

**RICERCA SISTEMA ELETTRICO**

---

**Analisi dello stato dell'arte nazionale ed internazionale dei sistemi integrati di illuminazione naturale/artificiale in relazione all'involucro edilizio nel caso di edifici del terziario e abitativi, ai fini di un loro impiego nell'ambito della certificazione energetica degli edifici**

**Gianfranco Rizzo**





Ente per le Nuove tecnologie,  
l'Energia e l'Ambiente



*Ministero delle Sviluppo Economico*

## RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Analisi dello stato dell'arte nazionale ed internazionale dei sistemi integrati di illuminazione naturale/artificiale in relazione all'involucro edilizio nel caso di edifici del terziario e abitativi, ai fini di un loro impiego nell'ambito della certificazione energetica degli edifici

*Gianfranco Rizzo*

ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE NAZIONALE ED INTERNAZIONALE DEI SISTEMI INTEGRATI DI ILLUMINAZIONE NATURALE/ARTIFICIALE IN RELAZIONE ALL'INVOLUCRO EDILIZIO NEL CASO DI EDIFICI DEL TERZIARIO E ABITATIVI, AI FINI DI UN LORO IMPIEGO NELL'AMBITO DELLA CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Gianfranco Rizzo (Università di Palermo, Dipartimento DREAM)

Marzo 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Usi finali

Tema: Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione.

Interazione condizionamento e illuminazione

Responsabile Tema: Marco Citterio, ENEA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PALERMO  
DIPARTIMENTO DI RICERCHE ENERGETICHE ED AMBIENTALI

**Analisi dello stato dell'arte nazionale ed internazionale dei sistemi integrati di illuminazione naturale/artificiale in relazione all'involucro edilizio nel caso di edifici del terziario e abitativi, ai fini di un loro impiego nell'ambito della certificazione energetica degli edifici**

**Ambito tematico "Modellistica, studi preformativi, linee guida" del Piano Annuale di Realizzazione punti 5.4.1.1/2" in atto con ENEA**

Responsabile scientifico Prof. Gianfranco Rizzo



## **Indice**

<b>Premessa</b>	7
<b>Il risparmio energetico nell'illuminazione artificiale d'interni</b>	
Incidenza dei consumi per l'illuminazione artificiale	9
Norme per il calcolo del consumo energetico in KWh/mq x anno	14
<b>Strategie per il risparmio energetico nell'illuminazione</b>	
Tecniche per nuove realizzazioni e retrofitting di impianti esistenti	19
L'efficienza luminosa delle sorgenti	33
L'alimentazione elettronica delle lampade fluorescenti	52
Il rendimento ottico degli apparecchi e il fattore di utilizzo	56
I sistemi di integrazione della luce naturale/artificiale	64
I sistemi di domotica	75
<b>Il risparmio energetico nell'illuminazione residenziale e del terziario</b>	
Il risparmio energetico nelle abitazioni	79
Il risparmio energetico negli uffici	82
Il risparmio energetico nelle scuole	87
Il risparmio energetico negli ospedali	91
<b>L'uso della luce naturale negli spazi espositivi</b>	
L'integrazione della luce naturale e artificiale nei musei	95
<b>Il calcolo del LENI</b>	
Metodologia di calcolo	107
Casi studio rappresentativi del panorama costruttivo italiano	108
Schede di valutazione dei consumi energetici per illuminazione	112
Analisi dei risultati	122
<b>Bibliografia</b>	125
<b>Sitografia</b>	127



## Premessa

È opinione comune che il risparmio energetico nell'illuminazione si ottenga semplicemente con la sostituzione delle sorgenti luminose con altre a maggiore efficienza. Questo, tuttavia, è solo uno dei possibili interventi che, per altro, se applicato isolatamente, rischia di essere del tutto inefficace.

Occorre considerare, infatti, che il risparmio avviene sì installando lampade con consumo inferiore a parità di flusso luminoso emesso, ma soprattutto, molto semplicemente, spegnendole o riducendone il flusso quando possibile. Ecco che, nell'illuminazione di interni, intervengono tutti quei dispositivi (rilevatori di presenza, sensori di luminosità, dimmer, sistemi di controllo) in grado di modulare automaticamente il flusso delle sorgenti luminose spegnendole se non vi sono utenti nei locali o riducendone il flusso se vi è un apporto di luce naturale dall'esterno (fig. 1).

Naturalmente il risparmio energetico si ottiene anche facendo lavorare nelle migliori condizioni le sorgenti luminose a scarica (fluorescenti o a ioduri metallici) attraverso l'uso di ballast elettronici in grado di mantenere alta l'efficienza della lampada per tutta la sua durata. Il risparmio si consegue, inoltre, utilizzando apparecchi di qualità con ottiche di precisione tali da garantire un alto rendimento dell'intero sistema e attuando una progettazione illuminotecnica mirata e consapevole. Un serio programma di risparmio energetico, dunque, deve basarsi sulla scelta delle sorgenti adatte alla specifica applicazione, sull'alta qualità degli alimentatori, sull'elevato rendimento degli apparecchi e sull'uso di sistemi di gestione dell'impianto.

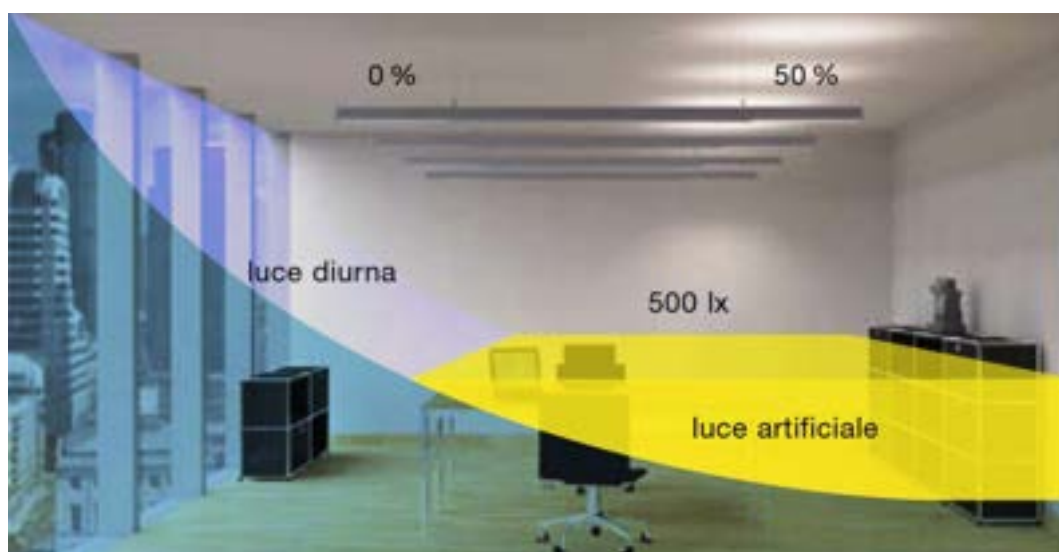


Fig. 1 - Lo scopo dell'integrazione della luce naturale e artificiale è di ottenere un notevole risparmio energetico garantendo il massimo benessere psicofisiologico (fonte: Zumtobel).



## Il risparmio energetico nell'illuminazione artificiale d'interni

### Incidenza dei consumi per l'illuminazione artificiale.

Per verificare la valenza economica degli interventi per il risparmio energetico e i benefici ottenibili occorre individuare l'incidenza percentuale dei consumi per l'illuminazione sul totale dei consumi elettrici negli edifici. Dai dati ad oggi disponibili il 3,5% del consumo nazionale di energia è costituito dall'illuminazione. In ogni settore il consumo per l'illuminazione incide per le seguenti percentuali (fonte Elettrico-Plus - Reed Business Information):

- uffici 20-40%
- ospedali 15%-30%;
- industria 15%;
- scuole 10%-15%,
- abitazioni 5%-10%.

Appare dunque evidente che gli uffici (fig. 2), essendo il settore con il maggiore consumo per l'illuminazione, sono l'ambito ideale per lo sviluppo e la diffusione dei dispositivi di controllo della luce artificiale orientati al risparmio energetico e di tutte le altre strategie per il miglioramento del rendimento dell'impianto. Tale possibilità è favorita, tra l'altro, dall'ampia presenza di lampade fluorescenti lineari o compatte mentre l'uso di lampade a bassa efficienza (alogeni e ad incandescenza) è, invece, irrilevante. La sostituzio-



Fig. 2 - Secondo l'IES i consumi energetici per l'illuminazione nel settore terziario costituiscono mediamente circa il 26% del consumo complessivo del settore.

ne delle lampade fluorescenti tradizionali con lampade di nuova generazione (T5), l'uso dei gruppi di alimentazione elettronici, l'applicazione di apparecchi con ottiche particolarmente performanti e l'adozione di sistemi di regolazione automatica del flusso in base alla presenza di utenti o di luce naturale sono gli strumenti più efficaci per abbattere i consumi.

Secondo le stime dell'Istituto per la Sostenibilità Ambientale (IES) della Commissione Europea, è possibile conseguire in questo settore un risparmio, a livello europeo, di 36 TWh/anno entro il 2015. La stima non è ripartita in base al paese: tuttavia, ipotizzando una ripartizione proporzionale ai consumi, si può stimare per l'Italia circa il 10% del risparmio europeo; cioè circa 3,6 TWh/anno, pari al 4% del consumo di energia elettrica del settore, e all'1,1% del consumo complessivo nazionale (figg. 3 e 4).



Fig. 3 - Ripartizione attuale dei consumi nel settore terziario secondo dati ENEA.

Potenziale Tecnico di risparmio di energia elettrica al 2020 valutabile dal punto di vista dei costi					
Settore	Totale	Residenziale	Terziario commerciale	Terziario Pubblico	Industriale
Uso finale	[TWh/anno]	[TWh/anno]	[TWh/anno]	[TWh/anno]	[TWh/anno]
Illuminazione	45,4	4,5	20,7	4,7	15,5
Motori elettrici	39,4	1,1	10,7	1,0	26,6
Elettrodomestici	7,5	7,5	0,0	0,0	0,0
Altro	10,7	0,0	5,9	1,6	3,2
<b>Totale</b>	<b>103,0</b>	<b>13,1</b>	<b>37,2</b>	<b>7,3</b>	<b>45,3</b>

Fig. 4 - Potenziale Tecnico di risparmio di energia elettrica al 2020 valutabile dal punto di vista dei costi secondo Greenpeace (contenuto nel rapporto "La rivoluzione dell'efficienza, il potenziale di efficienza energetica negli usi finali di energia elettrica in Italia al 2020 e i benefici connessi").

L'illuminazione domestica, invece, consuma circa 7 TWh/anno, poco più dell'11% del consumo elettrico residenziale. Si tratta di un settore dove sussistono maggiori margini per il miglioramento dell'efficienza rispetto a quello terziario; tuttavia il risparmio presumibile - in valore assoluto - è ancora più esiguo.

La maggior parte delle lampade installate in Italia per l'illuminazione domestica è ad incandescenza o ad alogeni, di efficienza molto bassa; solo il 4,4% è rappresentato da lampade ad alta efficienza (tab. 1).

	Numero di unità abitative (milioni)	Consumo di energia complessivo del settore residenziale	Consumo per illuminazione (TWh/anno)	% del consumo per illuminazione sul consumo residenziale	numero di punti luce per unità abitativa	% di penetrazione delle lampade FLC
AT	3,08	15	1,10	7,33%	26,0	15,4
BE	3,9	18,2	2,23	12,25%	26,0	9,6
DK	2,31	9,71	1,36	14,01%	25,4	19,3
FIN	2,3	12,2	1,70	13,93%	23,5	4,3
FR	22,2	141,06	9,07	6,43%	18,9	12,0
GR	3,99	16,87	3,04	18,02%	12,0	8,3
DE	39,1	140	13,20	9,43%	32,0	20,3
EI	1,44	7,33	1,32	18,01%	18,0	8,3
IT	22,5	67,6	8,00	11,83%	18,0	4,4
LU	0,2	0,75	0,10	13,07%	20,0	10,0
NL	6,73	23,75	3,80	16,00%	40,0	10,0
PT	4,2	11,4	1,70	14,91%	11,4	14,9
ES	17,2	61,11	11,00	18,00%	25,0	8,0
SE	3,9	43,5	3,40	7,82%	32,0	10,3
UK	22,8	111,88	17,90	16,00%	20,0	10,0
CZ	3,83	14,53	1,74	11,98%	14,0	20,7
CY	0,32	1,32	0,24	18,18%	16,0	12,5
EE	0,6	1,62	0,45	27,78%	15,0	1,7
HU	3,75	11,1	2,78	25,00%	18,0	5,6
LV	0,97	1,47	0,41	27,89%	17,0	2,5
LT	1,29	2,07	0,62	29,95%	10,0	2,5
MT	0,13	0,62	0,81	130,00%	15,0	6,7
PL	11,95	22,8	6,38	27,98%	20,0	2,5
SK	1,9	4,9	0,40	8,16%	15,0	6,7
SI	0,68	3,01	0,33	10,96%	19,0	10,5
BG	2,9	9,31	0,90	9,67%	13,0	3,8
RO	8,13	8,04	2,91	36,21%	10,0	2,0
HR	1,42	6,07	1,10	18,12%	14,0	7,1

**Tab. 1 - Consumi per l'illuminazione residenziale in Europa e penetrazione delle lampade fluorescenti compatte (FLC)**, tratto da Joint Research Centre of the European Community (JRC) - Institute for Environment and Sustainability (IES); "Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union: Status Report 2006", 2007.

In questo quadro, le lampade fluorescenti compatte (FLC), ed in particolare quelle con alimentatore integrato, possono giocare un ruolo fondamentale, grazie alla possibilità di sostituire in modo diretto le lampade ad incandescenza. D'altra parte, secondo lo studio IES, il ricorso a tecnologie più recenti

(vedi i LED) ai fini del risparmio energetico viene citato solo marginalmente: esse vengono considerate ancora troppo giovani e costose per un uso generalizzato e l'attenzione viene rivolta principalmente alla migrazione verso le lampade FLC. Lo studio indica nel 25% la percentuale di penetrazione di lampade FLC auspicabile in tempi ragionevolmente brevi, e ne ricava un'ipotesi realistica di risparmio di 16 TWh/anno, a livello europeo, entro il 2015 da cui è possibile desumere per l'Italia un risparmio di 2,3 TWh/anno (14,6% del risparmio europeo), pari a ben il 29% del consumo per l'illuminazione residenziale, ma a solo il 3,4% del totale dei consumi residenziali e ad un misero 0,7% del consumo complessivo nazionale (tab. 2,3 e 4).

	Consumo (TWh/anno)	% sul consumo nazionale
Industria	156,0	49,15%
Agricoltura	5,5	1,73%
Terziario	88,3	27,82%
Residenziale	67,6	21,30%
<b>Totale</b>	<b>317,4</b>	<b>100,00%</b>

Tab. 2 - Consumo di energia elettrica nazionale, per settore, dati ISTAT 2006

	Consumo (TWh/anno)	% sul consumo complessivo del settore	% sul consumo nazionale
Terziario	22,9	25,93	7,21
Residenziale	8,0	11,83	2,52

Tab. 3 - Consumi di energia elettrica per illuminazione, stime contenute in Joint Research Centre of the European Community (JRC) - Institute for Environment and Sustainability (IES); "Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union: Status Report 2006", 2007.

	Risparmio perseguibile (TWh/anno)	% sul consumo per illuminazione del settore	% sul consumo complessivo del settore	% del consumo nazionale
Terziario	3,6	15,72	4,08	1,13
Residenziale	2,3	28,75	3,40	0,72

Tab. 4 - Risparmi realisticamente perseguibili per illuminazione, al 2015, elaborazione dei dati contenuti in: Joint Research Centre of the European Community (JRC) - Institute for Environment and Sustainability (IES); "Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union: Status Report 2006", 2007; effettuata da Massimo Iarussi in "La luce e il risparmio energetico", su Luce e Design n. 2 - 2008.

L'obiettivo (pur non esaltante se rapportato al consumo totale nazionale) sembra realistico ed effettivamente perseguibile. Occorre tuttavia essere consapevoli dell'esiguità dei numeri in gioco, per evitare facili ottimismo. Al contrario, le campagne informative spesso propagandano valori che non tengono conto di una percentuale realistica di penetrazione, ma si basano sull'ipotesi, puramente teorica, di migrazione di tutto il parco lampade esistente verso le FLC. L'ambiente domestico, invece, è caratterizzato da un gran numero di punti luce usati solo occasionalmente: ingressi, bagni, corridoi, ripostigli ecc. Solo un numero limitato di punti luce (soggiorno, cucina) viene usato per più ore al giorno, e solo per questi ultimi la conversione verso lampade FLC è effettivamente conveniente per l'utente.

C'è poi un altro motivo che suggerirebbe una maggiore gradualità nella migrazione generalizzata verso le lampade FLC. Queste, come è noto, contengono mercurio: si tratta di quantità ridottissime (4 mg ca.), peraltro completamente riciclabili con le procedure adeguate (fig. 5). Tuttavia si tratta di oggetti che, a fine vita, diventano rifiuti tossici, le cui procedure di raccolta e riciclo sono oggi solo nelle loro fasi iniziali. Contrariamente a quanto accade nel settore produttivo, in quello residenziale la sostituzione delle lampade viene effettuata direttamente dall'utente, come evento del tutto occasionale. Anche nella più ottimistica delle previsioni sulla consapevolezza del comportamento dei cittadini, resterebbe sempre una quota fisiologica (alcuni milioni di lampade all'anno...) che sfugge al riciclo e finisce nel secchio della spazzatura. E si tratta di rifiuti altamente tossici, non si tratta di carta o vetro il cui mancato riciclo aumenta solo l'intasamento delle discariche!

Categorie di prodotto	Descrizione	Prodotti	Numero modelli
Tubi fluorescenti	Lampade a bassa pressione (filamenti) contenenti gas nobili e mercurio con polvere fluorescente	Lineari	> 10
Fluorescenti non lineari		Forme diverse	> 5
Fluorescenti compatte non integrate	Lampade ad alta pressione (> 1 bar) contenenti gas nobili, mercurio, sodio, alogenuri metallici	Compatte	> 25
Fluorescenti compatte integrate a risparmio di energia		Compatte a componenti elettronici	> 20
A scarica ad alta intensità			> 10
	Lampade a bassa pressione (filamenti) contenenti gas nobili e sodio		> 5

Fig. 5 - Le lampade che necessitano di smaltimento speciale: i tubi fluorescenti lineari e non; le lampade fluorescenti compatte non integrate; le lampade fluorescenti compatte integrate a risparmio di energia; le lampade a scarica ad alta intensità, ad alta e a bassa pressione (fonte: Consorzio Ecolamp).

### **Norme per il calcolo del consumo energetico in kWh/mq x anno.**

La norma di riferimento per determinare il consumo degli edifici per l'illuminazione è la UNI EN 15193-2008 "Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione".

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 15193 (edizione settembre 2007) nella quale si specifica la metodologia di calcolo del consumo energetico degli impianti di illuminazione in interni di edifici e si definisce un indicatore numerico dei requisiti energetici per l'illuminazione da utilizzare per la certificazione energetica.

La metodologia di calcolo può essere usata sia per gli edifici esistenti, sia per gli edifici nuovi o in ristrutturazione. La norma fornisce anche i riferimenti su cui basare i valori limite di energia previsti per l'illuminazione. Inoltre fornisce una metodologia per il calcolo dell'energia istantanea consumata per l'illuminazione per la stima dell'efficienza energetica globale dell'edificio. Sono escluse dal calcolo solo le potenze parassite non incluse negli apparecchi.

Il calcolo dell'indice numerico si effettua dopo aver determinato i consumi energetici annuali dovuti all'illuminazione in kWh/anno.

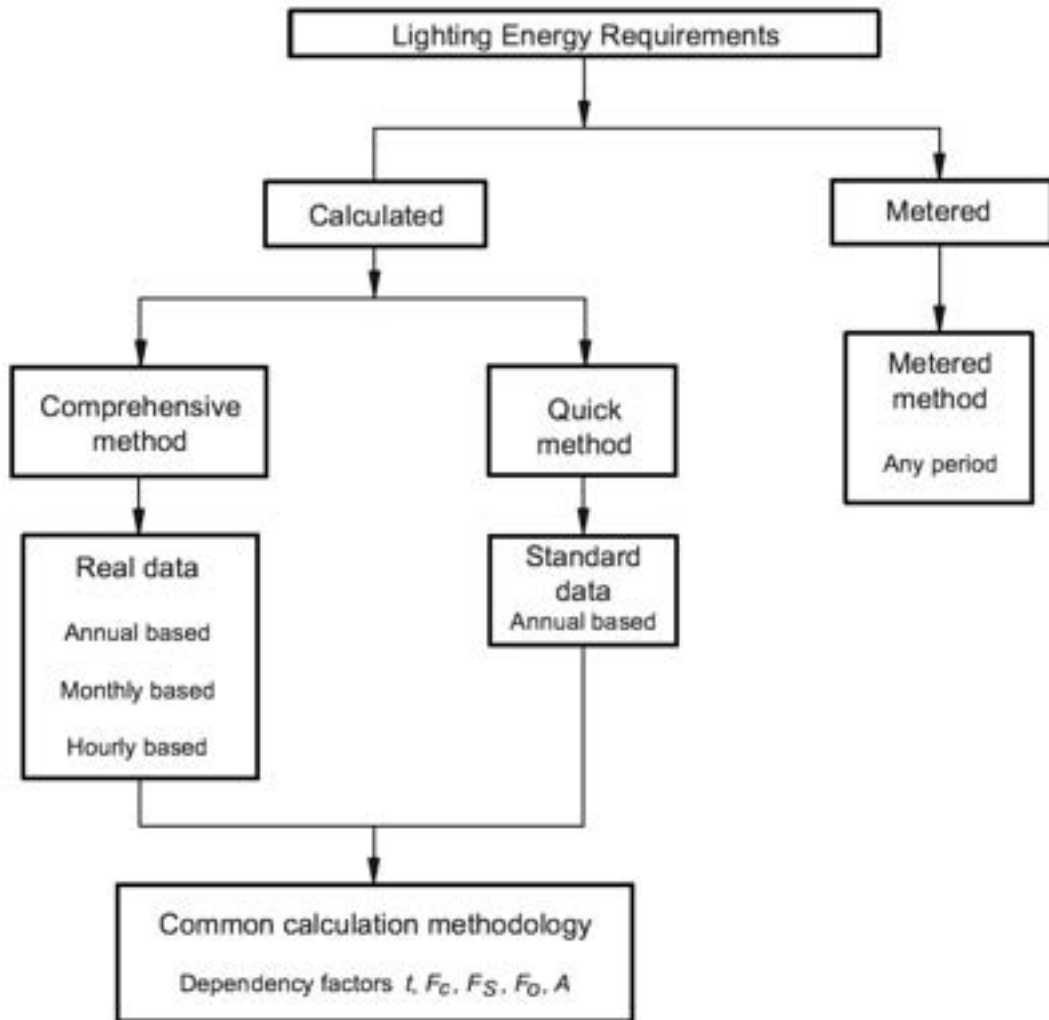
$$W_{light} = \frac{[\sum (P_{pn} * t_p) + \sum P_n \{ (t_D * F_O * F_D) + (t_n * F_O) \}]}{1000} [kWh/year]$$

$P_{pn}$	parasitic power in a zone (which generally means standby losses)
$t_p$	time where parasitic power is used
$P_n$	the total luminaire power in a zone
$t_D$	daylight time usage
$t_n$	non-daylight time usage
$F_D$	daylight dependency factor
$F_O$	occupancy factor

Il consumo per mq consente di raffrontare varie soluzioni di illuminazione ai fini del risparmio energetico. Si determina così il LENI (Lighting Energy Numeric Indicator), parametro corrispondente all'EPill utilizzato dalla normativa italiana per la determinazione della classe di consumo di un edificio.

$$LENI = \frac{W_{light}}{A} \left[ \frac{kWh}{m^2 * year} \right]$$

La norma prevede la valutazione dell'indice LENI sia da calcolo (per nuovi edifici) sia da misurazione (per edifici esistenti).



Il metodo rapido consente di ottenere un'informazione approssimativa sui consumi energetici per l'illuminazione.

$$W_{light} = 6 * A + \frac{t_u * \sum P_n}{1000} [kWh / year]$$

- $t_u$  Effective usage hour  $t_u = (t_d * F_D * F_O) + (t_n * F_O)$   
 A Total area of the Building  
 $6 * A$  indicates the energy consumption for emergency lighting and parasitic power  
 The values  $t_D, t_n, F_D, F_O$  are tabulated in prEN 15193-1

Per gli uffici, ad esempio, i valori sono:

$$t_d = 2250 \text{ h}, t_n = 250 \text{ h}, F_d = 0,8, F_o = 0,9, t_u = 1845 \text{ h}$$

Questo metodo può essere utilizzato solo per le più comuni tipologie di edifici. Sono incluse delle tabelle dove sono raccolti i dati standard per diversi tipi di edifici (uffici, scuole, ospedali, hotel, ristoranti, centri sportivi, centri commerciali, negozi e industrie manifatturiere).

Il metodo rapido include un valore standard per l'energia parassita, pari a 6 kWh/mq annui e comprende circa 1 kWh/mq annuo per la ricarica delle luci di emergenza e 5 kWh/mq annui per l'energia consumata dai ballast in condizione di stand-by.

Il metodo completo si basa, invece, sui reali valori di ogni ambiente. Diversamente dal metodo rapido il metodo completo può essere usato per tutti i tipi di edifici anche in diverse posizioni geografiche, con la stima reale del contributo di luce naturale ed anche per periodi inferiori all'anno solare. Basandosi su valori reali il metodo completo fornisce un LENI inferiore a quello calcolato con il metodo rapido (fig.6).



Fig. 6 - Il metodo di calcolo completo del LENI consente di valutare le differenze esistenti tra vari sistemi di illuminazione previsti per lo stesso ambiente. In queste immagini quattro tipologie di sistemi fluorescenti per l'illuminazione di uffici: a sospensione diretta/indiretta, a cluster, a piantana e a vela luminosa indiretta (Zumtobel).

Attraverso il calcolo del LENI è possibile determinare la classe energetica di un edificio ai sensi della UNI-EN 15217 “Energy performance of buildings. Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings”. Si tratta, infatti, di sommare al LENI (nella formula indicato come EPill) gli indici di prestazione energetica relativi alla climatizzazione invernale, alla produzione di acqua calda sanitaria e alla climatizzazione estiva. L’indice di prestazione energetica totale va poi confrontato con il diagramma delle classi energetiche (fig. 7) per individuare la fascia di consumo dell’immobile in questione espresso in kWh/mq per anno.

La formula dunque è la seguente:

$$EP_{tot} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill}$$

dove EP<sub>i</sub> è l’indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, EP<sub>acs</sub> è l’indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria, EP<sub>e</sub> è l’indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva e EP<sub>ill</sub> è l’indice di prestazione energetica per l’illuminazione artificiale.

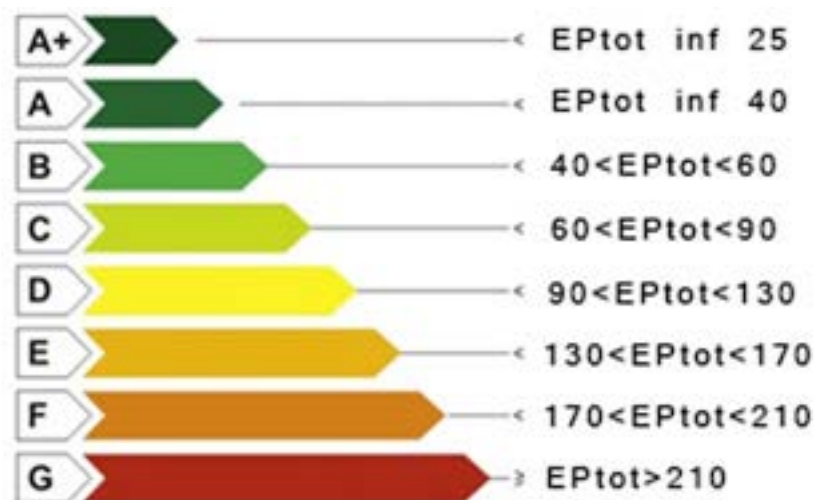


Fig. 7 - Diagramma delle classi energetiche degli edifici.



## Strategie per il risparmio energetico nell'illuminazione

### Tecniche per nuove realizzazioni e retrofitting di impianti esistenti

La progettazione illuminotecnica mirata al contenimento dei consumi e al comfort degli utenti segue due modalità di intervento differenti nel caso in cui si realizzi un impianto ex-novo per un edificio in progettazione e in quello in cui si debba intervenire per migliorare le prestazioni di un impianto già esistente. Nel primo caso si possono ottenere risultati senz'altro più incisivi che nel secondo. In fase di progetto architettonico si può, infatti, prevedere un'articolazione degli spazi e delle aperture tale da massimizzare l'apporto di luce naturale durante le ore diurne. L'illuminazione naturale, oltre ad essere vantaggiosa perché consente di limitare l'uso di luce artificiale e quindi di ridurre i consumi elettrici e il carico termico, migliora la produttività e il benessere. Per sfruttare al massimo la luce naturale occorre cominciare già con la distribuzione planimetrica dell'edificio (fig. 8): l'orientamento a sud è quello che permette il massimo accesso alla radiazione solare e il migliore controllo degli eccessivi carichi termici estivi. Le aperture a sud sono quelle che permettono il migliore utilizzo della luce naturale a patto che sia accettabile una variabilità della qualità e quantità di luce a disposizione. Per finestre orientate fino a 30° sud-est o sud-ovest si hanno solo scarse diminuzioni delle prestazioni.

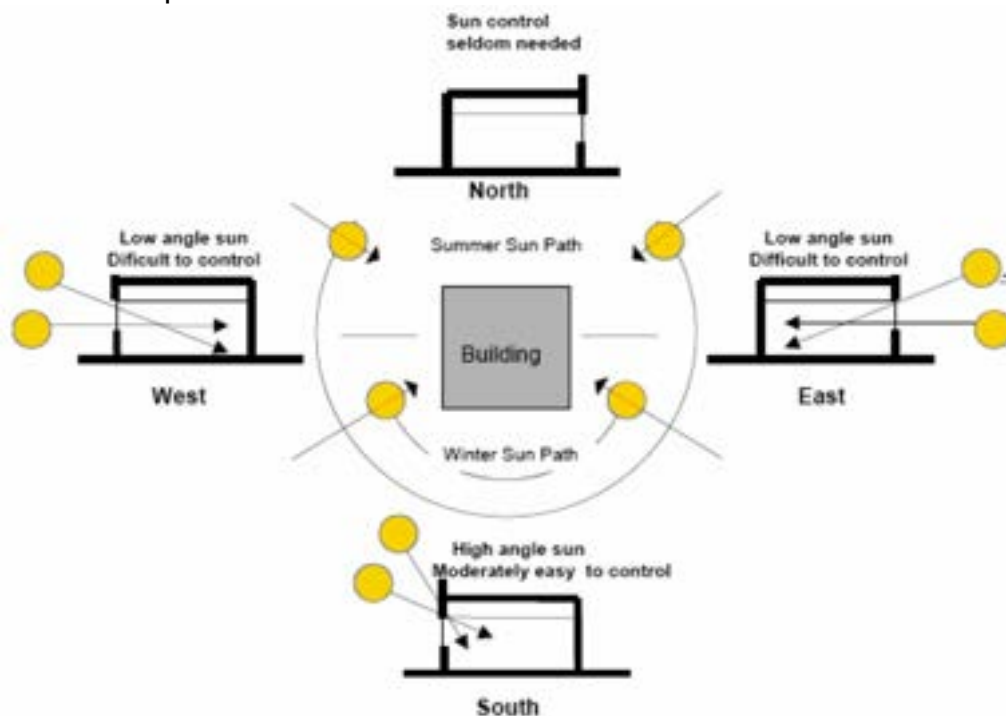


Fig. 8 - L'orientamento dell'edificio e delle aperture è una scelta fondamentale ai fini dello sfruttamento della luce naturale.

L'orientamento a nord mette a disposizione una quantità di luce molto meno abbondante, ma praticamente costante poiché si tratta di luce diffusa proveniente dal cielo. In edifici nei quali la qualità e l'uniformità della luce sono importanti è questa l'esposizione da utilizzare per le finestre. In questo caso si possono realizzare ampie superfici vetrate con limitati carichi termici estivi. In ogni caso la quantità di luce disponibile varia con la latitudine, l'ora del giorno, l'esposizione e la stagione.

Un edificio compatto può offrire una superficie limitata all'ingresso della luce naturale. Al contrario, edifici allungati, con diverse ali o con corti permettono a parità di volume un maggiore ingresso di luce naturale (fig. 9). Le varie parti dell'edificio vanno progettate in modo da non ombreggiarsi reciprocamente. Queste considerazioni, tuttavia, vanno confrontate con le esigenze relative alle dispersioni termiche invernali e ai surriscaldamenti estivi che richiederebbero, invece, edifici di forma compatta.



Fig. 9 - Esempi di piante di edifici con elevata accessibilità di luce naturale.

La luce che entra nell'ambiente lateralmente (*side-lighting*) riesce a penetrare per una profondità di circa 2-2,5 volte l'altezza della finestra (fig. 10). Al massimo, comunque, una decina di metri. Una finestra più alta, a parità di superficie, porta più luce in profondità ma in ogni caso un ambiente non dovrebbe essere più profondo di due volte l'altezza del bordo superiore della finestra.

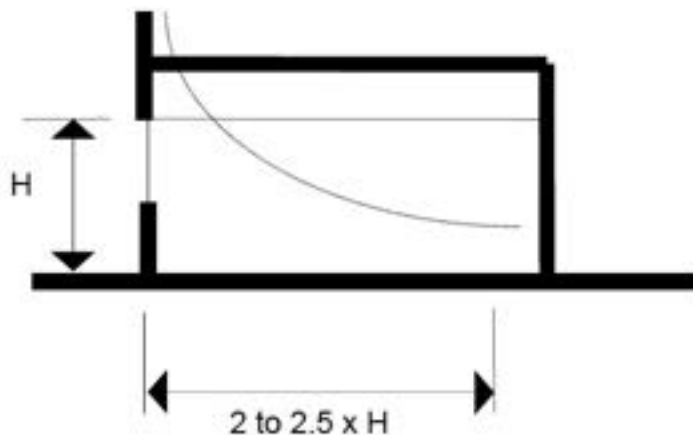


Fig. 10 - Profondità di penetrazione della luce naturale in un ambiente in rapporto con l'altezza dell'apertura.

Una porta-finestra, vetrata anche nel pannello inferiore, a parità di superficie vetrata è più utile di una finestra, poiché permette alla luce che ricade sul pavimento dell'eventuale balcone di venire riflessa all'interno. Di conseguenza converrebbe avere pavimenti chiari, dal momento che sono la prima superficie a ricevere e riflettere la luce diurna.

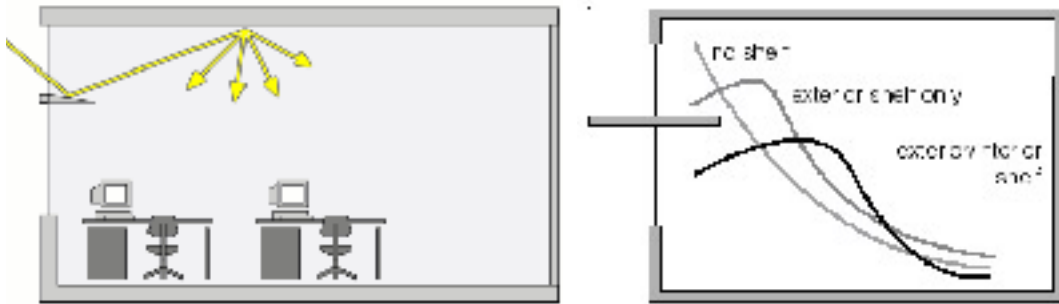


Fig. 11 - Comportamento del lightshelf.

Fig. 12 - Distribuzione della luce nel locale in relazione alla presenza di lightshelves.

Un accorgimento efficace per portare la luce diurna più internamente possibile è quello di collocare mensole orizzontali (le cosiddette *lightshelves*) all'interno del riquadro delle finestre, nella zona alta. Le mensole possono essere solo esterne, solo interne o estese in entrambe le direzioni (figg. 11, 12, 13 e 14).

Fig. 13 - Edificio per gli uffici di DSS a Newcastle, di Hopkins Architects. L'architettura è modellata per abbattere i consumi energetici attraverso la ventilazione naturale e l'utilizzo razionale della luce diurna.



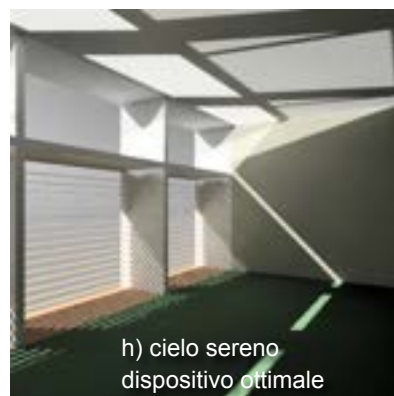
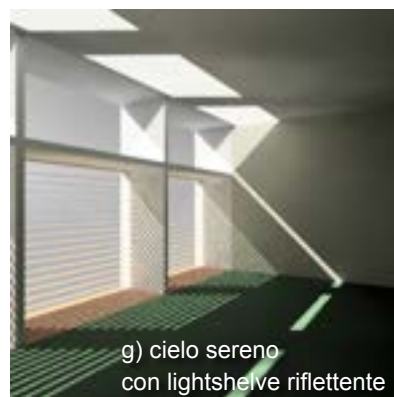
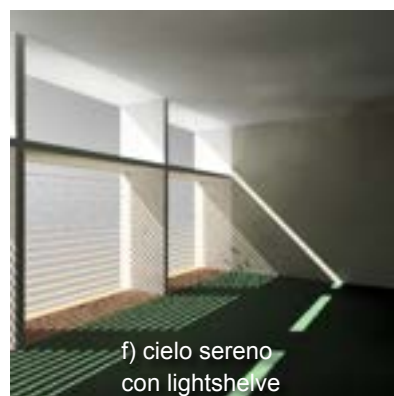


Fig. 14 - Simulazioni della distribuzione della luce in un locale nel caso di cielo coperto o di cielo sereno, con varie tipologie di lightshelves.

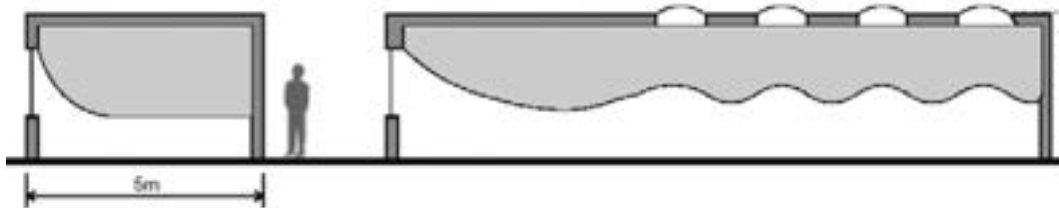


Fig. 15 - Ingresso della luce in un ambiente con sidelighting e in uno con sidelighting e toplighting; con i lucernari la penetrazione di luce diventa maggiore e la distribuzione più uniforme.

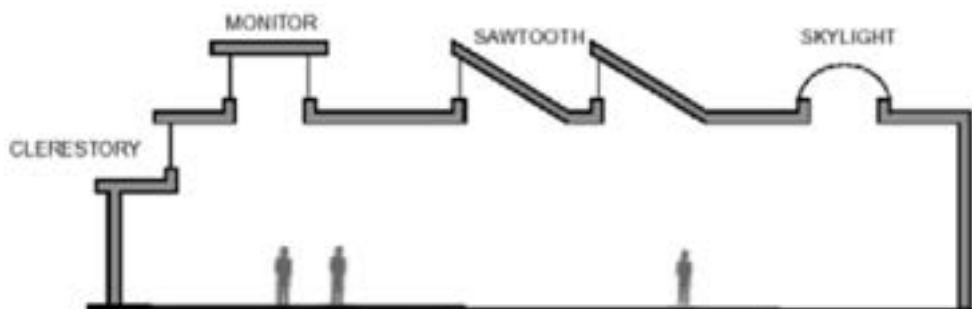


Fig. 16 - Esempi di aperture per l'attuazione del toplighting; la presenza di superfici intorno alle aperture su cui la luce può riflettersi riduce la possibilità di abbagliamento.

Un sistema più efficace per portare maggiori quantità di luce naturale in profondità nel caso di ambienti lunghi a un solo piano è quello di prevedere lucernari (top-lighting). Occorre tuttavia evitare che la luce solare diretta colpisca aree critiche facendo riflettere la luce stessa sulle superfici intorno alle aperture (figg. 15, 16, 17). Il top-lighting si può realizzare anche con pozzi di luce a atrii (figg. 18 e 19).

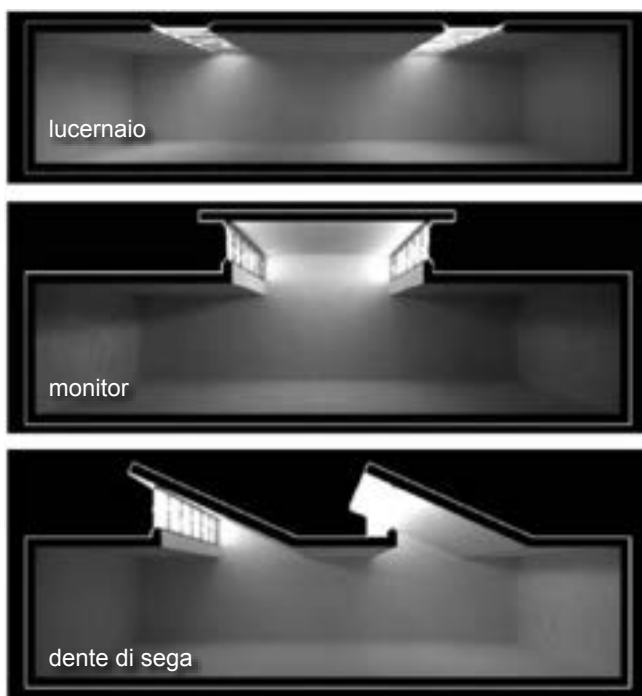


Fig. 17 - Tipologie di aperture per il toplighting e distribuzione della luce nell'ambiente: il lucernaio è più efficace ma vi è un maggiore rischio di abbagliamento e di penetrazione di raggi solari sui piani di lavoro; aperture a monitor e a dente di sega consentono di evitare questi inconvenienti sebbene riducano l'apporto di luce.



Fig. 18 - Atrio del palazzo di uffici DSS a Newcastle, di Hopkins Architects.

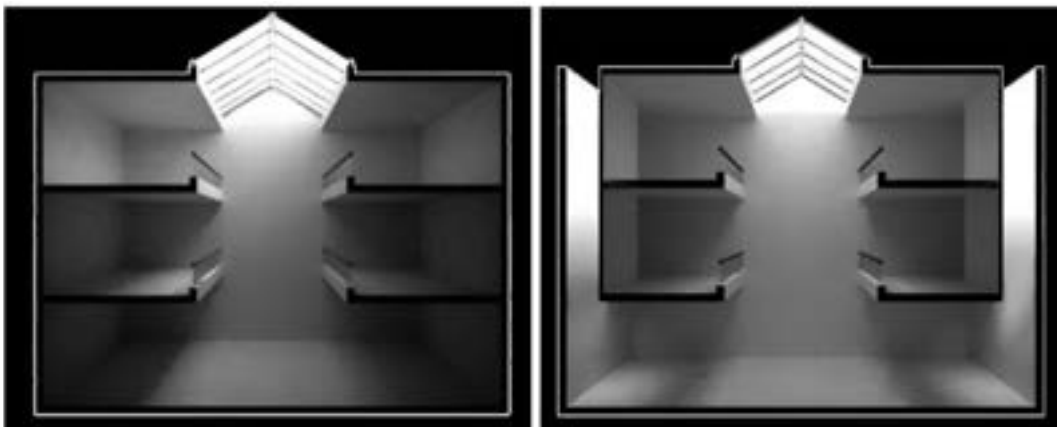


Fig. 19 - Penetrazione della luce in un edificio con il solo atrio e in uno con atrio e pozzi di luce laterali. La presenza di entrambe le tecniche migliora le condizioni luminose al suolo.

Per quantificare l'apporto di luce naturale negli ambienti si utilizza il *Fattore di luce diurna*, valore che rappresenta il rapporto tra l'illuminamento  $E$  su una superficie orizzontale posta dentro il locale dovuto alla luce proveniente dalla volta celeste (non si considera la radiazione diretta proveniente dal sole) e quello che contemporaneamente si ha su una superficie orizzontale posta all'esterno senza alcuna ostruzione  $E_0$  (fig. 20).

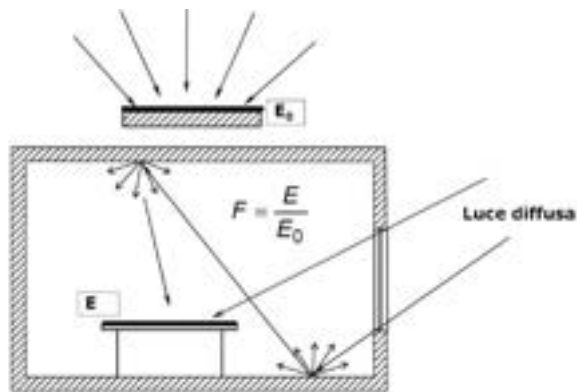


Fig. 20 - Schema del fattore di luce diurna.

$A_i$ , è l'area della finestra i-esima;

$t_i$ , è il coefficiente di trasmissione luminosa del vetro;

$r_m$ , è il coefficiente di riflessione medio nel visibile delle superfici che costituiscono l'involucro dell'ambiente considerato;

$c_i$ , è il fattore finestra ossia il fattore di vista della volta celeste da parte della superficie della finestra, tiene conto delle ostruzioni;

$\psi_i$ , è un fattore che tiene conto dell'ombreggiamento indotto sulla finestra dall'imbotte.

$$F_{mld} = \frac{\sum_i A_i t_i c_i \psi_i}{S(1 - r_m)}$$

I valori di riferimento del fattore di luce diurna  $F$  indicano:  $F < 0,3\%$  - insufficiente;  $0,3\% < F < 2\%$  - discreto;  $2\% < F < 4\%$  - buono;  $F > 4\%$  - ottimo.

I valori consigliati per il fattore medio di luce diurna globale  $F_{mld}$  sono riportati nella tabella 5.

Una volta progettati i sistemi di controllo dell'illuminazione naturale ed effettuato il calcolo del fattore di luce diurna è possibile dimensionare e integrare nell'architettura il sistema di illuminazione artificiale. Occorre cioè scegliere la sorgente luminosa, l'apparecchio e la sua distribuzione planimetrica nonché i sistemi di controllo e i sensori da installare per la regolazione del flusso luminoso come esposto nei prossimi capitoli.

Tab. 5 - Fattore medio di luce diurna consigliato per diverse tipologie edilizie.

ambito	$F_{mld}$
locali di residenza	0,02
palestre, refettori	0,02
uffici, scale, servizi igienici, spogliatoi	0,01
aule, laboratori	0,03
ambienti di degenza	0,03
ambulatori, ambienti per la diagnostica	0,03
edilizia pubblica sovvenzionata	0,06

Si è già accennato al fatto che lo sfruttamento della luce naturale abbia spesso effetti controproducenti sulle prestazioni termiche dell'edificio. Questo aspetto è particolarmente evidente quando le aperture da cui i locali ricevono luce fanno entrare anche la radiazione solare diretta con l'annesso guadagno termico. Situazione ideale nei mesi invernali ma non auspicabile in quelli estivi. In questi casi, se non si possano utilizzare dispositivi strutturali come light-shelve o brise-soleil, si possono adottare per le finestre materiali trasparenti speciali in grado di mantenere inalterato l'apporto di luce ma di ridurre drasticamente la trasmissione della radiazione infrarossa come i vetri a bassa emissione (fig. 21).

Un basso valore di trasmittanza termica affiancato da un elevato valore di trasmissione della luce, sebbene in forma diffusa, è la caratteristica principale dei TIM (Transparent Insulation Materials). Questi materiali si possono suddividere in due categorie: gli aerogel (materiale microporoso con trasmittanza variabile tra 0,4 e 0,9 W/mq °K e coefficiente di trasmissione solare superiore all'80%) e i policarbonati o i polimetilmetacrilati con struttura a nido d'ape (trasmittanza tra 0,7 e 1,5 W/mq °K, trasmissione solare anche superiore al 90% in caso di incidenza perpendicolare dei raggi luminosi rispetto al vetro, fig. 22).

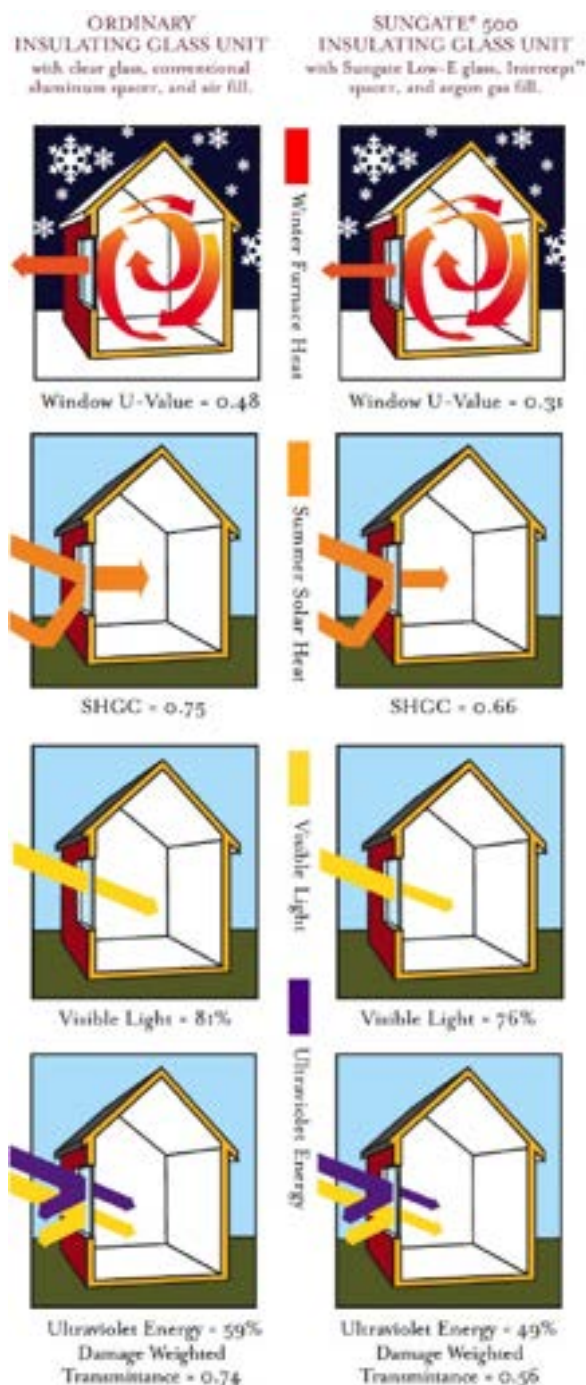


Fig. 21 - Confronto tra il vetro isolante standard e il vetro a bassa emissione in caso di situazione invernale (trasmittanza inferiore del 35% rispetto al vetrocamera standard) e di situazione estiva (fattore di guadagno solare inferiore del 12%). La trasmissione di luce visibile si riduce solo del 6% mentre la parte UV è ridotta del 17% (PPG Glass).

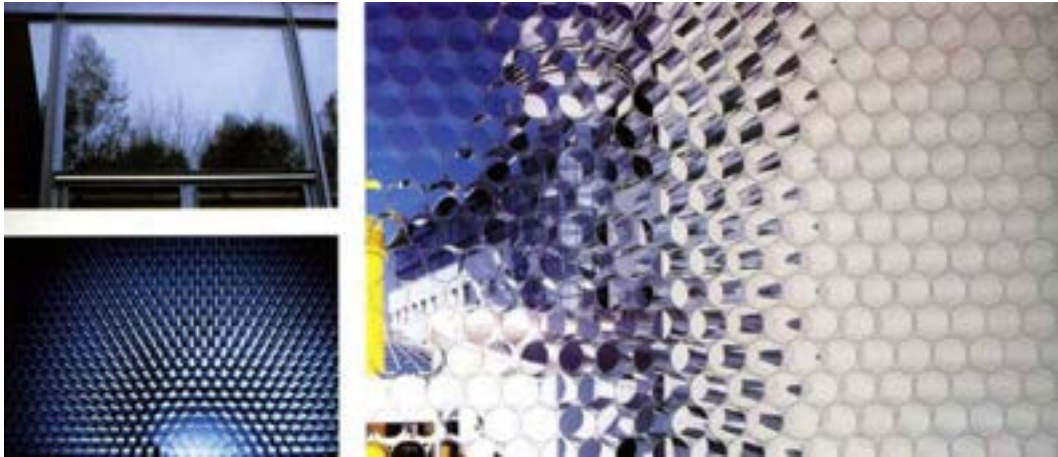


Fig. 22 - Materiale isolante trasparente a nido d'ape. Il suo utilizzo consente di pilotare la luce negli spazi interni mantenendo un buon isolamento termico (Helioran).

L'immediata evoluzione di questi sistemi (le cui caratteristiche sono invariabili) è costituita dai vetri cromogenici, lastre a comportamento dinamico in grado di rispondere autonomamente al variare delle condizioni ambientali (vetri fotocromici e termocromici) o di modificare il proprio comportamento in relazione ad un sistema di controllo azionato dall'utente (vetri elettrocromici e a cristalli liquidi).

I materiali fotocromici cambiano il loro coefficiente di trasmissione luminosa in funzione dell'intensità della luce che li colpisce per l'azione degli alogenuri di argento in essi contenuti. Assumono una colorazione grigia quando sono esposti alla luce solare, funzionando così da filtro, soprattutto per le radiazioni infrarosse (sebbene si riduca drasticamente anche la trasmissione nel visibile). Il processo ha carattere reversibile ed il vetro torna alla sua configurazione originaria al cessare dell'irraggiamento. Una maggiore diffusione dei vetri fotocromici nell'edilizia è però ostacolata dal fatto che il processo di colorazione risulta sensibile alla temperatura ambiente, essendo più intenso a temperature rigide e praticamente nullo con temperature più elevate come in estate, proprio quando servirebbe di più. L'applicazione architettonica quindi non è molto presente mentre gli studi si concentrano sull'utilizzo per gli specchietti retrovisori e tetti trasparenti delle auto, occhiali e caschi da motociclismo (fig. 23).



Fig. 23 - Schermo per casco in materiale fotocromico prima e dopo l'esposizione alla luce naturale.

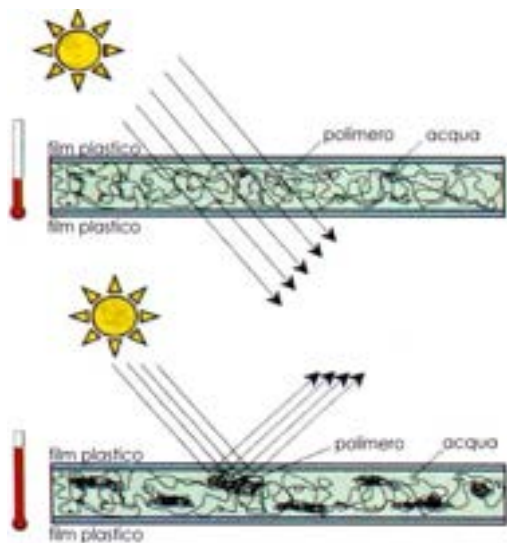


Fig. 24 - Meccanismo di funzionamento di un vetro termocromico.

I vetri termocromici modificano, invece, le loro proprietà ottiche in funzione della temperatura ambientale grazie a sostanze gel che passano dallo stato trasparente a quello opaco rendendo riflettente il materiale che li contiene (fig. 24). Ciò permette dunque di diminuire i carichi di raffreddamento estivo mentre viene mantenuto inalterato l'apporto termico invernale. L'unico svantaggio è quello di perdere la visibilità dell'esterno poiché la finestra diventa opalina.

Tra i due sistemi controllabili elettricamente dall'utente si possono collocare i dispositivi a cristalli liquidi (PDLC): nello stato non attivato le molecole di cristalli liquidi sono orientate casualmente per cui la luce incidente viene diffusa all'interno; nello stato attivato, invece, le molecole disperse sono orientate in direzione del campo elettrico inserito perciò la luce incidente non è rifratta e il materiale diventa trasparente (figg. 25 e 26).

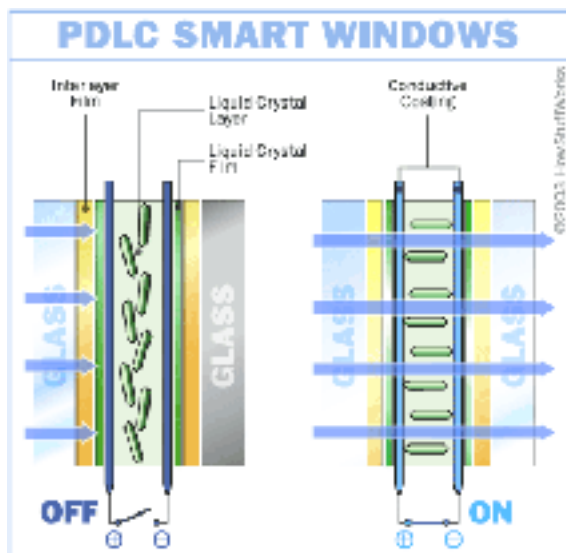


Fig. 25 - Meccanismo di funzionamento di un vetro a cristalli liquidi.

Fig. 26 - Ambiente chiuso da finestre a cristalli liquidi in posizione disattivata (vetro opaco) e in posizione attivata (vetro trasparente).

Anche in questo caso, come nei vetri termocromici, si perde la visibilità degli esterni: per questo motivo i vetri a cristalli liquidi sono più frequentemente utilizzati come elementi flessibili di divisione degli spazi interni.

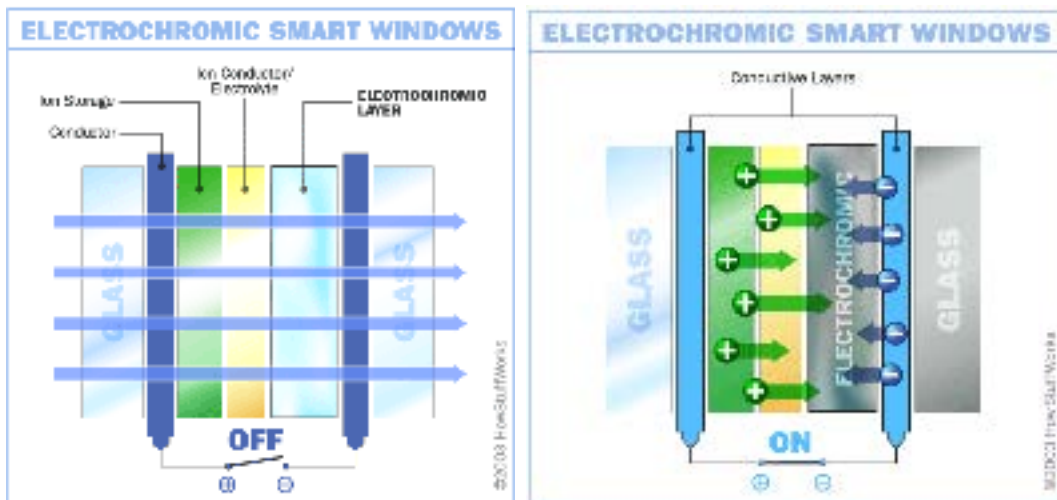


Fig. 27 - Meccanismo di funzionamento di un vetro elettrocromico.

L'altro dispositivo a controllo elettrico è costituito dai vetri elettrocromici, elementi in cui l'attivazione comporta il cambiamento di colore del materiale mentre con la disattivazione il materiale torna trasparente (fig. 27).

Un'altra particolarità dei vetri elettrocromici è che possono essere resi anche specchianti qualora si depositino sul vetro coating metallici. Infatti, applicando dei film metallici su una delle due lastre, il dispositivo agisce da modulatore del potere riflettente dello specchio, il che significa rendere lo specchio più o meno riflettente a secondo della tensione applicata agli elettrodi. Il vetro elettrocromico varia le sue performance passando da un coefficiente SHGC di 0.09 ad uno di 0.49 variando la trasmissione della radiazione luminosa dal 4% al 63% (fig. 28).

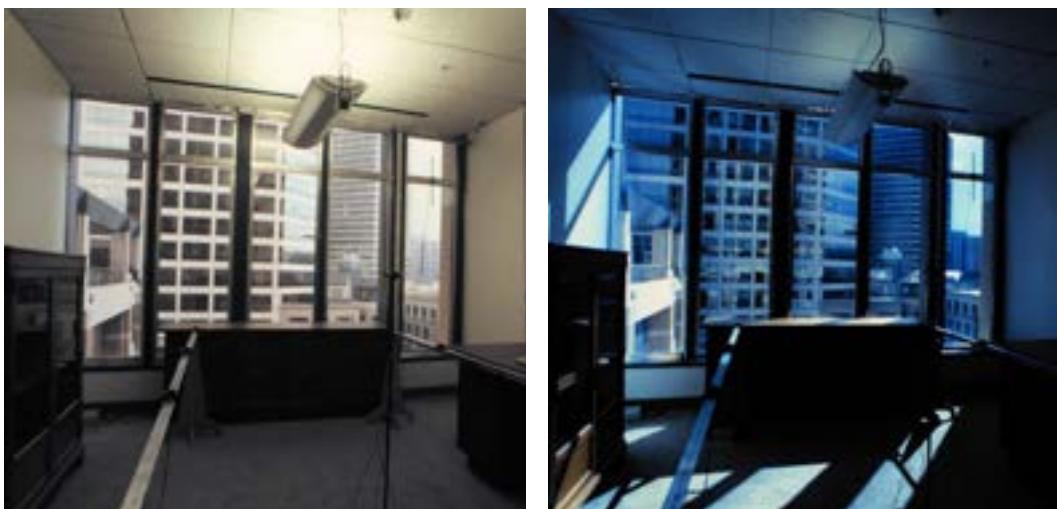


Fig. 28 - Esempio di vetro elettrocromico in stato disattivato (trasparente) e in stato attivato (colorato in blu).

I dispositivi azionati elettricamente, infine, possono essere controllati insieme a tutti i vari tipi di sensori (di presenza o di movimento) e costituire una parte fondamentale del sistema di integrazione della luce naturale e di quella artificiale.

L'ultimo dispositivo applicabile alle finestre è il meccanismo della "reversibilità", la possibilità cioè di ruotare completamente l'elemento vetrato in modo da offrire verso l'esterno la superficie più adatta alle caratteristiche stagionali: in pratica se il sistema è composto da un vetro trasparente e uno trattato la finestra potrà assorbire calore in inverno e, se girata di 180°, respingerlo all'esterno in estate migliorando, così, le prestazioni energetiche in tutti i mesi dell'anno (fig. 29).

Si tratta di un meccanismo (a rotazione su asse orizzontale o verticale) nato per fini esclusivamente manutentivi grazie alla possibilità di pulire, dall'interno e in maniera sicura, tutta la superficie esterna della finestra (fig. 28). Ma se la finestra viene studiata per potersi chiudere correttamente in entrambe le posizioni e vengono previsti due differenti tipi di vetro, il dispositivo può funzionare in maniera eccellente anche ai fini del comportamento termico passivo dell'edificio. In particolare occorre che uno dei due vetri sia un pannello assorbente in grado di respingere



Fig. 29 - Finestra reversibile con rotazione sull'asse orizzontale.



la gran parte della radiazione solare assorbita verso l'esterno (comportamento per filtro solare estivo) o verso l'interno (comportamento per guadagno solare invernale) a secondo del lato verso cui è rivolto.

Fig. 30 - Finestra reversibile attualmente in commercio applicata in un abbaino soltanto per fini manutentivi e per facilitare la pulizia della superficie esterna.

Un discorso a parte meritano tutti quei sistemi di captazione e conduzione della luce naturale entro appositi tubi (light pipes) all'interno dei quali si può introdurre anche luce artificiale (fig. 31). In questo caso la luce naturale non entra negli ambienti da finestre o lucernari ma da elementi puntuali (fig. 32) o lineari (fig. 33) nei quali può essere miscelata o sostituita con la luce artificiale. Questo permette di portare la luce naturale anche in zone interne dell'edificio o in ambienti totalmente interrati a vantaggio del benessere psicofisiologico degli individui e del risparmio energetico conseguibile.

È il caso del sistema Arthelio, in cui una lampada al plasma di zolfo immette la luce direttamente nei condotti ottici (fig. 34) quando la luce naturale non è più disponibile. In tal modo il punto di erogazione di luce naturale ed artificiale coincide e non vi è soluzione di continuità nella distribuzione della luce nell'ambiente.

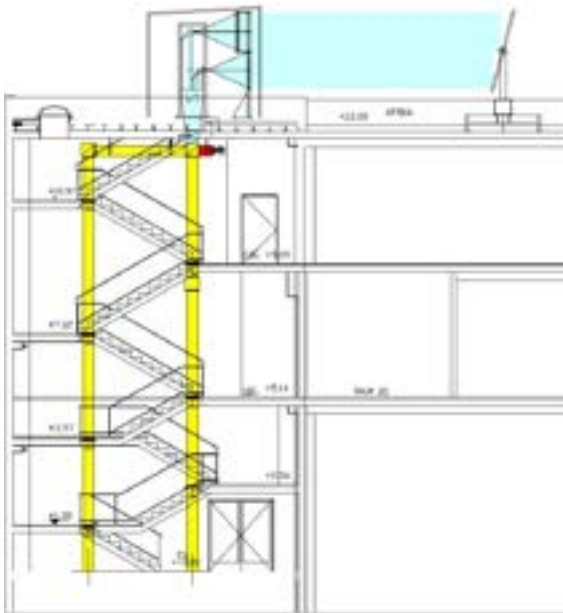
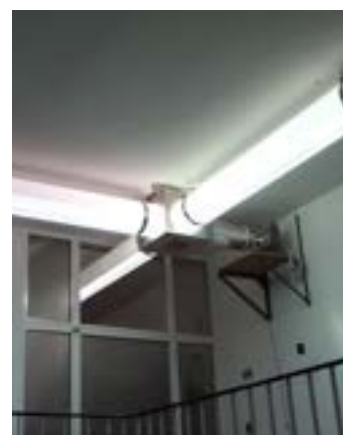


Fig. 31 - Schema dell'impianto di un sistema Arthelio a Berlino per l'illuminazione di un vano scala. Sul tetto è montato lo specchio che riflette la luce solare nel captatore sotto il quale è posizionata la lampada al plasma di zolfo (indicata in rosso).

Fig. 32 - Plafone luminoso per l'emissione di luce naturale in un magazzino.

Fig. 33 - Elementi lineari diffondenti per la distribuzione di luce naturale in un corpo scala.

Fig. 34 - Innesto della lampada al plasma di zolfo nel condotto ottico per integrare con la luce artificiale quella naturale condotta nei tubi.



Nel caso di intervento sull'esistente è difficile modificarne il comportamento nei confronti della luce naturale (a parte l'introduzione di vetrate speciali o di altri dispositivi applicati alle aperture) quindi si cerca di migliorare le prestazioni dell'impianto di illuminazione artificiale. Le modalità di intervento sono molto differenti anche in relazione al budget stanziato per l'operazione di retrofitting: si può sostituire la sola sorgente luminosa con altra di minor potenza e pari flusso o di maggior flusso luminoso a pari potenza; si possono cambiare anche gli apparecchi con altri di maggior rendimento; si possono introdurre sistemi di gestione e integrazione con la luce diurna. Strategie che saranno analizzate nei prossimi capitoli (fig. 35).



Fig. 35 - Esempi di diverse combinazioni di reattore, lampada e ottica con consumi per unità di superficie molto differenti (Philips).

## L'efficienza luminosa delle sorgenti

Come si è già detto la sostituzione delle sorgenti luminose con altre con caratteristiche analoghe ma con maggiore efficienza luminosa è l'operazione più immediata per attuare rapidamente e con costi limitati un intervento di riduzione dei consumi energetici per l'illuminazione.

La scelta della sorgente luminosa ha un ruolo determinante: la qualità illuminotecnica dell'ambiente dipende in gran parte dalla fonte di luce con cui si equipaggiano gli apparecchi. Le lampade vanno accuratamente selezionate prendendo in considerazione sia le loro principali caratteristiche di qualità (spettro di emissione, temperatura di colore, indice di resa cromatica) sia le caratteristiche operative (potenza, flusso luminoso, efficienza luminosa, vita media, deprezzamento, tipo di attacco, dimensione e forma, caratteristiche di funzionamento, accessori ausiliari necessari).

Per una conoscenza completa delle sorgenti luminose e delle loro caratteristiche si rimanda alla letteratura specifica. In questa sede si riportano solo alcuni cenni necessari alla comparazione tra l'efficienza luminosa delle sorgenti per perseguire l'obiettivo del risparmio energetico.

Occorre quindi avere una panoramica generale delle famiglie di sorgenti oggi disponibili, divise per principio di funzionamento: radiatori termici, lampade a scarica, emettitori luminescenti (fig. 36).

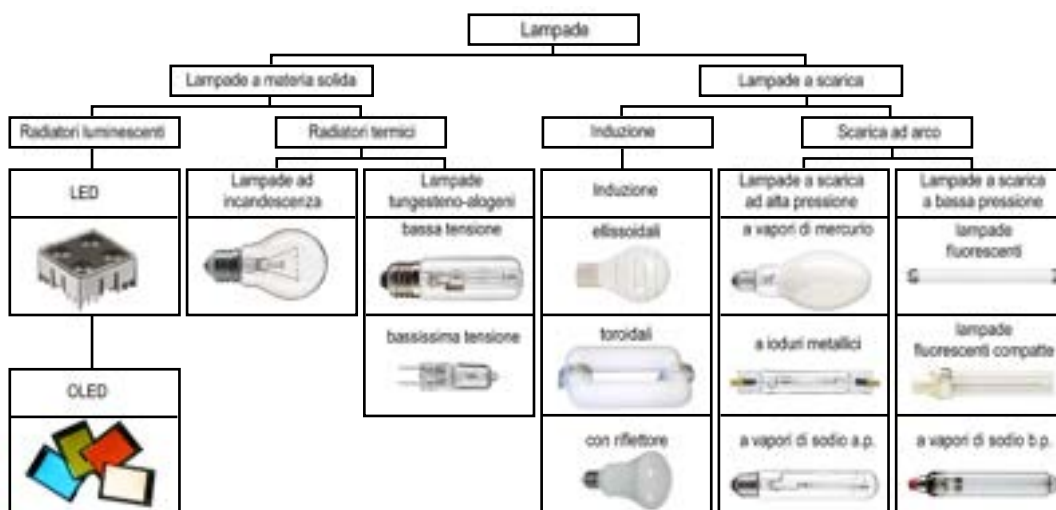


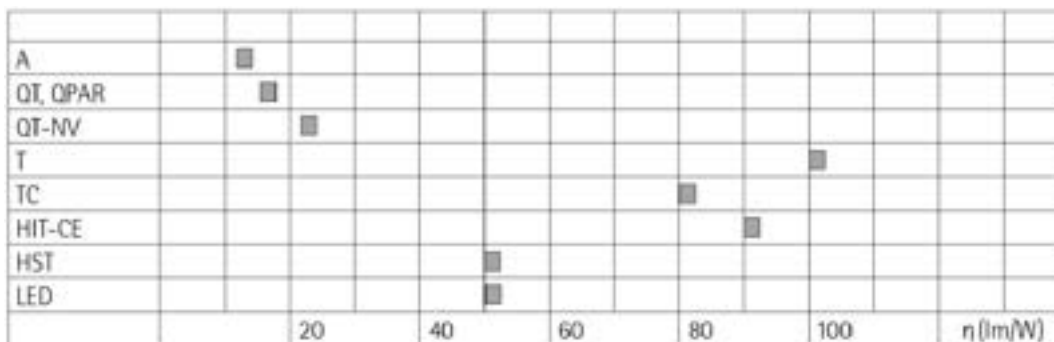
Fig. 36 - Schema delle principali famiglie di sorgenti luminose comunemente usate nell'illuminazione di interni ed esterni.

Tra le lampade esistenti solo alcune sono utilizzate nell'illuminazione di interni: quelle ad incandescenza, quelle ad alogeni, quelle fluorescenti (lineari o compatte), quelle a ioduri metallici e, da qualche anno, i LED. Le altre sor-

genti a scarica sono utilizzate prevalentemente per l'illuminazione stradale, mentre gli OLED (superfici elettroluminescenti flessibili e bidimensionali) sono materiali ancora in fase sperimentale. Le sigle standard delle sorgenti luminose sono indicate nella tabella 6 mentre la tabella 7 mostra il confronto tra l'efficienza luminosa delle singole sorgenti, cioè il rapporto espresso in lumen/Watt tra il flusso luminoso emesso e la potenza assorbita.

Lampada ad incandescenza generica	A
Lampada ad incandescenza con riflettore parabolico	PAR
Lampada ad incandescenza con riflettore	R
Lampada ad alogeni con riflettore	QR
Lampada ad alogeni con riflettore dicroico aperta	QR-CB
Lampada ad alogeni con riflettore dicroico chiusa	QR-CBC
Lampada ad alogeni tubolare	QT
Lampada ad alogeni tubolare doppio attacco	QT-DE
Lampada a vapori di mercurio ellissoidale	HME
Lampada a vapori di mercurio con riflettore	HMR
Lampada a ioduri metallici ellissoidale	HIE
Lampada a ioduri metallici con riflettore	HIR
Lampada a ioduri metallici tubolare	HIT
Lampada a ioduri metallici tubolare doppio attacco	HIT-DE
Lampada a vapori di sodio alta pressione ellissoidale	HSE
Lampada a vapori di sodio alta pressione tubolare	HST
Lampada fluorescente	T
Lampada fluorescente compatta	TC
Lampada fluorescente compatta non integrata	TC-EL
Lampada fluorescente compatta con quattro tubi	TC-D
Lampada fluorescente compatta con 4 tubi, integrata	TC-DSE
Lampada fluorescente compatta con 4 tubi, non integrata	TC-DEL
Lampada fluorescente compatta allungata	TC-L
Lampada a vapori di sodio bassa pressione	LST

Tab. 6 - Sigle standard delle sorgenti luminose più diffuse.



Tab. 7 - Comparazione tra l'efficienza luminosa delle varie famiglie di sorgenti

	W	lumen	lumen/W	°K	Ra	Durata h	Dimmer	Brillanza
A	15-150	90-2.220	12	2.700	100	1.000	++	+
QT, QPAR	60-1.000	820-22.000	16	2.900	100	2.000	++	+
QT-NV	10-150	140-3.200	22	3.000	100	3-4.000	++	+
T	24-58	1.750-5.200	100	3.000-4.200	40-90	12-20.000	+	-
TC	5-55	250-4.800	80	2.700-6.500	80-89	8-12.000	+	-
HIT	20-400	1.650-35.000	90	2.700-6.500	80-95	9-12.000	+	+
HST	50-400	5.000-60.000	150	2.200	40	15.000	-	+
LED	0,1-5	2-250	50	2.500-8.000	80-89	50.000	++	+

**Tab. 8 - Comparazione tra le principali caratteristiche qualitative e operative delle famiglie di sorgenti luminose.**

Le classiche lampadine a bulbo non hanno visto alcun miglioramento dell'efficienza negli ultimi decenni poiché la ricerca si è concentrata nella possibilità della loro sostituzione con lampade ad alogeni a tensione di rete con attacco Edison, con lampade fluorescenti compatte e con lampade a led sempre con attacco Edison. Quelle che conservano la caratteristica brillantezza, con un'efficienza maggiore, sono le lampade ad alogeni a bulbo o con calotta argentata (fig. 37). Le potenze sono inferiori a quelle ad incandescenza standard ma il flusso luminoso è lo stesso.

**HALOGEN ENERGY SAVER CLASSIC A**  
Halogen in the classic shape of a light bulb.

- 30% energy savings<sup>1</sup>
- Cost-effective halogen alternative for 1:1 replacement for classic light bulbs
- E27 screw base
- Average life time of 2000 hours
- Much lower CO<sub>2</sub> emissions<sup>1</sup>
- Lower thermal output
- Color temperature approx. 2800 K
- Fully dimmable
- The same sense of light as with a classical light bulb

Standard light bulb (GLS)	HALOGEN ENERGY SAVER CLASSIC A
25 W →	18 W ES
40 W →	28 W ES
60 W →	42 W ES
75 W →	52 W ES
100 W →	70 W ES
150 W →	105 W ES

**HALOGEN ENERGY SAVER CLASSIC B + BW**  
Halogen in the classic candle shape.

- 30% energy savings<sup>2</sup>
- Cost-effective halogen alternative for 1:1 replacement for classic candle bulbs
- E14 screw base
- Average life time of 2000 hours
- Much lower CO<sub>2</sub> emissions<sup>2</sup>
- Lower thermal output
- Color temperature approx. 2800 K
- Fully dimmable

Standard light bulb (GLS) candle shape	HALOGEN ENERGY SAVER CLASSIC B
25 W →	18 W ES
40 W →	28 W ES
60 W →	42 W ES

Standard light bulb (GLS) candle shape	HALOGEN ENERGY SAVER CLASSIC BW
40 W →	28 W ES

**HALOGEN ENERGY SAVER SPOT R50 and R63**  
Halogen in the shape of a spotlight.

- 30% energy savings<sup>3</sup>
- Cost-effective halogen alternative for 1:1 replacement for conventional spotlight bulbs
- E14 (R50) and E27 (R63) screw bases
- Average life time of 2000 hours
- Much lower CO<sub>2</sub> emissions<sup>3</sup>
- Lower thermal output
- Color temperature approx. 2800 K
- Fully dimmable

Standard light bulb (GLS) spotlight	HALOGEN ENERGY SAVER SPOT R50
40 W →	28 W ES

Standard light bulb (GLS) spotlight	HALOGEN ENERGY SAVER SPOT R63
60 W →	42 W ES

**Fig. 37 - Lampade ad alogeni che sostituiscono analoghi modelli ad incandescenza (Osram).**

Nel comparto delle tradizionali lampade ad alogeni si registrano miglioramenti certamente significativi anche se non molto marcati (figg. 38 e 39). Grazie alle tecnologie che perseguono il recupero delle radiazioni infrarosse per contribuire al riscaldamento del filamento incandescente, l'efficienza raggiunge valori intorno ai 26-27 lm/W consentendo un risparmio del 30% rispetto alle precedenti versioni. Tecnicamente si tratta di un rivestimento interno all'ampolla (tecnologia IRC, Infra-Red-Coated) che riflette verso il filamento i raggi infrarossi presenti nell'emissione luminosa. Questo comporta un minore fabbisogno di energia esterna per mantenere il filamento alla temperatura operativa.

Il gas di riempimento, inoltre, è sostituito dallo Xenon, un gas inerte con bassa conduttività termica. Ciò riduce ulteriormente l'energia elettrica necessaria a riscaldare il filamento grazie alla minore dispersione di calore del filamento attraverso il gas di riempimento. La durata, così, passa dalle attuali 2.000 alle 4.000-5.000 ore.

**OSRAM HALOPAR® 16 ENERGY SAVER**  
The OSRAM HALOPAR® ES for line voltage.

- 20% energy savings\*
- 1:1 replacement for standard halogen reflector lamps
- Average life time of 2000 hours
- Much lower CO<sub>2</sub> emissions\*
- Lower thermal output
- With whole glass reflector for brilliant lighting effects
- Innovative bulb pinch technology for the discharge vessel and with integrated fuse function; complies with the safety requirements of IEC 60432-2
- Approved for use in open luminaires (to IEC 60598-1)
- No transformer required
- Color temperature approx. 2800 K
- Fully dimmable

<b>OSRAM HALOPAR® Standard</b>	→	<b>OSRAM HALOPAR® 16 ENERGY SAVER</b>
35 W		29 W ES
50 W		40 W ES

**HALOLINE® ENERGY SAVER**  
Slim classic for inside and outside.

- 20% energy savings\*
- 1:1 replacement for standard halogen floodlight lamps
- Average life time of 2000 hours
- Much lower CO<sub>2</sub> emissions\*
- Lower thermal output
- Ideal for emphasising and accentuating the structure of a room
- Can be used anywhere
- No transformer required
- Color temperature approx. 3000 K
- Fully dimmable

<b>HALOLINE® Standard 74.9mm</b>	→	<b>HALOLINE® ENERGY SAVER</b>
100 W		80 W ES
150 W		120 W ES

<b>HALOLINE® Standard 114.2mm</b>	→	<b>HALOLINE® ENERGY SAVER</b>
300 W		230 W ES
500 W		400 W ES

**HALOPIN® ENERGY SAVER**  
Our smallest lamp for line voltage.

- 20% energy savings\*
- 1:1 replacement for standard halogen lamps
- Average life time of 2000 hours
- Much lower CO<sub>2</sub> emissions\*
- Lower thermal output
- Extremely compact dimensions
- Robust filament design thanks to innovative, unique bulb pinch technology
- Complies with IEC 60432-2 thanks to integrated fuse function
- Approved for use in open luminaires (to IEC 60598-1)
- No transformer required
- Simple handling thanks to G9 plug-in base/holder system
- Color temperature approx. 2800 K
- Fully dimmable

<b>HALOPIN® Standard</b>	→	<b>HALOPIN® ENERGY SAVER</b>
40 W		33 W ES

Fig. 38 - Lampade ad alogeni a tensione di rete per la sostituzione degli analoghi modelli meno efficienti (Osram).

**HALOSTAR®  
ENERGY SAVER**  
Our smallest energy saver.

- 30% energy savings\*
- 1:1 replacement for standard pin-base bulbs GY6.35 and G4 bases
- Long average life time of 4000 hours
- Significantly lower CO<sub>2</sub> emissions\*
- Lower thermal output
- High luminous efficacy of up to 26 lm/W
- Meets IEC 60508 requirements: can be used in free-burning applications in open luminaires thanks to low-pressure design
- Axial filament for optimum directional light
- Gold-plated/platinized base pins for corrosion protection
- Fully dimmable

Standard pin-base lamp	HALOSTAR® ENERGY SAVER
20 W	→ 14 W ES G4
35 W	→ 25 W ES GY6.35
50 W	→ 35 W ES GY6.35
75 W	→ 50 W ES GY6.35
90 W	→ 65 W ES GY6.35

**DECOSTAR®  
ENERGY SAVER**  
Our most beautiful energy saver.

- 30% energy savings\*
- 1:1 replacement for standard dichroic reflector lamps
- Extra long average life time of 5000 hours
- Significantly lower CO<sub>2</sub> emissions\*
- Lower thermal output
- Constant luminous intensity and constant colour location throughout the life of the lamp thanks to the longlife coating
- Integrated shield so the lamps can be used in open luminaires to IEC 60508-1
- Fully dimmable

Standard dichroic reflector lamp	DECOSTAR® ENERGY SAVER
35 W	→ 20 W ES
50 W	→ 35 W ES
65 W	→ 50 W ES

**HALOSPOT® 111  
ENERGY SAVER**  
The power pack for accent lighting.

- 30% energy savings\*
- 1:1 replacement for standard 111 lamps
- Long average life time of 4000 hours
- Significantly lower CO<sub>2</sub> emissions\*
- Lower thermal output
- Better quality lighting thanks to optimum illumination and reduced scatter
- More light thanks to precision-engineered shape and greater reflectance
- Loss of light due to dirt and impurities is reduced thanks to a smoother reflector surface
- Cap for reduced glare and ease of handling
- Meets IEC 60508 requirements: can be used in free-burning applications in open luminaires thanks to low-pressure design
- Fully dimmable

Standard 111 lamp	HALOSPOT® 111 ENERGY SAVER
50 W	→ 35 W ES
75 W	→ 50 W ES
100 W	→ 65 W ES

Fig. 39 - Lampade ad alogeni a bassissima tensione per la sostituzione degli analoghi modelli meno efficienti (Osram).

Tuttavia queste non sono prestazioni che permettono di raggiungere sostanziali vantaggi economici. I progressi, invece, sono assai rilevanti nel comparto delle lampade fluorescenti. Alcuni modelli raggiungono durate di alcune decine di migliaia di ore con decadimento del flusso a fine vita compreso tra l'8 e il 10% del flusso originario. Le efficienze variano in funzione della potenza delle lampade: a 18 Watt un modello lineare con tubo fluorescente da 26 mm (diametro della sezione trasversale del tubo) emette circa 1350 lumen con un'efficienza di 75 lm/W. Con una potenza di 58 Watt l'efficienza si attesta intorno a 89 lm/W. La durata di vita arriva a 58.000 ore, con un tasso di mortalità del 10 per cento.

Le lampade fluorescenti tradizionali (quelle lineari da 26 mm di diametro, denominate T8) stanno lasciando il posto alle tipologie lineari da 16 mm di diametro (denominate T5) e alle compatte. Quest'ultime non sono altro che lampade fluorescenti lineari il cui tubo è ripiegato più volte su se stesso con

varie geometrie e dimensioni. Tra le compatte si distinguono altre due famiglie: quelle “integrate” nelle quali bulbo e ballast sono integrati in un’unica unità dotata di attacco E27 o E14, al fine di poter inserire la lampada all’interno di alloggiamenti già predisposti per lampade ad incandescenza (fig. 40) o per lampade ad alogeni (fig. 41), e quelle “non integrate” nelle quali l’alimentatore è esterno alla sorgente luminosa che, quindi, non può essere utilizzata con i comuni portalampada.

Le compatte integrate, a loro volta, possono essere nude (normali o spirale), coperte (opline o traslucide) o con riflettore (fig. 42). L’equivalenza con le incandescenti è indicata in tabella 9.



Fig. 40 - Lampada fluorescente compatta integrata con con alimentatore elettronico inserito nello zoccolo e lampada fluorescente compatta non integrata.



Fig. 41 - A sinistra, lampada fluorescente compatta integrata con riflettore e attacco GU10 da 7W prodotta da Megaman; sostituisce l’analoga lampada ad alogeni da 35W (a destra).

Bare Products		Covered Products			Reflector Products
Mini-Spiral or Twist	Tube or Universal	Incandescent/A-line	Globe G25, G30, G40	Candelabra, Post or Bullet Shape	Indoor and Outdoor R20, R30, R40, PAR38

Fig. 42 - Tipologie di lampade fluorescenti compatte integrate (da [www.energystar.gov](http://www.energystar.gov)).

Tab. 9 - Confronto tra lampade incandescenti e lampade fluorescenti compatte integrate.

INCANDESCENT LIGHT BULBS WATTS	MINIMUM LIGHT OUTPUT LUMENS	COMMON ENERGY STAR QUALIFIED LIGHT BULBS WATTS
40	450	9-13
60	800	13-15
75	1,100	18-25
100	1,600	23-30
150	2,600	30-52

T8 (Ø 26 mm)		600 mm	900 mm	1.200 mm	1.500 mm
	<b>18 W</b>	<b>30 W</b>	<b>36 W</b>	<b>58 W</b>	
	1.350 lm	2.400 lm	3.350 lm	5.000 lm	
flussi luminosi a 25°C					

T5 (Ø 16 mm)		550 mm	850 mm	1.150 mm	1.450 mm
	<b>14 W</b>	<b>21 W</b>	<b>28 W</b>	<b>35 W</b>	
	1.200 lm	1.900 lm	2.600 lm	3.300 lm	
	<b>24 W</b>	<b>39 W</b>	<b>54 W</b>	<b>49 W / 80 W</b>	
	1.750 lm	3.100 lm	4.450 lm	4.300 lm / 6.200 lm	
flussi luminosi a 25°C					

Tab. 10 - Confronto tra tubi fluorescenti lineari T8 e T5 nelle varie potenze disponibili.

Tra le sorgenti fluorescenti quelle con maggiore efficienza, tuttavia, non sono quelle compatte ma quelle lineari T5 nelle versioni “high efficiency” come riportato in tabella 10. Un ulteriore miglioramento delle prestazioni della sorgente si ha con la sostituzione del circuito di controllo, tradizionalmente di tipo elettromagnetico, con il tipo elettronico. Questo aspetto, comunque, sarà approfondito nel capitolo successivo.

In termini di risparmio energetico, la convenienza derivante dall'utilizzo di una determinata sorgente è dettata dall'insieme di molti fattori che, molto schematicamente, possono riassumersi in: energia spesa nei processi di produzione; efficienza luminosa; vita utile; energia spesa nei processi di smaltimento. L'energia spesa nei processi produttivi di un prodotto (*embodied energy*) viene spesso sottovalutata: quasi sempre essa è direttamente proporzionale alla complessità dei processi stessi e pertanto è quella che maggiormente influenza il costo iniziale del prodotto. Il processo produttivo delle lampade ad incandescenza è abbastanza semplice mentre quello delle fluorescenti compatte è molto più complesso e produce un più elevato numero di esemplari scartati.

Per le fluorescenti compatte il valore dell'efficienza luminosa dipende da numerosi fattori primi tra i quali il tipo di fosfori impiegati, la geometria e le dimensioni del tubo, la miscela di gas impiegati e la loro pressione, la corrente mantenuta nel bulbo dal circuito di controllo. In particolare l'efficienza aumenta all'aumentare della lunghezza del tubo (fig. 43): ciò è dovuto al fatto che la potenza dissipata negli elettrodi è una parte sempre più piccola della potenza totale. L'efficienza diminuisce, invece, all'aumentare della

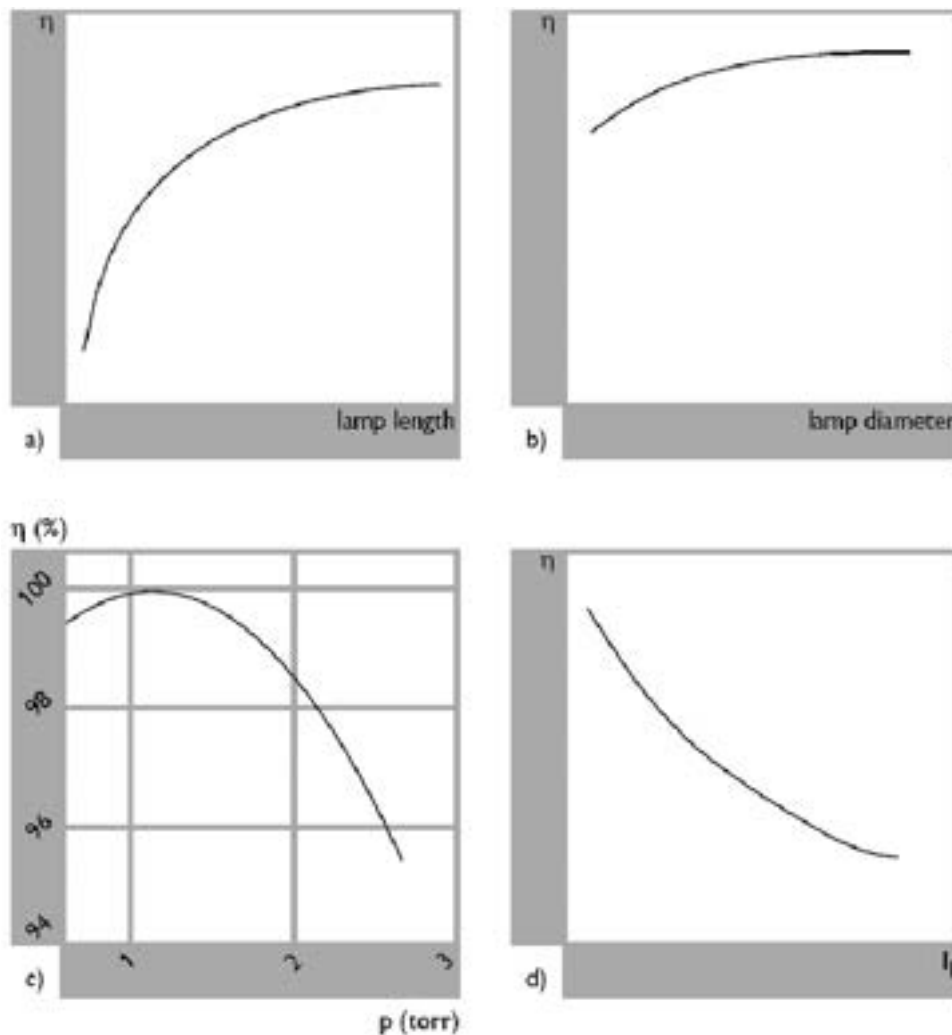


Fig. 43 - efficienza della lampada in funzione della lunghezza, del diametro, della pressione del gas e della corrente (Philips).

corrente. Da considerare infine le inevitabili perdite nel dispositivo di controllo, più basse quando questo è di tipo elettronico ad alta frequenza.

La durata (vita utile) di una fluorescente compatta può consentire di ammortizzarne il maggior costo iniziale. Il termine di paragone sono le sorgenti ad incandescenza ma occorre fare alcune precisazioni. La vita di una fluorescente è pesantemente influenzata dal numero di cicli di accensione/spengimento e dalle singole durate (*duty cycle*): essa si riduce notevolmente in caso di on/off molto frequenti fino ad arrivare, in alcuni casi, ad essere paragonabile con quella di una incandescenza; particolari eventi e condizioni di utilizzo (spike e buchi di tensione, basse temperature, shock meccanici) abbreviano la durata di una fluorescente molto più che quella di una incandescenza; eventuali difetti di produzione (pressoché assenti nelle incandescenti) sono da tenere in considerazione in un confronto equo.

I dati inerenti le durate delle CFL, riportati sulle confezioni delle stesse, sono ottenute dai costruttori attraverso test di laboratorio condotti in condizioni ben controllate secondo quanto descritto dalla norma EN 60969 (CeI 34-53). Tra queste si ricorda: qualità della tensione di alimentazione; posizione di funzionamento; ciclo di on/off; temperatura ambiente; metodo di accensione; circuito di controllo. Nelle migliori condizioni (lunghi cicli di on/off, alimentazione filtrata, temperatura controllata eccetera) la durata di una fluorescente compatta di media qualità è compresa tra 5.000 e 10.000 ore mentre quella di una lampada ad incandescenza tra 750 e 1.000 ore. In condizioni più realistiche (prossime a quelle di reale impiego) l'incandescenza guadagna un po' di terreno essendo pressoché insensibile alla maggior parte dei fattori che riducono la vita delle fluorescenti (fig. 44).

Ai fini ambientali smaltire una incandescenza equivale a smaltire vetro e metallo con processi ormai consolidati. Smaltire una fluorescente significa invece smaltire mercurio, il che richiede particolari precauzioni onde evitare eccessiva contaminazione delle acque e dell'aria. Le macchine per lo smal-

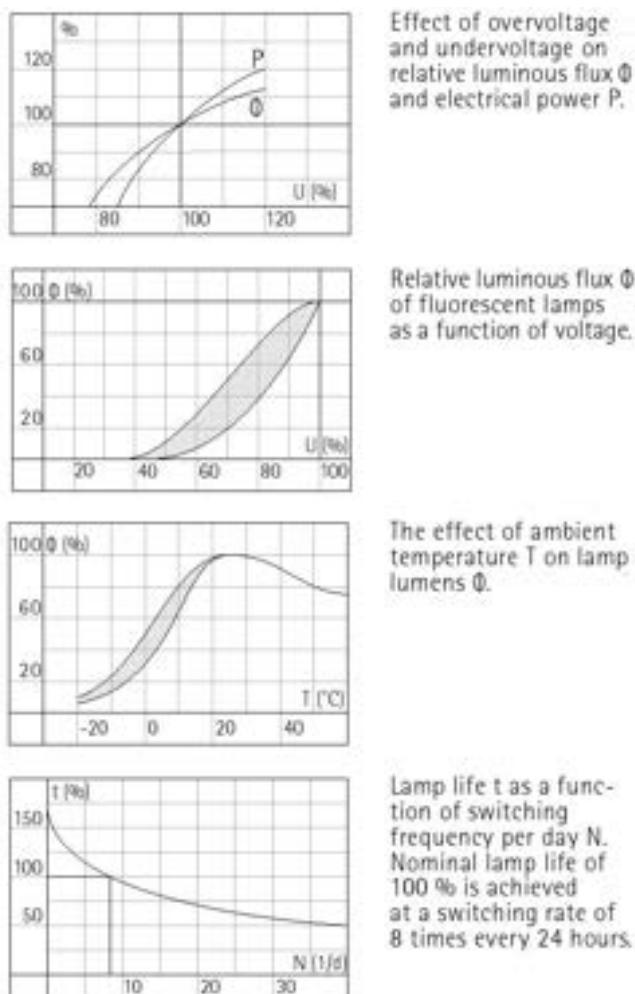


Fig. 44 - Variazioni del flusso luminoso e della durata di una lampada fluorescente al variare di alcuni parametri.

timento operano rompendo il bulbo in un ambiente a pressione negativa (per evitare contaminazione dell'ambiente circostante) ed assorbendo il mercurio tramite appositi filtri. Tutto ciò richiede un consumo di energia che va computato nel bilancio energetico della sorgente.

Le lampade fluorescenti non dovrebbero essere utilizzate in situazioni dove è richiesto un numero elevato di accensioni e spegnimenti e/o accensioni di pochi minuti (non più di un ciclo on/off ogni tre ore). Questa peculiarità le rende inadatte ad utilizzi automatizzati caratterizzati da tempi di accensione brevi (lampade comandate da sensori di presenza o da timer di breve durata come nelle scale condominiali). In tal caso l'impiego appare antieconomico, poiché la notevole riduzione della durata potrebbe non consentire l'ammortamento del costo iniziale. L'uso è invece raccomandato in ambienti ove si prevedono impieghi continuativi (nel qual caso l'ammortamento può avvenire in un periodo più o meno lungo).

Discorso a parte meritano gli effetti della temperatura. Seppur in misura minore rispetto alle incandescenze anche le fluorescenti sviluppano calore durante il proprio funzionamento e durano meno se si surriscaldano. Tale problema è particolarmente sentito per quelle unità caratterizzate da elevati flussi luminosi. Per ogni fluorescente esiste un valore ottimo dell'efficienza dipendente dalla pressione del mercurio la quale è a sua volta direttamente correlata con la temperatura del tubo ed in particolare con quella del suo punto più freddo (il cosiddetto "cold spot" assunto sempre come riferimento termico del bulbo) la cui posizione è a volte segnata dai costruttori mediante un punto rosso (fig. 45).

Dopo l'accensione il bulbo inizia a scaldarsi e la temperatura del suo punto più freddo sale rapidamente causando un aumento della pressione dei vapori di mercurio dalla quale dipende la tensione di mantenimento dell'arco. Dopo un certo

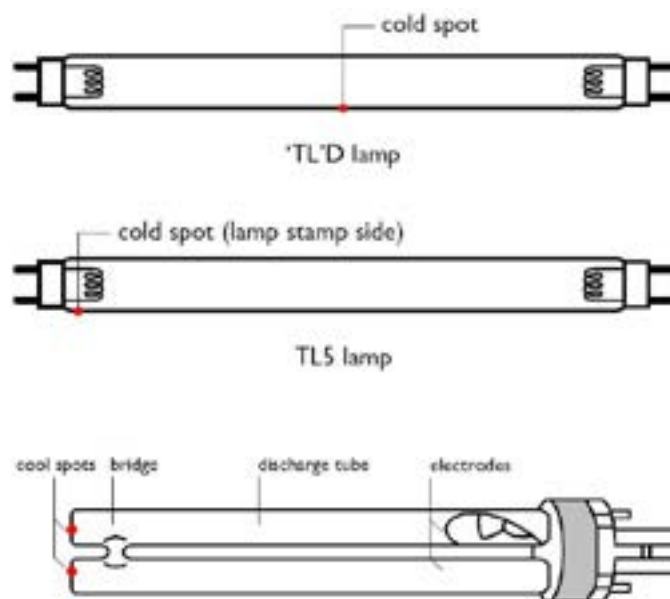


Fig. 45 - Il punto rosso indica il punto più freddo della sorgente.

intervallo di tempo (*run up time*) dell'ordine dei 2-3 minuti, viene raggiunto un equilibrio termico in corrispondenza del quale temperatura del tubo e tensione d'arco raggiungono valori stabili e si ha un livello di circa il 90% di emissione luminosa. Dopo 5 minuti flusso e resa cromatica raggiungono i valori di regime ma occorre un tempo quasi doppio se è necessario riaccendere la luce subito dopo che è stata spenta. Tale tempo va comunque confrontato con quelli dell'ordine di centinaia di millisecondi delle lampade ad incandescenza e dei microsecondi delle lampade led.

La durata del *run-up time* dipende dal tipo di bulbo (geometria, costituzione interna, materiali utilizzati) e dalle condizioni di installazione (temperatura ambiente, diffusore aperto/chiuso). Una stessa lampada raggiunge una temperatura di stabilizzazione maggiore in ambiente chiuso che in ambiente aperto cosicché anche il flusso prodotto (e la resa luminosa) può essere diverso. I costruttori rendono disponibili appositi grafici riportanti il flusso delle lampade nude in funzione della temperatura ambiente e della posizione di installazione (fig. 46).

Ai fini della resa ottimale la pressione dei vapori di mercurio all'interno del tubo dovrebbe essere dell'ordine di 0,5-1 Pascal, ciò richiede una temperatura delle pareti di circa 40°C. Tale valore non è molto distante dalle normali temperature ambientali (20-25°C) e può essere ottenuto senza precauzioni aggiuntive con il calore generato dalla stessa scarica. Per lampade utilizzate in ambienti a temperature inferiori (all'esterno nella stagione invernale) è consigliabile l'utilizzo di diffusori chiusi.

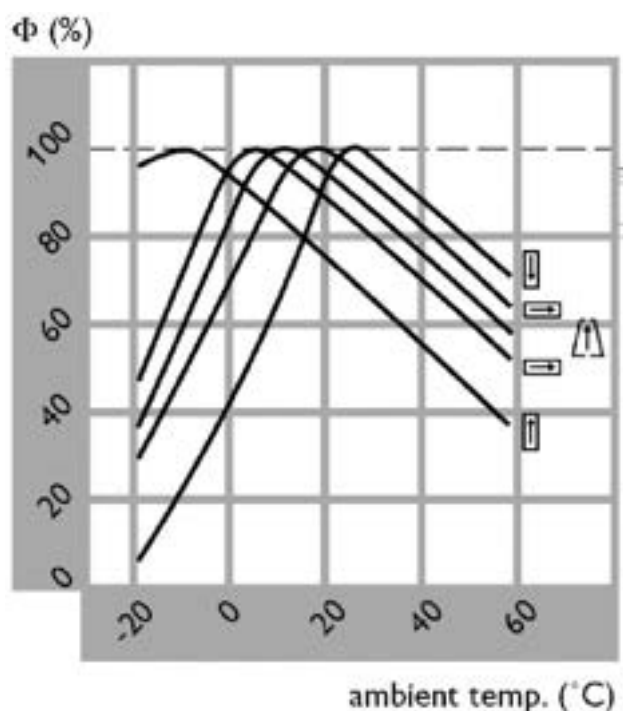


Fig. 46 - Relazione tra flusso luminoso di una sorgente fluorescente, temperatura ambiente e posizione di funzionamento.

La sostituzione di tubi fluorescenti con altri più efficienti riduce i consumi energetici ma generalmente, se l'intervento non coinvolge anche l'apparecchio, i risultati non sono particolarmente elevati. Tuttavia esiste una



Fig. 47 - Confronto tra l'emissione di un normale tubo fluorescente nudo e di un tubo Philips MASTER TL-D Super 80 Reflex Riciclabile.

soluzione molto economica per quegli apparecchi in cui non vi è alcun riflettore: i tubi fluorescenti con riflettore incorporato. In queste lampade la superficie interna del tubo è rivestita nella sua interezza da uno strato di polveri fluorescenti ma nella parte superiore dello stesso, tra il vetro ed il rivestimento fluorescente, è interposto uno strato di speciali polveri riflettenti. È per tale ragione che queste lampade hanno la peculiare attitudine a dirigere la luce prevalentemente verso il piano di lavoro affrancando dalla necessità di dotare l'apparecchio di illuminazione di un riflettore esterno e aumentando il valore di illuminamento sul piano di lavoro (fig. 47).

Negli spazi commerciali si possono trovare, oltre alle lampade fluorescenti utilizzate per l'illuminazione generale, anche le lampade a ioduri metallici per la luce d'accento, non adatte, invece, all'ambito domestico perché troppo potenti, nè a quello degli uffici o delle scuole perché facilmente abbaglianti.

Queste sorgenti derivano dalle lampade a vapore di mercurio in passato molto usate particolarmente nell'ambito dell'illuminazione pubblica. La diversità fondamentale tra tali lampade e quelle ad alogenuri (o ioduri metallici) è costituita dal fatto che nelle prime la funzione di migliorare la qualità della luce emessa è assolta dallo strato di polveri fluorescenti applicate sulla superficie interna del bulbo mentre in quelle ad alogenuri, invece, per ottenere una luce caratterizzata da uno spettro ben bilanciato ed atta a consentire una buona resa dei colori, anziché far ricorso alle polveri fluorescenti si introducono nel tubo a scarica, oltre al mercurio, particolari additivi. Questi additivi sono caratterizzati dalla prerogativa di poter intervenire nel fenomeno della scarica dando luogo alla produzione di radiazioni luminose aventi lunghezza d'onda nel visibile tale da integrare le deficienze dello spettro corrispondente al vapore di mercurio.

Additivi adatti sono gli alogenuri formati dalla combinazione di determinati metalli con elementi della famiglia dei cosiddetti alogeni quali il fluoro, il bromo, il cloro, l'indio e lo iodio. Il ciclo in base al quale le lampade ad alogenuri danno luogo alla produzione di luce si articola in due fasi: nella prima l'elevata temperatura prodotta dalla scarica che si innesca all'interno del tubo fa evaporare gli alogenuri in esso presenti; nella seconda fase, al centro del tubo di scarica (ove la temperatura è più elevata) gli alogenuri, passati allo stato di vapore per effetto del calore prodotto dalla scarica stessa, si dissociano liberando il metallo e l'alogeno dalla cui unione era stato formato il corrispondente alogenuro. Sono proprio gli atomi dei metalli così liberati che, unendosi alla scarica, migliorano lo spettro della luce emessa.

Le lampade ad alogenuri attualmente disponibili possono essere suddivise nelle seguenti famiglie in base al tipo di bruciatore:

- quelle con tubo di scarica in materiale ceramico (allumina policristallina), usate per negozi, musei, chiese;
- quelle con tubo di scarica di quarzo, usate per applicazioni stradali e industriali;
- quelle prive del bulbo esterno al tubo di scarica, usate per impianti sportivi (fig. 48).



Fig. 48 - Lampade a ioduri metallici con bruciatore ceramico, con bruciatore al quarzo e con bruciatore nudo (Philips).



Il bruciatore ceramico offre, rispetto a quello tradizionale in quarzo, una serie di vantaggi: è inattaccabile da parte del sodio presente nel tubo di scarica; è più resistente al calore; assicura un migliore controllo del processo produttivo con un'estrema precisione del dosaggio degli alogenuri all'interno dei tubi di scarica (la luce emessa è di qualità ottimale per resa cromatica); l'efficienza luminosa è molto elevata; la vita media assai elevata; lo scostamento del colore della luce emessa è molto contenuto (più o meno 200° K dopo 6.000 ore di vita).

La forma del bruciatore ceramico può essere cilindrica (prodotti Philips) o sferica (prodotti Osram). Il confronto tra le due configurazioni indica prestazioni migliori (e quindi un'efficienza che si mantiene più costante nel tempo) per le sorgenti con bruciatore sferico. Questo perché, essendo composto solo da due componenti emisferici, non ci sono disomogeneità di spessore né differenze di distanza tra l'arco di scarica e le superfici del tubo che comportino alterazioni del processo di emissione della luce (figg. 49, 50 e 51).

Gli ultimi modelli di lampade a ioduri metallici con bruciatore ceramico (in particolare le Philips Mastercolour) hanno il 10% di flusso luminoso in più rispetto alle pari potenza della generazione precedente mentre rispetto alle pari flusso ad alogeni permettono di risparmiare fino al 70% della potenza. Una lampada Philips Mastercolour CDM-T (sul mercato, ormai, da circa 15 anni) da 70W emette 6.600 lm; la nuova versione Elite, sempre da 70W arriva a 7.300 lm: dunque l'efficienza è stata portata da 94 lm/W a ben 104 lm/W. La gamma di potenze disponibili comprende 20, 35, 70, 150W e 250W.

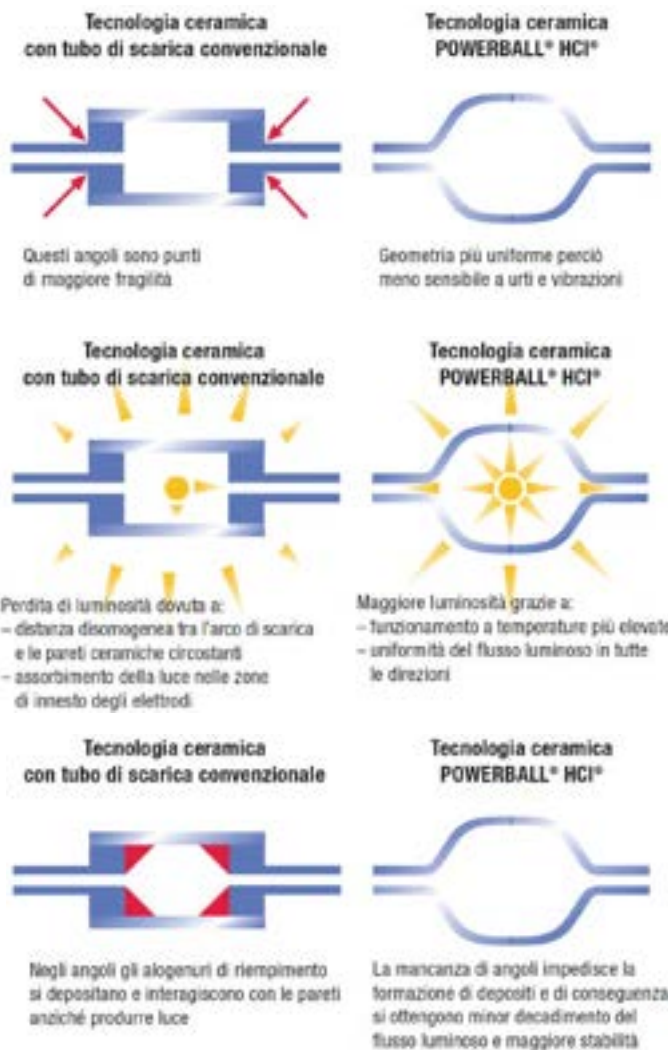


Fig. 49 - Confronto tra le prestazioni di un bruciatore cilindrico e quello della sorgente Powerball di Osram, di forma sferica.

Fig. 50 - Lampada a ioduri metallici con bruciatore ceramico Osram Powerball.



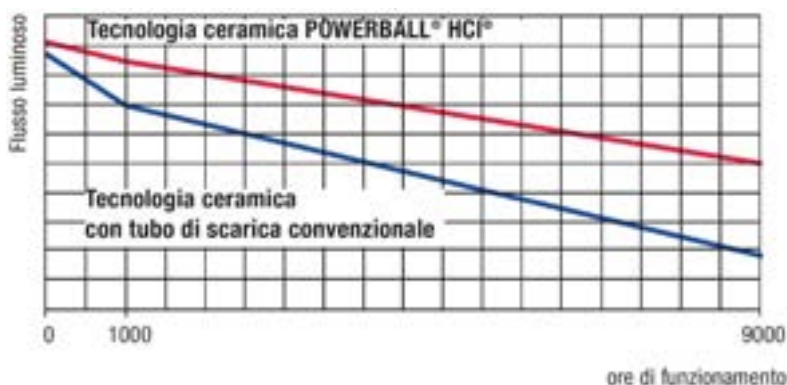


Fig. 51 - Confronto tra il decadimento del flusso luminoso di una lampada a ioduri con bruciatore ceramico sferico (Osram Powerball) e una con bruciatore ceramico cilindrico.

Queste lampade, peraltro, sono anche dimmerabili dal 60 al 100% (utilizzando l'apposito alimentatore dimmerabile).

A queste si affiancano le Mini-Mastercolour (fig. 52), lampade alte 54 mm e dal diametro massimo di 17 mm (le più piccole lampade a scarica sul mercato) da 20 e 35W che consentono al riflettore di controllare il fascio luminoso in modo più efficace migliorando il rendimento dell'apparecchio. Inoltre si ha una generazione di calore inferiore ai modelli di pari potenza ma di dimensioni maggiori e una resa cromatica superiore a 90.



Fig. 52 - Lampada a ioduri metallici con bruciatore ceramico di nuova generazione (Philips Mini-Mastercolour) con il relativo alimentatore elettronico.

La sorgente su cui si stanno puntando gli sforzi di tutte le aziende è, tuttavia, il LED (Light Emitting Diode). Giorno dopo giorno c'è un continuo miglioramento delle performance, un aumento della potenza del singolo led, della resa cromatica e dell'efficienza. I LED sono sorgenti che sfruttano le proprietà ottiche di materiali semiconduttori (in genere silicio) che, una volta eccitati da un tensione diretta, emettono una luce visibile in un determinato colore.

Nello specifico, per i LED vengono impiegati materiali semiconduttori definiti estrinseci o drogati. Attraverso il processo di drogaggio vengono inserite delle impurità che incrementano le capacità di conduzione dei materiali. Aggiungendo infatti anche piccole percentuali di atomi pentavalenti (fosforo, arsenico, antimonio) si aumentano gli elettroni nella banda di conduzione (drogaggio di tipo n), mentre aggiungendo atomi trivalenti (boro, gallio, indio) si ha un aumento delle cosiddette lacune, cioè di legami instabili che

attraggono gli elettroni liberi e che quindi sono assimilabili a cariche positive (drogaggio di tipo p). Quando la corrente viene applicata al reticolo cristallino semiconduttore del diodo, gli elettroni (con carica negativa) della banda di conduzione e le lacune (con carica positiva) della banda di valenza si combinano nella giunzione e convertono in luce il loro eccesso di energia. Dal tipo di semiconduttori e dal processo di drogaggio dipendono la lunghezza d'onda emessa, e quindi il colore della luce, l'efficienza luminosa della sorgente e la sua intensità luminosa.

I LED offrono moltissimi vantaggi nell'illuminazione sia da interno che da esterno. Funzionano a bassissima tensione, con un'efficienza luminosa molto superiore a quella delle sorgenti ad incandescenza e assolutamente competitiva con quella delle lampade fluorescenti (fig. 53). L'elevata efficienza è sicuramente una delle caratteristiche più significative: in molti impieghi, il risparmio energetico rispetto a una tradizionale sorgente a incandescenza è stimato tra l'80 e il 90%.

Altri vantaggi concreti sono la grande affidabilità e la lunga vita, con una durata media valutata attorno alle 100.000 ore, le dimensioni ridotte e l'estrema flessibilità alle esigenze di design e di progettazione (figg. 54 e 55). Inoltre, i LED non emettono raggi ultravioletti, non producono calore, non contengono mercurio, non risentono di vibrazioni, si accendono istantaneamente, possono essere facilmente dimmerabili, consentono di realizzare piccoli punti luce, sorgenti puntiformi e infiniti effetti cromatici.

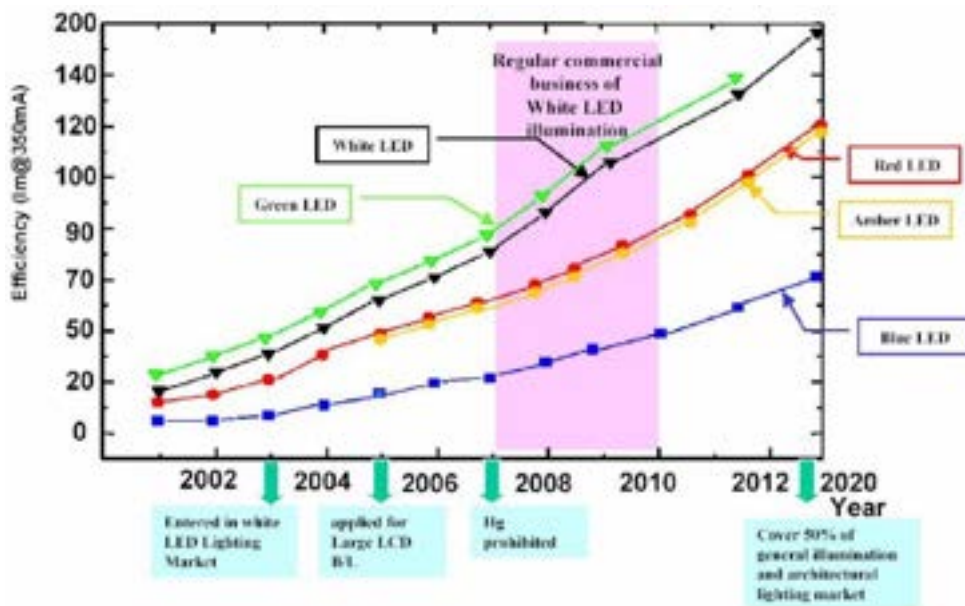


Fig. 53 - L'aumento del flusso luminoso dei LED nei vari colori con il passare degli anni ha portato ad oggi ad avere delle sorgenti paragonabili a quelle tradizionali per efficienza e superiori per caratteristiche operative.

I LED offrono un'incredibile gamma di potenzialità soprattutto nell'illuminazione architettonica e professionale, riuscendo a fornire al tempo stesso soluzioni a molti problemi tecnici e nuove occasioni di lighting design creativo. I LED infatti rappresentano la migliore scelta nelle applicazioni in cui la manutenzione degli apparecchi risulta difficile o in cui le lampade si trovano ad operare in condizioni difficili (per temperatura o umidità), consentono la miniaturizzazione degli apparecchi luminosi e permettono la realizzazione di effetti suggestivi di luce dinamica, con variazioni di colore RGB.

I LED vengono prodotti con una precisa curva fotometrica (Lambertiana, batwing o ad emissione laterale, fig. 56) che viene comunque manipolata

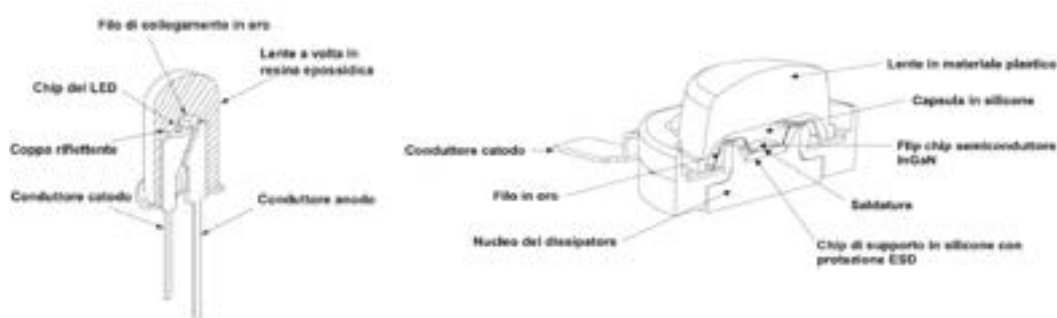


Fig. 54 - LED classico da 5 mm di altezza confrontato con un PowerLed Luxeon. Il migliore sistema di dissipazione del calore permette al secondo di produrre molta più luce e di avere, quindi, una maggiore efficienza energetica.

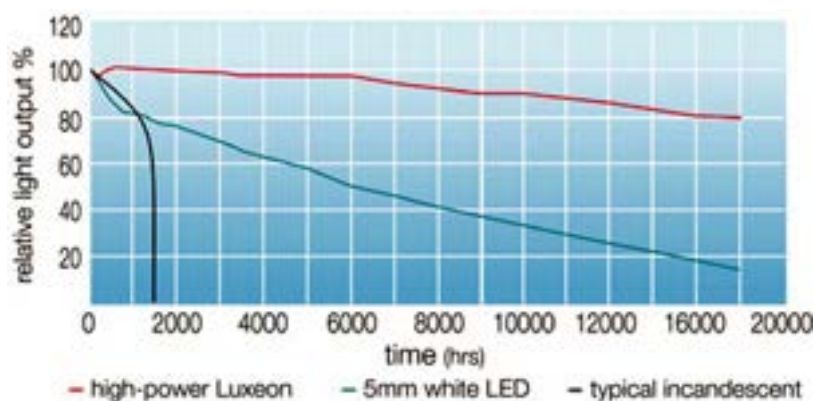


Fig. 55 - Confronto tra l'emissione di luce nel tempo tra una sorgente ad incandescenza, un LED da 5 mm e un LED ad alta emissione.

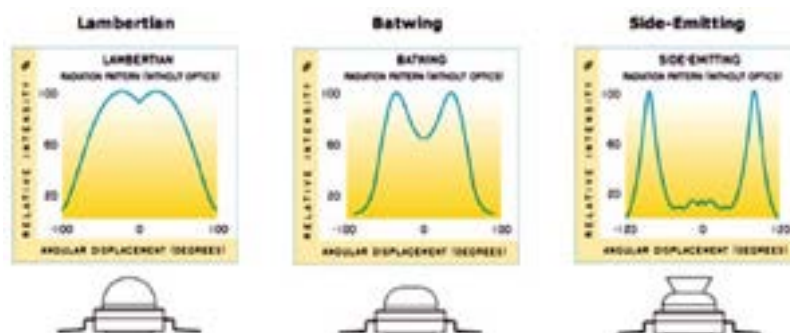


Fig. 56 - Curve fotometriche cartesiane dei LED prodotti da Luxeon. Ogni tipo di curva si utilizza per uno specifico apparecchio di illuminazione.



Fig. 57 - Lente concentrante per LED.

attraverso un'ampia gamma di accessori (micro-lenti) per ottenere fasci molto stretti, dell'ordine di qualche grado di apertura o altre forme di fascio (fig. 57).

Le temperature di colore del LED a luce bianca variano da 2.670°K a 10.000°K (fig. 58) con una resa cromatica che ha superato, nelle ultime generazioni di LED prodotti da Luxeon, l'indice di 90.

Nell'illuminazione di interni i LED possono costituire un interessante contributo alla creazione di accenti e di effetti cromodinamici ma, da qualche tempo, anche un possibile sostituto dei tradizionali sistemi fluorescenti nell'illuminazione funzionale degli uffici o delle lampade ad incandescenza e ad alogeni negli interni residenziali.

Le lampade Philips MasterLED, utilizzando la tecnologia LUXEON Rebel (fig. 59), introducono tutti i vantaggi

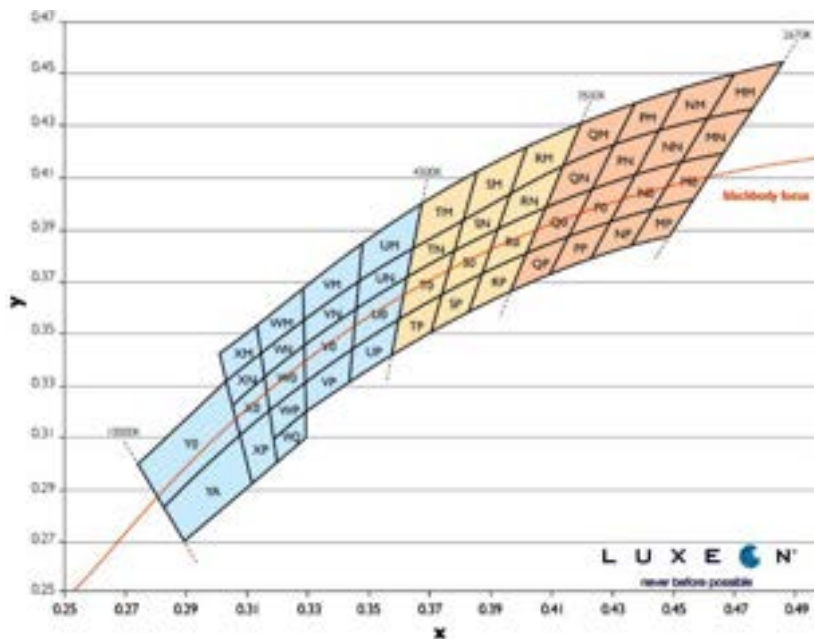


Fig. 58 - Temperature di colore disponibili per i LED bianchi prodotti da Luxeon visualizzate sulla curva del corpo nero.



dei LED all'interno delle tradizionali applicazioni di illuminazione funzionale. Realizzata in tre tipi diversi, MasterLED è disponibile con luce bianca calda o fredda priva di UV

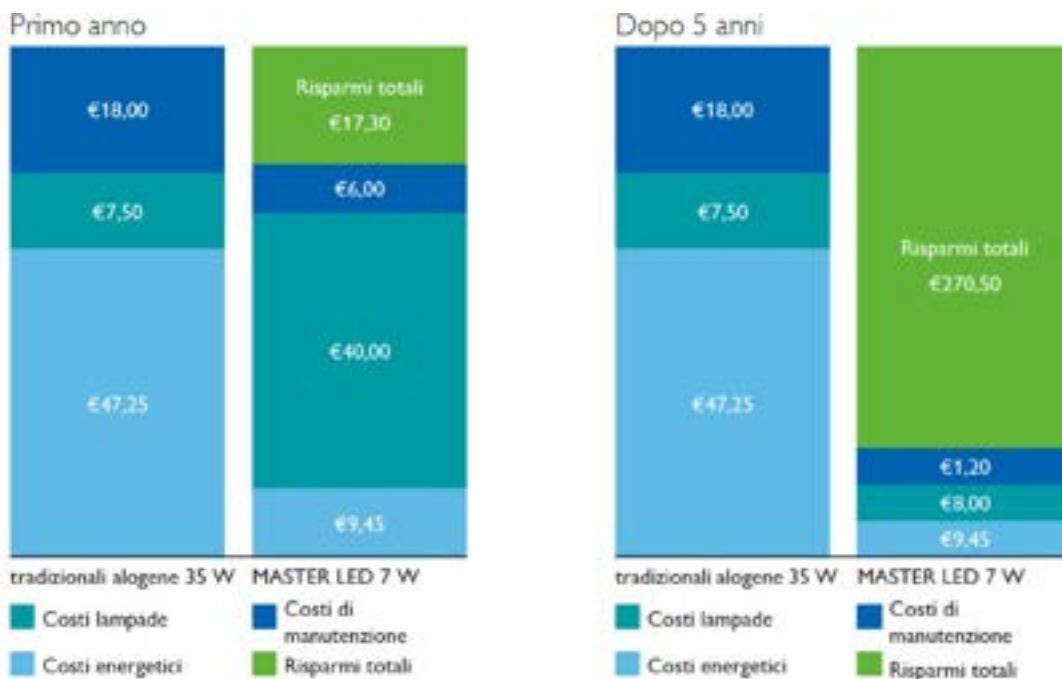
Fig. 59 - Led di ultima generazione Luxeon Rebel: alto 2,10 mm, lungo 4,61 mm e largo 3,17 mm, consuma 1,1 W ed emette fino a 180 lm.

e IR. La sorgenti MasterLED possono essere utilizzate in apparecchi di illuminazione con attacchi E27 e GU10 rappresentando un'interessante soluzione retrofit con costi di esercizio e di manutenzione fortemente ridotti (fig. 60). Il consumo è dell'80% inferiore a quello delle normali lampade alogene dicroiche a bassissima tensione e alle lampade a incandescenza mentre la durata è pari a 45.000 ore (fino a 45 volte superiore alle lampade a incandescenza, fino a 25 volte superiore alle normali lampade alogene e fino a 10 volte superiore alle lampade fluorescenti compatte, fig. 61).



Fig. 60 - Lampade Philips MasterLED da 7W: la prima sostituisce un'incandescenza da 40W, la seconda un'incandescenza con riflettore sempre da 40W e fascio 25° o 40°, la terza una lampada ad alogeni con riflettore dicroico da 35W con fascio da 25° o 40°.

Fig. 61 - Risparmio ottenibile dalla sostituzione di una lampada ad alogeni 35W con una Philips MasterLED 7W.



\* Sulla base di 24 ore al giorno, 365 giorni all'anno, €0,15 per kWh di elettricità e €6,- costi di manutenzione per la sostituzione di lampade.

## L'alimentazione elettronica delle lampade fluorescenti

Come si è già detto nel capitolo precedente per migliorare le prestazioni delle lampade fluorescenti e conseguire un maggiore risparmio energetico occorre utilizzare alimentatori elettronici in alta frequenza. I ballast di tipo elettromagnetico, composti da un reattore induttivo (in serie al bulbo) e da uno starter (in parallelo) sono circuiti molto semplici, economici ed affidabili e per decenni hanno costituito l'unico metodo di alimentazione i tubi fluorescenti. I motivi che oggi inducono a prediligere più complessi (e costosi) circuiti elettronici sono da ricercare sia nei limiti prestazionali del sistema tradizionale, sia nella possibilità di ottenere migliori performance dal punto di vista energetico e visivo (fig. 62).



Fig. 62 - Un alimentatore ferro-magnetico (a sinistra) e un alimentatore elettronico, entrambi per lampade fluorescenti (Philips).

Le funzioni che un ballast elettronico riesce a realizzare meglio rispetto ad uno elettromagnetico riguardano la velocità di accensione della lampada (accensione che va sempre a buon fine), il mantenimento di tensione, corrente e fattore di potenza del sistema entro valori prestabiliti e il miglioramento del confort visivo.

Le soluzioni tecnologiche adottate allo scopo consentono di aumentare il rendimento complessivo della sorgente fino al 20%, estendere la vita utile del bulbo fino al 25%, aumentare fino al 10% il flusso luminoso prodotto, e migliorare la qualità della luce emessa.

I tradizionali tubi fluorescenti spesso cominciano a flickerare numerose volte prima di accendersi. Ai fini del risparmio energetico risulta, invece, fondamentale che il processo di accensione vada sempre a buon fine. Ma ciò non è sempre verificato: al momento dell'apertura dello starter la lampada potrebbe, infatti, non accendersi qualora gli elettrodi non siano abbastanza caldi oppure l'extratensione generata non risulti di ampiezza sufficiente. In tal caso l'intero processo di accensione si ripete automaticamente con sollecitazione del bulbo e diminuzione della sua vita utile. Se la lampada

non si accende lo starter continuerà, infatti, a produrre picchi di tensione fintantoché non venga tolta l'alimentazione, oppure non si interrompa uno dei due filamenti del bulbo, o, ancora, i due elettrodi dello starter stesso non rimangano saldati insieme.

Il ripetersi continuo di tentativi di accensione causa il tipico flickering delle lampade esauste. La corrente di corto circuito dello starter continua a fluire con inutile dispendio di energia. Questo problema viene evitato con l'ausilio dei ballast elettronici nei quali lo starter è sostituito da un circuito che effettua le aperture e le chiusure a mezzo di un triac comandato su un tempo di preriscaldamento ben definito (1,5-2 s). Gli eventuali insuccessi di accensione vengono inoltre "contati" e dopo un certo numero il triac non riceve più alcun comando di chiusura evitando il fastidioso flickering tipico dei tubi giunti a fine vita (lampade "flicker-free").

Fin dagli anni '70 si osservò che alimentando il complesso reattore-bulbo con tensioni aventi frequenze sempre maggiori si ottengono una serie di effetti positivi che possono essere così riassunti:

- miglioramento del fattore di potenza: nella classica alimentazione a 50 Hz con ballast elettromagnetico, tensione e corrente ai capi del bulbo non sono sinusoidali (fig. 63) con conseguente basso valore del fattore di potenza; alimentando il complesso reattore-bulbo con tensioni aventi frequenze sempre maggiori le forme d'onda tendono a diventare sinusoidali ed il fattore di potenza tende all'unità;

- compattezza;
- ottenimento della medesima reattanza in Ohm del circuito esterno con induttanze più basse grazie a valori più elevati di frequenza;

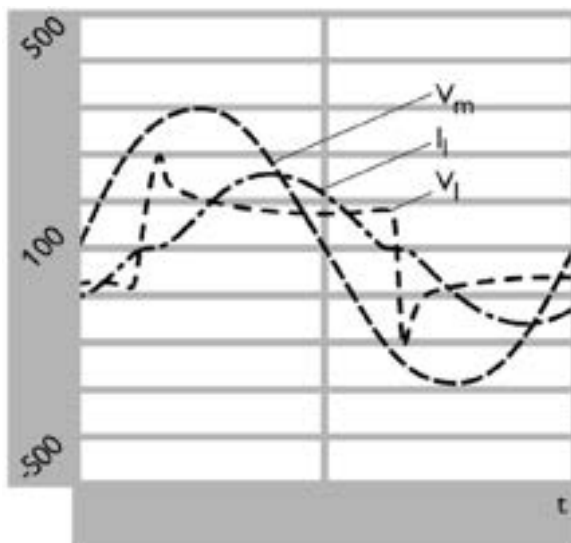


Fig. 63 - Il miglioramento del fattore di potenza si ottiene alimentando a frequenza elevata.

- diminuzione delle perdite;
- minori valori di induttanza e quindi minori ingombri, minori pesi e minori perdite nell'induttore; inoltre con una frequenza di alimentazione elevata il gas non ha il tempo di deionizzarsi ad ogni passaggio per lo zero della corrente con aumento del rendimento elettrico e maggiore durata del bulbo;
- aumento dell'efficienza luminosa;
- aumento fino al 10% del flusso luminoso prodotto da valori più elevati della frequenza di alimentazione;
- stabilità visiva con riduzione dell'effetto stroboscopico: alla frequenza di 50 Hz la corrente nel tubo si annulla due volte ogni 20 ms causando la deionizzazione del gas e l'annullamento del flusso luminoso. Ciò produce un *flicker* a 50 Hz che dà luogo ad un fastidioso effetto stroboscopico allorchè ad essere illuminati sono oggetti in movimento (ad esempio parti di macchine utensili). Per questo motivo, negli impianti industriali, i tubi fluorescenti dotati ballast elettromagnetici vengono sempre utilizzati in coppie, ubicate dentro un unico diffusore, con i due tubi alimentati da fasi diverse (o dalla stessa fase con interposto un condensatore sfasatore). L'effetto stroboscopico è completamente eliminato alimentando il bulbo a frequenze elevate a mezzo di ballast elettronici.

Le frequenze più indicate per ottenere gli effetti descritti sono superiori a 8-10 kHz, ma l'utilizzo di tali valori, cadendo nella banda dell'udibile, produrrebbe un ronzio percepibile e fastidioso in ambienti particolarmente silenziosi. Un aumento eccessivo della frequenza di alimentazione conduce d'altra parte ad un aumento delle perdite per commutazione nel ballast nonché a problemi di interferenze. Le frequenze oggi più comunemente utilizzate dai costruttori sono, dunque, comprese tra 24 kHz e 50 kHz (fig. 64).

Gli alimentatori per lampade fluorescenti presentano, per un dato tipo di lampada, livelli di potenza assorbita diversi e quindi rendimenti energetici variabili. La direttiva 2000/55/CE ha per finalità l'aumento di efficienza degli

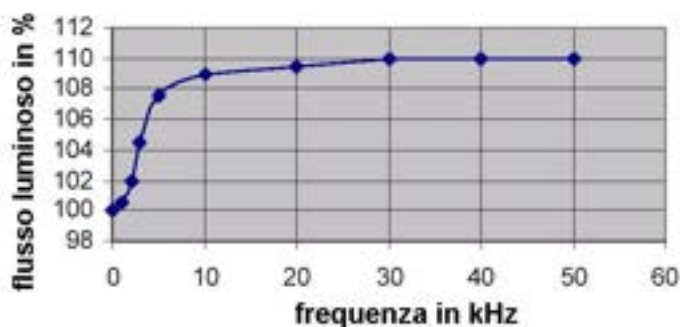
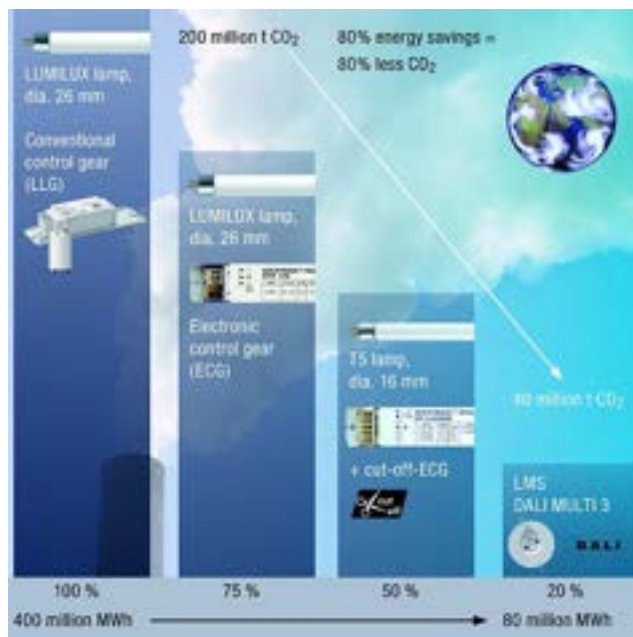


Fig. 64 - Rapporto tra la frequenza dell'alimentatore elettronico in kHz e l'emissione di flusso luminoso della lampada fluorescente.

Fig. 65 - Risparmi in termini percentuali riferibili alla sostituzione di alimentatori e lampade fluorescenti e all'introduzione di sistemi di gestione della luce (Osram).



alimentatori per lampade fluorescenti passando progressivamente ad alimentatori a maggior rendimento. La direttiva, infatti, fissa i limiti massimi della potenza assorbita in ingresso dal circuito alimentatore-sorgente luminosa. L'efficienza energetica dei circuiti di illuminazione a

fluorescenza dipende, quindi, dalla combinazione alimentatore-lampada (fig. 65). La CELMA ha sviluppato un sistema di classificazione di alimentatori in sette categorie (fig. 66). La massima potenza corretta in ingresso nel circuito alimentatore-lampada è definita come: "Indice di Efficienza Energetica" del sistema lampada-alimentatore (EEI).

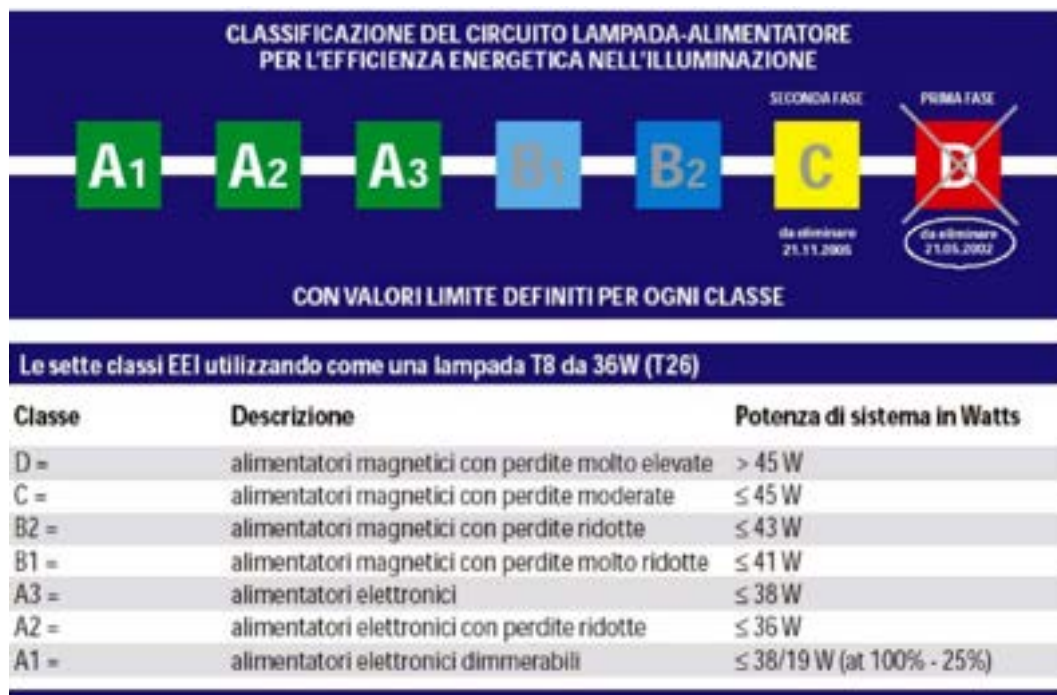


Fig. 66 - Classificazione del circuito lampada-alimentatore secondo le classi EEI.

## Il rendimento ottico degli apparecchi e il fattore di utilizzo

Non tutto il flusso emesso dalle sorgenti va ad incidere sul piano di riferimento. Parte di esso viene assorbito dalle superfici interne dell'apparecchio di illuminazione. Del flusso uscente da quest'ultimo ancora una quota parte viene indirizzata al di fuori del compito visivo e assorbita dalle pareti o da altre superfici dell'ambiente. Il primo contributo alle perdite dipende quindi dal layout delle ottiche dell'apparecchio e dai materiali in esse utilizzati. Tali perdite possono venire quantificate dal rendimento ottico  $\eta_{OTT}$  di quest'ultimo, definito come rapporto tra flusso uscente  $\Phi_{OUT}$  dall'apparecchio e il flusso generato  $\Phi_0$  dalla sorgente in esso alloggiata (fig. 67).

Le perdite che si hanno invece sul flusso uscente dall'apparecchio di illuminazione, vengono normalmente quantificate mediante un coefficiente detto "utilanza"  $U$  che tiene conto dei fattori di riflessione dell'ambiente, della geometria di quest'ultimo e della posizione della sorgente. Rendimento ottico " $\eta_{OTT}$ " ed "utilanza"  $U$  determinano la percentuale utile del flusso generato che concorre, in condizioni ordinarie, a creare il richiesto illuminamento sul compito visivo. Il loro prodotto definisce in particolare il cosiddetto fattore di utilizzo  $UF$  dell'impianto:

$$UF = \eta_{OTT} \times U$$

Come è facile intuire, nel caso di illuminazione indiretta del piano di riferimento, il maggior peso sul valore di  $UF$  spetta all'utilanza mentre, nel caso di illuminazione diretta, " $U$ " è pressoché unitaria e risulta preponderante il rendimento ottico. A parte i due casi limite ora citati, in tutte le altre situazioni " $U$ " e " $\eta_{OTT}$ " si dividono in misura variabile l'influenza sul valore di  $UF$ .

Il fattore di utilizzo è generalmente fornito dal costruttore dell'apparecchio di illuminazione il quale, tenendo conto del rendimento ottico, fornisce l' $UF$  in apposite tabelle riferite a specifiche geometrie del locale e di installazione e a specifici coefficienti di riflessione dell'ambiente. La geometria del locale è tenuta in considerazione mediante il cosiddetto indice " $K$ " il quale, nel caso



Fig. 67 - Sospensione Waldmann Tycoon per uffici. Il suo rendimento ottico arriva al 92%.

di locali a forma di parallelepipedo (caso più frequente), è definito come:

$$K = 1/h \times (a \times b) / (a + b)$$

essendo “a” e “b” le dimensioni di base ed “h” l’altezza dei centri luminosi dal piano di riferimento.

Per quanto attiene invece ai fattori di riflessione ambientale, questi dipendono dalle caratteristiche cromatiche dell’ambiente ossia dal colore di pareti, soffitto e pavimento, dalla presenza di tendaggi, arredi etc etc. Essi sono espressi normalmente mediante una terna di numeri riferiti a soffitto, pareti e pavimento.

Nella determinazione di tali fattori occorre tener presente quanto segue. Se il compito visivo è unico ed esige un unico valore di illuminamento i fattori di riflessione sono quelli delle pareti “fisicamente presenti”. Se invece nel locale sono definiti più compiti visivi che esigono valori differenti di E su differenti porzioni di superficie, occorre considerare ognuna di queste come separata dalle porzioni attigue per mezzo di pareti fittizie i cui fattori di riflessione sono dati dal rapporto tra gli illuminamenti della superficie adiacente e quello della superficie in esame (i fattori di riflessione di soffitto e pavimento ovviamente non cambiano).

La tabella 11 fornisce un esempio di tabulazione del fattore di utilizzo UF, per una plafoniera nuda, in funzione dell’indice “K” e dei coefficienti di riflessione di soffitto e pareti. Ad esempio, una stanza con dimensioni di base 5 x 4 m avente soffitto bianco e pareti in tinta chiara inciderà sul flusso emesso dalla plafoniera installata ad un’altezza di 4 m (K=0,55) con un UF pari a 0,35. Tabelle simili sono fornite per ogni specifico apparecchio illuminante.

**Tab. 11 - Fattore di utilizzo UF per plafoniera nuda.**

Indice del locale K	Soffitto							
	Bianco			Tinta chiara			Tinta media	
	Tinta chiara	Tinta media	Tinta scura	Tinta chiara	Tinta media	Tinta scura	Tinta media	Tinta scura
0,50 - 0,70	0,28	0,22	0,18	0,26	0,21	0,18	0,20	0,17
0,70 - 0,90	0,35	0,29	0,25	0,33	0,27	0,24	0,26	0,24
0,90 - 1,10	0,39	0,33	0,30	0,37	0,32	0,28	0,30	0,27
1,10 - 1,40	0,45	0,38	0,33	0,40	0,36	0,32	0,33	0,30
1,40 - 1,75	0,49	0,42	0,37	0,43	0,39	0,34	0,37	0,33
1,75 - 2,25	0,56	0,50	0,44	0,49	0,44	0,40	0,42	0,38
2,25 - 2,75	0,60	0,55	0,50	0,53	0,48	0,44	0,47	0,44
2,75 - 3,50	0,64	0,59	0,54	0,59	0,51	0,47	0,50	0,47
3,50 - 4,50	0,68	0,62	0,59	0,61	0,56	0,53	0,54	0,52
4,50 - 6,50	0,70	0,65	0,62	0,65	0,62	0,60	0,58	0,57

Poiché non è possibile intervenire efficacemente sull'utilanza (tranne per ciò che riguarda la collocazione del corpo illuminante e la colorazione delle pareti) gli interventi per migliorare il fattore di utilizzazione di un impianto si concentrano soprattutto sull'innalzamento del rendimento ottico dell'apparecchio. In particolare si può agire sulle ottiche ottimizzandone la geometria in funzione delle lampade utilizzate e della distribuzione di luce desiderata e utilizzando solo alluminio ad alta riflettanza o materiali plastici con caratteristiche analoghe o superiori. Si può intervenire anche sul corpo apparecchio creando le condizioni per mantenere bassa la temperatura interna per portare al massimo l'efficienza delle lampade T5 (fig. 68).

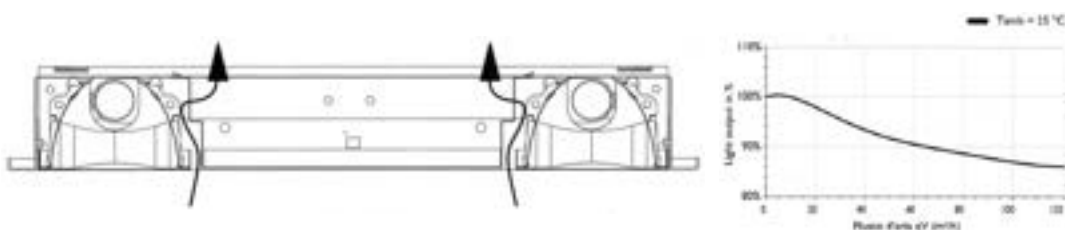


Fig. 68 - Circolazione dell'aria nell'apparecchio di illuminazione con tubi fluorescenti Philips SmartForm TBS460 come richiesto dalla norma EN 60598-2-19 "Apparecchi a circolazione d'aria"; accanto diagramma di emissione di luce relativa in funzione del flusso d'aria.

Va ricordato che un apparecchio con rendimento maggiore è in grado di fornire una maggiore quantità di luce a parità di consumo di energia. Questo non significa necessariamente che un maggiore rendimento corrisponda ad un apparecchio "migliore": il confronto può essere fatto solo fra apparecchi che abbiano caratteristiche di emissione simili. Spesso infatti, è inevitabile pagare con un minor rendimento un migliore controllo dell'emissione. Il caso limite è quello della lampada nuda che, pur avendo un rendimento pari al 100%, non ha alcun controllo dell'emissione e dunque costituisce un pessimo esempio di apparecchio di illuminazione. La limitazione dell'abbagliamento e il convogliamento del flusso luminoso nelle direzioni richieste per l'espletamento più confortevole dei compiti visivi riducono necessariamente il flusso luminoso della lampada schermandone e assorbendone una certa quota. Per compiti visivi da ufficio, ad esempio, la limitazione dell'abbagliamento diretto implica che le intensità luminose emesse nelle direzioni più prossime a quella usuale d'osservazione (considerata quest'ultima orizzontale, le direzioni più prossime sono quelle discoste dall'orizzontale di un angolo uguale o inferiore ai 45°) siano opportunamente schermate mentre il flusso luminoso deve essere in prevalenza indirizzato verso il basso, privilegiando le zone comprese fra i 60° e i 30° rispetto alla verticale, allo scopo di garantire le migliori condizioni di comfort visivo e per ottenere gli adeguati valori di contrasto fra lo sfondo bianco delle pagine e i caratteri scuri della

scrittura. Nel caso di uffici con videoterminali (oggi quasi la totalità) le emissioni devono essere ancora più controllate per evitare abbagliamento diretto e riflesso (fig. 69), a scapito del rendimento ottico: la luminanza, infatti, deve essere inferiore a 200 cd/mq per angoli di emissioni superiori a 50° (ottica denominata BAP, fig. 70).

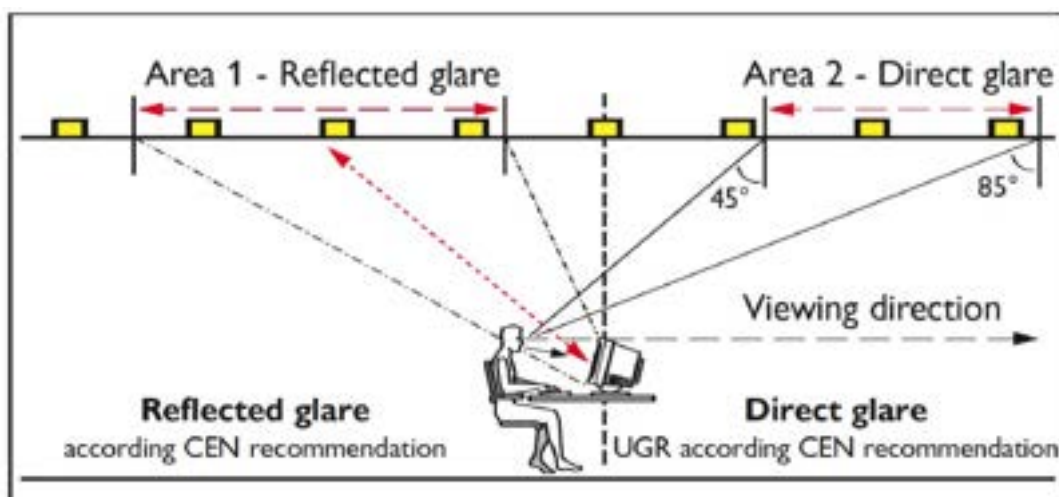


Fig. 69 - Schema delle aree che procurano abbagliamento diretto e riflesso in uffici con videoterminali.

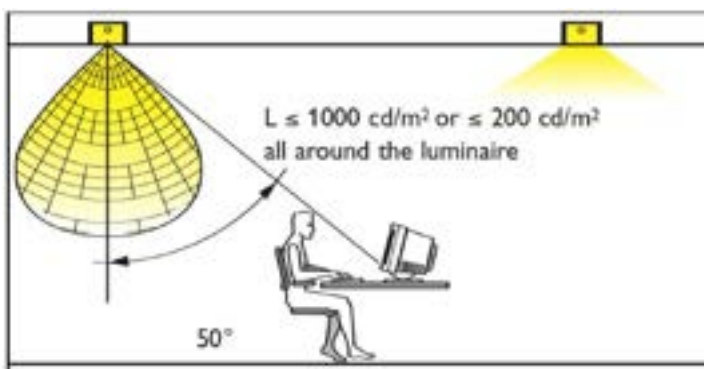


Fig. 70 - Limitazioni della luminanza dell'apparecchio negli uffici con videoterminali: le necessarie schermature possono provocare una riduzione del rendimento ottico dell'apparecchio.

I fattori che determinano le prestazioni di un apparecchio sono essenzialmente:

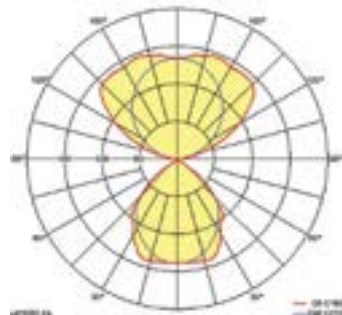
- il materiale di cui è costituito il riflettore, che deve presentare e conservare nel tempo un alto fattore di riflessione;
- il disegno ottico del riflettore, che deve indirizzare il flusso luminoso nelle direzioni desiderate e minimizzare il flusso riflesso sulla lampada stessa;
- l'apertura della bocca, che deve essere rapportata alle dimensioni della lampada (per un apparecchio per tubi fluorescenti, ad esempio, ad ogni tubo deve corrispondere una propria ottica con apertura di almeno 5 volte il

diametro del tubo; con tali proporzioni la sorgente può essere considerata puntiforme e quindi il riflettore può lavorare al meglio).

Per quanto riguarda il miglioramento dei riflettori il settore di materiali su cui si stanno orientando le ricerche è quello dei polimeri metallizzati. Le tradizionali ottiche in alluminio sono in genere in lamiera piegata o imbutita: entrambe le lavorazioni non consentono una precisione millimetrica del direzionamento delle varie superfici del riflettore e la tendenza alla miniaturizzazione delle sorgenti luminose ha fatto emergere questo problema in maniera evidente. Le ottiche di precisione, infatti, hanno bisogno di faccette perfettamente delineate e con spigoli netti tra l'una e l'altra superficie (fig. 71). Né la lamiera piegata, né quella imbutita possono dare questa precisione di dettaglio poiché la loro lavorazione non è sufficientemente raffinata. La lamiera piegata, inoltre, presenta anche il difetto di ossidarsi col tempo nei punti di piegatura, riducendo drasticamente le prestazioni ottiche del sistema. Non è da meno la lamiera d'alluminio imbutita che, dopo la lavorazione, può subire ulteriori deformazioni per via dei ritorni elastici del materiale.



Fig. 71 - Modulo di un'ottica alveolare della piantana Minium Lite prodotto in pezzo unico, quindi stabile e regolare, rivestito di alluminio applicato a vapore. La distribuzione è prevalentemente indiretta (Zumtobel).



Al contrario, un'ottica di polimeri, stampata ad iniezione e metallizzata sotto vuoto con alluminio purissimo, si rivela assolutamente precisa e duratura con prestazioni elevatissime (rendimenti del sistema superiori all'85%, fig. 72).



Fig. 72 – Sospensione Philips Carpe Diem a luce riflessa con riflettore superiore in policarbonato metallizzato, stampato per iniezione in un unico pezzo.

I cosiddetti “polimeri tecnici” utilizzati per queste lavorazioni sono in genere il policarbonato, in grado di sopportare temperature continue fino a 150° e dunque adatto a lampade di ridotta potenza, e il polifenilsulfuro utilizzato per lampade fino a 250W. Di contro i costi per le ottiche in polifenilsulfuro sono anche tre volte maggiori rispetto alla lamiera di alluminio, mentre quelle in policarbonato costano circa una volta e mezzo rispetto all’analoga ottica tradizionale. Inoltre, almeno per quanto riguarda le ottiche per apparecchi con lampada a ioduri metallici, una tale precisione risulterebbe “sprecata” dato che le lievi tolleranze ammesse nella costruzione di queste sorgenti vanificherebbero l’eccelsa raffinatezza dell’ottica.

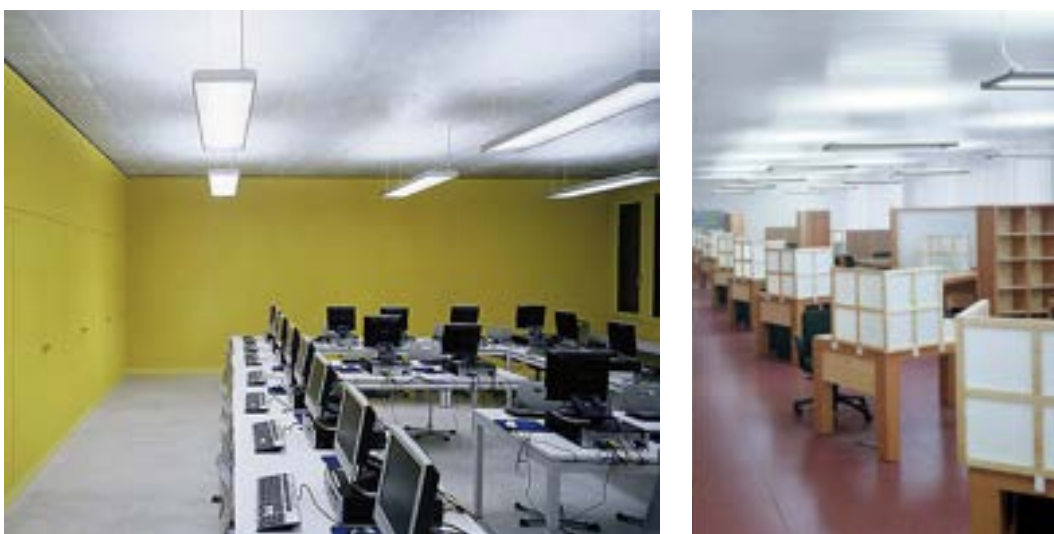


Fig. 73 - Ambienti con videoterminali illuminati con sospensioni a luce prevalentemente indiretta per un maggior comfort dell’utente, con apparecchi di elevato rendimento ottico (Zumtobel).

I migliori apparecchi per uffici (settore nel quale sono richieste le migliori prestazioni ottiche ed energetiche) sono a tutt’oggi quelli che consentono di avere una distribuzione della luce dove il 70% del flusso è rivolto verso l’alto per dare luce indiretta e il 30% è luce diretta. Le ottiche presentano riflettori microprismatizzati studiati per avere un’alto rendimento (anche superiore al 90%) senza provocare alcun abbagliamento dell’utente (come richiesto dalla normativa UNI 12464) nè comprometterne il comfort visivo. I nuovi apparecchi, inoltre, integrano sensori di presenza e di luminosità in modo da poter controllare addirittura ogni singolo corpo illuminante (fig. 73).

Lo studio dei riflettori lamellari per lampade fluorescenti si è spinto negli ultimi anni alla definizione di ottiche molto particolari che consentono un rilevante aumento del rendimento ottico. In particolare si possono menzionare le ottiche OLC (Omnidirectional Luminance Control) di Philips realizzate con lamelle concave tridimensionali munite di una struttura di tipo Fresnel

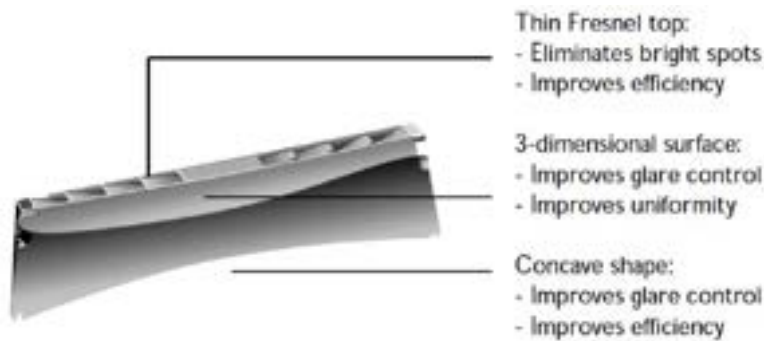


Fig. 74 - Particolare di una lamella trasversale dell'ottica OLC di Philips

sulla parte superiore (fig. 74) che migliorano del 15% il rendimento dell'apparecchio (fig. 75) rispetto a quelli con riflettori tradizionali (si arriva fino al 94%). Inoltre le ottiche OLC permettono il controllo dell'abbagliamento a 360° dando una curva fotometrica di tipo BAP (fig. 76) senza presentare macchie brillanti sulla superficie. Tutto ciò permette di creare uffici flessibili (dato che i display possono essere posizionati in qualunque punto dell'ambiente senza avere riflessi, fig. 77) e di ottenere forti risparmi energetici.

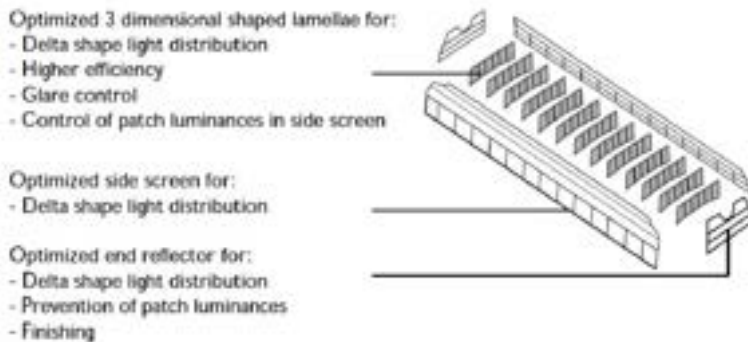


Fig. 75 - Parti che compongono un riflettore OLC

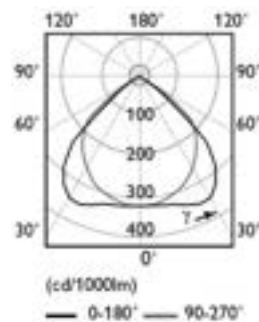


Fig. 76 - Curva fotometrica tipo BAP di un'ottica OLC

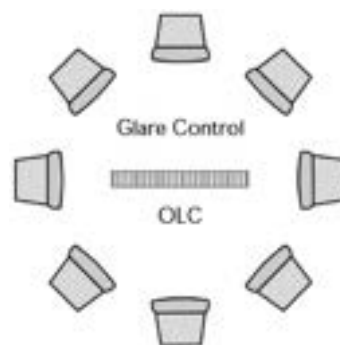
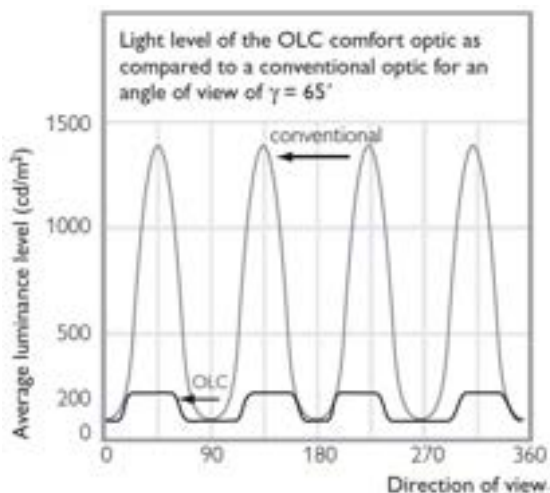


Fig. 77 - Confronto tra la luminanza a 65° di un apparecchio convenzionale e quella di un'ottica OLC in relazione alla direzione di osservazione.

Altre aziende stanno proponendo sistemi ottici molto differenti dal classico schermo lamellare: è il caso della sospensione Aero II di Zumtobel (fig. 78) in cui entra in gioco un rifrattore microprismatizzato che si comporta come una guida di luce per i 48 LED da 75 lm/W disposti lateralmente (in corrispondenza del profilo zigrinato che ne consente la dissipazione del calore), mentre due tubi fluorescenti T5 provvedono all'illuminazione indiretta (fig. 79). Questo consente di avere un apparecchio di grande comfort visivo, di alto rendimento e non vincolante per il layout dell'ufficio (fig. 80).

Un griglia di questi apparecchi collegati ad un sistema di controllo con sensori di luminosità e di presenza (si veda il successivo capitolo sui sistemi integrati luce naturale/artificiale) permette di arrivare in un ufficio ad un LENI pari a 26,35 kWh/mq x anno.

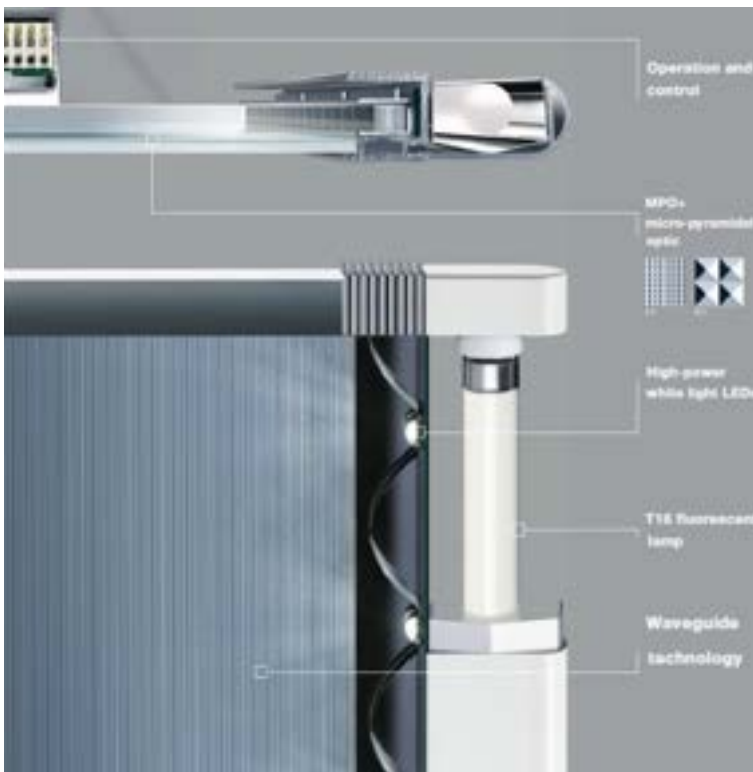
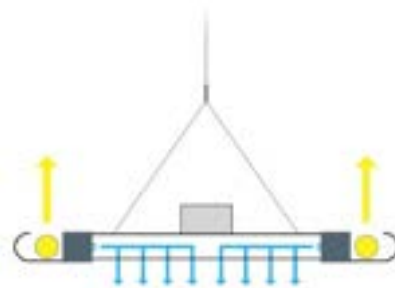


Fig. 78 - Sospensione Zumtobel Aero II.

Fig. 79 - Schema di emissione delle sorgenti LED (in azzurro) e dei tubi fluorescenti (in giallo).

Fig. 80 - Sezione della sospensione nella quale sono evidenziati i sistemi ottici di trasporto e diffusione della luce.

## L'integrazione tra luce naturale e artificiale negli uffici

L'integrazione tra luce naturale e artificiale non è soltanto una interessante possibilità di risparmio energetico, bensì un preciso vincolo normativo dettato dalla UNI-EN 12464-1 "Luce e illuminazione - Illuminazione dei luoghi di lavoro - Parte 1: Luoghi di lavoro interni" che all'articolo 4.10 cita testualmente: *"4.10 - Illuminazione naturale. L'illuminazione naturale può fornire tutta o parte dell'illuminazione di un compito visivo. Essa varia col tempo in intensità e in composizione spettrale e perciò produce condizioni luminose variabili in un interno. La luce naturale può creare modellato e distribuzione di luminanze specifiche, dovute alla luce che entra quasi orizzontalmente dalle finestre laterali. Le finestre che forniscono un contatto visivo con l'esterno sono preferite dalla maggior parte delle persone. Negli interni con finestre laterali, l'illuminazione naturale diminuisce rapidamente all'aumentare della distanza dalla finestra. È necessaria quindi una illuminazione supplementare per garantire l'illuminamento richiesto sul posto di lavoro e per bilanciare la distribuzione delle luminanze all'interno del locale. Si possono usare interruttori automatici o manuali e/o regolatori di flusso luminoso per assicurare un'appropriate integrazione tra illuminazione naturale e artificiale. Se vi è abbagliamento dalle finestre, si devono utilizzare schermi appropriati per ridurlo"*.

Dunque ogni impianto di illuminazione di un luogo di lavoro realizzato secondo la normativa Uni EN 12464-1 dovrebbe avere un sistema di controllo per l'integrazione dell'illuminazione naturale con quella artificiale (fig. 81).

Il requisito fondamentale per l'applicabilità di questo articolo della Uni 12464 è, ovviamente, che deve essere presente nel locale un elemento di trasmissione di luce naturale (finestra, lucernario, camino solare a guide ottiche).

Fig. 81 - Il sistema Luxmate Litenet di Zumtobel dosa la luce artificiale in modo da integrare quella diurna già presente attraverso la modulazione dei flussi degli apparecchi in base alla loro distanza dalla finestra. Gli studi condotti da istituti indipendenti dimostrano che gli impianti illuminotecnici di questo tipo arrivano a risparmiare anche il 60% di energia.

Un computer, attraverso un software dedicato, controlla e verifica istantaneamente tutti i dati provenienti dai sensori.

Ore 11.30 - L'intensa luce del giorno deve essere schermata. Il sistema regola l'angolazione delle lamelle delle serrande in modo da lasciar entrare luce a sufficienza e da mantenere il contatto visivo con l'esterno. Gli apparecchi più vicini alle finestre riducono il dimming fino a spegnersi.

Ore 14.00 - Il sistema reagisce all'ombra proiettata dall'edificio adiacente. Le serrande si alzano e l'illuminazione artificiale viene aumentata fino a raggiungere il livello di illuminamento minimo di 500 lx.

Ore 17.30 - Il sistema evita l'ingresso dei raggi di sole più bassi. Le lamelle delle serrande si regolano automaticamente nella posizione giusta. Gli apparecchi aumentano ulteriormente la loro emissione. Anche in questo momento è comunque possibile l'intervento manuale.

a - ore 11:30



b - ore 14:00



c - ore 17:30



Integrare la luce naturale e quella artificiale però non è solo una questione di risparmio energetico, sostenibilità ambientale e rispetto delle norme: regolare il flusso luminoso delle sorgenti artificiali in relazione all'apporto di luce naturale è anche un'esigenza di comfort visivo (fig. 82). Ogni prestazione visiva necessita di un certo livello di illuminamento, una temperatura di colore, una gamma di resa cromatica, un limite dell'abbagliamento, un'uniformità, etc etc. Se l'illuminamento è scarso si avrà disagio sul luogo di lavoro ma va evitato anche un illuminamento eccessivo (che la presenza di luce naturale e artificiale potrebbe produrre) poiché accentua l'abbagliamento diretto e riflesso, causando fastidio e mancanza di comfort.



Fig. 82 - Il sistema di controllo della luce, oltre a spegnere gli apparecchi in caso di sufficiente illuminamento naturale, può provvedere alla schermatura delle finestre per migliorare il comfort degli utenti (immagine Zumtobel).

La variabilità della luce naturale per intensità, colore e direzione favorisce la regolarità dei ritmi circadiani degli individui. Per questo motivo è necessario privilegiare al massimo l'apporto di luce naturale integrandola con quella artificiale solo quando serve. E laddove non si riesce a creare quest'integrazione per mancanza di aperture verso l'esterno sarebbe opportuno ricorrere ad apparecchi che simulino le caratteristiche della luce naturale modificando in automatico la propria intensità e temperatura di colore nell'arco della giornata (fig. 83).

Fig. 83 - Illuminazione "cromodinamica" in un ambiente privo di finestre per simulare le variazioni della luce naturale (iGuzzini).



Esistono diverse tecniche per creare un sistema di controllo per l'integrazione di luce naturale e artificiale. Il più semplice ed economico è quello di realizzare dei circuiti differenziati in modo da separare l'accensione degli apparecchi di illuminazione più vicini alle finestre da quella degli apparecchi più distanti. Questo sistema (dove gli apparecchi possono essere solo accesi o spenti manualmente) garantisce un risparmio energetico solo se gli occupanti sono particolarmente attenti ad accendere e spegnere gli apparecchi di illuminazione nei vari momenti della giornata quando non necessari. Un sistema di controllo un po' più raffinato consente di avere uno step intermedio tra on e off permettendo di spegnere - nel caso di apparecchi multilampada - una delle due o più sorgenti dell'apparecchio.

Il livello intermedio, ancora più sofisticato, è costituito da una serie di dimmer regolabili manualmente che agiscono sul flusso emesso direttamente dalla lampada. Si tratta di un sistema particolarmente valido perché, consentendo una regolazione senza soluzione di continuità, offre un'enorme gamma di livelli di regolazione. Anche in questo caso, però, il risparmio energetico è garantito solo se viene eseguita l'azione manuale di regolazione da parte dell'utente.

Il sistema migliore e più completo (fig. 84) è quello che, oltre ad avere tutte le possibilità di controllo manuale sopra descritte permette la

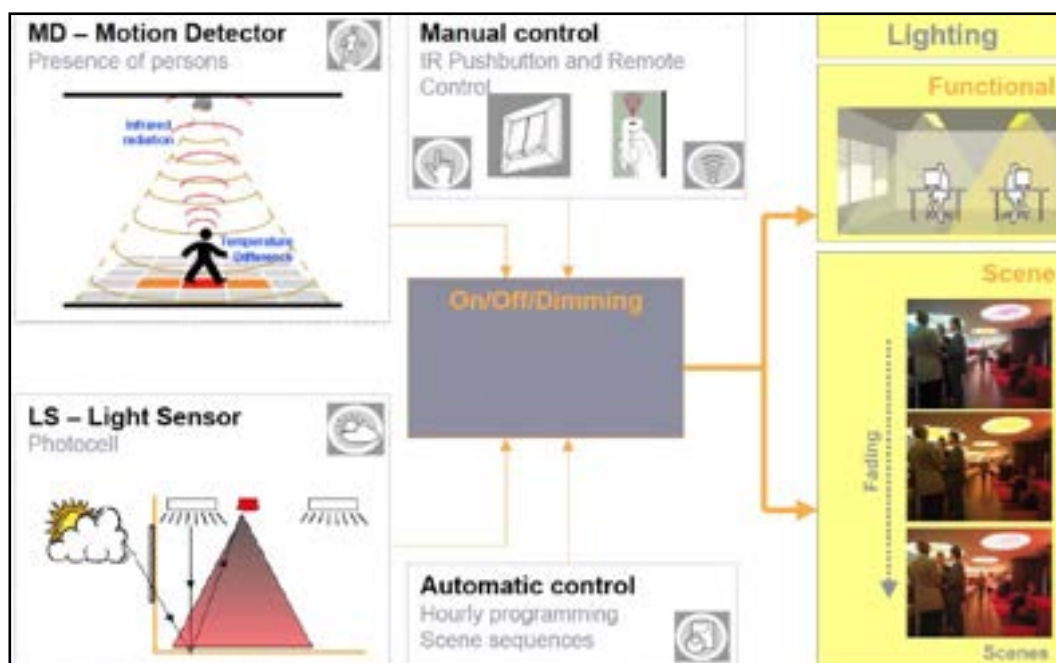


Fig. 84 - Schema di un sistema completo con tutte le possibilità di controllo della luce: sensore presenza, sensore luminosità, controllo manuale da interruttori o telecomando, controllo automatico con timer. Gli scenari che si possono così ottenere saranno sia di tipo funzionale (riduzione del flusso di alcuni apparecchi per risparmiare energia), sia di tipo architettonico-percettivo (atmosfera luminosa in sequenza). Elaborazione Philips

regolazione del flusso luminoso con analisi in continuo della quantità di illuminamento in ambiente. Il sistema provvede in automatico a regolarsi a secondo del maggiore o minore apporto di luce naturale. L'azione umana di regolazione è assente, il sistema si modifica automaticamente per garantire illuminamenti costanti, garantendo un elevato risparmio energetico. Aggiungendo al sensore di luminosità anche un sensore di presenza (agli infrarossi, ad ultrasuoni o a micro-onde) il sistema spegne tutti i punti luce in assenza di utenti a prescindere dalle condizioni di illuminazione naturale. Questo semplice dispositivo aggiuntivo permette in alcuni casi, in relazione al tipo di utilizzo dell'ambiente, di ottenere ulteriori risparmi che vanno dal 10 al 50%.



Fig. 85 - Esempio di impostazioni orarie predefinite per l'accensione e lo spegnimento automatico dei punti luce di un ufficio (immagine Zumtobel).

Per completare il sistema si può avere anche un timer preimpostato che spegne e accende le luci a prescindere dalla presenza di utenti o di luce naturale, ma solo in base ad una programmazione di attività previste per quello specifico ambiente (fig. 85).

Se si sommano i benefici della corretta scelta di lampade, corpi illuminanti e disposizione degli stessi, della presenza di sensori di luminosità e di presenza si può arrivare ad un risparmio maggiore del 70% rispetto ad un impianto tradizionale privo delle caratteristiche elencate (fig. 86).

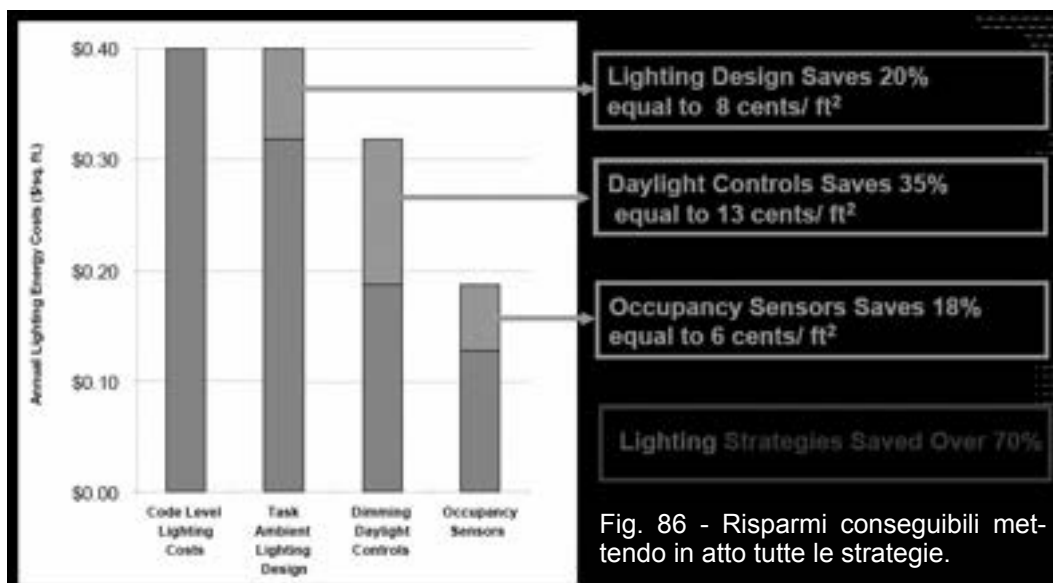


Fig. 86 - Risparmi conseguibili mettendo in atto tutte le strategie.

I sistemi di regolazione automatizzata del flusso luminoso delle lampade sono dispositivi di controllo elettronici basati su sistemi a microprocessore, che governano in maniera automatica o semiautomatica il flusso emesso da una o più sorgenti contenute negli apparecchi di illuminazione (disposti per maglie regolari) in funzione di due parametri:

- illuminamento medio sul piano di lavoro necessario in un dato ambiente per svolgere in maniera confortevole e senza affaticamento il compito visivo previsto (questo parametro è definito *set-point* e si ricava dalla norma di riferimento);
- la quantità di luce presente in ambiente fornita da elementi architettonici di illuminazione naturale (finestre, condotti solari, lucernari, eccetera).

Il sistema esegue un continuo raffronto tra l'illuminamento presente nell'ambiente (sia dal solo contributo di luce naturale che da quello di luce naturale più artificiale) e l'illuminamento richiesto al sistema (valore di taratura di riferimento).

Il sistema invia, così, un segnale verso gli apparecchi di illuminazione valutato in percentuale:

- pari a 0% per apparecchi completamente spenti;
- 100% per apparecchi di illuminazione accesi e massima erogazione del flusso luminoso.

Per valori elevati di illuminamento da luce naturale, sopra al valore di *set-point*, il sistema provvede ad inviare agli apparecchi di illuminazione un segnale di regolazione che li tiene spenti o comunque a valore 0% di regolazione.

Man mano che il contributo di luce naturale scende sotto il valore di *set-point*, il sistema fornisce in maniera proporzionale un segnale di regolazione alle lampade direttamente proporzionale alla differenza di lux percepiti rispetto a quelli richiesti in ambiente (fig. 87).



Fig. 87 - Schema di funzionamento del sensore Philips Occuswitch per l'integrazione della luce naturale e artificiale ai fini del raggiungimento del corretto livello di illuminamento.

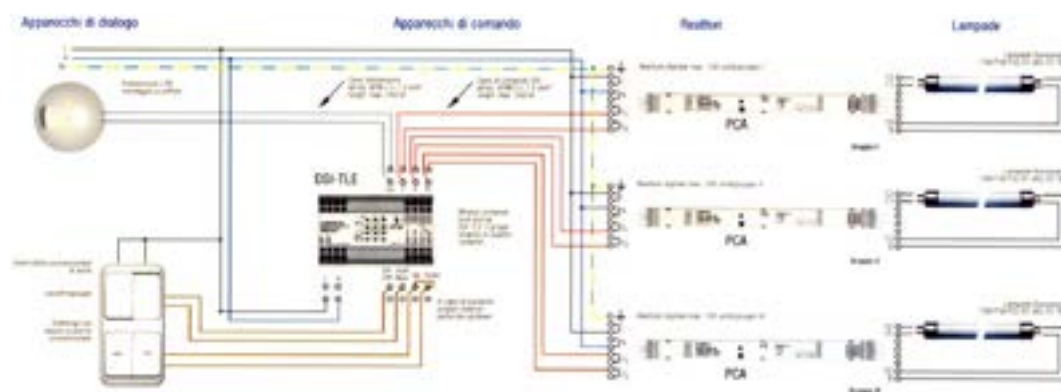
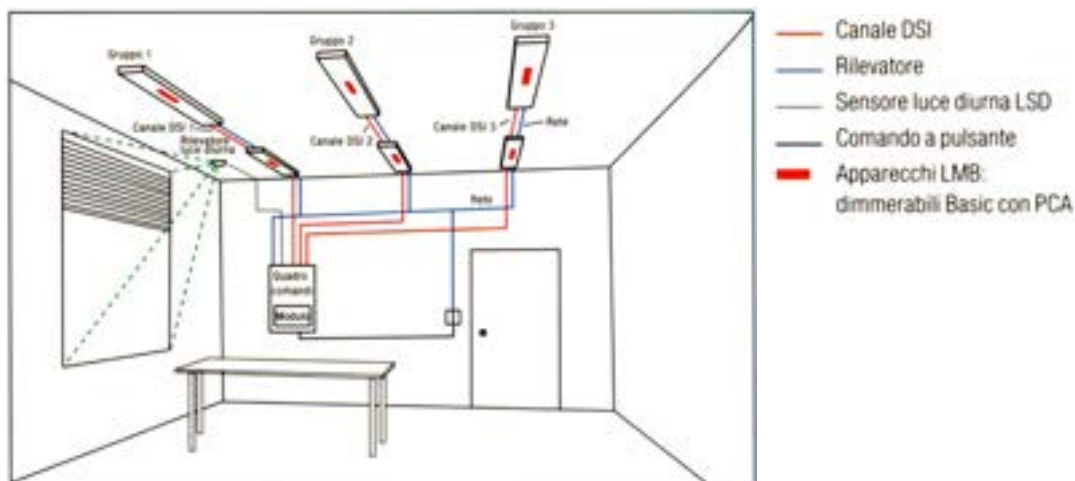


Fig. 88 - Elementi del sistema di integrazione luce naturale/artificiale (fonte: Zumtobel)

Gli elementi che compongono un sistema di integrazione tra luce naturale e artificiale a regolazione automatica sono i seguenti (fig. 88):

- il sensore di luminosità che ha lo scopo di verificare il livello di illuminamento presente in ambiente misurandolo sul piano di lavoro o sulla superficie delle finestre;
- apparecchi di illuminazione con sorgenti a fluorescenza, dotati di reattore elettronico dimmerabile con segnale proporzionale 0-10 V o sistemi regolabili con tecnologia Dali (Digital Addressable Light Interface);
- una suddivisione in gruppi di apparecchi corrispondenti ai vari canali di cui viene controllato lo spegnimento e l'accensione delle lampade e la loro dimmerazione;
- una centralina di controllo e programmazione dove vengono impostate le soglie di regolazione e i *set-point* di taratura, nonché le regolazioni in uscita.

La descrizione appena fornita della logica di funzionamento del sistema è il modello teorico; a questo modello teorico, bisogna però aggiungere alcune considerazioni:

- gli apparecchi devono essere fluorescenti e dotati di alimentatore elettronico dimmerabile; inoltre la loro disposizione deve essere secondo una maglia regolare con file parallele alle finestre (fig. 89);

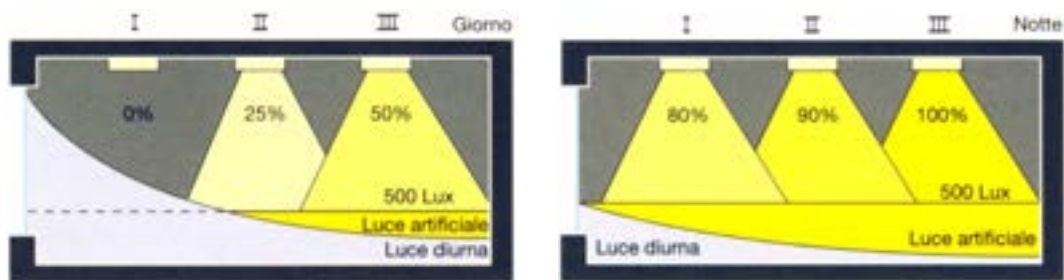


Fig. 89 - Dimmerazione diversificata per le tre file di apparecchi, in due situazioni molto differenti: mattina e pomeriggio (elaborazione Zumtobel)

- il sistema migliore è quello che per valori di regolazione verso la lampada pari a 0% permetta di spegnere anche la lampada (questa opzione non è obbligatoria, infatti molti costruttori di apparecchi di illuminazione e sistemi non lo contemplano, di solito il progettista accorto, se sviluppa l'architettura di sistema con una tecnologia BUS, cerca di prendere provvedimenti progettuali e impiantistici per realizzare questa condizione);

- il sistema deve poter permettere una forzatura da parte dell'utente (ma solo entro determinati range di tolleranza (ad esempio il 20%), perché una persona giovane presenta un'acutezza visiva maggiore di una persona anziana, o perché straordinariamente potrebbe eseguire un compito visivo diverso che richieda un illuminamento maggiore);

- il sistema deve essere spegnibile dall'utente a piacimento (meglio ancora se il sistema è in grado di riconoscere l'assenza della persona e quindi di spegnere le luci);

- il sistema funziona meglio per ambienti piccoli e confinati poiché un ambiente grande è solitamente frequentato da molte persone che hanno una percezione diversa del fenomeno luminoso e quindi dei parametri di comfort che, se pur legati ad indicazioni normative, sono comunque soggettivi; un ambiente piccolo, richiede un solo punto di misura, mentre un ambiente grande di più punti di misura, con diverse zone di regolazione; se, peraltro, in un ambiente grande si vuole eseguire un'unico controllo in base a più punti di misura elaborati tra di loro (valore medio, medio ponderato, eccetera), la regolazione risulta assai inefficiente e inefficace;

- nel caso di ambienti grandi il sistema va organizzato in modo da poter definire, volta per volta, delle “task area”, delle zone con precise esigenze visive dove l’illuminazione può essere programmata indipendentemente dalle zone adiacenti (fig. 90).

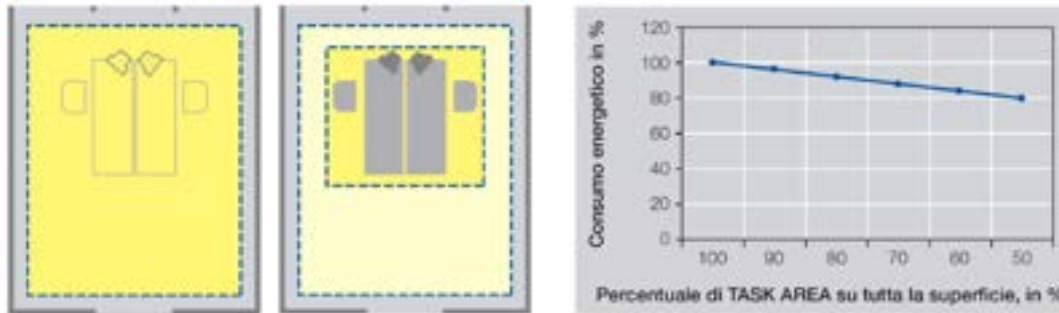


Fig. 90 - Un’illuminazione generale dell’ambiente di lavoro è più dispendiosa di un’organizzazione per “task area”. La definizione delle zone con esigenze visive specifiche può essere modificata a piacimento se tutti gli apparecchi sono collegati ad un sistema di gestione (Zumtobel).

- il sistema deve possedere per ogni ambiente/ufficio almeno due scenari diversi con due *set point* differenti (lavoro e pulizie), per due compiti visivi che richiedono due valori diversi di illuminamento e di comfort visivo;

- il sistema deve regolare in maniera autonoma ogni locale, questo perché uffici esposti verso nord hanno comportamenti diversi rispetto agli uffici orientati a sud, e comunque a parità di esposizione (ad esempio sud) uffici al piano primo avranno un comportamento diverso da quelli dei piani superiori;

- i sistemi migliori sono quelli implementati su tecnologie Bus orientate al *building* (Eib, Lon, Konnex, Modbus, eccetera), in alternativa si possono utilizzare sistemi di livello meno evoluto per applicazioni più confinate come il Dali; i primi sono da preferire perché permettono un’eventuale integrazione di regolazione con altre componenti di controllo ambientale come sistemi di schermatura, tendaggi automatici, tapparelle, vetri elettrocromici eccetera;

- i sistemi a luce diretta sono molto efficienti dal punto di vista delle prestazioni, quelli a luce indiretta sono meno efficienti e in questo caso il sensore va posizionato non a soffitto ma sotto l’apparecchio di illuminazione;

- il sistema deve poter essere configurato per avere valori di scartamento abbastanza ampi, ovvero, la regolazione in aumento o in diminuzione, deve essere senza soluzione di continuità, ma non deve pendolare continuamente, costringendo l’occhio umano a percepire queste variazioni che portereb-

bero ad una situazione di dis-comfort e di affaticamento (il miglior sistema di integrazione è quello che varia il flusso luminoso emesso senza che questo venga percepito dall'utente);

- il sistema dovrebbe poter regolare anche la temperatura di colore della luce emessa dagli apparecchi (che naturalmente devono essere dotati di più sorgenti da 2700°K a 5600°K) in modo che l'integrazione con la luce diurna risulti davvero "naturale" (fig. 91);



Fig. 91 - La possibilità di controllare, oltre alla quantità di luce, anche la qualità (cioè la temperatura di colore e la prevalenza della componente diretta o indiretta) consente di ottenere il perfetto bilanciamento tra ambiente, energia e benessere dell'individuo (Zumtobel).

- il sistema deve essere compensabile ambiente per ambiente, infatti la prima considerazione è che l'apporto della luce naturale sul piano di lavoro viene solitamente misurato e campionato da una sonda che ne percepisce la componente riflessa e quindi la riflessione percepita varia in funzione del colore e del tipo di piano;

- il *set-point* di 500 lux sul piano di lavoro non può corrispondere a 500 lux sul sensore perché esiste sempre uno scartamento dovuto alla componente riflessa e alla distanza tra il punto in misura (soffitto) e il piano di riferimento stesso (scrivania) con variazioni proporzionali al quadrato della distanza.

I sistemi di controllo sono il futuro degli edifici, soprattutto nel terziario, sia per garantire una migliore prestazione illuminotecnica e il massimo comfort visivo, sia per ottenere un sicuro risparmio energetico (fig. 92).

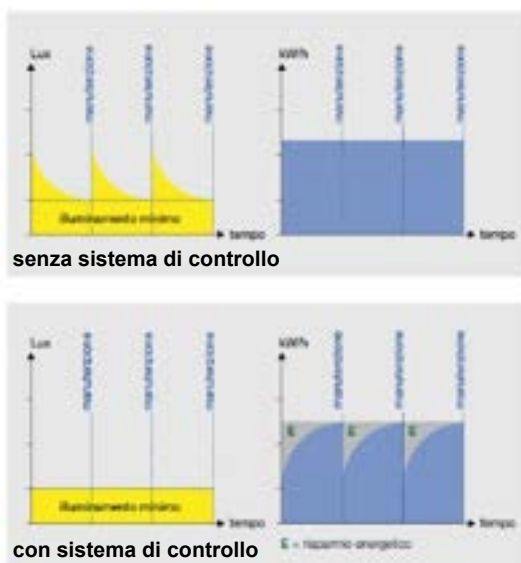


Fig. 92 - La norma EN 12464 prevede che l'illuminamento minimo sia sempre mantenuto anche via via che l'impianto si usura. Di conseguenza gli impianti illuminotecnici vengono solitamente sovradimensionati.

Un buon sistema di gestione regola le lampade in modo tale che l'illuminamento sia sempre al livello richiesto e l'eliminazione del flusso iniziale in eccesso si trasformi in risparmio energetico.

Per funzionare correttamente ed efficacemente richiedono una progettazione illuminotecnica e impiantistica attenta e puntuale, dove gli attori, il progettista elettrico, il progettista illuminotecnico e quello architettonico, devono lavorare all'unisono per ottenere il migliore risultato estetico, economico e prestazionale.

Resta chiaro che il sistema ha enormi valenze economiche in tutti i casi; tuttavia occorre sempre eseguire uno studio di fattibilità tecnico-economica per poter valutare la convenienza della scelta progettuale che si andrà a realizzare. È comunque necessario, nella valutazione dei costi, basarsi non solo sul costo iniziale dell'impianto, ma soprattutto sull'incidenza economica dell'intera vita dell'edificio in modo tale che il costo dell'impianto di illuminazione venga valutato globalmente, considerando tutti i costi futuri che appartengono alla sua vita economica, resi attuali al momento dell'analisi mediante un idoneo tasso di attualizzazione. Troppo spesso l'attenzione è limitata al solo costo iniziale dell'impianto, in realtà il suo funzionamento comporta un gravoso e costante impegno finanziario (in particolare legato agli oneri di energia elettrica), che deve essere quantificato per eseguire un'analisi corretta. Non tenerne conto significa escludere dal totale l'addendo più consistente, scartando sistemi che sono potenzialmente molto più validi solo per errori di valutazione economica.

## I sistemi di domotica

La parola domotica, combinazione dei termini domus e cibernetica, nasce per indicare quei sistemi di automazione degli impianti e delle utenze che, in ambito domestico, rendono più funzionale e confortevole l'abitazione.

Si tratta quindi di qualcosa di simile alla "building automation" che si utilizza per interi edifici di uffici, scuole, ospedali etc. Tuttavia è un sistema più semplificato dal punto di vista tecnologico, ma più ampio come ambiti di interesse: si spazia dalla razionalizzazione dei consumi elettrici all'intrattenimento, dalla termoregolazione alla creazione di scenografie luminose



Fig. 93 - Settori controllabili da un sistema di domotica con cui è possibile attivare scenari di luci che accolgono l'utente al rientro, governare da un unico punto tutti gli elettrodomestici della casa, tenere sotto controllo tutte le zone dell'abitazione, far dialogare l'antifurto con la rete Internet e ricevere la segnalazione di allarme via mail o SMS, e molto altro ancora.

per gli esterni (fig. 93). Tuttavia la "casa del futuro", l'abitazione intelligente completamente gestita dai software, sembra essere ancora molto lontana dall'affermarsi e le tecnologie della domotica più uno status symbol che una pratica di buona gestione degli spazi e delle risorse. Gli spazi abitativi con gestione digitale della luce e di tutte le utenze sono, dunque, così pochi da diventare casi emblematici nei quali generalmente l'attenzione si concentra maggiormente su uno dei molti aspetti legati alla home automation.

Occorre però ricordare che il controllo dell'impianto di illuminazione non è solo una questione di automazione e comfort abitativo (fig. 94): può essere, infatti, estremamente utile nella gestione economica e nel risparmio energetico dell'abitazione, contribuendo nella riduzione dei costi e nell'ottimizzazione dell'utilizzo delle luci. Sempre più utili sono a questo scopo elementi e sistemi che possano regolare l'accensione e lo spegnimento o l'intensità delle sorgenti luminose. La semplice possibilità di spegnimento automatico all'uscita dell'utente dalla stanza, o la più complessa regolazione delle luci e delle tapparelle in caso di presenza di sufficiente luminosità esterna consentono, generalmente, risparmi più elevati di quelli che un utente accorto potrebbe mettere in atto manualmente con comportamenti attenti al risparmio nell'illuminazione dei vari ambienti domestici.

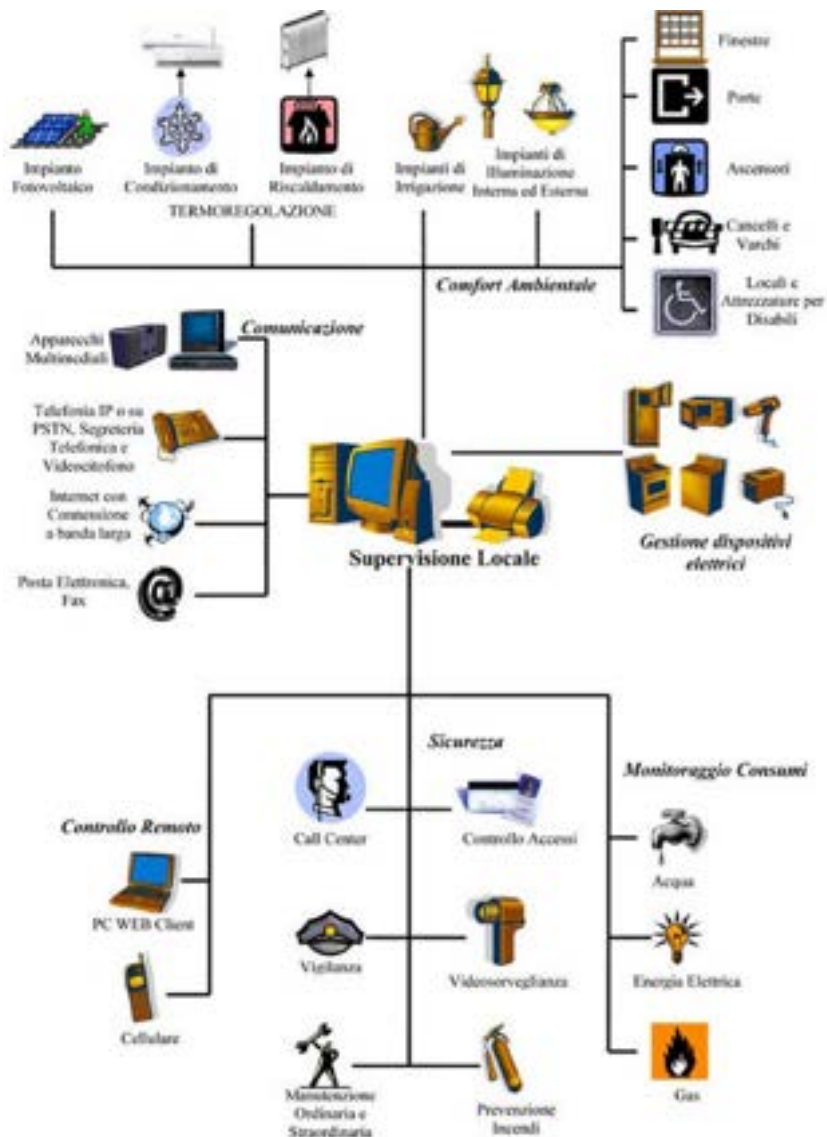


Fig. 94 - Schema di un impianto di domotica con la più completa gamma di applicazioni.

Alla base della possibilità di risparmio nell'illuminazione c'è la dimmerazione: dimmerare significa risparmiare energia scegliendo la luminosità adatta ad ogni momento, cui si aggiunge il risparmio nei costi di impianto e di manutenzione (riducendo l'intensità luminosa di una lampada, infatti, è possibile prolungarne la durata media). Secondo dati ENEA il controllo dell'illuminazione con sistemi domotici negli ambienti residenziali può portare ad un risparmio del 20%. Tuttavia in alcuni casi c'è incompatibilità tra domotica e lampade ad alta efficienza per uso domestico: una fluorescente compatta integrata non può essere dimmerata (solo pochissimi modelli lo consentono entro un range limitato) e non andrebbe spenta e accesa ogni volta che l'utente entra ed esce da un stanza come prevedono i sistemi di domotica. Tra l'altro spesso la domotica viene pubblicizzata per creare ambientazioni luminose con numerosi punti luce, cosa che ai fini del risparmio energetico non è una soluzione efficiente (fig. 95).



Fig. 95 - Situazioni luminose memorizzate attraverso un impianto di domotica e lanciati in base a precisi scenari ambientali (giorno, cena sofisticata, cena elegante, cena intima...).

La diffusione dei sistemi di domotica, dunque, non è un aspetto separabile dallo sviluppo tecnologico globale in campo illuminotecnico: non sarebbe possibile, infatti, concepire la gestione della luce senza l'alimentazione elettronica dimmerabile delle lampade fluorescenti non integrate, la creazione

di apparecchi per l'utilizzo dei led nell'illuminazione di interni, la diffusione di protocolli di connessione come il DALI e la diffusione di interfacce e touchscreen (fig. 96).

Al momento i sistemi di controllo automatizzato, sebbene nati per le abitazioni, stanno trovando grande diffusione nei luoghi di lavoro; l'introduzione sistematica della domotica nelle abitazioni arriverà di ritorno probabilmente tra diversi anni, quando le tecnologie di automazione saranno sempre più una prassi per tutti gli altri settori e le problematiche ambientali legate al risparmio energetico sempre più pressanti: allora anche il privato cittadino sarà disposto a spendere qualcosa in più in gestione degli impianti per averne un ritorno economico e di comfort.



Fig. 96 - Touchscreen da cui è possibile regolare l'illuminazione, memorizzare scenari di luci, tende e oscuranti, attuare la termoregolazione di ogni singolo ambiente, gestire da PC remoto o da cellulare tutti gli impianti dell'abitazione (Nehos di BPT).

Chiaramente si tratta di un'evoluzione non solo tecnologica ma anche sociale: la gestione elettronica della luce e di tutti i dispositivi domestici si accompagna ad abitudini e stili di vita "moderni" (fig. 97), dove la tecnologia è alla base dei comportamenti quotidiani e dove ogni scelta architettonica e abitativa viene fatta all'insegna dell'interattività e della sostenibilità ambientale.



Fig. 97 - Abitazione gestita con sistemi di domotica: le luci, gli elettrodomestici, l'home theatre, la citofonia, le condizioni termoigrometriche, i consumi elettrici sono completamente gestiti attraverso software con possibilità di personalizzare tutte le impostazioni (Dyalite).

## Il risparmio energetico nell'illuminazione residenziale e del terziario

### Il risparmio energetico nelle abitazioni

Tutte le strategie di risparmio energetico nel settore dell'illuminazione d'interni sono state ampiamente esposte nei capitoli precedenti. Tuttavia non tutti i sistemi si adattano ad ogni ambito applicativo. Nel settore dell'illuminazione domestica, pertanto, si potranno applicare solo alcune delle tecniche di riduzione dei consumi e, in particolare, quelle strategie legate alla sostituzione di sorgenti ad incandescenza con altre a più elevata efficienza che integrano tutta la componentistica elettronica all'interno della lampada stessa.

Per capire quanto possano realmente incidere le strategie di risparmio energetico nel settore abitativo occorre fare una premessa di tipo sociologico per quantificare, attraverso abitudini e comportamenti, le ore di utilizzo dell'energia elettrica per l'illuminazione. Secondo dati ISTAT (censimento 2001) in Italia ci sono poco più di 27 milioni di abitazioni, con una superficie media di 96 mq e 4,20 stanze e una distribuzione dei punti luce come quella ipotizzata in fig. 98. Recenti studi dimostrano che gli italiani trascorrono in media 12-15 ore in casa (incluse le ore di sonno) ma i possibili raggruppamenti sono tre: un 51,5% sta in casa tra le 10 e le 15 ore; un 37,1% trascorre tra le mura domestiche 15 ore e più; mentre una permanenza di 8-10 ore al massimo è abitudine dell'11,6%. Se si considera che il giorno medio dura 12 ore e che circa otto delle ore di buio sono utilizzate per dormire ne viene fuori che in media si tengono accese le luci 4 ore al giorno. In realtà le luci vengono accese molto prima del tramonto, quando la luminosità esterna è



Fig. 98 - Abitazione media composta da ingresso, disimpegno, doppi servizi, cucina-pranzo, soggiorno e camere da letto con indicazione generica dei punti luce (Artemide).

inferiore al necessario. Si tenga anche conto del fatto che i piani più bassi degli edifici spesso non ricevono luce sufficiente neanche durante la giornata e, per coloro che ne trascorrono una buona parte in casa (e la metà della popolazione vi sta almeno mezza giornata), significa tenere accese le luci anche in pieno giorno. Con buona approssimazione si può, dunque, considerare un utilizzo di 2000 ore all'anno cioè un media di poco meno di 6 ore al giorno (dati ENEA). Le potenze impegnate con lampade ad incandescenza possono dunque essere quelle indicate in tabella 12.

Locale	Apparecchio	Lampada	Flusso	Illuminamento
ingresso	applique	2 x 40 W	830 lm	50-150 lux
disimpegno	applique	2 x 40 W	830 lm	50-150 lux
bagno	plafoniera	1 x 100 W	1340 lm	50-150 lux
bagno specchio	applique	2 x 40 W	830 lm	200-500 lux
cucina-pranzo	sospensione	1 x 100 W	1340 lm	100-200 lux
cucina-cottura	incassi	4 x 35 W	1600 lm	200-500 lux
soggiorno-scrittura	sospensione	1 x 100 W	1340 lm	300-750 lux
soggiorno-lettura	piantana	1 x 100 W	1340 lm	200-500 lux
soggiorno-convers.	lampara da tavolo	1 x 75 W	930 lm	50-150 lux
camera-generale	plafoniera	1 x 100 W	1340 lm	50-150 lux
camera-letto	lume comodino	2 x 60 W	1420 lm	200-500 lux

**Tab. 12 - Distribuzione e caratteristiche dei punti luce in un'abitazione media.**

Occorre, inoltre, considerare che le luci di un'abitazione non sono accese tutte contemporaneamente, quindi si deve ipotizzare una diversa durata di accensione per i singoli ambienti che permetta di quantificare i reali risparmi. La sostituzione di una sorgente ad incandescenza in un ingresso, ad esempio, comporta un risparmio energetico veramente irrisorio poiché si tratta di un punto luce acceso pochi minuti al giorno, così come per corridoi e sgabuzzini. Come è stato già detto, dunque, la sostituzione di tutte le sorgenti ad incandescenza con quelle fluorescenti compatte integrate non è la

Locale	Utilizzo diurno	Utilizzo annuo	Dimensione
ingresso	15'	90 h	4 mq
disimpegno	15'	90 h	6 mq
2 bagni	1 h	360 h	4 + 6 mq
cucina-pranzo	3 h	1100 h	20 mq
soggiorno	2 h	730 h	20 mq
2 camere da letto	1 h	360 h	18 + 18 mq

**Tab. 13 - Durata delle accensioni in ogni ambiente dell'abitazione e dimensione dei vani per un appartamento medio di 96 mq.**

migliore soluzione né in termini ambientali (si tratta di sorgenti che contengono mercurio), né in termini energetici (il risparmio che si riesce ad attuare nelle abitazioni non è comunque tale da incidere in maniera rilevante sulle immissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, come descritto a pag. 12).

I tempi di accensione possono, dunque, essere quelli ipotizzati in tabella 13. Si tratta naturalmente di dati statistici che possono subire grandi scostamenti in base alle singole abitudini di vita e alla composizione dell'abitazione, tuttavia da questi dati si ricava un coefficiente legato all'unità di superficie e dunque adatto a calcolare il fabbisogno elettrico per illuminazione per superfici residenziali di qualsiasi dimensione.

Le numerose varianti che possono sussistere nell'illuminazione di un interno domestico (fig. 99) non modificano in maniera sostanziale i consumi complessivi quindi, nelle schede di valutazione al penultimo capitolo, non si farà particolare riferimento al tipo di apparecchio utilizzato quanto all'efficienza della sorgente e al numero di punti luce.

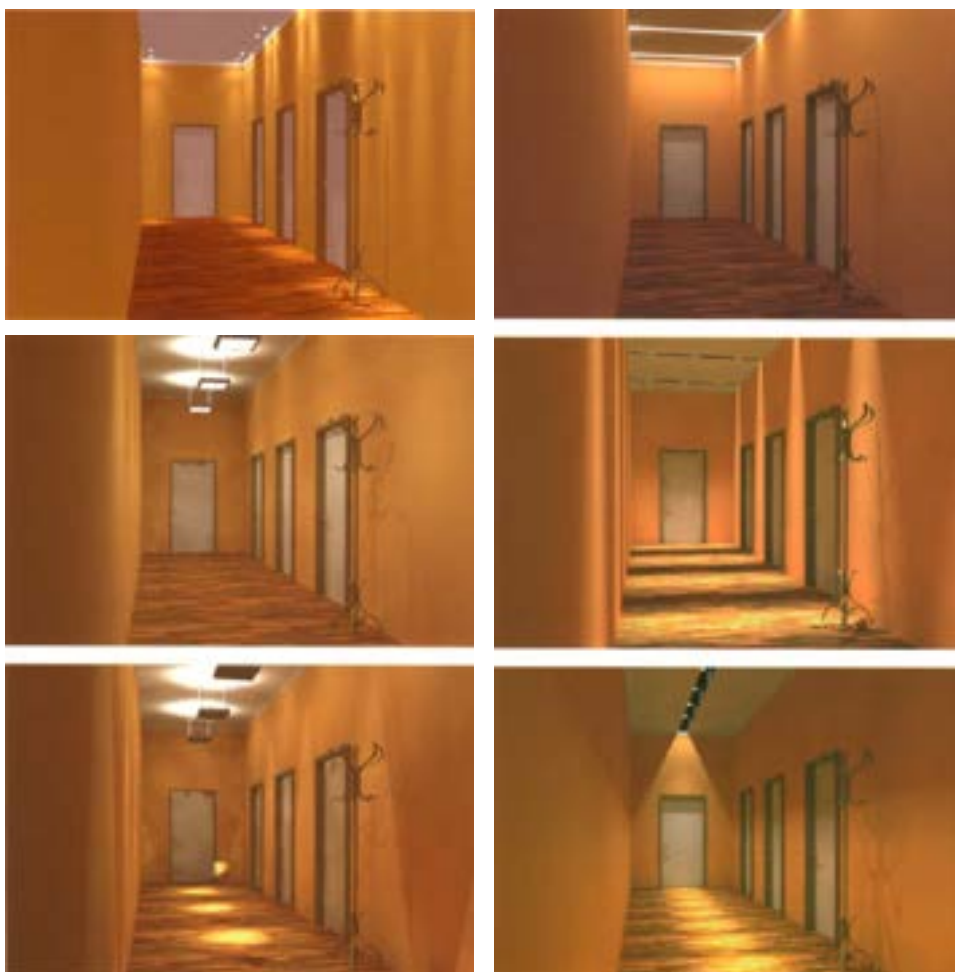


Fig. 99 - Illuminazione di un ingresso con varie tipologie di impianto (Arcesilai, Weissenberg)

## Il risparmio energetico negli uffici

Come è stato già evidenziato nei primi capitoli il settore degli uffici è quello dove si possono attuare le più efficaci strategie di risparmio energetico ottenendone i migliori risultati. Il complesso lampada-apparecchio-sistema di controllo affiancato ad una razionale scelta della collocazione dei punti luce e ad un'ottimale sfruttamento della luce naturale può portare a riduzioni dei consumi molto rilevanti. Come evidenziato dalla tabella 14 i vari aspetti dell'illuminazione di un ufficio richiedono provvedimenti che, se adottati in sinergia, riescono ad essere realmente risolutivi.

AREA OF CONCERN	STRATEGIES APPLICABLE
1 Limit Time-of-Use – Eliminate unnecessary lighting energy use outside 'normal' hours. Lighting that is not required can be switched off or dimmed.	Time Control, User Control Panels, Occupancy Sensors, Dimming, Touch Screen Control, Web Browser Control
2 Optimise Light Output – How much have the light fittings deteriorated since they were first installed?	Luminaire Efficiency Upgrade
3 Design Illuminance – Excessive lighting power is provided in new installations to allow for furnishing, partitions, dark colours, lamp ageing and for the accumulation of dirt and corrosion on lamps, reflectors, lenses and louvers.	Grid Relocation, De-lamping, Dimming, Occupancy Sensors, Step Dimming
4 Daylight Integration – Enable sunlight to displace artificial lighting with sensitivity to occupants.	Dimming, Occupancy Sensors, Daylight Harvesting
5 Friendly "After Hours" Lighting Management – Evening workers detected and given reassuring illuminance of egress path and common areas. Gradual closure after all movement has ceased.	Desktop Interface, After Hours Sweep
6 Life-Cycle Operating Costs – Programmed Lamp Replacement is cost-effective.	Maintenance
7 Acceptable User/Manager Joint Input – The Facilities Manager can globally set broad time-based functions. The User still has access to adjust local light output, and override On or Off as required.	Central Control, Web Browser Control, Hand-held IR control
8 Full Status Reporting – DyNet system monitors individual fixtures for trends, and early detection of component failure.	Maintenance
9 Inter-System Communication – HVAC, Security or BMS can send and/or receive commands to/from lighting zones.	Central Control
10 Low Utilisation Areas – What to do with store rooms and amenity areas.	Occupancy Sensors, Time Control
11 Tariff Sensitive Control – Is the control system responsive to changing energy costs (daily) and to maximum demand constraints (monthly)?	Central Control

Tab. 14 - Settori e strategie legate al risparmio energetico negli uffici (Dynalite).

L'installazione di lampade fluorescenti ad alta efficienza (o led di ultima generazione) inserite in apparecchi ad alte prestazioni, dotati di alimentatori elettronici dimmerabili interfacciabili con sistemi di controllo dotati di sensori di luminosità e presenza, combinata con un'attenta progettazione delle schermature per le finestre, anch'esse regolate dal sistema di controllo è il sistema di strategie in grado di ridurre al minimo i costi energetici garantendo al contempo il massimo comfort psicofisiologico dell'utente nel rispetto della norma UNI EN 12464 riguardante l'illuminazione dei luoghi di lavoro.

Si tratta, naturalmente, di investimenti importanti ma, in relazione all'entità dei risparmi ottenibili (fig. 100), l'ammortamento è di pochi anni e la scelta risulta nella maggior parte dei casi conveniente. Occorre, tuttavia, tenere

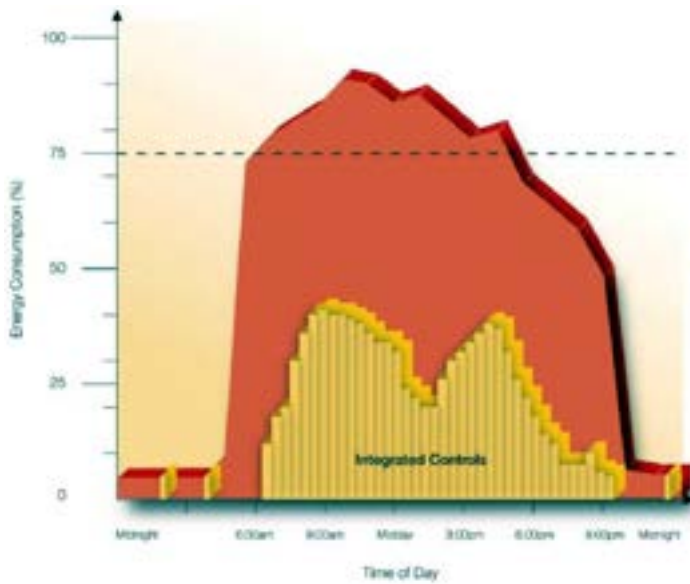


Fig. 100 - Riduzione dei consumi energetici conseguibili con l'attuazione di tutte le strategie di risparmio nell'illuminazione, in particolare con sistemi di integrazione della luce naturale e artificiale e sensori di presenza.

presente che i sistemi di controllo dell'illuminazione presentano dei cospicui consumi di standby perciò può non essere sempre conveniente la loro installazione: occorre valutare attentamente, dunque, la prestazione energetica di ogni soluzione illuminotecnica. Per approfondire questo aspetto si può fare un confronto tra lo standard LENI e il calcolo effettuato attraverso la certificazione

di qualità "Minergy" prevista dallo standard svizzero SIA380/4. La prima prevede un valore in kWh/mq annuo che è la somma tra consumi parassiti e consumi per l'illuminazione:

$$\text{LENI} = \frac{\sum \{ (P_c \times F_c) \times ((t_d \times F_D \times F_D) + (t_n \times F_D)) \}}{\text{Square meter} \times \text{years}} \quad [\text{kwh/m}^2\text{a}]$$

- $P_c$  = Power made available
- $F_c$  = Factor for dynamic lighting control ( $\leq 1$ )
- $t_d$  = Day time use time
- $F_D$  = Factor for presence detection ( $\leq 1$ )
- $F_D$  = Factor for constant light control
- $t_n$  = Night time use time

Il secondo standard, più che basarsi sull'elettronica e il controllo, focalizza l'attenzione sull'ottimizzazione del processo progettuale:

$$\text{Specific power} = \frac{E \times p}{\eta_{L,P} \times \eta_{L,S} \times \eta_R} \quad [\text{W/m}^2]$$

- $E$  = Light intensity in LUX
- $p$  = Planning factor (aging, dirt)
- $\eta_{L,P}$  = Luminous efficiency related to bulbs / tube and ballast
- $\eta_{L,S}$  = Efficiency related to the mechanical design of the lamps
- $\eta_R$  = Efficiency related to room reflection

Sovrapponendo le due metodologie i potenziali di risparmio energetico ed economico appaiono evidenti. La scelta di colori, finestrature, geometria e collocazione dei punti luce nell'edificio influenza il fattore dell'ottimizzazione ambientale con una riduzione potenziale di 1/6 dell'energia richiesta per l'illuminazione. L'efficienza dell'apparecchio (intesa come rapporto tra il flusso che raggiunge il compito visivo e il flusso emesso della sorgente) e l'efficienza luminosa della lampada sono in grado di contribuire con un'ulteriore riduzione di un terzo dell'energia richiesta.

Per quantificare con la UNI EN 15193 i diversi valori di prestazione energetica si può ipotizzare di attuare le varie strategie una alla volta arrivando a sei scenari (fig. 101) differenti attraverso l'individuazione dei consumi annuali di energia parassita dovuti alla ricarica delle luci di emergenza (valore standard pari a 1 kWh/mq per anno) e allo stato di standby del sistema di gestione della luce (5 kWh/mq per anno); e ai consumi annuali di energia per l'illuminazione dovuti al consumo di tutti i corpi illuminanti presenti nella zona oggetto di studio tenuto conto del fattore di illuminamento costante, del fattore di occupazione del locale, del fattore di dipendenza dalla luce diurna in base alle ore di utilizzo diurne e non-diurne.

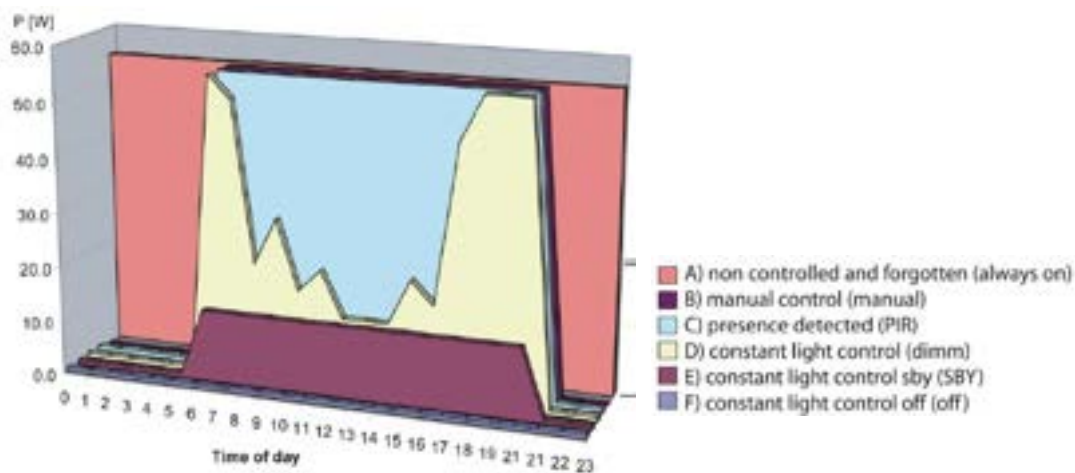


Fig. 101 - Consumo energetico relativo di sei differenti situazioni o strategie di controllo.

Per confrontare l'efficienza del controllo occorre definirne il fattore di influenza. Il 100% è rappresentato da una soluzione ideale di controllo a luce costante in cui il livello di regolazione della luce è continuamente adattato in funzione dei livelli di luce naturale, offrendo solo luce senza alcuna perdita energetica. La situazione più vicina a questo scenario è la D (controllo a luce costante) la cui efficienza è doppia rispetto al caso B (controllo manuale).

In una giornata di sole però, paradossalmente, un sistema di controllo può essere una soluzione peggiore di un semplice interruttore a parete: mentre, infatti, la luce artificiale non è richiesta, il sistema di controllo continua a consumare energia per lo standby (energia assorbita dallo standby dei dispositivi del sistema di controllo e dallo standby dei ballast dei tubi fluorescenti mantenuti allo 0%).

In media il consumo di un sistema di controllo con 3-5 sensori di presenza è di circa 6-14 W, dando un totale di energia parassita di 53-123 kWh all'anno. I più moderi ballast hanno perdite pari a 0,8-7 W anche con luce allo 0%.

Se si considera che i ballast sono usati effettivamente per il 50% dell'orario di lavoro si ottiene un consumo di 140-1226 kWh all'anno per 40 apparecchi fluorescenti. Queste perdite corrispondono al 3-15% dell'energia totale consumata nel caso C, ma in un caso del genere di semplice controllo della presenza, l'alimentazione dei ballast è generalmente spento del tutto così che le perdite per standby siano eliminate.

Nel caso D si può risparmiare un'ulteriore 40% tramite l'uso di sensori di luce costante: confrontate con questo consumo inferiore, le perdite per standby rappresentano il 4,5-23% ma se le lampade vengono mantenute la minimo durante lo standby, nel confronto le perdite superano il 65%! È chiaro dunque che lo spegnimento totale dei dispositivi, quando non è necessaria la luce artificiale, è la maniera più efficace per risparmiare energia. Ciò potrebbe sembrare ovvio ma negli ultimi anni la tendenza verso l'uso di ballast elettronici dimmerabili con interfaccia DSI o DALI ha portato a progettare sistemi di controllo che spengono la luce mantenendo comunque acceso il ballast.

In fig. 102 si possono confrontare tre diverse applicazioni: sensore di presenza, sensore di luce costante con luci in standby e sensore di luce costante con luci spente. Il diagramma confronta l'andamento in caso di dispositivi ad alta efficienza (0,8 W di perdite) e a bassa efficienza (7 W di perdite). Ciò che si può notare è che, nel caso di dispositivi ad alta efficienza, con il solo sensore di presenza, rispetto al risparmio massimo ideale rappresentato dal 100%, si arriva ad un risparmio di energia del 60%, con il sensore di luminosità che mette gli apparecchi in standby si arriva al 78%, con il sistema che spegne del tutto gli apparecchi si arriva al 98%. Con componenti con perdite significative si evince, invece, che sotto le 1200 ore di funzionamento le perdite sono addirittura maggiori del risparmio conseguibile!

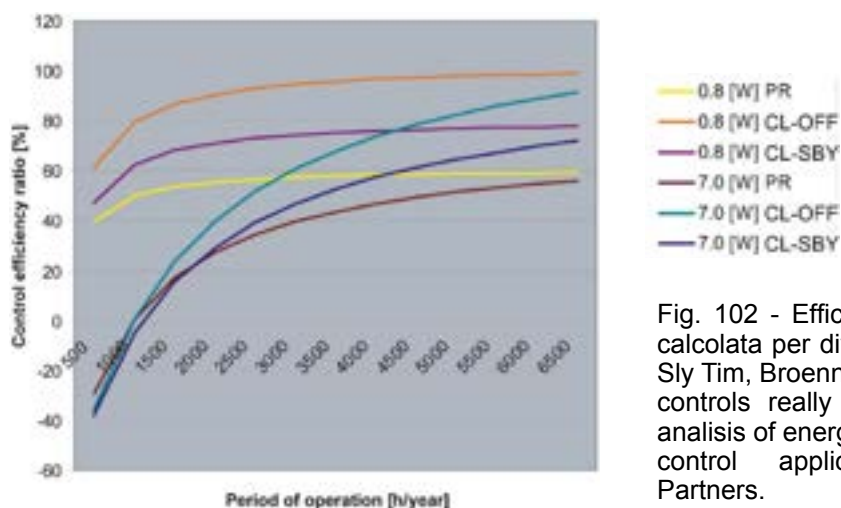


Fig. 102 - Efficienza del controllo calcolata per diverse strategie. Da Sly Tim, Broennimann, "Do lighting controls really save energy? An analysis of energy saving in lighting control applications", Infranet Partners.

Dal punto di vista energetico ed economico l'uso di sistemi di controllo non spegnibili in locali utilizzati con bassa frequenza è dunque piuttosto opinabile specialmente se si mette nel bilancio il costo iniziale dell'intero sistema. Al contrario un sistema con sensori di presenza e di luce costante in ambienti sempre occupati potrà generare il massimo risparmio in particolare se il sistema prevede lo spegnimento totale degli apparecchi in standby e se i ballast hanno perdite molto ridotte (intorno a 0,5 W).

Località	$E_{in} = 300 \text{ lux}$			$E_{in} = 500 \text{ lux}$			$E_{in} = 750 \text{ lux}$		
	disponibilità di luce naturale								
	lieve	medio	forte	lieve	medio	forte	lieve	medio	forte
Watford (GB)	0.65	0.76	0.82	0.49	0.65	0.75	0.35	0.53	0.67
Francoforte (D)	0.64	0.79	0.88	0.44	0.64	0.78	0.29	0.48	0.67
Atene (GR)	0.8	0.9	0.94	0.59	0.8	0.9	0.42	0.64	0.82
Bratislava (SK)	0.67	0.79	0.86	0.49	0.67	0.78	0.34	0.53	0.69
Lione (F)	0.71	0.84	0.9	0.52	0.71	0.83	0.37	0.56	0.73

**Valori del fattore  $F_{D,S}$**   
(disponibilità di luce naturale)

	lieve			medio			forte		
	300	500	750	300	500	750	300	500	750
on/off	0.09	0	0	0.4	0.09	0	0.61	0.36	0.11
Dimm.	0.86	0.77	0.71	0.91	0.86	0.78	0.95	0.91	0.86

**Valori del fattore  $F_{D,C}$**   
(sistema di controllo)

<b>Uffici, Scuole</b>	Manuale	1
	Automatico (60% del carico)	0.9
<b>Negozi, Ristoranti</b>	Manuale	1
<b>Alberghi</b>	Manuale	0.7
<b>Ospedali</b>	Manuale	0.8

**Valori del fattore  $F_O$**   
(occupazione locale)

Fig. 103 - Fattori da inserire nella formula per il calcolo del valore del LENI con il metodo rapido.

Per utilizzare comunque la formula di calcolo del LENI e predisporre un confronto con i dati ricavati per illuminazione sempre accesa, come da schede di valutazione del penultimo capitolo, occorre conoscere i parametri di riferimento da utilizzare nella formula generale (fig. 103). È necessario anche quantificare le ore di utilizzo degli uffici dividendole in ore diurne e ore notturne; in questo caso lo standard è di 2500 ore suddivise in 2250 diurne e 250 notturne. Per quanto riguarda le ore diurne è fondamentale conoscere la disponibilità di luce naturale: questa non si riferisce direttamente al fattore medio di luce diurna, ma ad una metodologia approssimata che tiene conto, oltre alle ostruzioni ed alle caratteristiche del serramento, dei fattori astronomici (latitudine della località) e del livello di illuminamento richiesto.

## Il risparmio energetico nelle scuole

Gli edifici scolastici, pur essendo considerati luoghi di lavoro assimilabili agli uffici, richiedono strategie ed interventi mirati per questa specifica tipologia. La caratteristica energetica fondamentale di un edificio scolastico è, infatti, l'utilizzo spesso parziale della struttura, in termini di orario e di locali. La determinazione esatta dei volumi dell'edificio e del relativo orario di utilizzo è fondamentale per valutare le potenze, i carichi energetici necessari e le relative criticità sia in termini di illuminazione che in termini di climatizzazione. La norma UNI 10840-2007 "Luce e illuminazione - locali scolastici" raccomanda oltre ai corretti valori di illuminamento, alla limitazione dell'abbagliamento e al più idoneo colore della luce previsti dalla UNI 12464, anche l'uso di apparecchi con regolazione del flusso luminoso nonché lo sfruttamento di luce naturale secondo un Fattore medio di luce diurna minimo previsto dalla stessa normativa (vedi tabella 15).

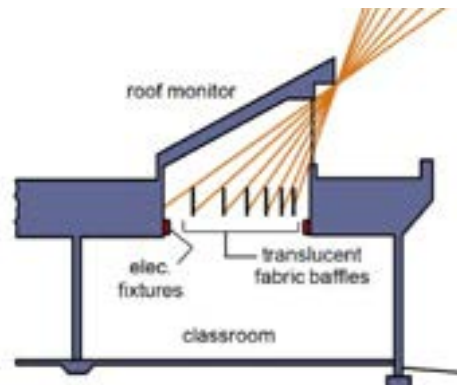
Tab. 15 - Fattore medio di luce diurna da ottenere per garantire un'adeguata distribuzione dell'illuminazione naturale come da UNI 10840 - 2007 ([www.elettricoplus.it](http://www.elettricoplus.it)).

Fattore medio di luce diurna		Note e consigli
Tipo di compito od attività in interni	$\eta_{in}$ (%)	
<b>Asili nido, scuole materne</b>		
Aule giochi	≥5	
Nido	≥5	
Aule per lavoro manuale	≥3	
<b>Locali scolastici</b>		Rispettare le prescrizioni previste per i videotermini
Aule scolastiche	≥3	
Aule per corsi serali e per adulti	-	
Sale lettura	≥3	
Lavagna	-	
Tavolo per dimostrazioni	-	
Aule educazione artistica	≥3	
Aule educazione artistica in scuole d'arte	≥3	
Aule per disegno tecnico	≥3	
Aule per educazione tecnica e laboratori	≥3	
Aule lavori artigianali	≥3	
Laboratorio di insegnamento	≥3	
Aule di pratica della musica	≥3	
Laboratori di informatica	≥3	
Laboratori linguistici	≥3	
Aule di preparazione e officine	≥3	
Ingressi	≥1	
Zone di circolazione, corridoi	≥1	
Scale	≥1	
Sale comuni per gli studenti e aula magna	≥2	
Sale professori	≥2	
Biblioteca: scaffali	-	
Biblioteca: zone di lettura	≥3	
Magazzini materiale didattico	≥1	
Palazzetti, palestre, piscine (uso generale)	≥2	
Mensa	≥2	
Cucina	≥1	
Bagni	≥1	

In caso di nuova costruzione è chiaro che attraverso un'attenta progettazione delle aperture, della distribuzione degli ambienti e del loro orientamento è possibile ottimizzare l'utilizzo di luce naturale fino a renderla l'unica sorgente di illuminazione. D'altra parte gli orari prevalenti di fruizione dei locali scolastici consentirebbero di far ricorso all'illuminazione artificiale soltanto per attività postmeridiane o in caso di giornate con cielo particolarmente coperto. I consumi energetici per l'illuminazione possono, così, essere abbattuti anche di due terzi, per non parlare del guadagno in termini di comfort psicofisiologico indotto dalla presenza di luce naturale e della riduzione del carico termico dovuto agli apparecchi illuminanti (fig. 104).



Fig. 104 - Edificio scolastico di nuova costruzione in North Carolina. I dispositivi "sostenibili" dell'edificio, oltre a quelli per la distribuzione di luce naturale in tutti gli ambienti, riguardano il riscaldamento solare dell'acqua sanitaria, la produzione di energia attraverso pannelli fotovoltaici e la raccolta delle acque meteoriche. Le aule, esposte a sud, sono illuminate da lucernari atti a distribuire uniformemente e senza abbagliamento la luce naturale sufficiente ai compiti visivi. Light shelves alle finestre schermano i raggi solari diretti e illuminano il soffitto delle aule riducendo eventuali contrasti con il plafone luminoso (Innovative Design).







Nelle aree comuni, invece, i controlli devono essere esclusivamente automatici. Per quanto riguarda le palestre, avendo un'illuminazione generalmente a ioduri metallici, non sono adatti nè i sensori di presenza nè quelli di luminosità: occorre, invece, installare dei sistemi temporizzati che consentano di accendere l'impianto automaticamente pochi minuti prima del previsto ingresso degli studenti in modo che le sorgenti siano già a regime. Per gli esterni è sufficiente un'illuminazione con interruttore crepuscolare poichè le luci devono rimanere accese tutta la notte per motivi di sicurezza delle strutture.

Come già precisato in precedenza, comunque, l'installazione di sistemi complessi di integrazione di luce naturale e artificiale va attuata solo dopo aver attentamente valutato costi e benefici.

Fig. 106 - Aula scolastica della Grover Cleveland Elementary School in Pennsylvania. Il sistema di controllo permette di gestire la luce sia in modo automatico che manuale. Nel primo caso le luci artificiali sono accese al massimo, nella seconda immagine sono state portate al minimo per poter visualizzare una proiezione mentre nel terzo caso le varie file di apparecchi sono dimmerate automaticamente per bilanciare la differente quantità di luce naturale presente nell'aula (Lutron).

## Il risparmio energetico negli ospedali

Il tema della gestione del risparmio energetico per l'illuminazione degli ospedali è un argomento vasto e articolato. L'ospedale, infatti, è da considerarsi come "un'organizzazione altamente complessa" sotto il profilo funzionale, tecnologico, economico-gestionale e procedurale per la "complessità intrinseca delle funzioni che all'interno vi vengono svolte" (legge Merloni). Gli ospedali e le altre strutture sanitarie possono comprendere decine o addirittura centinaia di tipi diversi di stanze. La normativa europea in materia di illuminazione dei luoghi di lavoro definisce una cinquantina di spazi sanitari differenti, ognuno dei quali possiede i propri requisiti in materia di illuminazione, spesso assai diversi gli uni dagli altri (tab. 16).

Se si pensa poi che l'ospedale è forse l'unico edificio abitativo pubblico che non vede mai il cessare di attività e quindi la presenza di persone nelle 24 ore e per tutto l'anno, già si avrà una prima dimensione del problema.

In effetti i consumi elettrici di un ospedale per l'illuminazione (fig. 107) non sono la parte

**Tab. 16 - Requisiti illuminotecnici per i vari ambienti degli ospedali come da norma UNI 12464 (www.voltimum.it).**

Tipo di interno, compito & attività	Em illum medio mantenute	G Classi qualità limitazione abbagliamento	Ra Gruppo resa del colore
<b>Locali di uso generale</b>			
Locali di attesa	200	C	1B
Corridoi (durante il giorno)	200	C	1B
Corridoi (durante la notte)	50	D	1B
Day room	200	C	1B
<b>Locali Personale</b>			
Ufficio personale	500	B	1B
Stanza personale	300	B	1B
<b>Corale reparti maternità</b>			
Illuminazione generale	100	B	1B
Illuminazione di lettura	300	B	1B
Visita semplice	300	B	1B
Visita e trattamento	1.000	B	1A
Luogo notturno di osservazione	5		1B
Bagni e toilette per pazienti	200	C	1B
<b>Locali Diagnostici</b>			
Illuminazione generale	500	B	1A
Visita e trattamento	1.000	B	1A
Locali di visita oculistica			
Illuminazione generale	300	B	1B
Visita esterna dell'occhio	1.000		1A
Test di lettura e visione dei colori	500	A	1A
Locali di visita otorinolaringoiatra			
Illuminazione generale	300	B	1B
Visita all'orecchio	1.000		1A
<b>Locali anelli</b>			
Illuminazione generale	300	B	1B
Visita e trattamento	50	B	1B
<b>Sala parto</b>			
Illuminazione generale	300	B	1B
Visita e trattamento	500	B	1B
<b>Locali di cura</b>			
Dialisi	300	B	1B
Dermatologia	500	B	1A
Endoscopia	300	B	1B
Ingestatura	500	B	1B
Bagni medici	300	B	1B
Massaggio e radioterapia	300	B	1B
<b>Camera Operatore</b>			
Locale pre operatorio	500	B	1A
Sala operatoria	1.000	B	1A
Area operatoria	da 10.000 a 100.000 lux con apparecchi speciali		
<b>Rianimazione e cure intensive</b>			
Illuminazione generale	100	B	1A
Visita semplice	300	B	1A
Visita e trattamento	1.000	B	1A
Osservazione notturna	20	B	1A
<b>Odontoiatria</b>			
Illuminazione generale	500	B	1A
Sul paziente	1.000		1A
Area operatoria	5.000		1A
White teeth matching	5.000		1A
<b>Laboratorio e farmacia</b>			
Illuminazione generale	500	B	1B
Ispezione colori	1.000	B	1A
<b>Locali decontaminazione</b>			
Locali sterilizzazione	300	C	1B
Locali disinfezione	300	C	1B
<b>Loc. autopsia camera mortuaria</b>			
Illuminazione generale	750	B	1A
Tavolo per autopsia e dissezione	5.000		1A

più rilevante (costituiscono il 16% dei consumi totali) tuttavia, valutato in senso assoluto, si tratta comunque di un consumo di una certa importanza (tab. 17). Studi italiani ed esteri, confermano dunque l'esistenza di un notevole potenziale di risparmio energetico che può e deve essere utilizzato.

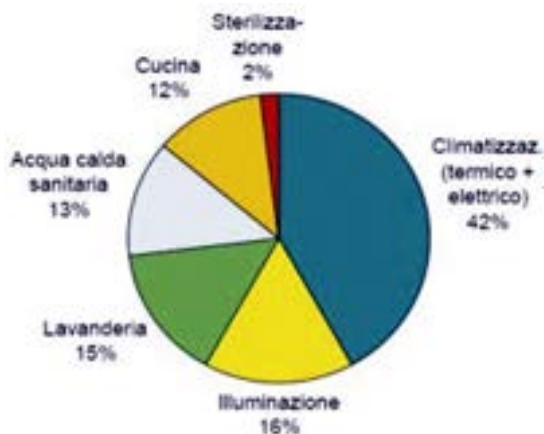


Fig. 107 - Distribuzione dei consumi energetici di un edificio ospedaliero (fonte: Mattei Guido, in Regione e Ambiente)

GWh/anno	1995	1997	1999	2000
Illuminazione	636	728	809	872
Climatizzazione	216	247	275	296
Equip. Elettrico	263	301	334	360
Lavanderia	177	202	225	242
Macchin.	130	149	165	178
Boilitori	120	138	153	165
Risc. Elettrico	37	42	47	50
Computers	12	14	16	17
Cucina	10	11	12	13
Altro	855	978	1.086	1.171
Totale	2.457	2.809	3.122	3.366

Tab. 17 - Trend dei consumi energetici per i vari ambiti del settore ospedaliero dal 1995 al 2000 (fonte: Mattei Guido, in Regione e Ambiente).

Come è stato già detto riguardo il risparmio energetico per l'illuminazione in ambito scolastico, è una corretta progettazione architettonica la migliore strategia di risparmio energetico, anche perché i vari settori di risparmio possono entrare in sinergia e beneficiarsi a vicenda (l'uso di luce naturale riduce i consumi per l'illuminazione, ma anche quelli per il condizionamento). In tal senso si stanno muovendo i più recenti progetti di complessi sanitari come l'ospedale pediatrico Meyer a Firenze. In particolare il nuovo padiglione (fig. 108), che ospita le degenze, le sale operatorie, gli ambulatori, il settore day hospital e day surgery, è una struttura innovativa concepita osservando i canoni della compatibilità ambientale e del risparmio energetico. È dotato di

Fig. 108 - Ospedale Meyer a Firenze. Particolare dei percorsi nella grande serra.



dispositivi che hanno comportato un extracosto di circa il 40% rispetto ad un ospedale concepito in maniera tradizionale. Tuttavia si prevede un recupero sul medio periodo, al termine del quale il guadagno diventa duplice: economico e ambientale.

Per attuare il massimo sfruttamento della luce naturale sono stati installati sistemi di controllo e gestione per l'integrazione dell'illuminazione naturale e artificiale, ampie superfici vetrate, camini solari e *light pipes*. I 46 condotti di luce sono stati installati nelle aree davanti alle camere di degenza (con una ampia vetrata sul corridoio) per permettere il raggiungimento di un buon livello di illuminazione anche nelle stanze stesse. Ogni camera, infatti, è caratterizzata da due ampie finestre: una che si affaccia sull'esterno ed una rivolta proprio verso il corridoio interno. L'efficienza di questo sistema non è strettamente dipendente dalle condizioni climatiche: servendosi, infatti, anche della radiazione luminosa diffusa, si ottengono buoni risultati anche in condizioni di cielo coperto (figg. 109 e 110).



Fig. 109 - Ospedale Meyer a Firenze. Camini solari conici e condotti di luce apportano luce naturale anche nelle zone più interne dell'edificio.

Fig. 110 - Camera di degenza e spazio di transito nell'Ospedale Meyer.





La combinazione di condotti di luce e camini solari determina un buon livello di illuminazione nei corridoi. In condizioni di cielo coperto si ottiene un valore del Fattore medio di luce diurna pari a 2,5% nei corridoi e un valore pari a 1,5% nelle parti prive di finestre verso l'esterno; ciò indica che in diverse zone non è necessario accendere le luci durante la prima parte della giornata. Tutte le lampade installate sono ad alta efficienza e a basso consumo energetico, con un fabbisogno annuale per corrente elettrica pari a 12,3 kWh/mq. Paragonando questo progetto con un caso tradizionale, che non prevede l'applicazione di dispositivi a basso consumo energetico, si deduce che si è arrivati ad una percentuale di risparmio energetico pari al 35%.

Negli ospedali il controllo della luce è, comunque, una questione che va oltre gli aspetti puramente economici poiché vi sono tre requisiti indispensabili da mantenere: la luce deve favorire il benessere dei pazienti e creare un'atmosfera confortevole, deve fornire condizioni perfette per lo svolgimento di ogni terapia o visita medica e deve consentire di muoversi e orientarsi con sicurezza nelle zone di passaggio e in quelle dove le esigenze sono più elevate. Queste tre funzioni richiedono situazioni di luce molto differenti tra loro e, all'interno di ogni singola funzione, scenari luminosi differenti in base al momento della giornata e alle esigenze specifiche degli utenti. Nelle sale degenza, ad esempio, si possono avere degli apparecchi "testaletto" con sistemi molto sofisticati di gestione della luce (fig. 111) così come in tanti altri ambienti.

Fig. 111 - Testaletto multifunzione: luce per lettura notturna, luce con impostazione media per degenti di giovane età, luce con impostazione massima per degenti anziani (ai quali occorre stimolare l'orologio interno con quantità di luce maggiore), luce con temperatura di colore variabile per seguire il ritmo della luce naturale, luce per visite mediche memorizzata nel pannello e comandabile da un unico pulsante di comando (Zumtobel).

## L'uso della luce naturale negli spazi espositivi

### L'integrazione della luce naturale e artificiale nei musei

La scelta fra l'utilizzo di luce naturale o artificiale nei musei è attualmente un dibattito aperto. La luce naturale è spesso la soluzione favorita perchè soddisfa molte necessità: stabilisce un rapporto fra ambiente esterno ed interno; ha un flusso costante ed allo stesso tempo è mutevole, creando effetti atmosferici sempre diversi fra loro; non infastidisce la percezione; rispetta i valori cromatici; è gestibile attraverso vari tipi di filtri e schermature e soprattutto è economica. Tuttavia la sua variabilità presenta alcuni aspetti negativi relativi al corretto "dosaggio" sull'opera: in alcuni momenti può diventare troppo scarsa non permettendone una visione soddisfacente, altre volte è eccessiva e ne mette a rischio l'integrità, sia a lungo che a breve termine. La sorgente più frequente di luce naturale nei musei è sempre stato il lucernario in tutte le sue numerose interpretazioni ma sempre caratterizzato da luce morbida e diffusa, che facilita una lettura globale dell'opera, senza stacchi netti fra luci e ombre e senza riflessi sulle opere.

Senza voler entrare nel merito dello sviluppo storico di questo tipo di illuminazione si può semplicemente accennare come fin dal XVIII sec. si iniziano a definire i principi generali per il corretto uso della luce naturale nei musei con la diffusa tendenza alla creazione di fonti di luce indiretta attraverso l'apertura di lucernari che illuminano la volta e il pavimento. È evidente come queste prime elaborazioni tipologiche siano fortemente influenzate dai modelli, allora molto conosciuti, dei complessi termali della Roma Imperiale e soprattutto dal Pantheon (fig. 112).

Fig. 112 - Uno dei primi grandi Musei del mondo è stato il Louvre di Parigi, nato per esporre le collezioni reali dopo la decisione del Re Sole, nel 1678, di abbandonare il palazzo a favore della Reggia di Versailles. Quando fu ristrutturato nel 1755 si decise di realizzare una serie di lucernari per illuminare gli ambienti interni e mostrare per la prima volta alla luce del giorno le collezioni d'arte, fino ad allora illuminate da torce.



La suggestione di quest'ultimo è ancora evidente nel museo Guggenheim di F. L. Wright (1943-56) dove lo spazio centrale è illuminato dall'alto come nei modelli ottocenteschi. Tuttavia qui il tema del museo è stato ripensato in maniera radicale dal punto di vista formale e funzionale: l'ardita interpretazione della spirale si snoda strutturalmente senza che i solai si tocchino fisicamente permettendo, nello spazio risultante, l'inserimento di particolari lucernari schermati a luce indiretta (fig. 111). Tali lucernari a fascia, nonostante costituiscano una fonte luminosa posta alle spalle della parete espositiva e, dunque, potenzialmente abbaglianti, sono progettati in modo da dare un contributo indiretto perfettamente funzionale.

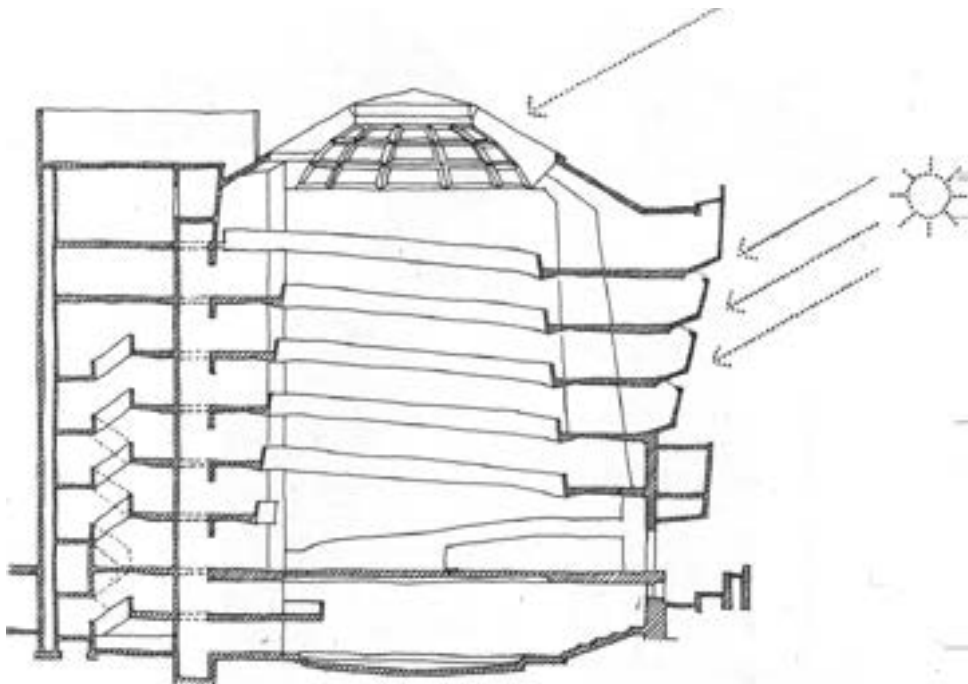


Fig. 113 - New York, Guggenheim Museum, F. L. Wright (1943-56): immagini del lucernario centrale e dei lucernari a nastro lungo la parete esterna. Sezione con indicazione del sistema di illuminazione naturale.

Nel momento in cui cominciano a svilupparsi i primi sistemi di illuminazione artificiale adatti ai musei risultano evidenti le differenze con la luce naturale e le caratteristiche che offre la luce artificiale: affidabilità e costanza, controllo assoluto della qualità (sia con incandescenza che con fluorescenza o ioduri metallici) e quantità di luce (filtrabile e direzionabile, anche in spazi limitati e su oggetti piccoli), e quindi del livello di surriscaldamento dell'opera per il controllo del deterioramento fotochimico (tab. 18). La creazione di un ambiente completamente artificiale, consente anche di climatizzare in maniera ottimale il locale, senza variazioni (previste o impreviste) dovute a fattori esterni. Ovviamente la fissità e la concentrazione del fascio luminoso, se gestite non correttamente, rischiano di danneggiare l'opera in misura ancora maggiore di quanto possa fare la luce naturale, ed inoltre anche la luce artificiale, indipendentemente dal tipo, è soggetta ad invecchiamento e quindi ad alterazione della temperatura di colore: necessita quindi di manutenzione e sostituzione periodica, che, insieme all'inevitabile consumo energetico, la rende tendenzialmente anti-economica.

Beni di interesse storico ed artistico	$E_{max}$	$UV_{max}$	$LD_{max}$
<b>MATERIALI DI NATURA ORGANICA</b>			
Manufatti artistici di carta, cartapesta, veline, tappezzerie	50	75	200.000
Tessuti, velari, tendaggi, tappeti, tappezzerie in stoffa, arazzi, seta, costumi, abiti, paramenti religiosi, materiali in fibra naturale, sisal, juta	50	75	200.000
Cere, cere anatomiche	150	75	-
Erbari e collezioni	50	75	200.000
Collezioni entomologiche	50	75	200.000
Animali e organi anatomici conservati in formalina	50	75	200.000
Animali, organi anatomici essiccati, mummie	50	75	200.000
Pellicce, piume, animali ed uccelli impagliati	50	75	200.000
Disegni, acquerelli, pastelli e simili su supporto cartaceo	50	75	200.000
Collezioni etnografiche, maschere, cuoio, indumenti di cuoio	50	75	200.000
Dipinti su tela, pitture a olio su tela e canvasaccio, tempere, gouaches	150	75	500.000
Documenti archivistici: carta o pergamena, papiri, manoscritti, volumi a stampa, collezioni filateliche	150	75	-
Legature di libri con pelle o pergamena	50	75	200.000
<b>MATERIALI/OGGETTI DI NATURA ORGANICA</b>			
Lacche, mobili intarsiati, decorati o laccati	50	75	200.000
Sculture policrome di legno, legno dipinto, pitture su legno, icone, pendole di legno, strumenti musicali di legno	50	75	200.000
<b>MATERIALI/OGGETTI DI NATURA INORGANICA</b>			
Porcellane, ceramiche, gres, terracotta, tegola non da scavo e da scavo se demineralizzate	NR	-	-
Pietre, rocce, minerali, meteoriti (porosi) stabili	NR	-	-
Mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, meteoriti (non porosi), fossili e collezioni di pietre	NR	-	-
Metalli, metalli levigati, leghe metalliche, argenti, armature, armi, bronzi, monete, oggetti in rame, stagno, ferro, acciaio, piombo, petri	NR	-	-
Metalli con siti di corrosione attivi	NR	-	-
Ovi	NR	-	-
Gesso	150	75	200.000
Vetri instabili, iridescenti, sensibili, mosaici di vetro sensibili	150	75	200.000
<b>OGGETTI MISTI</b>			
Pittura murale, affreschi, sinopie (staccate)	NR	-	-
Pitture murali a sacco (staccate)	150	75	200.000
Avari, corna, collezioni malacologiche, uova, nidi, coralli	150	75	200.000
Dischi fotografici	-	-	-
Fibre sintetiche	50	75	200.000
Film, fotografie a colori	50	75	200.000
Film, fotografie in bianco e nero	150	75	200.000
Nastri magnetici (esclusi nastri per computer e videotape)	-	-	-
Oggetti di materiali organici provenienti da zone di scavo umide (prima del trattamento)	-	-	-
Materie plastiche	< 300	75	-

Tab. 18 - Valori prescritti per l'illuminazione di alcuni materiali e oggetti di natura organica (UNI 10829).

Attualmente il problema del risparmio energetico per l'illuminazione nei musei non è considerato una questione irrinunciabile come lo è per uffici, scuole e ospedali: i musei non sono diffusi nel territorio in quantità paragonabili a quelle degli edifici per il terziario; i musei hanno delle priorità relative alla conservazione degli oggetti esposti che spesso richiedono anche soluzioni illuminotecniche non particolarmente efficienti (annullamento della luce naturale, uso di sorgenti ad incandescenza e di fibre ottiche). D'altra parte i musei, specialmente le gallerie d'arte, non richiedono elevati livelli di illuminamento, dunque i consumi energetici relativi all'uso di luce artificiale non sono particolarmente elevati essendo invece ben più rilevanti quelli riguardanti il controllo termoigrometrico degli ambienti interni.



Fig. 114 - Sala interna del Museo di Letteratura Moderna a Marbach. L'illuminazione è esclusivamente artificiale per preservare manoscritti e materiali originali dagli effetti della luce naturale (progetto David Chipperfield).

I musei illuminati esclusivamente con luce artificiale sono molto numerosi: questa scelta è attuata a volte solo in alcune sale in cui sono esposti materiali particolarmente preziosi e fotosensibili (i manoscritti di Kafka nel Museo della Letteratura Moderna a Marbach, di David Chipperfield, fig. 114) oppure nell'intero museo soprattutto se si ricercano effetti di particolare suggestione (fig. 115).



Fig. 115 - Museo di Scienze Planetarie a Prato. L'illuminazione proviene solo dalle vetrine e tutto l'ambiente è avvolto nel buio per aumentare l'effetto suggestivo che l'argomento trattato deve ottenere.



In altri casi, come nel nuovo museo Wallraf-Richartz di Colonia, il progettista, in questo caso Oswald Mathias Ungers, ha preferito simulare la luce naturale creando vasti soffitti luminosi ma utilizzando esclusivamente la luce artificiale controllata dal sistema di gestione Zumtobel Luxmate Professional. Questa scelta è stata dettata dalla volontà di avere sempre un'estrema precisione nel dosaggio della luce. L'edificio, infatti, totalmente chiuso su tutte le facciate, presenta alcune finestre solo sul prospetto nord (fig. 116).



Fig. 116 - Wallraf-Richartz Museum a Colonia. Nel progetto di Ungers la luce naturale è completamente assente e viene solo simulata da ampi soffitti luminosi dotati di sorgenti luminose controllate con sistemi di gestione.



Ciononostante tutti i più interessanti progetti museali degli ultimi 50 anni hanno sempre visto la luce naturale come protagonista. Naturalmente, non avendo a disposizione, fino a circa 20 anni fa, tecnologie sofisticate per il controllo della luce diurna, le soluzioni per un uso efficace della luce naturale erano da trovarsi all'interno dello stesso progetto architettonico tanto che questo ne veniva totalmente trasformato e modellato. Gli esempi già "storici" sono numerosi e di grande interesse: il Kimbell Art Museum a Fort Worth, Texas (1972, fig. 117) di Louis Kahn, il Musée d'Orsay a Parigi (1986, fig. 118) di Gae Aulenti e Piero Castiglioni, il Ludwig Museum (1986, fig. 119) a Colonia di Peter Busmann e Godfried Haberer, la Menil Collection a Houston, Texas (1986, fig. 120) di Renzo Piano, la Clore Gallery (ampliamento della Tate Gallery of Modern Art) a Londra (1987, fig. 121) di James Stirling.



Fig. 117 - Kimbell Museum of Art, Fort Worth, Texas. Il progetto di Louis Kahn si compone di una serie di tunnel affiancati, coperti da volte cicloidali che integrano un dispositivo capace di schermare la luce diretta e rinviarla verso la superficie delle volte che diventano così dei grandi diffusori.



Fig. 118 - Musée d'Orsay, Parigi. Il progetto di Gae Aulenti nasce in funzione del controllo della luce naturale. La luce artificiale è integrata agli stessi sistemi che convogliano la luce diurna (progetto illuminotecnico Piero Castiglioni).



Fig. 119 - Ludwig Museum a Colonia. La luce diurna è filtrata da decine di shed inclinati che inviano la luce verso superfici curve dalle quali viene riflessa nell'ambiente in maniera morbida e naturale (prog. Busmann e Haberer).

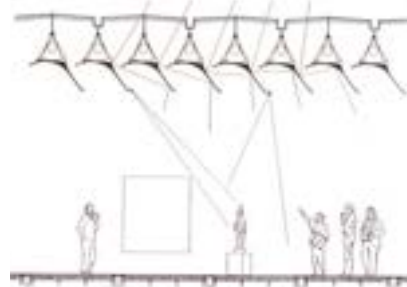
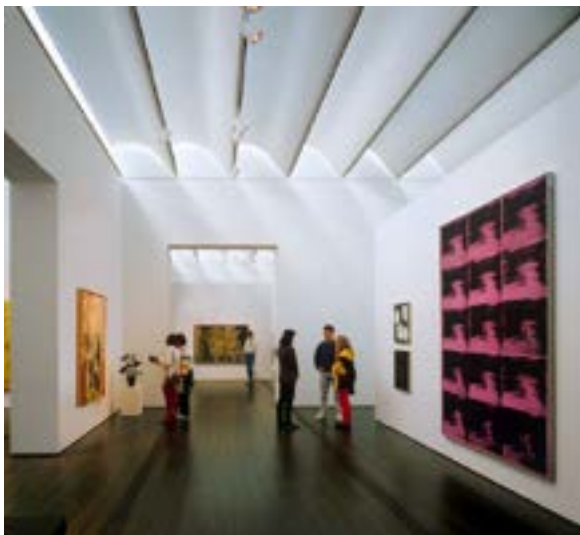
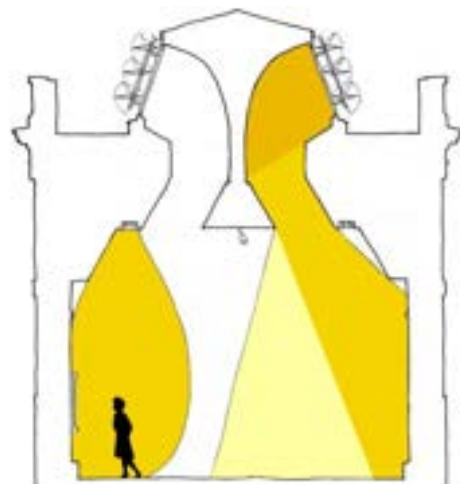


Fig. 120 - Menil Collection a Houston, Texas. La luce del museo di Renzo Piano è convogliata da pannelli curvi posti sotto una leggera copertura trasparente, in grado di riflettere la luce su entrambe le superfici e di immetterne all'interno la massima quantità.

Fig. 121 - Clore Gallery, Londra di Stirling e Wilford. L'integrazione di luce naturale e artificiale è controllata con sistemi meccanizzati per mantenere costante la luminosità interna.



Oggi le nuove tecnologie di controllo e integrazione della luce naturale ed artificiale stanno permettendo il superamento dell'eterno dilemma nella scelta tra le due fonti di luce. Ne è un esempio il recente restauro della Pinacoteca Capitolina sita nel Palazzo dei Conservatori nel Campidoglio di Roma: il nuovo impianto prevede l'illuminazione ambiente, l'illuminazione d'accento e l'illuminazione di sicurezza da affiancare alla luce naturale proveniente dai lucernari ripristinati. È stato previsto un sistema integrato, che consente di controllare quantità e qualità della luce con l'installazione di un sensore che registra il quantitativo di luce naturale entrante dai lucernari e dalle finestre, in funzione delle condizioni del cielo, e regola conseguentemente la dose di luce artificiale da fornire. La quantità di luce, pressoché costante, oscilla tra i 40 ed i 200 lux per i quadri ad olio su tela e su tavola, tra i 70 ed i 100 lux per gli arazzi ed i dipinti su carta. Un ulteriore intervento di Carlo Aymonino ha visto la chiusura con un lucernario tecnologico del Giardino Romano dove è custodita la statua di Marcaurelio (fig. 122).

Fig. 122 - Il Giardino Romano dei Musei Capitolini, dove è conservata la statua originale di Marcaurelio, è coperto da un lucernario in vetro opalescente a controllo termico e luminoso le cui lamelle autoregolano anche la ventilazione naturale.





Fig. 123 - Kunsthhaus di Bregenz. Il progetto di Peter Zumthor prevede la creazione di soffitti a luce naturale che nascondono anche i sistemi di illuminazione artificiale la cui luce è completamente integrata a quella diurna.

Dal punto di vista dell'integrazione tra luce naturale e artificiale con sistemi di controllo e sensori di luminosità uno degli esempi più interessanti è il Kunsthhaus a Bregenz di Peter Zumthor. Si tratta di un museo concepito per l'illuminazione diurna: la facciata è un involucro satinato che lascia passare la luce dentro apposite intercapedini poste tra i vari livelli dell'edificio. Nonostante la luce venga rifratta per tre volte (dalla facciata, dai serramenti isolanti e dal lucernario) risulta sufficiente ad illuminare gli ambienti in maniera diversa in base al periodo dell'anno (fig. 123). Ogni ambiente ottiene, così, un'atmosfera di luce naturale sebbene non siano presenti finestrate visibili. Sopra il soffitto appeso apposite sospensioni, dotate di lampade fluorescenti da 58W controllate da sensori posti sul tetto del museo, integrano la luce naturale nel momento in cui questa non sia più sufficiente. Ogni lampada è controllabile separatamente o in gruppo attraverso il sistema Zumtobel Luxmate e la loro distribuzione consente di ottenere la stessa uniformità che ha la luce naturale.

Un sistema di regolazione automatizzato dell'intensità delle sorgenti luminose è presente anche nel famoso museo Guggenheim a Bilbao di Frank Gehry (fig. 124). Qui è stato installato il sistema Lutron Grafik 6000. I motivi della scelta sono stati molteplici: ottenere un'illuminazione flessibile adatta ad un museo dove l'esposizione è in continuo mutamento, integrare la luce diurna presente nella maggior parte delle 19 gallerie dosandone anche la quantità attraverso il controllo dei tendaggi motorizzati installati sotto i lucernari.

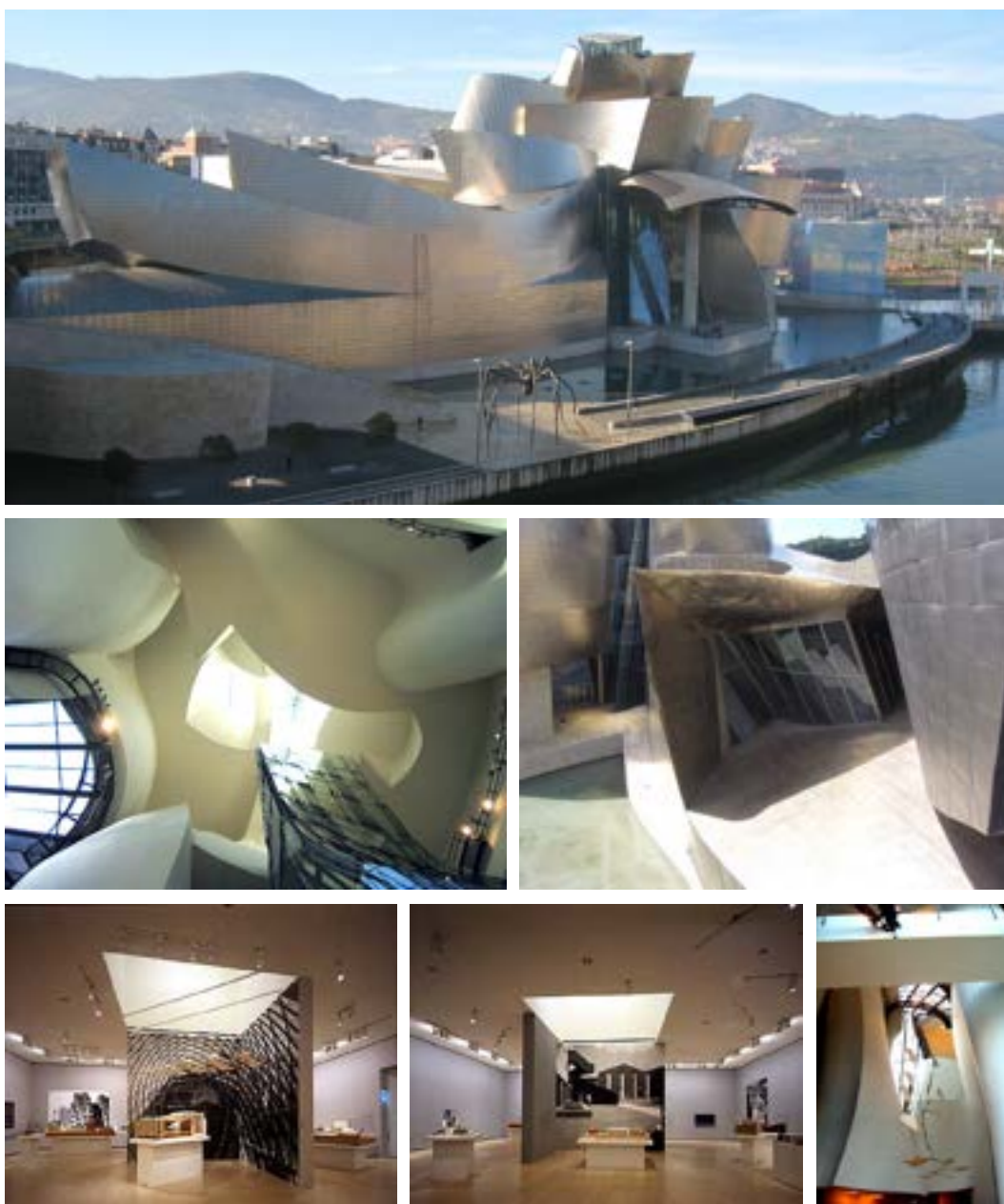


Fig. 124 - Guggenheim Museum di Bilbao. Nelle sale di questo spazio espositivo progettato da Frank Gehry penetra luce naturale dall'alto o dai lati. Anche nella hall a tutt'altezza si ha un'abbondante penetrazione di luce naturale. La luce artificiale data da sorgenti ad alogeni è tutta gestita con sistema di controllo Lutron.

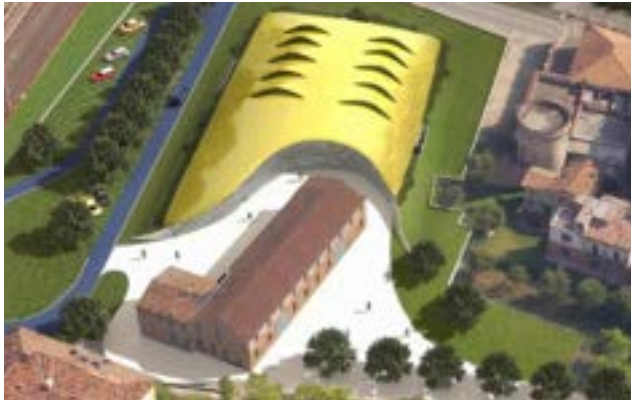


Fig. 125 - Progetto del Museo Maserati a Modena dello Studio Future Systems. L'ingresso della luce naturale nel grande ambiente interno è assicurato dalle feritoie orientate a nord inserite nella copertura. Sarà un complesso museale ad alto risparmio energetico ed elevata sostenibilità ambientale, poiché dotato di sistemi di controllo e dispositivi geotermici e realizzato con materiali e soluzioni impiantistiche all'avanguardia.



Fig. 126 - Museo "sostenibile" della California Academy of Science, di Renzo Piano. I grandi volumi della biosfera tropicale e del Planetario sporgono dal tetto verde e prendono luce dai numerosi lucernari. 1 - Isolamento realizzato con materiali naturali o riciclati; 2 - controllo climatico passivo; 3 - tetto "vivente"; 4 - luce naturale; 5 - conservazione dell'acqua.

La tendenza oggi è chiara: come in tutti i settori dell'architettura l'utilizzo di sistemi di gestione automatizzata dei parametri ambientali e la progettazione di dispositivi passivi per la climatizzazione e l'illuminazione sono un'opzione irrinunciabile anche nella progettazione museale. L'integrazione tra luce naturale ed artificiale è utilizzata, nei musei contemporanei, in maniera quasi sistematica sia per fini estetici (la qualità e la mutevolezza della luce naturale sono inimitabili) che per contribuire al risparmio energetico già conseguibile con sistemi di climatizzazione di ultima generazione (figg. 125 e 126).



## Il calcolo del LENI

### Metodologia di calcolo

Le schede di valutazione dei consumi energetici per l'illuminazione proposte nelle prossime pagine si basano sul calcolo rapido del LENI come indicato dalla norma UNI EN 15196 sintetizzata dalla seguente tabella.

Building Project		
		Locale 1
<b>Parasitic Power</b>		
Total emergency charging power ( $P_{em}$ )	(1)	
Total lighting controls standby power ( $P_{pc}$ )	(2)	
<b>Luminaire Data</b>		
Total installed power ( $P_n$ )	(3)	
<b>Operating Hours</b>		
Daylight operating hours (tD)	(4)	
Non-daylight operating hours (tN)	(5)	
Standard year time (ty)	(6)	
Emergency lighting charge time (te)	(7)	
<b>Factors</b>		
Constant illuminance factor (FC)	(8)	
Occupancy dependency factor (FO)	(9)	
Daylight dependency factor (FD)	(10)	
<b>Parasitic Energy</b>		
Lighting controls parasitic power [ (2) x [ (6) - ( (4) + (5) ) ]	(11)	0.00
Emergency lighting parasitic factor [ (1) x (7) ]	(12)	0.00
<b>Total parasitic energy usage</b> ( (11) + (12) ) / 1000	(13)	0.00
<b>Illumination Energy</b>		
Energy usage without daylight/occupancy control [ (3) x (8) ]	(14)	0.00
Daylight energy usage [ (4) x (9) x (10) ]	(15)	0.00
Non-daylight energy usage [ (5) x (9) ]	(16)	0.00
<b>Total energy usage for illumination</b> [ { (14) x [ (15) + (16) ] } / 1000 ]	(17)	0.00
<b>Total annual energy usage</b> [ (13) + (17) ]	(18)	0.00
Total useful floor area in m2	(19)	
<b>Lighting energy numeric indicator (LENI)</b> [ (18) / (19) ]	(20)	0.00



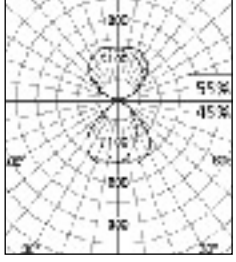


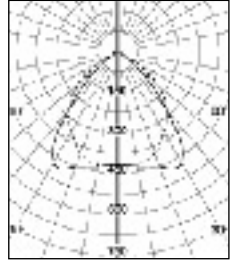
## **Casi studio rappresentativi del panorama costruttivo italiano**



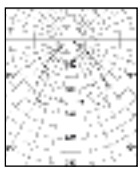

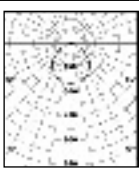
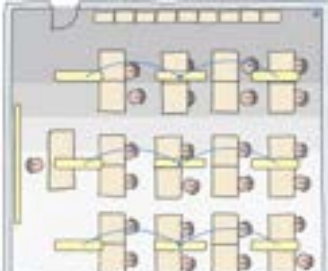

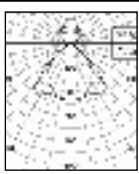

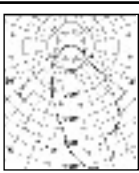
I casi studio analizzati alle pagine seguenti sono spazi teorici facilmente rintracciabili nel panorama costruttivo nazionale per quanto riguarda uffici e scuole.



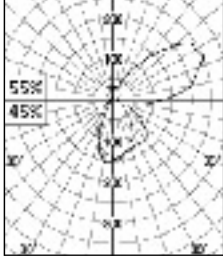
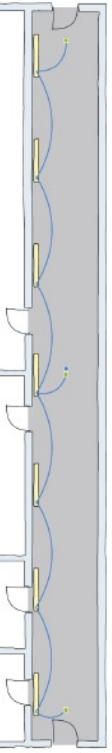

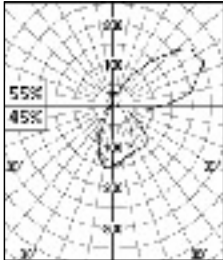
Il tipo di impianto di illuminazione è quello con maggiore efficienza, dotato di sistemi di controllo e gestione per l'integrazione di luce naturale e artificiale. I sensori, integrati agli apparecchi o installati in posizione remota, sono di 4 tipi:

- sensore di presenza; spegne e accende la luce automaticamente; dopo alcuni minuti dall'ultima rilevazione di presenza le luci vengono spente;
- dimmer di presenza; accende l'impianto automaticamente con emissione di luce ridotta e lo porta all'emissione minima dopo alcuni minuti di assenza;
- sensore di assenza; evita accensioni automatiche indesiderate; la luce va accesa manualmente ma si spegne automaticamente in caso di assenza;
- sensore di luce diurna e di luce costante; adatta l'emissione di luce alla presenza di luce naturale nell'ambiente e riduce l'emissione di luce nei primi anni di vita dell'impianto per correggere il normale sovradimensionamento.

Il LENI che risulta dai calcoli effettuati secondo la procedura alla pagina precedente (quindi secondo la norma UNI EN 15193) è indicativo per la singola area esaminata. Le ore di utilizzo dei vari ambienti analizzati sono quelli previsti dalla stessa norma mentre i valori in lux richiesti per i vari casi studio sono quelli previsti dalla norma UNI EN 12464.

<b>Ufficio a cellula 2,4 x 4 m</b>	<b>ILLUMINAMENTO</b> $\geq 500$ lux sul piano di lavoro $\geq 300$ lux intorno al tavolo	
 <p>Ufficio cellulare con sospensione orientata secondo il piano di lavoro.</p> <p>Durante i 20 anni di operatività dell'impianto il sistema di controllo permette di risparmiare 1960 kWh rispetto alla stessa situazione con interruttori manuali.</p> <p>Il consumo totale annuale con interruttori manuali è pari a 140 kWh, quindi con un sistema di controllo si ha un risparmio del 60% (elaborazione Fagerhult).</p>	<b>Sospensione Ten Lamell - Fagerhult</b> 2 x 35 W - consumo totale 77 W - rendimento 74,9%	
	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sensore di assenza</li> <li>● sensore di luce diurna e di luce costante</li> </ul>
	$W_{\text{light}}$ 47 kWh per anno	$W_{\text{parasitic}}$ 9 kWh per anno
	$W_{\text{total}}$ 56 kWh per anno	
	$LENI_{\text{sub-area}}$ 5,8 kWh/mq per anno	
<b>Ufficio 2 posti 4,8 x 4 m</b>	<b>ILLUMINAMENTO</b> $\geq 500$ lux sul piano di lavoro $\geq 300$ lux intorno al tavolo	
 <p>Ufficio per due persone con apparecchi ad incasso orientati secondo il senso di lunghezza del locale e paralleli alle finestre.</p> <p>Durante i 20 anni di operatività dell'impianto il sistema di controllo permette di risparmiare 2090 kWh rispetto alla stessa situazione con interruttori manuali.</p> <p>Il consumo totale annuale con interruttori manuali è pari a 222 kWh, quindi con un sistema di controllo si ha un risparmio del 47% (elaborazione Fagerhult).</p>	<b>Incasso da soffitto Multifive Beta - Fagerhult</b> 1 x 28 W - consumo totale 33 W - rendimento 87,2%	
	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sensore di assenza</li> <li>● sensore di luce diurna e di luce costante</li> </ul>
	$W_{\text{light}}$ 87 kWh per anno	$W_{\text{parasitic}}$ 30 kWh per anno
	$W_{\text{total}}$ 117 kWh per anno	
	$LENI_{\text{sub-area}}$ 6,1 kWh/mq per anno	

<b>Ufficio grande 12 x 10 m</b>	ILLUMINAMENTO $\geq 500$ lux sul piano di lavoro
	<p>Incassi Como Wide - Fagerhult 2 x 28 W - consumo totale 62 W - rendimento 60% incasso Pleiad Compact 1 x 26 W - rendimento 60%</p>
<p>Ufficio grande con illuminazione generale costituita da incassi lineari con fluorescente T5 e incassi circolari con fluorescente compatta.</p> <p>I sensori di luce diurna/luce costante sono integrati in un apparecchio di ogni fila (un sensore ogni 30 mq), quelli di presenza sono collocati agli angoli.</p> <p>Durante i 20 anni di operatività dell'impianto il sistema di controllo permette di risparmiare 13.468 kWh rispetto alla stessa situazione con interruttori manuali.</p> <p>Il consumo totale annuale con interruttori manuali è pari a 2.682 kWh, quindi con un sistema di controllo si ha un risparmio del 25% (elaborazione Fagerhult).</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">■</span> sensore di presenza</li> <li><span style="color: blue;">●</span> sensore di luce diurna e di luce costante</li> </ul> <p><math>W_{light}</math> 1.867 kWh per anno  <math>W_{parasitic}</math> 141 kWh per anno  <math>W_{total}</math> 2.008 kWh per anno</p> <p>LENI<sub>sub-area</sub> 16,7 kWh/mq per anno</p>
<b>Aula scolastica 8,4 x 7,2 m</b>	ILLUMINAMENTO $\geq 500$ lux sul piano di lavoro
	<p>Sospensioni Zora Beta - Fagerhult 1 x 49 W - consumo totale 56 W - rendimento 88,1% apparecchi Lento 1 x 28 W - cons. tot. 33 W - rend. 85%</p>
<p>Aula con illuminazione generale costituita da 9 sospensioni con fluorescente T5 e 3 apparecchi a parete per la lavagna.</p> <p>I sensori di luce diurna/luce costante sono integrati in un apparecchio di ogni fila. Un sensore di assenza è posto in un angolo della stanza.</p> <p>Durante i 20 anni di operatività dell'impianto il sistema di controllo permette di risparmiare 6.230 kWh rispetto alla stessa situazione con interruttori manuali.</p> <p>Il consumo totale annuale con interruttori manuali è pari a 983 kWh, quindi con un sistema di controllo si ha un risparmio del 32% (elaborazione Fagerhult).</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> sensore di assenza</li> <li><span style="color: blue;">●</span> sensore di luce diurna e di luce costante</li> </ul> <p><math>W_{light}</math> 600 kWh per anno  <math>W_{parasitic}</math> 71 kWh per anno  <math>W_{total}</math> 2671 kWh per anno</p> <p>LENI<sub>sub-area</sub> 11,1 kWh/mq per anno</p>

<b>Corridoio scuola 21 x 1,8 m</b>	<b>ILLUMINAMENTO</b> $\geq 100$ lux sul pavimento
 <p>Corridoio finestrato illuminato con 7 apparecchi con fluorescente T5.</p> <p>I sensori di luce diurna/luce costante sono iposizionati nel centro del corridoio mentre tre dimmer di presenza sono collocati al centro e alle estremità.</p> <p>Durante i 20 anni di operatività dell'impianto il sistema di controllo permette di risparmiare 3.206 kWh rispetto alla stessa situazione con interruttori manuali.</p> <p>Il consumo totale annuale con interruttori manuali è pari a 305 kWh, quindi con un sistema di controllo si ha un risparmio del 53% (elaborazione Fagerhult).</p>	<p>Apparecchi Sektor - Fagerhult 1 x 28 W - consumo totale 33 W - rendimento 73%</p>   <ul style="list-style-type: none"> <li>■ dimmer di presenza</li> <li>● sensore di luce diurna e di luce costante</li> </ul> <p><math>W_{light}</math>     90 kWh per anno</p> <p><math>W_{parasitic}</math> 55 kWh per anno</p> <p><math>W_{total}</math>     145 kWh per anno</p> <hr/> <p>LENI<sub>sub-area</sub> 13,8 kWh/mq per anno</p>
<b>Corridoio scuola 21 x 1,8 m</b>	<b>ILLUMINAMENTO</b> $\geq 100$ lux sul pavimento
 <p>Corridoio senza finestre illuminato con 7 apparecchi con fluorescente T5.</p> <p>Il sensore di luce costante è posizionato nel centro del corridoio mentre tre dimmer di presenza sono collocati al centro e alle estremità.</p> <p>Durante i 20 anni di operatività dell'impianto il sistema di controllo permette di risparmiare 2.732 kWh rispetto alla stessa situazione con interruttori manuali.</p> <p>Il consumo totale annuale con interruttori manuali è pari a 434 kWh, quindi con un sistema di controllo si ha un risparmio del 32% (elaborazione Fagerhult).</p>	<p>Apparecchi Sektor - Fagerhult 1 x 28 W - consumo totale 33 W - rendimento 73%</p>   <ul style="list-style-type: none"> <li>■ dimmer di presenza</li> <li>● sensore di luce costante</li> </ul> <p><math>W_{light}</math>     242 kWh per anno</p> <p><math>W_{parasitic}</math> 55 kWh per anno</p> <p><math>W_{total}</math>     1297 kWh per anno</p> <hr/> <p>LENI<sub>sub-area</sub> 7,9 kWh/mq per anno</p>

## Schede di valutazione dei consumi energetici per illuminazione

Le schede che seguono, a differenza di quelle del capitolo precedente, mostrano la stessa tipologia edilizia con impianti dall'efficienza energetica crescente. In particolare sono analizzate le abitazioni (l'appartamento-tipo di 96 mq, fig. 127, descritto anche a pag. 79) e i locali per uffici (ambiente di 95 mq, fig. 128).

I primi sono stati analizzati senza utilizzare la norma UNI EN 15193 poiché, anche se provvisti di sistemi di domotica, non si prestano all'utilizzo di dispositivi per l'integrazione della luce naturale e artificiale per il semplice motivo che non ci sono ambienti della casa dove si trascorre una quantità di tempo tale da giustificare l'adozione di tali sistemi (a parte il raro caso della casa-studio dove l'ambiente di lavoro è assimilabile ad un ufficio). Tuttavia, proprio perché gli appartamenti non sono contemplati dalla sopra citata norma (le indicazioni sull'illuminazione delle abitazioni sono contenute in alcune raccomandazioni che individuano illuminamento, temperatura di colore, resa cromatica e classe di abbagliamento come in tabella 19), si tratta di un settore nel quale la prestazione energetica per l'illuminazione non è stata mai definita con precisione, né è stato ancora analizzato il reale impatto dell'uso di sorgenti ad alta efficienza luminosa. È vero che, come è stato detto, il risparmio energetico conseguibile nel settore residenziale è ben poca cosa all'interno dei consumi elettrici globali del paese, tuttavia, trattandosi di un argomento intorno al quale si stanno diffondendo slogan e pregiudizi, è bene individuare con chiarezza i numeri che stanno dietro questa questione e tenere conto del rapporto costi/benefici che caratterizza ogni scelta di illuminazione.

**Tab. 19 - Indicazioni per l'illuminamento, la temperatura di colore, la resa cromatica e la classe di abbagliamento relativi all'illuminazione di spazi abitativi.**

Tipo di locale, compito visivo o attività	Valori di $E_v$ (lux)	Gradazione di colore	$R_a$	$G$
Zona di conversazione o di passaggio	50-100-150	W	1A	A
Zona di lettura	200-300-500	W	1A	A
Zona di scrittura	300-500-750	W	1A	A
Zona dei pasti	100-150-200	W	1A	A
Cucina	200-300-500	W	1A	A
Bagno:				
– illuminazione generale	50-100-150	W	1A	B
– zona specchio	200-300-500	W	1A	B
Camere:				
– illuminazione generale	50-100-150	W	1A	B
– zona armadi	200-300-500	W	1A	B
– letti	200-300-500	W	1A	B
– stiratura, cucitura e rammendo	500-750-1000	W	1A	A

Per quanto riguarda il settore uffici, invece, non solo è l'ambito di riferimento della UNI sopra citata, ma è anche quello dove si riscontrano i maggiori consumi per l'illuminazione in rapporto ai consumi energetici complessivi (pag. 9 e seguenti) per via degli elevati illuminamenti richiesti (tab. 20) e della durata dell'attività. Per questo motivo altre quattro schede sono dedicate all'analisi di possibili scenari prestazionali negli uffici, con situazioni di crescente efficienza utilizzando varie strategie descritte nelle schede stesse e presentate a pag. 33 e seguenti. Non sono stati contemplati casi di applicazione di light shelves o di vetri speciali in quanto generalmente questi migliorano il comfort visivo eliminando i raggi solari diretti o deviandoli verso il plafone senza, tuttavia, modificare in modo rilevante il Fattore medio di luce diurna e dunque il comportamento dei sensori di luce naturale.

Attività	Em	UGR	Ra
Archiviazione, copiatura, aree di circolazione	300	19	80
Scrittura, dattilografia, lettera, elaborazione dati	500	19	80
Disegno tecnico	750	16	80
Postazioni CAD	500	19	80
Sale conferenze e riunioni	500	19	80
Ricezione (reception)	300	22	80
Archivi	200	25	80

**Tab. 20 - Prescrizioni illuminotecniche per uffici (norma UNI EN 12464).**



**Fig. 127 - Appartamento di 96 mq analizzato con impianti di diversa prestazione energetica.**



**Fig. 128 - Ufficio di 95 mq analizzato con impianti a crescente efficienza energetica e con l'implementazione di sistemi di gestione per l'integrazione di luce diurna e artificiale.**

<b>classe E.1</b> impianto tipo a	<b>EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA e</b> <b>ASSIMILABILI</b>
<b>appartamento 4 vani</b>	<b>superficie</b> 96 mq (media nazionale)
<b>lampade</b> incandescenza 35, 40, 60, 75, 100W	<b>apparecchi</b> sospensioni, applique, piantane lumi da tavolo, plafoniere, incassi
	
<b>efficienza delle sorgenti</b> 10-14 lm/W	<b>rendimento degli apparecchi</b> 20-80%
<b>potenza installata</b> 1.475 W	<b>flusso disponibile</b> 16.730 lumen
<b>efficienza media</b> 11,34 lm/W	<b>Illuminamento richiesto</b> 50-750 lux a secondo dell'ambiente
<b>durata accensione</b> 2000 h x anno	<b>LENI</b> = 8 kWh/mq anno media ponderata dei valori $E_{pill}$ dei vari locali

<b>Locale</b>	<b>Potenza</b>	<b>Flusso</b>	<b>Ore</b>	<b>Dimens.</b>	<b>LENI</b>
ingresso	2 x 40W	830 lm	90 h	4 mq	1,8
disimpegno	2 x 40W	830 lm	90 h	6 mq	1,2
2 bagni	1 x 100W + 2 x 40W	1340+830 lm	360 h	4 + 6 mq	13
cucina-pranzo	1 x 100W + 4 x 35W	1340+1600 lm	1100 h	20 mq	13
soggiorno	2 x 100W + 1 x 75W	2680+930 lm	730 h	20 mq	10
2 camere	1 x 100W + 2 x 60W	1340+1420 lm	360 h	18 + 18 mq	4,4

<b>classe E.1</b> impianto tipo b	<b>EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA e</b> <b>ASSIMILABILI</b>
<b>appartamento 4 vani</b>	<b>superficie</b> 96 mq (media nazionale)
<b>lampade</b> alogeni alta efficienza 20, 30, 60, 70 W 	<b>apparecchi</b> sospensioni, applique, piantane lumi da tavolo, plafoniere, incassi 
<b>efficienza delle sorgenti</b> 14-20 lm/W	<b>rendimento degli apparecchi</b> 30-80%
<b>potenza installata</b> 1.110W	<b>flusso disponibile</b> 19.280 lumen
<b>efficienza media</b> 17,5 lm/W	<b>Illuminamento richiesto</b> 50-750 lux a secondo dell'ambiente
<b>durata accensione</b> 2000 h x anno	<b>LENI</b> = 5,75 KWh/mq anno media ponderata dei valori $E_{pill}$ dei vari locali

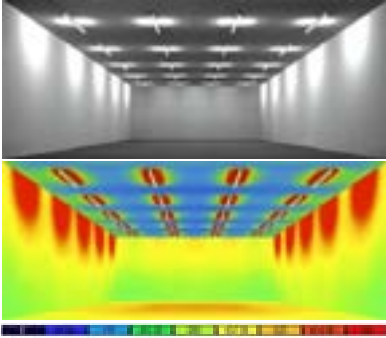
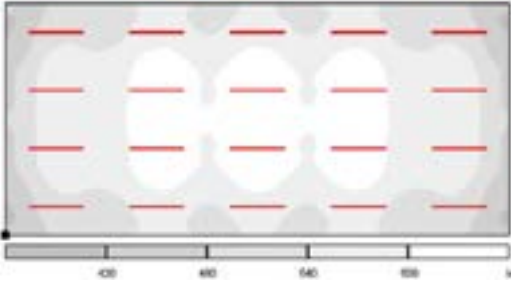

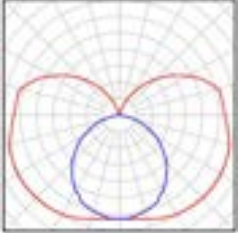
<b>Locale</b>	<b>Potenza</b>	<b>Flusso</b>	<b>Ore</b>	<b>Dimens.</b>	<b>LENI</b>
ingresso	2 x 30W	1240 lm	90 h	4 mq	1,35
disimpegno	2 x 30W	1240 lm	90 h	6 mq	0,9
2 bagni	1 x 70W + 2 x 30W	1200+1240 lm	360 h	4 + 6 mq	9,36
cucina-pranzo	1 x 70W + 4 x 20W	1200+1440 lm	1100 h	20 mq	8,25
soggiorno	2 x 70W + 1 x 60W	2680+840 lm	730 h	20 mq	7,3
2 camere	1 x 70W + 2 x 60W	1200+1680 lm	360 h	18 + 18 mq	3,8

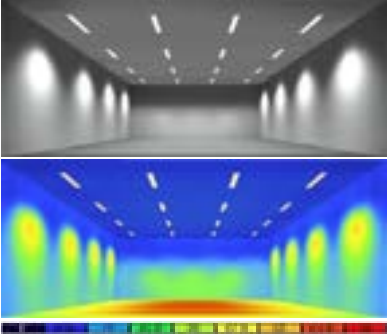
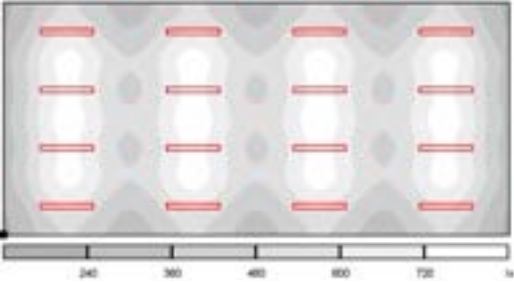

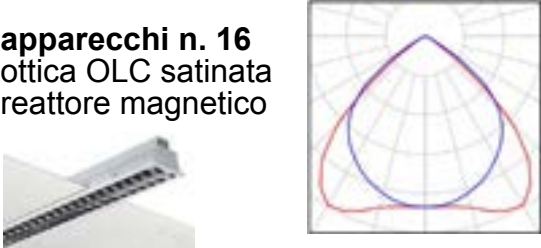
<b>classe E.1</b> impianto tipo c	<b>EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA e ASSIMILABILI</b>
<b>appartamento 4 vani</b>	<b>superficie</b> 96 mq (media nazionale)
<b>lampade</b> fluorescenza e alogeni 8, 16, 23, 30, 70 W 	<b>apparecchi</b> sospensioni, applique, piantane lumi da tavolo, plafoniere, incassi 
<b>efficienza delle sorgenti</b> 14-65 lm/W	<b>rendimento degli apparecchi</b> 30-80%
<b>potenza installata</b> 607 W	<b>flusso disponibile</b> 20.350 lumen
<b>efficienza media</b> 33,5 lm/W	<b>Illuminamento richiesto</b> 50-750 lux a secondo dell'ambiente
<b>durata accensione</b> 2000 h x anno	<b>LENI</b> = 2,6 KWh/mq anno media ponderata dei valori E <sub>pill</sub> dei vari locali

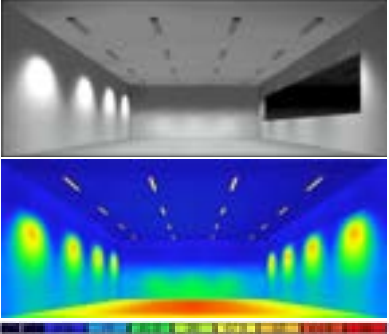
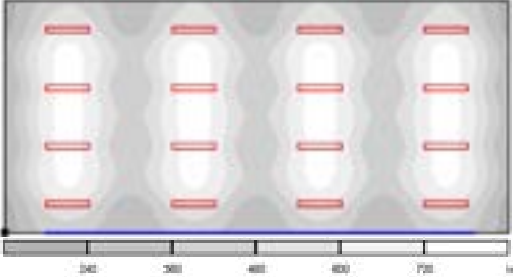


<b>Locale</b>	<b>Potenza</b>	<b>Flusso</b>	<b>Ore</b>	<b>Dimens.</b>	<b>LENI</b>
ingresso	2 x 30W	1240 lm	90 h	4 mq	1,35
disimpegno	2 x 30W	1240 lm	90 h	6 mq	0,9
2 bagni	1 x 70W + 2 x 30W	1200+1240 lm	360 h	4 + 6 mq	9,36
cucina-pranzo	1 x 23W + 4 x 8W	1500+1680 lm	1100 h	20 mq	3
soggiorno	2 x 23W + 1 x 16W	3000+930 lm	730 h	20 mq	2,26
2 camere	1 x 23W + 2 x 16W	1200+1740 lm	360 h	18 + 18 mq	1,1

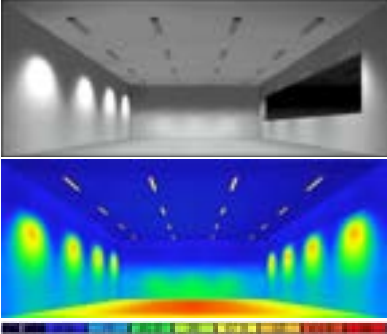
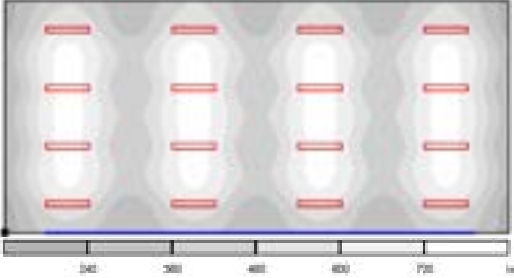

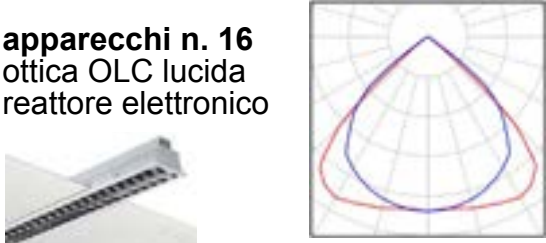
<b>classe E.1</b> impianto tipo d	<b>EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA e</b> <b>ASSIMILABILI</b>
<b>appartamento 4 vani</b>	<b>superficie</b> 96 mq (media nazionale)
<b>lampade</b> fluorescenza alta qualità e led attacco E27 e E40 7, 8, 11, 16, 20, 23 W 	<b>apparecchi</b> sospensioni, applique, piantane lumi da tavolo, plafoniere, incassi 
<b>efficienza delle sorgenti</b> 48-65 lm/W	<b>rendimento degli apparecchi</b> 30-80%
<b>potenza installata</b> 355 W	<b>flusso disponibile</b> 19.830 lumen
<b>efficienza media</b> 55 lm/W	<b>Illuminamento richiesto</b> 50-750 lux a secondo dell'ambiente
<b>durata accensione</b> 2000 h x anno	<b>LENI</b> = 1,9 KWh/mq anno media ponderata del LENI dei singoli locali

<b>Locale</b>	<b>Potenza</b>	<b>Flusso</b>	<b>Ore</b>	<b>Dimens.</b>	<b>LENI</b>
ingresso	2 x 11W	1060 lm	90 h	4 mq	0,5
disimpegno	2 x 11W	1060 lm	90 h	6 mq	0,33
2 bagni	1 x 20W + 2 x 11W	1300+1060 lm	360 h	4 + 6 mq	3,17
cucina-pranzo	1 x 23W + 4 x 8W	1500+1680 lm	1100 h	20 mq	3
soggiorno	2 x 23W + 1 x 16W	3000+930 lm	730 h	20 mq	2,26
2 camere	1 x 23W + 2 x 7W	1200+1740 lm	360 h	18 + 18 mq	1,1

<p><b>classe E.2</b> impianto tipo a</p>	<p><b>EDIFICI ADIBITI A UFFICI e ASSIMILABILI</b></p>
<p><b>ufficio open space 95 mq</b></p> 	<p><b>Illuminamento previsto <math>E_m = 561</math> lx</b>  <math>\geq 500</math> lux sul tavolo, <math>\geq 300</math> lux intorno</p> 
<p><b>lampade</b> fluorescenza T8 58W/840 Ra 85 - 5200 lm</p> 	<p><b>apparecchi n. 20</b> privi di riflettore reattore magnetico</p> 
<p><b>efficienza delle sorgenti</b> 89 lm/W - classe A</p>	<p><b>rendimento degli apparecchi</b> 100%</p>
<p><b>perdite reattore</b> 12,5 W magnetico tradiz.</p>	<p><b>potenza totale apparecchio</b> 70,5 W</p>
<p><b>potenza installata</b> 1160 W lampade 12W/mq 250 W reattori</p>	<p><b>flusso disponibile</b> 104.000 lumen</p>
<p><b>efficienza sistema</b> 73,7 lm/W</p>	<p><b>illuminazione emergenza</b> 1 kWh/mq anno</p>
<p><b> sensore luce naturale</b> NO</p>	<p><b> sensore di presenza</b> NO</p>
<p><b>durata accensione</b> 2500 h x anno</p>	<p><b>LENI = 38,10 kWh/mq anno</b>  <math>[(2.900 + 625) / 95] + 1</math></p>

<p><b>classe E.2</b> impianto tipo b</p>	<p><b>EDIFICI ADIBITI A UFFICI e ASSIMILABILI</b></p>
<p><b>ufficio open space 95 mq</b></p> 	<p><b>Illuminamento previsto <math>E_m = 543 \text{ lx}</math></b> <math>\geq 500 \text{ lux}</math> sul tavolo, <math>\geq 300 \text{ lux}</math> intorno</p> 
<p><b>lampade</b> fluorescenza T8 58W/840 Ra 85 - 5200 lm</p> 	<p><b>apparecchi n. 16</b> ottica OLC satinata reattore magnetico</p> 
<p><b>efficienza delle sorgenti</b> 89 lm/W - classe A</p>	<p><b>rendimento degli apparecchi</b> 74%</p>
<p><b>perdite reattore</b> 8,5 W magnetico basse p.</p>	<p><b>potenza totale apparecchio</b> 66,5 W</p>
<p><b>potenza installata</b> 928 W lampade 9,8 W/mq 136 W reattori</p>	<p><b>flusso disponibile</b> 83.200 lumen</p>
<p><b>efficienza sistema</b> 78,2 lm/W</p>	<p><b>illuminazione emergenza</b> 1 kWh/mq anno</p>
<p><b> sensore luce naturale</b> NO</p>	<p><b> sensore di presenza</b> NO</p>
<p><b>durata accensione</b> 2500 h x anno</p>	<p><b>LENI = 29 kWh/mq anno</b> <math>[(2.320 + 340) / 95] + 1</math></p>

<p><b>classe E.2</b> impianto tipo c</p>	<p><b>EDIFICI ADIBITI A UFFICI e ASSIMILABILI</b></p>
<p><b>ufficio open space 95 mq</b></p> 	<p><b>Illuminamento previsto <math>E_m = 526 \text{ lx}</math></b> <math>\geq 500 \text{ lux}</math> sul tavolo, <math>\geq 300 \text{ lux}</math> intorno</p> 
<p><b>lampade</b> fluorescenza T5 2 x 28W/ 840 Ra 85 - 5200 lm</p> 	<p><b>apparecchi n. 16</b> ottica OLC lucida reattore elettronico</p> 
<p><b>efficienza delle sorgenti</b> 104 lm/W - classe A</p>	<p><b>rendimento degli apparecchi</b> 75%</p>
<p><b>perdite reattore</b> 4 W magnetico basse p.</p>	<p><b>potenza totale apparecchio</b> 60 W</p>
<p><b>potenza installata</b> 896 W lampade 9,4 W/mq 64 W reattori</p>	<p><b>flusso disponibile</b> 83.200 lumen</p>
<p><b>efficienza sistema</b> 86,7 lm/W</p>	<p><b>illuminazione emergenza</b> 1 kWh/mq anno</p>
<p><b> sensore luce naturale</b> NO</p>	<p><b> sensore di presenza</b> NO</p>
<p><b>durata accensione</b> 2500 h x anno</p>	<p><b>LENI = 25,26 kWh/mq anno</b> <math>[(2.240 + 160) / 95] + 1</math></p>

<p><b>classe E.2</b> impianto tipo d</p>	<p><b>EDIFICI ADIBITI A UFFICI e ASSIMILABILI</b></p>
<p><b>ufficio open space 95 mq</b></p> 	<p><b>Illuminamento previsto <math>E_m = 526 \text{ lx}</math></b> <math>\geq 500 \text{ lux}</math> sul tavolo, <math>\geq 300 \text{ lux}</math> intorno</p> 
<p><b>lampade</b> fluorescenza T5 2 x 28W/ 840 Ra 85 - 5200 lm</p> 	<p><b>apparecchi n. 16</b> ottica OLC lucida reattore elettronico</p> 
<p><b>efficienza delle sorgenti</b> 104 lm/W - classe A</p>	<p><b>rendimento degli apparecchi</b> 75%</p>
<p><b>perdite reattore</b> 4 W magnetico basse p.</p>	<p><b>potenza totale apparecchio</b> 60 W</p>
<p><b>potenza installata</b> 896 W lampade 9,4 W/mq 64 W reattori</p>	<p><b>flusso disponibile</b> 83.200 lumen</p>
<p><b>efficienza sistema</b> 86,7 lm/W</p>	<p><b>illuminazione emergenza</b> 1 kWh/mq anno</p>
<p><b>sensore luce naturale</b> SI (lat. 38°, finestra a sud)</p>	<p><b>sensore di presenza</b> SI</p>
<p><b>durata accensione</b> td = 2250 h tn = 250 h</p>	<p><b>LENI = 22 kWh/mq anno</b> 16 (light) + 6 (parasitic)</p>

## **Analisi dei risultati**

I risultati delle schede di valutazione al capitolo precedente possono essere ulteriormente analizzati per individuare le soluzioni migliori da adottare nel settore residenziale e in quello del terziario.

Ciò che appare subito evidente è che, nonostante i due ambienti considerati abbiano dimensioni pressoché identiche, i valori di LENI ottenuti con i differenti impianti sono molto lontani tra di loro. Questo si spiega per le diverse prestazioni visive (negli uffici è necessario un illuminamento da 2 a 5 volte maggiore di quello adatto agli ambienti domestici) e per la differente durata di accensione delle luci (nonostante la permanenza negli uffici sia prevalentemente diurna e quella nelle abitazioni prevalentemente serale/notturna, le ore di accensione negli uffici sono considerate 2.500 continue contro le 2.000 cumulative delle abitazioni).

Per quanto riguarda il primo settore i quattro casi analizzati danno delle informazioni molto chiare: nel passaggio dalla situazione più sfavorevole (impianto tipo “a”, sorgenti luminose esclusivamente ad incandescenza) a quella immediatamente più efficiente (impianto tipo “b”, sorgenti ad incandescenza con alogeni) si assiste ad una riduzione del LENI del 30%; confrontando nuovamente la prima soluzione con un’ipotesi di sorgenti miste (impianto tipo “c”, fluorescenti compatte negli ambienti con maggiore permanenza e incandescenza con alogeni negli ambienti di passaggio) si osserva una riduzione del LENI molto più drastica, pari al 70% ca.; infine, con la soluzione di massima efficienza (impianto tipo “d”, fluorescenti compatte e sorgenti a LED) si ha un abbattimento del LENI del 76% rispetto a quello dell’impianto tipo “a”.

Naturalmente ciò non significa automaticamente che l’impianto di tipo “d” sia il più conveniente in assoluto: occorre, infatti, tener conto che si tratta di sorgenti dal costo iniziale molto più elevato, caratterizzate da un impatto del *life cycle* di gran lunga maggiore rispetto a quello delle lampade ad incandescenza (con alogeni e non).

Peraltro si può notare come la differenza tra il LENI dell’impianto tipo “c” e quello dell’impianto tipo “d” non sia particolarmente rilevante essendo solo del 6% rispetto all’impianto tipo “a”. Questo significa che, mettendo in conto anche i consumi energetici per la produzione delle lampade fluorescenti e a led e quelli relativi alla dismissione delle fluorescenti, l’ipotesi di installare nelle abitazioni solo sorgenti fluorescenti e a led è, dal punto di vista ambientale, poco sostenibile se, con un impianto misto, si può ottenere un risparmio di poco inferiore riducendo però l’impatto a livello di *life cycle*.

La proposta di regolamento approvata dall’Unione Europea nel dicembre

2008, tuttavia, non tiene conto di queste elementari osservazioni e prevede la messa al bando di tutte le sorgenti ad incandescenza dal 2012 con un'eliminazione progressiva dal commercio a partire dal 2009. Peraltro, in Italia, una norma inserita nell'ultimo decreto "milleproroghe" mette al bando le lampadine tradizionali già dal 1 gennaio 2011. Ma si tratta, secondo Assoluce (Associazione dei produttori del settore illuminazione) e Apil (Associazione dei progettisti dell'illuminazione), di una norma sbagliata che si fonda sul falso mito secondo cui le lampade fluorescenti sarebbero più ecologiche di quelle tradizionali. Inoltre, accanto alle considerazioni sul maggiore costo di produzione e di smaltimento delle lampade fluorescenti (in Europa oggi esistono solo due impianti in grado di dismetterle) non va dimenticato il maggior valore estetico e luminoso delle lampade ad incandescenza: come si può pensare di illuminare i musei con lampade fluorescenti falsando così i colori dei dipinti esposti? La messa al bando delle incandescenti non aiuta, dunque, a risolvere il problema del consumo di energia perché prescinde dal fatto che tipologie diverse di sorgenti luminose siano utilizzate con finalità diverse.

Considerazioni analoghe possono essere fatte per quanto riguarda l'illuminazione degli uffici. Anche in questo caso si parla molto dei sistemi di integrazione della luce naturale e artificiale come l'ovvia soluzione per risparmiare enormi quantità di energia. Eppure le schede di valutazione mostrano come, partendo dalla situazione più sfavorevole (impianto tipo "a" con apparecchi senza riflettore, tubi fluorescenti tipo T8 e reattori ferromagnetici, senza sistemi di controllo) si abbia un risparmio del 24% solo con l'aggiunta di un buon riflettore intorno alla stessa sorgente luminosa e di un reattore sempre ferro-magnetico ma con basse perdite (impianto tipo "b"); il risparmio si porta al 33% se nello stesso apparecchio si sostituisce la sorgente con un tubo T5 ad alta efficienza e si utilizza un alimentatore elettronico (impianto tipo "c"); nel caso in cui a quest'ultimo tipo di impianto si aggiunge un sistema di controllo con gestione dell'integrazione di luce naturale e artificiale e sensori di presenza (impianto tipo "d"), il risparmio si porta al 43%. Tuttavia la differenza tra l'impianto di tipo "c" e quello tipo "d" è solo del 10%. Questo è dovuto al fatto che, anche se i consumi per l'illuminazione si sono in realtà ridotti del 56% (e quindi il 23% in meno rispetto alla soluzione "c") occorre aggiungere i consumi propri del sistema di gestione che vanificano una parte del risparmio conseguibile (come già visto alle pagine 84 e 85).

Tutto ciò significa che tutti i sistemi o le sorgenti che, apparentemente, possono fare risparmiare energia elettrica per l'illuminazione, vanno comunque valutati attentamente ed utilizzati nel contesto adatto e nelle condizioni più favorevoli affinché il potenziale di risparmio possa esplicarsi al massimo.



## BIBLIOGRAFIA

### Libri

Alcamo Giuseppina, a cura di, *Illuminazione naturale e simulazioni energetiche*, Alinea Editrice, Firenze 2007

Ander Gregg D., *Daylighting Performance and Design*, John Wiley & Sons, 2003

Arcesilai Giordana, Weissenberg Thomas, *Progettare la luce, la casa*, Editrice Compositori, Bologna 2007

Bianchi Francesco, Pulcini Giorgio, *Manuale di Illuminotecnica*, La Nuova Italia Scientifica, Roma 1995

Bonomo Mario, *Teoria e tecnica dell'illuminazione d'interni*, Maggioli Editore, Rimini 2008

Boubekri Mohamed, *Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies*, Architectural Press 2008

Cuttle Christopher, *Light for Art's Sake, Lighting for Artwork and Museum Displays*, Elsevier, Oxford 2007

Dalke Hilary, Littlefair Paul J., Loe David L., *Lighting and colour for hospital design*, TSO, Norwich 2004

Ezrati Jean-Jacques, *Manuel d'éclairage muséographique*, OCIM, Dijon 1995

Forcolini Gianni, *Illuminare con i condotti ottici, fibre ottiche e guide di luce nel lighting design*, Hoepli, Milano 1999

Gallo Cettina, *La qualità energetica e ambientale nell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 ORE, Milano 2000

Ganslandt Rüdiger, Hofmann Harald, *Handbook of Lighting Design*, Erco Edition, Braunschweig 1992

Millet Marietta, *Light revealing architecture*, Van Nostrand Reinhold, NY 1996

Palladino Pietro, a cura di, *Manuale di illuminazione*, Tecniche Nuove, Milano 2005

Pasetti Alberto, *Luce e spazio nel museo d'arte, architettura e illuminazione*, Edifir, Firenze 1999

Pasetti Alberto, *Luci per esporre, illuminare tra design e tecnica*, Marsilio, Venezia 2006

Phillips Derek, *Daylighting, natural light in architecture*, Elsevier, Oxford 2004

Ravizza Donatella, *Progettare con la luce*, FrancoAngeli, Milano 2001

Re Vittorio, *Impianti elettrici nelle abitazioni*, Editoriale Delfino, Redecesio di Segrate 2005

Roda Riccardo, a cura di, *Abitare il futuro, innovazione, tecnologia, architettura*, BE-MA editrice, Milano 2003

Rogora Alessandro, *Luce naturale e progetto*, Maggioli Editore, Rimini 1997

Rogora Alessandro, Locatelli Alessandra, *L'illuminazione canalizzata in architettura. Progettazione, tecniche, esempi*, Sistemi Editoriali, Napoli 2008

Scodeller Dario, *Livio e Piero Castiglioni, il progetto della luce*, Electa, Milano 2003

Torricelli Maria Chiara, Sala Marco, Secchi Simone, *Daylight, La luce del giorno, tecnologie e strumenti per la progettazione*, Alinea Editrice, Firenze 1995

## **Riviste**

Brusatori Ettore, "La normativa Ecodesign fra costruttori e progettisti", su *Luce e Design*, n.3 - 2008

Fiameni Cristiano, Martino Anna, "La certificazione energetica degli edifici", su *U&C*, n.7 - luglio/agosto 2006

Iarussi Massimo, "La luce e il risparmio energetico", su *Luce e Design*, n.2 - 2008

La Vopa Adriano, "I vetri intelligenti", su *Il progettista industriale*, giugno 2007

Mattei Guido, "Energy Management delle strutture ospedaliere: prospettive di gestione e risparmio energetico", su *Regione e Ambiente*, n.9, 2004

Pellegrino Anna, Blaso Laura, "Sistemi di controllo ed integrazione luce naturale ed artificiale", su *LUCE*, gennaio/febbraio 2007

Pulvirenti Emanuela, "Domotica e light design", su *Luce e Design*, n.6 - 2007

Pulvirenti Emanuela, "Illuminazione e risparmio energetico", su *Luce e Design*, n.3 - 2008

Pulvirenti Emanuela, "Polimeri? Sì, grazie...", su *Luce e Design*, n.1 - 2005

## **Guide e Report**

Artemide Home, *Guida pratica all'illuminazione domestica*, 1999

Assil, *Guida all'illuminazione di qualità*, 1999

Enea, *Risparmio energetico con l'illuminazione*, 2003

Enea, *Sistemi di illuminazione ad alta efficienza*, 2007

Enerbuilding e Adiconsum, *L'uso razionale dell'energia negli edifici pubblici*, 2008

European Commission Directorate-General Energy and Transport, *Energy Efficiency and Sustainability in Retrofitted and New Museum Buildings*, 2004

Innovative Design, *Guide for Daylighting in schools*, Daylight Dividends, Lighting Research Center Rensselaer Polytechnic Institute

Kats Gregory, *Greening America's Schools, costs and benefits*, American Federation of Teachers, American Institute of Architects, American Lung Association, Federation of American Scientist, U.S. Green Building Council

The Watt Stopper, *Lighting Control Best Practice Guide*, schools, [www.wattstopper.com](http://www.wattstopper.com)

## **SITOGRAFIA**

### **Produttori di lampade, apparecchi, sistemi di controllo**

BPT . <http://www.bpt.it>  
BTICINO - <http://www.bticino.it>  
DYNALITE - <http://dynamite-online.com>  
FAGERHULT - <http://www.fagerhult.com>  
LUMILEDS - <http://www.philipslumileds.com>  
LUXEON - <http://www.luxeonstar.com>  
MEGAMAN - <http://www.megaman.it>  
OSRAM - <http://www.osram.it>  
PHILIPS - <http://www.lighting.philips.com>  
ZUMTOBEL - <http://www.zumtobel.it>

### **Guide sull'efficienza energetica**

ENEA, Risparmio energetico con l'illuminazione  
[http://www.enea.it/produzione\\_scientifica/pdf\\_op\\_svil\\_sost/Op05.pdf](http://www.enea.it/produzione_scientifica/pdf_op_svil_sost/Op05.pdf)

ENEA, Sistemi di illuminazione ad alta efficienza  
<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/opus/illuminazione.pdf>

### **Convegni**

VELUX Daylight Symposium 2007 - Ejhed Jan, Daylight + Education + Tools  
<http://www.thedaylightsite.com/filebank/Daylight%20+%20Education%20+%20Tools.pdf>

Conference AEI e ICE Ottawa 2002 - Rosemann Alexander, Lightpipe application for Daylighting Systems - <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/lighting/daylight/docs/presrosemann.pdf>

### **Ricerche**

VELUX Daylight Symposium 2007 - Ejhed Jan, Daylight + Education + Tools  
<http://www.thedaylightsite.com/filebank/Daylight%20+%20Education%20+%20Tools.pdf>

Conference AEI e ICE Ottawa 2002 - Rosemann Alexander, Lightpipe application for Daylighting Systems - <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/lighting/daylight/docs/presrosemann.pdf>

Infranet Partners - Do lighting Controls really save energy?  
<http://www.infranet-partners.co.uk/ftp/Minergy3TS.pdf>

Paul Getty Museum - Conservation Institute - Los Angeles  
<http://www.getty.edu/conservation/science/lighting/index.html>

Kimbell Art Museum  
<http://courses.arch.hku.hk/precedent/2001/kimbell/>