il livello di potenza della sorgente e l'aspetto estetico. Nel secondo caso, invece, rivestirà un'importanza solo l'aspetto economico e avrà la prevalenza la sorgente con il miglior rendimento.

Il sistema di comando esercita parimenti un influsso sul consumo. Un'accensione manuale o un'accensione controllata e regolata automaticamente hanno un influsso importante sul consumo d'energia.

Una buona utilizzazione dell'illuminazione naturale implica anche una regolazione automatica dell'illuminazione artificiale. Per mezzo di alimentatori HF e di una regolazione basata sulla luce naturale, l'insieme dei corpi illuminanti garantirà da un lato un comfort visivo adeguato ai lavori allo schermo e, dall'altro, un risparmio energetico.

Consumo d'energia di tubi fluorescenti muniti di alimentatori HF

Per tubi TL 36 W:

densità luminosa in %	100	75	50	25	10
energia in %	100	82	62	45	35

L'esperienza ha dimostrato che l'ammortamento di un tale impianto può essere garantito entro 8-10 anni. Questo non è d'altronde l'unico vantaggio, giacché il tubo utilizzato con un alimentatore elettronico ha una durata di vita che varia da 12 a 15 mila ore, ciò che ha come conseguenza una diminuzione degli interventi di sostituzione e contribuisce a risparmiare le materie prime (minore quantità di rifiuti da eliminare).

L'utilizzazione di rivelatori di movimento nelle zone di passaggio o nei locali poco utilizzati costituisce una fonte di risparmio importante.

Riassumendo si può affermare che il consumo d'energia dipende direttamente dai fattori seguenti:

- livello di densità luminosa;
- scelta della sorgente luminosa;
- rendimento del corpo illuminante;
- manutenzione del corpo illuminante;
- sistema di comando.



Sempre basandosi sui criteri iniziali sarà possibile determinare il consumo d'energia delle nostre diverse varianti (kWh a Fr. 0.20; durata di funzionamento annuo di 1800 ore; tasso d'interesse 7%; durata di vita 15 anni; rincaro annuo 5%; rincaro del costo della corrente elettrica 5%).

Essendo già stato trattato l'insieme dei criteri puramente finanziari, possiamo ora allestire una tabella riassuntiva globale del nostro progetto.

	Varianti	Potenza totale [W]	Potenza installata [W/m ²]	Costi annui dell'energia [Fr.]
1	Diretta 2 x 36 W	480	9.6	245.–
2	Diretta 1 x 58 W	480	9.6	245.–
3	Diretta PL 4 x 18 W	640	12.8	327.–
4	Diretta/indiretta 2 x 36 W	800	16.0	409.–
5	Indiretta 2 x 36 W	1280	25.6	654.–
6	Lampadario 150 W	800	16.0	409.–

Figura 5.3:
costi dell'energia delle diverse varianti

	Varianti	Annualità [Fr.]	Costi annui di manutenzione [Fr.]	Costi annui dell'energia [Fr.]
1	Diretta 2 x 36 W	271.–	158.–	245.–
2	Diretta 1 x 58 W	350.–	202.–	245.–
3	Diretta PL 4 x 18 W	475.–	298.–	327.–
4	Diretta/indiretta 2 x 36 W	406.–	264.–	409.–
5	Indiretta 2 x 36 W	650.–	423.–	654.–
6	Lampadario 150 W	497.–	145.–	409.–

Figura 5.4:
tabella riassuntiva dei diversi costi
(coefficiente di annualità; 0.11;
coefficiente medio di rincaro: 1.42)



La scelta definitiva verrà effettuata sulla base di considerazioni economiche (investimento, manutenzione, energia), ma anche di comfort e d'estetica.

Per il nostro esempio sceglieremo la variante 1, con alimentatore HF (variante 1a) oppure la variante 6.

Le esperienze pratiche hanno permesso di realizzare risparmi energetici che raggiungono il 60% utilizzando alimentatori HF. Da parte nostra ci basiamo su un risparmio valutato attorno al 40% in media e possiamo allestire nuovamente la nostra tabella riassuntiva.

Lo stesso dicasi per la variante 6: l'accensione individuale permette di responsabilizzare l'utente e, come è stato dimostrato dall'esperienza, di garantire un'utilizzazione più razionale dell'energia se l'utente è sufficientemente motivato. In questo caso abbiamo constatato risparmi energetici che raggiungono il 50%; partiremo quindi da un presupposto di un risparmio potenziale del 30%.

Tenendo conto di queste premesse, la tabella che serve da base per la decisione si presenta come segue:

N.	Varianti	Annualità [Fr.]	Costi annui di manutenzione [Fr.]	Consumo annuo [kWh]	Costi dell'energia [Fr.]
1	Diretta 2 x 36 W	271.-	158.-	864	245.-
1a	Diretta 2 x 36 W HF	356.-	124.-	518	147.-
6	Lampadario 150 W (100%)	497.-	145.-	1440	409.-
6a	Lampadario 150 W (70%)	497.-	117.-	1008	286.-

Figura 5.5:
tabella riassuntiva dei diversi costi,
tenendo conto dei risparmi potenziali
d'energia

Nel nostro caso sceglieremo la variante 1a benché essa sia meno flessibile della variante 6a: la differenza del tempo di rimborso dell'una rispetto all'altra è, infatti, di 14 anni a favore della variante n. 1.

■ Carichi interni

Nei costi indiretti delle diverse varianti interviene l'aspetto termico delle sorgenti luminose. Spesso l'emanazione di calore delle stesse non è trascurabile.

La figura 5.6 illustra questo fatto per le diverse varianti considerate.

Potenza nominale	TL 36W	TL 58W	PL 18W	HQI 150W
Emanazione di calore [W]	25	41	12.5	90

Figura 5.6:
emanazione di calore delle diverse
sorgenti luminose considerate

La soluzione ideale consiste nell'istallare i corpi illuminanti nel flusso di asportazione dell'aria viziata allo scopo di eliminare il calore e di ricuperarlo. Ciò presenta un vantaggio sicuro dal punto di vista teorico (rendimento dei corpi illuminanti, ricupero del calore); l'esperienza ha tuttavia dimostrato che questa soluzione è caratterizzata da un grave inconveniente: l'insudiciamento dei corpi illuminanti (perdita di rendimento).

D'inverno, al contrario, il calore emanato deve essere mantenuto nel locale, contribuendo in questo modo ai guadagni energetici interni.



■ Conseguenze secondarie

Essendo definiti i criteri tecnici e finanziari del nostro progetto, occorre fare ora un'analisi delle qualità e dei difetti delle soluzioni che entrano in linea di conto per il caso in esame.

Il livello di comfort visivo è un elemento importante che non può essere quantificato, ma che costituisce tuttavia una preoccupazione altrettanto importante del livello di densità luminosa o del risparmio energetico.

La disposizione delle sorgenti luminose, nonché la loro scelta, devono essere accuratamente studiate ed adeguate ai fabbisogni di ogni caso.

Eliminando la fatica visiva è stato dimostrato che si aumenta il benessere e la produttività delle persone; si riducono inoltre i rischi d'infortunio. Un'illuminazione ben progettata e realizzata in modo corretto può costituire uno strumento di produzione che permette all'azienda di acquisire un vantaggio sul piano della concorrenza.

L'aspetto estetico è altrettanto importante di giorno e di notte poiché esso costituisce un motivo di prestigio non trascurabile sia all'interno, sia all'esterno dell'edificio.

La messa in risalto dei colori, mediante una scelta di sorgenti luminose adeguate, costituisce pure un elemento di valutazione di un locale che favorirà l'ambiente di lavoro o la presentazione dei prodotti. L'illuminazione artificiale è un complemento dell'illuminazione naturale e deve essere utilizzata come tale in tutti i casi possibili.

Il progettista avrà così realizzato un compito delicato poiché avrà, con il suo progetto, concretato contemporaneamente:

- un'illuminazione economica;
- un'illuminazione estetica;
- un'illuminazione stimolante.

Un'analisi sistematica dei criteri summenzionati deve aiutarlo a raggiungere questi obiettivi.



6. Liste di controllo

6.1 Lista di controllo «illuminazione naturale»

X = Punti importanti sotto l'aspetto del risparmio energetico

Criteria	Si	No
Ambiente		
Si è tenuto conto delle caratteristiche climatiche del luogo in cui è ubicato l'edificio (annuvolamento ed esposizione al sole annuali)?	X	
Sono stati elencati gli ostacoli costituiti dall'ambiente (ubicazione, altezza, fotometria)?	X	
Si è tenuto conto della fotometria del terreno circostante (fattore di riflessione, luminanza)?	X	
È stato allestito un elenco delle vedute interessanti offerte dal sito?	X	
Materiali		
Le aperture da cui entra la luce naturale sono munite di vetri chiari?	X	
L'utilizzazione di vetri colorati o riflettenti è limitata alle aperture che danno verso l'esterno?	X	
Ci si è assicurati che non esista una mescolanza di parecchi colori dei vetri nello stesso locale?	X	
Se il vetro è opalescente (diffondente), è situato all'infuori del campo visivo dell'osservatore quando questo si trova al suo posto di lavoro (abbagliamento)?	X	
Si è pensato ad utilizzare un materiale del tipo «isolamento translucido»?	X	
Pareti del locale		
I fattori di riflessione del soffitto, dei muri e del pavimento sono adeguati (uguali o superiori a 0.7, 0.5 e 0.3)?	X	
Le pareti poste in prossimità delle aperture (soprattutto del pavimento) sono trattate con colori dalla tonalità calda?	X	



Criteri	Sì	No
Sistemi di captazione		
Gli elementi destinati a riflettere ed a deviare la luce sono brillanti?	X	
Gli elementi destinati a riflettere ed a deviare la luce sono chiari (fattore di riflessione superiore a 0.7)?	X	
Gli elementi destinati a riflettere ed a deviare la luce sono di un colore dai toni caldi?	X	
Protezioni contro il sole		
Esiste una protezione esterna contro le infiltrazioni dirette del sole?	X	
Protezione fissa		
La protezione è garantita durante tutta la stagione calda?	X	
Gli abbagliamenti sono eliminati in inverno?	X	
Sono soddisfacenti le prestazioni quando il cielo è coperto?	X	
È sufficiente la vista verso l'esterno?	X	
Protezione mobile		
Nel caso di avvolgibili di tessuto il fattore di trasmissione energetica è inferiore al 15%?	X	
Nel caso di avvolgibili con lamelle orizzontali, queste ultime possono riflettere e deviare la luce?	X	
Se il comando degli avvolgibili è automatico, gli utenti hanno la possibilità d'intervenire manualmente?	X	
In caso di guasto ciò arrischia di causare confusione?		X
Se il comando degli avvolgibili è manuale, per la manipolazione è necessario un tempo di apprendimento lungo?		X
Possono manifestarsi problemi termici nel caso in cui la protezione contro il sole non venga utilizzata ?		X
Protezione semi mobile		
È possibile la manipolazione del sistema da parte del personale adibito alla manutenzione?	X	



Criteri	Sì	No
Aperture sulle facciate		
Un parapetto basso della finestra (< 50 cm) è giustificato nel caso di una vista interessante verso il basso?	X	
Nel caso di un parapetto standard della finestra (90 cm) ci si serve del davanzale per riflettere la luce verso il soffitto?	X	
Se sì, ci si è assicurati che tali riflessi non siano fastidiosi?	X	
Se il davanzale della finestra è molto alto (> 150 cm), si è tenuto conto della possibilità di tagliare di sbieco il davanzale interno?	X	
È stata ridotta l'alzata dell'architrave della finestra oppure è stato creato uno smussamento nella stessa?	X	
Se il muro è spesso, si è preso in considerazione la possibilità di creare uno smussamento nel vano della finestra?	X	
È stata considerata la possibilità di creare uno smussamento nel controsoffitto?	X	
Aperture sul tetto		
È stato utilizzato un materiale del tipo «isolamento traslucido»?	X	
L'altezza dei lucernari è stata ridotta al minimo?	X	
È possibile creare uno smussamento nello spessore del tetto?	X	
Atri		
Le aperture che danno sull'atrio sono ampiamente dimensionate?	X	
L'atrio si allarga verso l'alto?	X	
I ballatoi sono situati lungo le pareti dell'atrio?		X
Le pareti dell'atrio sono chiare?	X	



6.2 Lista di controllo «illuminazione artificiale»

X = Punti importanti sotto l'aspetto del risparmio energetico

Criteri	Sì	No
Illuminazione del locale		
Il livello di densità luminosa orizzontale è compreso tra 300 e 500 lx?	X	
La potenza installata dell'illuminazione artificiale è stata ridotta al suo valore minimo?	X	
Si è tratto profitto delle possibilità d'illuminazione di punti determinati?	X	
L'intensità della densità luminosa verticale è ancora in una buona proporzione rispetto a quella orizzontale?	X	
La ripartizione delle luminanze è armoniosa?	X	
Il colore della luce è «bianco neutro» o «bianco caldo»?	X	
I corpi illuminanti fluorescenti sono muniti di alimentatori ad alta frequenza?	X	
I corpi illuminanti per l'illuminazione diretta sono comandati per file?	X	
I corpi illuminanti provocano luminanze troppo elevate?		X
I corpi illuminanti per l'illuminazione diretta sono disposti in file parallele alle finestre?	X	
Il comando adottato tiene conto della luce naturale e/o dell'orario di utilizzazione dei locali?	X	



Criteri	Sì	No
Superfici che delimitano il locale		
I fattori di riflessione delle superfici che delimitano il locale sono superiori ai valori limite?	X	
Esistono avvolgibili a lamelle esterni e/o tende?	X	
Se due muri ad angolo retto hanno delle finestre, è possibile nascondere o oscurare completamente una fila di finestre?	X	
Il piano di lavoro è opaco e di colore neutro?	X	
Esistono pareti mobili che permettono, se del caso, di suddividere il locale in modo funzionale?	X	
Locale e schermo		
Lo schermo è sistemato in modo che lo sguardo dell'operatore sia diretto verso uno sfondo più chiaro?		X
Esistono riflessi di corpi illuminanti o di finestre sulla superficie dello schermo, sulla tastiera, sul documento o sulla scrivania?		X
Lo schermo è sistemato in modo che l'illuminazione del locale abbagli l'operatore?		X
Lo schermo è sistemato in modo che l'asse principale dello sguardo sia parallelo alle file di corpi illuminanti di un'illuminazione diretta?	X	
I rapporti di contrasto sono buoni?	X	
Esiste sfarfallio quando l'illuminazione è inserita?		X
È garantito un contatto ottico sufficiente con i posti di lavoro e gli schermi vicini?	X	
È garantita la vista verso l'esterno a partire dal posto di lavoro allo schermo?	X	
Gli utenti sono stati messi al corrente delle possibilità di regolazione e della manutenzione necessaria della loro illuminazione?	X	



7. Bibliografia

- [1] INSAI:
«Il lavoro allo schermo»
Lucerna, 1991
- [2] SLG:
«Handbuch für Beleuchtung»
ecomed Fachverlag, Bern, 1992
- [3] ASE:
«Illuminazione interna mediante la luce artificiale»
Zurigo, 1977
- [4] OMS:
«Terminaux à écran de visualisation et hygiène de travail»
Publication n. 99, Genève, 1987
- [5] BIT:
«Santé et sécurité dans le travail sur écran de visualisation»
Publication n. 61, 1990
- [6] E. Grandjean, Ed. Taylor & Francis:
«Ergonomics in computerized offices»
London, 1987
- [7] SHC Task 12:
«ADELINE»
International Energy Agency
CUEPE Conches, 1992
- [8] Conseil supérieur d'hygiène publique de France:
«Eclairage naturel et artificiel de complément dans l'habitat et les locaux de travail»
Section habitat, ministère chargé de la santé, 1990
- [9] Association pour le développement de l'hygiène
et de l'épidémiologie en Bretagne:
«La lumière à l'ordre du jour»
Ministère chargé de la santé, 1990
- [10] NEFF:
**«Intensive Tageslichtnutzung in Hochbauten.
Phase 1: Systemvergleich»**
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 1984
- [11] Department of architecture:
**«Designing for Energy Efficiency:
A study of eight California State office buildings»**
University of California, Berkeley USA, 1991
- [12] IESNA:
«Recommended practice of daylighting»
New York USA, 1979
- [13] IESNA:
«Office Lighting»
New York USA, 1982



- [14] SEV 8911.1989:
«Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht»
Zürich, 1989
- [15] C.-H. Herbst:
«Beleuchtungsplanung zwischen Ergonomie und Ökonomie»
Tagesdokumentation SLG Bern, 1992
- [16] C.-H. Herbst:
«Licht und Arbeit»
Tagesdokumentation AFL Bern, 1990
- [17] IESNA:
«Lighting handbook, reference and application volumes»
New York, 1987
- [18] A. Piazza:
«Beleuchtung – Pilotprojekte, Fallstudien»
Projektstudie RAVEL 22.51c, Biel, 1992
- [19] F. Benoit, J.-J. Meyer, D. Mondada:
«Un meilleur éclairage avec moins d'énergie – Bilan des améliorations UAP-Assurances»
Projet d'étude RAVEL 22.51, Bonnard et Gardel,
Université de Genève, Lausanne/Genève, 1992
- [20] SLG:
«Computerprogramme für die Beleuchtungsplanung»
Wegleitung Nr. 350, Bern, 1994