



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



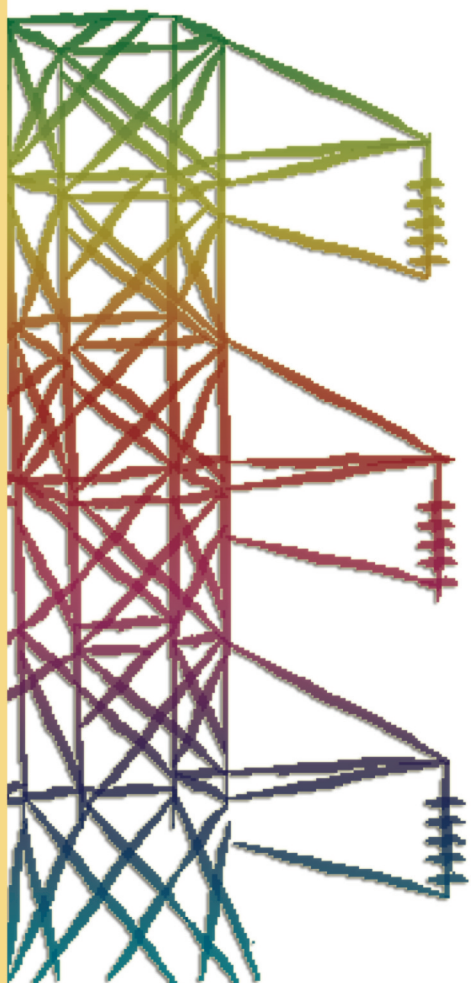
Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Integrazione luce naturale/luce artificiale in ambito industriale

Parte 4: Linee guida per la progettazione di interni con presenza di illuminazione naturale e progettazione di massima

Franco Gugliermetti, Fabio Bisegna





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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Integrazione luce naturale/luce artificiale in ambito industriale Parte 4: Linee guida per la progettazione di interni con presenza di illuminazione naturale e progettazione di massima

Franco Gugliermetti, Fabio Bisegna

INTEGRAZIONE LUCE NATURALE/LUCE ARTIFICIALE IN AMBITO INDUSTRIALE
PARTE 4: LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE DI INTERNI CON PRESENZA DI
ILLUMINAZIONE NATURALE E PROGETTAZIONE DI MASSIMA

Franco Gugliermetti, Fabio Bisegna (Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Roma La Sapienza)

Aprile 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Usi finali

Tema: Promozione delle tecnologie elettriche innovative negli usi finali

Responsabile Tema: Ennio Ferrero, ENEA

Sommario

La presente relazione riporta i risultati della ricerca su diversi argomenti. La relazione è stata suddivisa in 6 parti (e files), corrispondenti ai capitoli.

Parte 1. Analisi dell'ambiente luminoso del capannone AleniaAermacchi

L'analisi è riferita al caso studio nella sua struttura generale, con particolare attenzione all'aspetto dell'illuminazione naturale. I valori di illuminamento e fattore di luce diurna sono studiati tramite simulazioni.

Parte 2. Analisi delle possibili tecniche, componenti e regolazioni per l'illuminazione artificiale/naturale

Stato dell'arte sul controllo dell'illuminazione naturale: le funzioni da svolgere, i sistemi di illuminazione diurna ovvero componenti schermanti opache o trasparenti innovativi. Il sistema di illuminazione artificiale: stato dell'arte sulle sorgenti, gli apparecchi, i sistemi di controllo e integrazione con la luce naturale. Aspetti di progettazione architettonica delle applicazioni integrate.

Parte 3. Simulazioni numeriche delle possibili soluzioni per il capannone AleniaAermacchi

Analisi dell'ambiente luminoso del caso studio simulando diverse disposizioni / aree delle superfici finestate.

Parte 4. Linee guida per la progettazione di interni con presenza di illuminazione naturale e progettazione di massima

Riferite a illuminazione di interni con presenza di illuminazione naturale. Indicazioni per individuare le migliori soluzioni per una progettazione efficiente ed efficace della luce artificiale, che ben si integri con il contributo di luce naturale

Parte 5. Protocolli di monitoraggio

Riferite alla verifica del soddisfacimento dei requisiti normativi, laddove presenti, in funzione delle grandezze fotometriche (illuminamenti, luminanze, colore della radiazione luminosa...) sulle diverse superfici presenti all'interno di uno spazio confinato, da cui si ricavano indici quali valori medi, fattori di luce diurna, coefficienti di uniformità, indici di abbagliamento...

Parte 6. Tecniche di modellazione avanzate e tradizionali per l'analisi dell'ambiente visivo in presenza di sistemi tradizionali e innovativi

Sono presentati metodi di calcolo manuali, i modelli in scala e alcuni software di calcolo computerizzato, evidenziandone le diverse caratteristiche a confronto.

Accordo di Programma MSE-ENEA:

Integrazione luce naturale / luce artificiale in ambito industriale.

Parte 4. Linee guida per la progettazione di interni con presenza di illuminazione naturale e progettazione di massim

**ATTIVITA' DI RICERCA:
INTEGRAZIONE LUCE NATURALE / ARTIFICIALE
IN AMBITO INDUSTRIALE**

Nell'ambito del Tema di ricerca 5.4.3.1
*"Promozione delle tecnologie elettriche innovative negli usi finali",
di cui all'art 11 del decreto 8 marzo 2006*

ACCORDO DI COLLABORAZIONE TRA

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

E IL

DIPARTIMENTO DI FISICA TECNICA
DELLA "SAPIENZA" UNIVERSITA' DI ROMA

RELAZIONE FINALE

PARTE 4

Roma, Aprile 2009

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA
Dipartimento di Fisica Tecnica



CONTENUTI

CAPITOLO 4. LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE E PROGETTAZIONE DI MASSIMA 3

STUDIO PER UNA PROGETTAZIONE DI MASSIMA 10

Capitolo 4. Linee guida per la progettazione e progettazione di massima

Negli ambienti dotati di finestre, il contributo di luce naturale in termini di illuminamento interno può essere calcolato secondo indicazioni normative attraverso il coefficiente di luce diurna medio, definito come rapporto tra illuminamento su piano orizzontale non ostruito in ambiente esterno, e contemporaneo valore di illuminamento medio in ambiente, in condizioni di cielo uniformemente coperto (CIE Overcast sky). Il valore di tale coefficiente è definito dalle normative relative agli specifici ambienti del terziario. In mancanza di tali normative, ci si può riferire alla Tabella A che esprime il fattore di luce diurna in funzione della tipologia d'ambiente e della sua destinazione d'uso, ovvero prevedere per il fattore di luce diurna un valore compreso nell'intervallo 2-5%. Ambienti con un fattore di luce diurna medio minore del 2% richiedono l'impiego della luce artificiale anche durante le ore diurne.

Tabella A. Fattore di luce diurna in funzione di tipologia d'ambiente e destinazione d'uso.

Destinazione d'uso	Tipologia di edificio	Valore minimo del fattore medio di luce diurna [%]
Aule	Scuole, collegi, ospedali...	5
Aule di grandi dimensioni	Scuole	5
Sale lettura	Scuole, collegi, ospedali...	5
Sale musica	Edifici ricreazionali ed educativi	5
Ambienti di lavoro	Scuole, collegi, ambienti industriali, uffici...	5
Laboratori per insegnamento	Scuole, collegi, centri di studio e preparazione, ...	5
Laboratori	Uffici, stabilimenti di ricerca, ambienti industriali, ...	5
Sale d'aspetto	Ospedali, uffici, ambienti industriali...	5
Uffici	Edifici di varia tipologia	5
Uffici con superfici trasparenti a nastro	Edifici di varia tipologia	5
Ambienti tipografia e zone con macchine da lavoro	Uffici, ambienti industriali, banche...	5
Zone computer	Uffici, banche, ...	5
Uffici di progettazione e disegno	Uffici, ambienti industriali, ...	5
Officine, laboratori, zone di produzione, ...	Uffici, ambienti industriali, ...	5

A partire dal valore imposto del fattore di luce diurna medio, è possibile dimensionare la superficie della finestra, ovvero dell'apertura, ovvero della superficie effettiva utile per l'illuminamento naturale attraverso la relazione:

$$\eta_m = \frac{\tau \cdot A_n \cdot \theta / 90}{2 \cdot A_i \cdot (1 - \rho_m)} [\%]$$

dove:

- η_m = fattore di luce diurna medio;
- τ = trasmittanza nel visibile dell'elemento trasparente;
- A_n = area netta dell'elemento trasparente;
- A_i = superficie totale dell'ambiente interno (somma di tutte le superfici interne);
- θ = angolo di vista del cielo, con riferimento al centro della copertura;
- ρ_m = coefficiente di riflessione medio delle singole superfici interne pesato sulla superficie totale dell'ambiente interno; si calcola, indicando con A_i l'i-esima superficie interna, e con ρ_i il rispettivo coefficiente di riflessione, attraverso la seguente espressione:

$$\rho_m = \frac{1}{A_T} \sum_i \rho_i A_i$$

Per i valori di τ , ρ , si possono usare i valori riportati nelle seguenti tabelle B e C.

Tabella B. Trasmittanza nel visibile dei vetri.

Tipologia di vetro	τ
Vetro chiaro singolo	0.89
Vetro chiaro singolo colorato (bronzo)	0.53
Vetro chiaro singolo colorato (grigio)	0.42
Vetro chiaro singolo colorato (blu)	0.57
Vetro chiaro singolo colorato (verde)	0.70
Vetro riflettente chiaro	0.63
Vetro riflettente argento	0.35
Vetro riflettente bronzo	0.25
Vetrocamera: chiaro + chiaro	0.80
Vetrocamera: riflettente chiaro + chiaro	0.44
Vetrocamera: riflettente argento + chiaro	0.49
Vetrocamera: riflettente bronzo + chiaro	0.30
Vetrocamera: riflettente verde + chiaro	0.60
Vetrocamera: assorbente argento + chiaro bassoemissivo	0.37
Vetrocamera: assorbente bronzo + chiaro bassoemissivo	0.39
Vetrocamera: assorbente verde + chiaro bassoemissivo	0.52

Tabella C. Coefficienti di riflessione delle pareti interne.

Superficie	ρ (%)
Soffitto	70 – 80%
Pareti interne	50 – 70%
Pavimento	20 – 40%
Arredi	25 – 45%

Per i valori di θ , esso si considera uguale a 180 nel caso dei lucernari, pari a 90 nel caso di finestre su piano verticale prive di ostruzioni esterne che impediscano la vista del cielo. Negli altri casi va valutato in funzione delle ostruzioni esterne presenti, secondo quanto mostrato in Fig. 4.1.

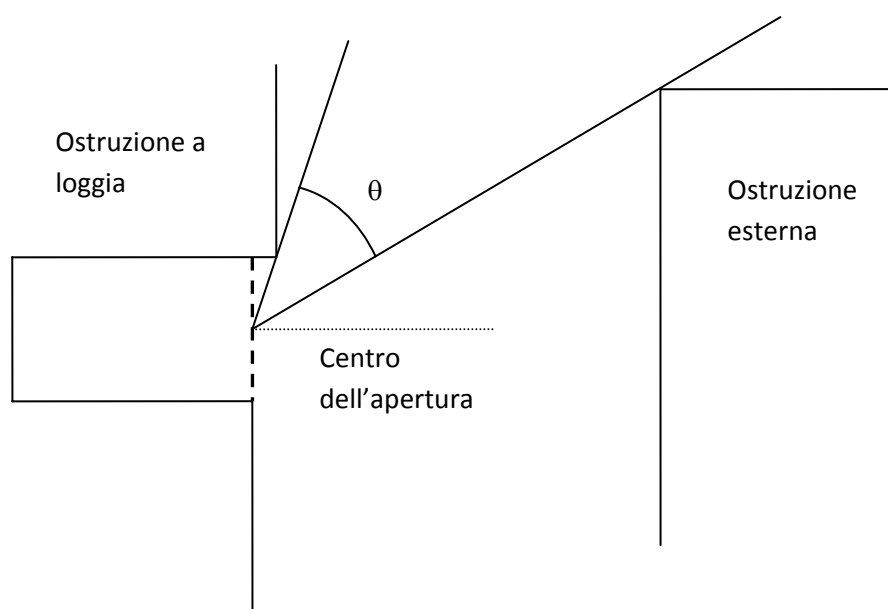


Figura 4.1. Definizione dell'angolo θ .

In presenza di più aperture riferite ad uno stesso ambiente, il calcolo deve essere ripetuto per ciascuna apertura singolarmente; il coefficiente di luce diurna medio è la somma dei coefficienti medi di luce diurna ottenuti per ciascun elemento trasparente considerato.

Indicativamente, la superficie della finestra è circa il 25% in più rispetto alla superficie netta dell'elemento trasparente, per considerare l'introduzione di spessori, telai, etc...

In assenza di sistemi idonei ad incrementare la penetrazione della luce naturale, è opportuno controllare la distribuzione della luce naturale, attraverso il fattore di profondità L_{max} :

$$\frac{L_{\max}}{W} + \frac{L_{\max}}{H} = \frac{2}{1 - \rho_{m/2}}$$

dove con W si è indicata la larghezza dell'ambiente, con H l'altezza dell'architrave della finestra rispetto a pavimento, con L_{\max} la massima profondità dell'ambiente per garantire una uniforme distribuzione della luce naturale, e con $\rho_{m/2}$ il fattore di riflessione medio pesato sulle relative aree delle superfici della metà ambiente opposta alle finestre.

Il contributo della luce naturale in termini di risparmio energetico può essere valutato attraverso il calcolo del Fattore di Convenienza Energetica (FCE):

$$FCE = \frac{A_n}{A_p} \cdot \tau \cdot CO[\%]$$

essendo A_p la superficie della parete che ospita la superficie trasparente considerata, e CO il Coefficiente di Ostruzione della finestra. Tale coefficiente è legato alla percentuale di ostruzione della finestra tramite l'impiego della seguente Tabella D:

Tabella D. Valori del coefficiente di ostruzione.

Ostruzione della finestra	CO
< 50%	1
$50\% \leq x < 70\%$	0.85
$70\% \leq x < 90\%$	0.65
$\geq 90\%$	0.40

dove con ostruzione della finestra si intende la percentuale di finestra che risulta ostruita alla vista di un osservatore interno all'ambiente, posto a 3 metri di distanza dalla finestra e che guardi normalmente alla stessa verso l'ambiente esterno, con occhio posto a 1.7 metri dal pavimento.

Un valore maggiore o uguale al 25% del Fattore di Convenienza Energetica assicura la convenienza energetica del dimensionamento effettuato. Un valore inferiore al 25% impone la ricerca di soluzioni quali la riduzione delle ostruzioni, l'aumento della superficie dell'apertura, l'aumento del coefficiente di trasmittanza nel visibile. Qualora tali modifiche non fossero possibili, l'impiego della luce naturale non avrebbe un effetto positivo in termini di risparmio energetico, ma avrebbe comunque un effetto positivo in termini di benessere visivo, se opportunamente controllati i fenomeni di abbagliamento.

Altre indicazioni generali che possono essere usate nelle prime fasi progettuali sono:

- Non sovradimensionare le superfici trasparenti
- calcolata la superficie trasparente, è preferibile un'estensione orizzontale degli elementi vetrati, piuttosto che uno sviluppo verticale
- rispettare per gli ambienti i limiti dimensionali che consentano un'efficace penetrazione interna della luce naturale
- realizzare ambienti con illuminazione possibilmente bilaterale, con vantaggi sia per gli aspetti relativi all'illuminamento che alla ventilazione degli ambienti;
- evitare l'impiego di vetri troppo scuri, che riducono la quantità di luce filtrante durante l'intero arco dell'anno
- prevedere l'impiego di controlli automatici per la regolazione della luce naturale, e per l'integrazione tra luce naturale e artificiale, in ottica di risparmio energetico
- impiegare schermature e frangisole per evitare abbagliamento ed eccessivi carichi termici.

Alcune indicazioni sono inoltre necessarie per guidare il progettista nella procedura decisionale per la coordinazione della progettazione illuminotecnica di luce naturale e artificiale, e per l'ottimizzazione della loro integrazione.

Con particolare riferimento alla necessaria integrazione tra luce naturale e artificiale, le idee chiave che il progettista può seguire nella definizione della strategia di regolazione per l'integrazione delle due componenti di illuminazione sono:

- considerare l'integrazione tra luce naturale e artificiale come strategia dal principio;
- scegliere una strategia ambientale o di lavoro per una semplice integrazione con la luce naturale;
- usare illuminazione diretta/indiretta per evitare l'abbagliamento e completare la distribuzione della luce naturale;
- bilanciare la luce in una stanza profonda;
- stabilire le tessiture delle superfici per controllare la distribuzione di luce;
- eliminare potenziali conflitti prima possibile;
- bilanciare l'abbagliamento da luce naturale con un'illuminazione ben collocata

Perché le scelte progettuali per la luce artificiale siano orientate alla integrazione con la luce naturale, nel rispetto dei requisiti di efficienza energetica e comfort ambientale, le indicazioni ad oggi più di aiuto per il progettista sono:

- utilizzare lampade fluorescenti tri-fosforo 32 W T8, e dimming;
- cercare di avvicinarsi alla temperatura (fredda) di colore della luce naturale;
- evitare di utilizzare lampade a scarica ad elevata intensità;
- evitare lampade che non possono essere dimmerate in modo efficace;
- scegliere elementi energeticamente efficienti;
- seguire le indicazioni pratiche relative all'abbagliamento con luce dal basso;
- evitare l'abbagliamento delle lampade presenti nel campo visivo;
- utilizzare strategie di controllo della luce per bilanciare l'abbagliamento da luce naturale in assenza di schermature;
- la qualità dell'illuminazione deve venire prima dell'efficienza energetica-

Sulla base di queste indicazioni, è possibile individuare le migliori soluzioni per una progettazione efficiente ed efficace della luce artificiale, che ben si integri con il contributo di luce naturale. Questo contributo, definito dalle indicazioni normative precedentemente illustrate, consente la definizione del clima luminoso dell'ambiente in modo univoco. Mentre però le procedure per la progettazione della luce artificiale risultano ormai ben strutturate e definite, alcune lacune sono ancora presenti per ciò che concerne l'approccio progettuale alla luce naturale. L'esistenza infatti di molteplici soluzioni tradizionali per l'utilizzo e il controllo della luce naturale, affiancate alla sempre maggiore quantità di soluzioni innovative di componenti e sistemi (come indicato nel Cap. 2) può comportare un rischio di confusione e cattivo utilizzo dei sistemi e componenti a disposizione del progettista. Per questo, un approccio qualitativo per la realizzazione del giusto clima luminoso può basarsi su un'analisi qualitativa di approccio per la definizione del più adatto sistema di luce naturale per l'ambiente da progettare.

Tale metodologia di approccio, di semplice applicazione, si basa sull'impiego di una matrice di valutazione degli elementi in cui compaiano in modo chiaro tutte le caratteristiche che possano portare alla scelta di un sistema per la specifica applicazione in oggetto.

Con riferimento a quanto indicato nella matrice descrittiva presentata in Tab. E e seguenti, si può notare come dalla selezione delle caratteristiche di interesse per il caso di studio si può arrivare facilmente a determinare qualitativamente i componenti/sistemi che possono risultare utili per la progettazione dell'ambiente specifico di studio. Dall'analisi della matrice, infatti, si nota come i campi che caratterizzano i vari materiali sono: classificazione, caratteristiche, prestazioni/criteri di scelta. In particolare, ciascuno di questi campi si specifica in una sotto-tabella (Tab. E-G):

Tabella E. Classificazione del sistema

	classificazione				
	Con schermatura		Senza schermatura		
Sistema di illuminazione diurna	si basano sulla luce diffusa del cielo e respingono la luce diretta del sole	usano la luce diretta del sole (mandandola verso il soffitto o sopra il livello degli occhi)	ridirezionano la luce diffusa del cielo all'interno della stanza	ridirezionano la luce diretta del sole all'interno della stanza	accolgono e trasportano la luce del sole per grandi distanze fino al centro dell'edificio

Tabella F. Caratteristiche del sistema

	caratteristiche					
Sistema di illuminazione e diurna	tecnologia: tradizionale /innovativa	altezze solari e condizioni di cielo	Orientamento ottimale	collocazione nell'edificio	collocazione rispetto alla finestra: esterna e/o interna, in intercapedine	tipologia: fissa/mobile, continua/discontinua, orizz./vert./inclinata

Tabella G. Caratteristiche del sistema

	Prestazioni/criteri di scelta															
Sistema di illuminazione diurna	Protezione dall'abbagliamento	Vista verso l'esterno	Disponibilità di luce naturale	Direzione in profondità	Illuminazione uniforme	Risparmio energetico	Alterazione cromatica	Riduzione e carico termici	Sfruttamento guadagni solari	Posibilità FV	Regolazione	Manutenzione	Costo	Estetica	Retrofitting	Note

Risulta evidente come la definizione delle specifiche generali di progetto (località, latitudine, altezza solare, condizioni di cielo prevalenti, etc) definiscono le voci della Tab. F, aiutando il progettista in una prima selezione dei sistemi più adatti al caso in studio. Tale selezione può e deve essere evidentemente immediatamente integrata con la specifica retrofitting di Tab. G. In questo modo, il progettista ha già fatto una selezione importante dei diversi sistemi di luce naturale utilizzabili. A questo punto, le scelte del progettista si possono orientare tranquillamente su quelli che ritiene i criteri prevalenti per il suo caso (Tab. G), eventualmente aiutandosi con l'ausilio di un peso (assolutamente indicativo) per facilitare la definizione delle priorità su cui deve basarsi la scelta. Attraverso questa semplice procedura, risulta quindi abbastanza semplice individuare un numero limitato di sistemi che potrebbero essere la soluzione ottimale per il caso di progetto esaminato. A questo punto, l'impiego di software di progettazione illuminotecnica,

generalmente di alto livello, offre un contributo fondamentale per la scelta definitiva del sistema.

Studio per una progettazione di massima

Con l'intenzione di individuare solo ed esclusivamente sistemi semplici, l'unico approccio perseguibile per la progettazione è risultato essere quello della definizione delle superfici trasparenti ottimali in termini di soddisfacimento del fattore di luce diurna; questa impostazione ha fatto sì che le scelte fossero vincolate unicamente alla individuazione del maggiore fattore di luce diurna ottenibile per l'ambiente considerato, a partire da uno schema classico di capannone industriale, dotato tradizionalmente di soluzioni zenitali a shed.

Lo studio è stato quindi orientato alla definizione della migliore soluzione illuminotecnica possibile per le condizioni imposte., soluzione che è caratterizzata da un'ampia superficie trasparente (finestre a nastro) posta ad un'altezza che risulti funzionale per lo svolgimento delle attività tipiche di un capannone industriale, evitando per quanto possibile il rischio di un eventuale abbagliamento, da contenersi con opportune soluzioni schermanti, che non sono state oggetto dello studio. Tale soluzione, come mostrato ampiamente nel Cap. 3 attraverso risultati di simulazioni e rendering, è risultata preferibile rispetto alle altre ipotizzate e concordate con la committenza per i maggiori valori di illuminamento sul piano di lavoro che essa presenta, e soprattutto per il miglior clima luminoso che si instaura in ambiente grazie alla più elevata uniformità di distribuzione dell'illuminazione naturale, che si è ottenuto proprio attraverso un impiego più esteso di superficie trasparente.