

BUILDING AUTOMATION ED EFFICIENZA ENERGETICA

Metodologia di valutazione del risparmio energetico conseguibile mediante controllo intergrato dell'illuminazione e delle protezioni solari

Prof. Ing. Luigi Martirano ⁽¹⁾

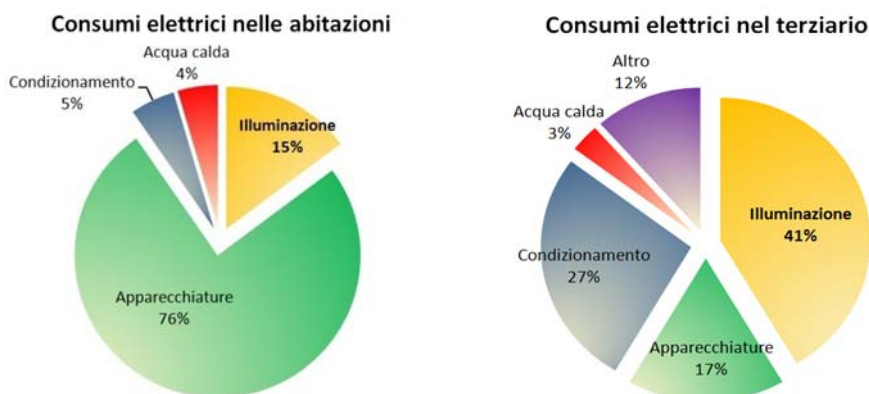
Dott. Ing. Marco Cecconi ⁽²⁾

Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Abstract

Nell'ambito dei fabbisogni elettrici, l'illuminazione costituisce una porzione cospicua, specialmente nel terziario dove supera il 40% del totale. Esistono però soluzioni tecniche che possono abbattere sensibilmente i consumi elettrici. Una di queste è offerta dalla *Building Automation* e dal suo corrispettivo residenziale, la *Domotica*, che permettono di realizzare un controllo automatizzato ed "intelligente" dell'impianto, con lo scopo di produrre luce a seconda del reale fabbisogno di ogni ambiente, evitando gli sprechi.

Obiettivo dell'articolo è dare una valutazione numerica dei risparmi energetici conseguibili nel settore terziario adottando sistemi intelligenti di controllo dell'illuminazione. A questo scopo è stata ideata una metodologia di calcolo che permette di stimare con semplicità i benefici ottenibili a seconda delle caratteristiche architettoniche e impiantistiche del locale in analisi. I risultati possono essere utilizzati sia come parametro di efficienza per locali esistenti (ad esempio per un'eventuale certificazione energetica), sia come indicazione progettuale per nuove strutture o ristrutturazioni.



1 - Elaborazione della metodologia di calcolo

Al fine di quantificare l'efficienza energetica del sistema d'illuminazione, l'ente normatore europeo, il CEN, ha recentemente definito l'indice "LENI" (norma EN 15193). Il LENI (acronimo di *Lighting Energy Numeric Indicator*) misura il fabbisogno annuo di energia elettrica destinata all'illuminazione di un certo ambiente per metro quadro di superficie [kWh/m²anno]. Dunque, a

¹ Ricercatore di "Sistemi Elettrici per l'Energia" e Docente di "Domotica ed Uso Razionale dell'Energia Elettrica". Facoltà di Ingegneria Università di Roma Sapienza. Membro del Comitato Tecnico 205 del CEI "Sistemi BUS per edifici". E-mail: martirano@uniroma1.it

² Dottorando di ricerca in "Risparmio energetico e microgenerazione distribuita" presso l'Università di Roma Sapienza, facoltà di Architettura "Valle Giulia", Prof. Ing. Livio De Santoli. Autore della tesi omonima di questo articolo, vincitrice del premio CEI "Miglior tesi di laurea 2008". E-mail: m.cecconi@uniroma1.it

parità di locale e qualità dell'illuminazione, un aumento dell'efficienza energetica porta ad una riduzione del LENI e quindi dei consumi elettrici. La stima dei benefici della Building Automation si riflette quindi in una variazione più o meno marcata del LENI rispetto ad una condizione di riferimento.

Il calcolo del LENI è un lavoro molto complesso poiché le variabili da tenere in considerazione sono le più svariate ed è quindi quasi impossibile formulare un modello matematico-fisico di complessità gestibile che permetta di ottenere buoni risultati. In particolare i consumi dipendono da parametri propri dell'impianto d'illuminazione (livello di illuminamento, tipo di lampade e di apparecchi illuminanti, tipo di alimentatori, manutenzione, etc.), da parametri architettonici (forma della stanza, colore delle pareti, tipologia di infissi, presenza di protezioni solari, etc.), dalle condizioni ambientali (ubicazione dello stabile, orientamento, presenza di ostacoli, irraggiamento solare, etc.), dai sistemi di controllo delle lampade (temporizzato, manuale, automatico, ad attenuazione, etc.) e perfino dalle abitudini degli occupanti (orari di occupazione dei locali, tendenza maggiore o minore a lasciare luci accese, etc.). Quindi il calcolo, oltre ad essere complesso, è condizionato anche da una serie di variabili aleatorie che impediscono a priori di ottenere risultati assolutamente esatti anche con i sistemi di calcolo più evoluti.

Allo stato attuale il sistema migliore è la simulazione diretta al calcolatore del locale in analisi. Tale tecnica ha però il difetto di essere assai complessa e quindi non applicabile su larga scala. In alternativa è possibile seguire la via di questo studio e della norma EN15193: ricavare delle relazioni empiriche a partire dai risultati delle simulazioni. A questo fine si sono effettuate migliaia di simulazioni *illuminotecnico-energetiche* col software *Energy Plus*, variando di volta in volta i parametri più significativi del locale in analisi. Il numero di simulazioni ed il campo di variazione dei parametri è stato scelto in modo tale che i risultati potessero essere opportunamente elaborati attraverso un processo di regressione numerica, al fine di ottenere una serie di semplici equazioni approssimanti. Tali relazioni hanno la caratteristica di approssimare il LENI di un qualsiasi locale senza ricorrere ulteriormente a complessi processi di simulazione.

La controindicazione di aspirare ad un modello di facile applicazione è la necessità di contenere il numero di variabili del sistema. Nel caso specifico, la metodologia qui presentata è stata costruita fissando alcuni degli svariati parametri presenti, per la precisione:

- Ubicazione: Roma (41.54° nord);
- Pianta del locale rettangolare;
- Una sola facciata con finestre;
- Esposizione delle finestre a sud;
- Altezza del locale 3m;
- Destinazione d'uso: ufficio (o simili) con orario di lavoro nei giorni feriali dalle 8:00 alle 18:00 (2625 ore di funzionamento diurno, 465 notturno all'anno);
- Illuminamento di progetto: 500 lux;
- Controllo manuale degli interruttori assente;
- Finestre tutte uguali tra loro, con altezza del vetro di 1.6m e larghezza variabile.
- Ostruzioni esterne solo di tipo lineare.

La validità dei risultati sarà tanto maggiore quanto più verranno rispettate le ipotesi elencate.

2 - Calcolo del risparmio conseguibile con Building Automation

Nel metodo sperimentale da noi ideato, il LENI di un qualsiasi locale viene determinato come prodotto di un valore fisso ($LENI_{rif}$), che rappresenta il fabbisogno energetico di una stanza standard presa come riferimento, per il fattore di locale (F_L), che tiene conto della differenza tra i consumi del locale sotto analisi e quello di riferimento.

$$LENI = F_L \cdot LENI_{rif} \quad (1)$$

dove:

$LENI_{rif}$ = Fabbisogno energetico del locale di riferimento = **49,4 kWh/m²anno**

F_L = Fattore di locale

La formula (1) risulta molto semplice da applicare poiché il valore $LENI_{rif}$ è fisso (pari a 49,4 kWh/m²anno) e il fattore di locale F_L è calcolabile con la seguente formula:

$$F_L = k_{dimens} \cdot k_{vetro} \cdot k_{ostacolo} \cdot k_{shading} \cdot k_{lights-control} \quad (2)$$

dove:

k_{dimens} = Fattore dipendente dalle dimensioni del locale

k_{vetro} = Fattore dipendente dalla percentuale di vetratura

$k_{ostacolo}$ = Fattore dipendente dalla presenza di ostacoli ombreggianti

$k_{shading}$ = Fattore dipendente dalla presenza di schermi solari

$k_{lights-control}$ = Fattore dipendente dal sistema di controllo dell'illuminazione

Il valore numerico dei coefficienti "k" è calcolabile attraverso i diagrammi riportati alle pagine 5, 6, 7 e 8. I parametri da cui dipendono i vari coefficienti sono in tutto sei:

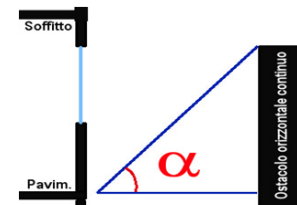
1. **Larghezza** della stanza;

2. **Profondità** della stanza;



3. **Percentuale di vetratura** della parete esterna, intesa come l'area della superficie trasparente rispetto all'area totale della parete;



4. **Angolo di ombreggiamento** di un eventuale ostacolo orizzontale esterno;



5. **Tipo di schermo solare** utilizzato e sua **modalità di controllo** (ved. Tab.1);

6. **Tipo di controllo dell'illuminazione** (ved. Tab.2);

Tab.1: Descrizione degli schermi solari presi in considerazione e loro modalità di controllo

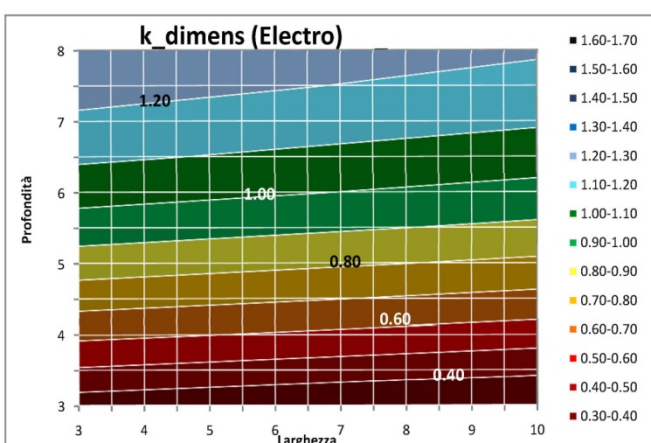
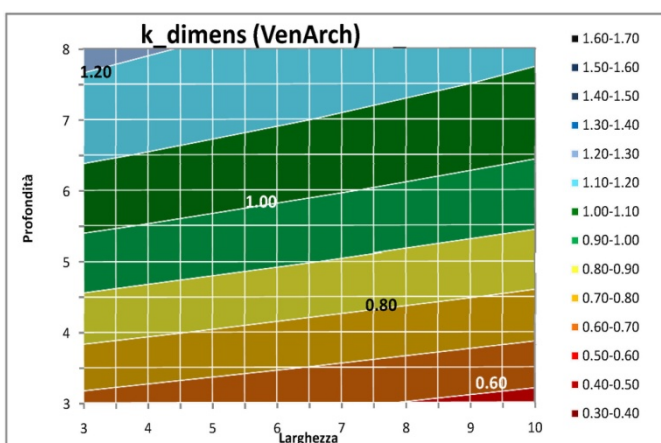
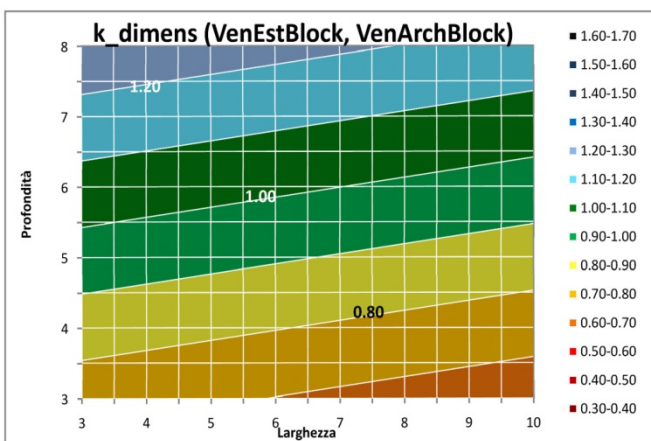
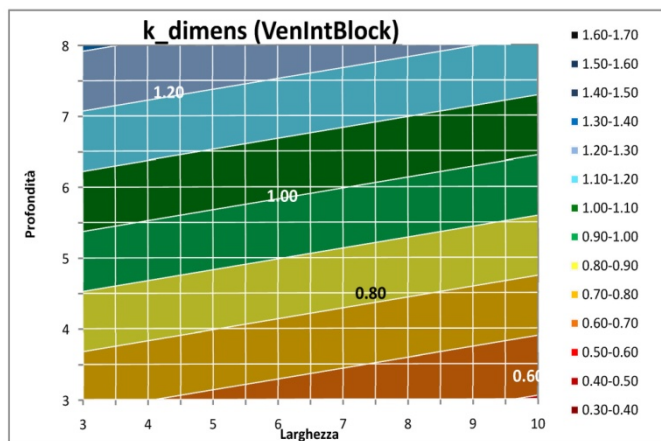
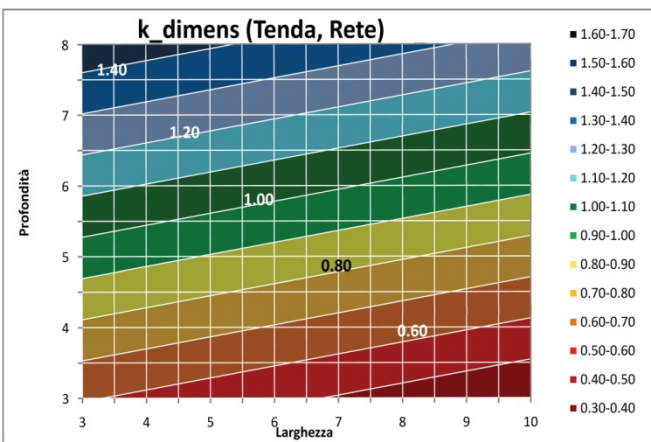
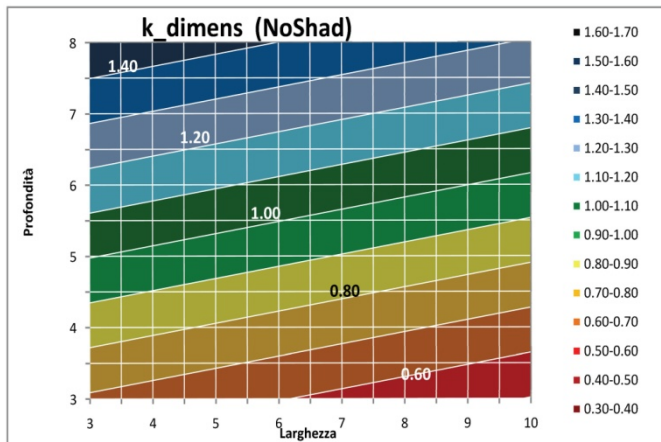
Tipo di schermo solare	Descrizione	Immagine
NoShad	Nessuno schermo, la finestra è libera.	
Tenda	Semplice tenda di stoffa di colore bianco o molto chiaro, parzialmente traslucida. Posizionata internamente.	
VenIntBlock	Veneziana a lamelle metalliche di colore chiaro, ruotabili in modo automatizzato in modo da bloccare sempre la luce diretta. Posizionata internamente.	
VenEstBlock	Come "VenIntBlock" ma posizionata esternamente.	
VenArch	Simile alla veneziana, ma a lamelle più larghe, di colore più scuro e posizionata esternamente. Rappresenta i brise-soleil inseriti come elemento architettonico nelle facciate degli edifici. Le lamelle sono fisse a 45°.	
VenArchBlock	Come "VenArch" ma con lamelle ruotabili in modo automatizzato in modo da bloccare sempre la luce diretta.	
Rete	Maglia o rete metallica installata in modo fisso esternamente alla facciata.	
Electro	Vetro elettrocromico: particolare vetro con una pellicola che può variare notevolmente la sua trasparenza in presenza di stimoli elettrici. Un regolatore automatico determina la giusta trasparenza in base alla necessità interna di luce al fine di mantenere un illuminamento interno di 500lux. In foto l'aspetto del vetro quando è trasparente e quando è oscurato.	

Tab.2: Descrizione dei tipi di controllo dell'illuminazione presi in considerazione

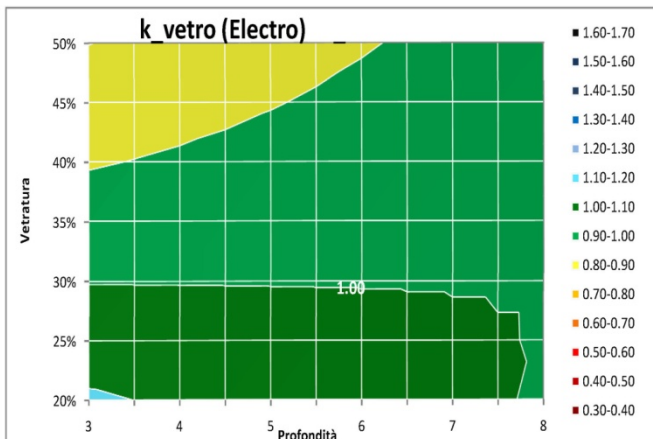
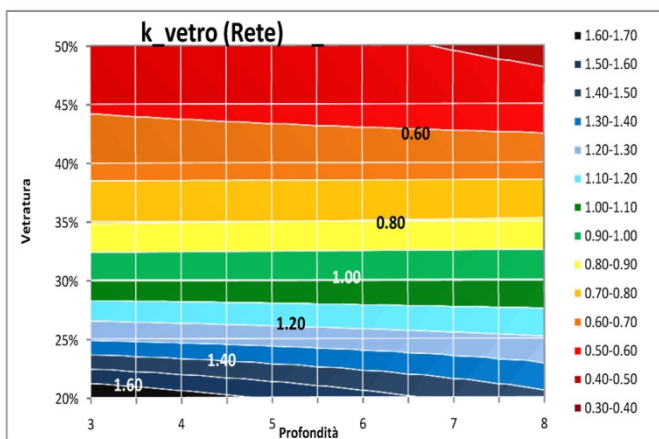
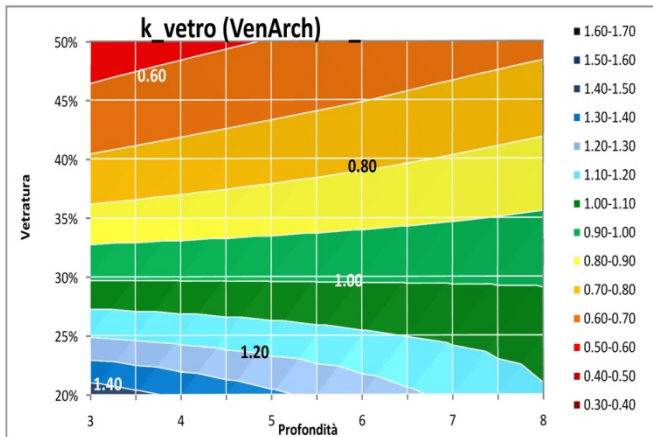
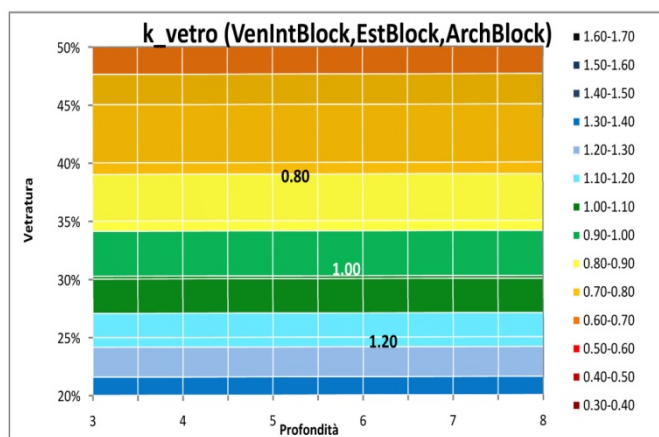
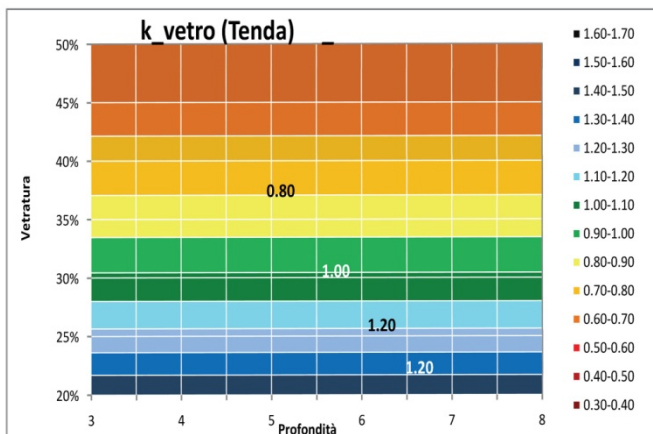
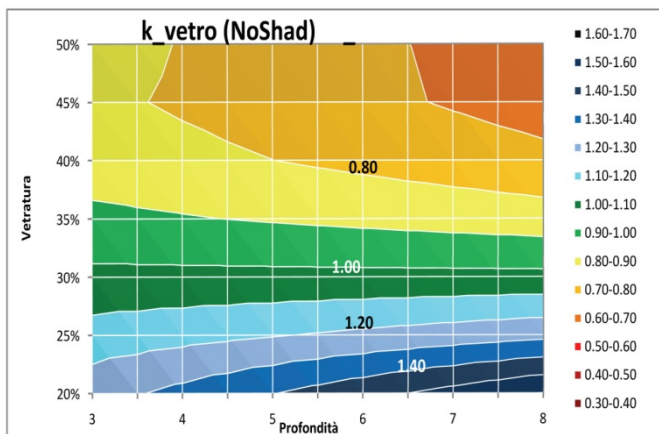
Tipo di controllo dell'illuminazione	Descrizione
Off	Nessun controllo automatico, le luci rimangono accese durante tutto l'orario di lavoro per tutto l'anno.
Dimming Continuo	Il sistema di regolazione attenua la luce delle lampade in modo continuo a seconda della disponibilità di luce diurna al fine di avere sempre 500 lux di illuminamento. Se la luce naturale è sufficiente le lampade vengono spente.
Dimming Step	Come il "Dimming Continuo" con la differenza che la regolazione non è continua ma a quattro gradini di intensità (Off, 33%, 66%, 100%).

Seguono i diagrammi attraverso i quali calcolare i fattori "k".

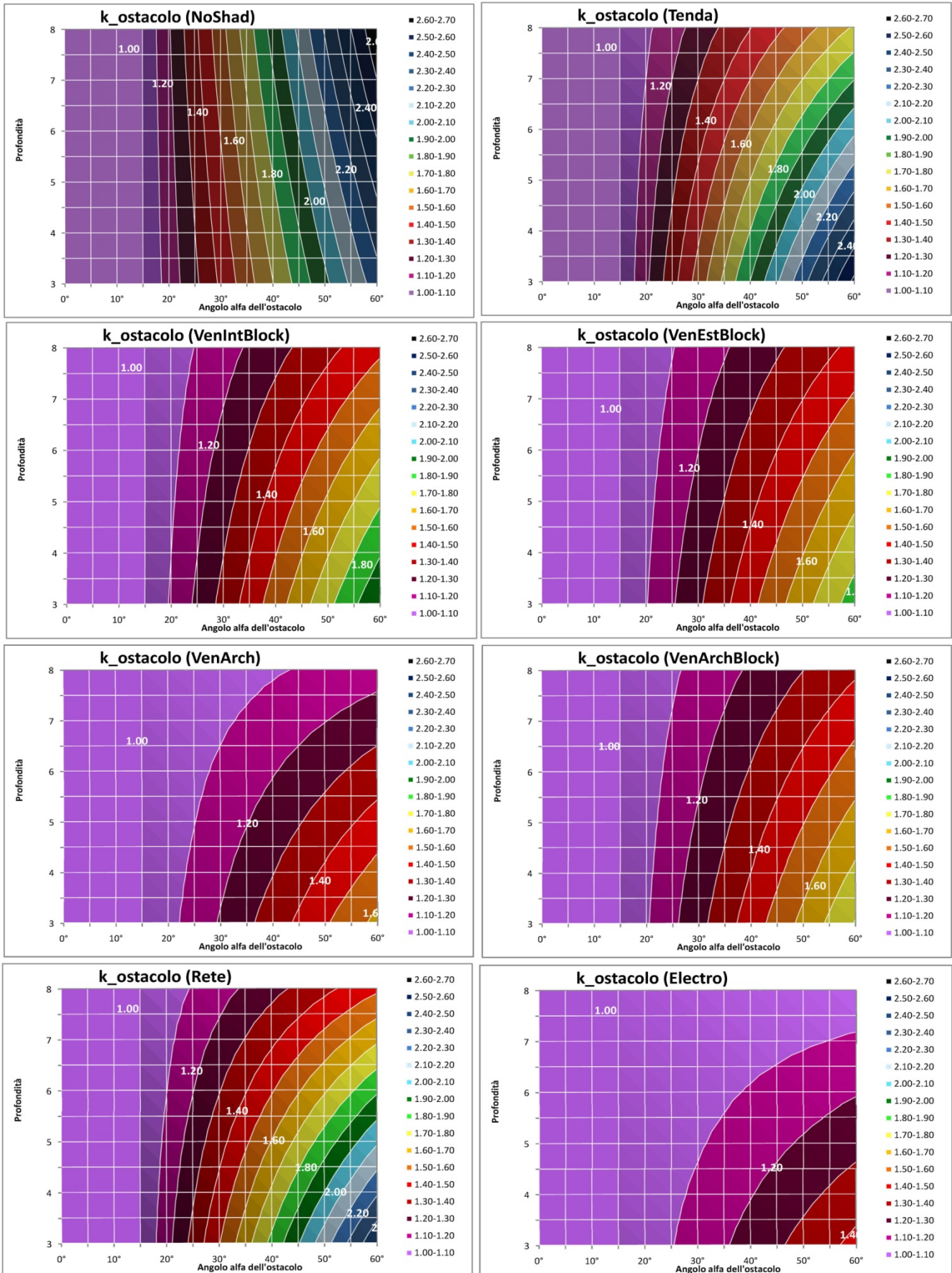
1. Calcolo di k_{dimens} , i diagrammi si riferiscono ai diversi tipi di schermi solari elencati in Tab.1.



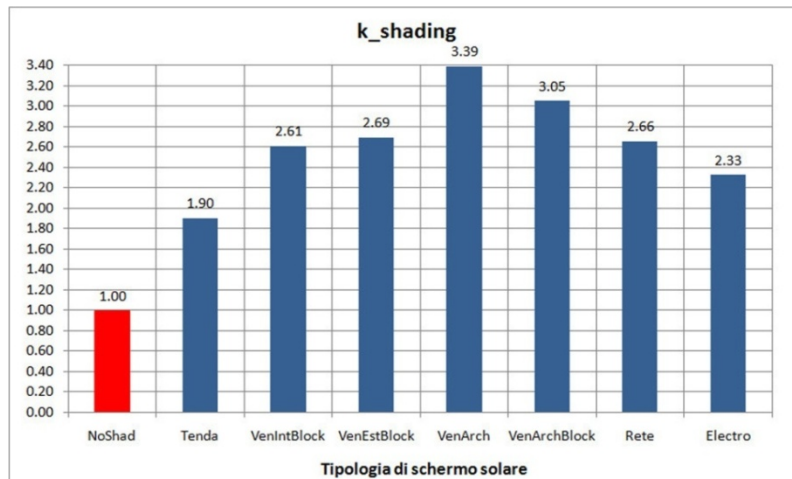
2. Calcolo di k_{vetro} , i diagrammi si riferiscono ai diversi tipi di schermi solari elencati in Tab.1.



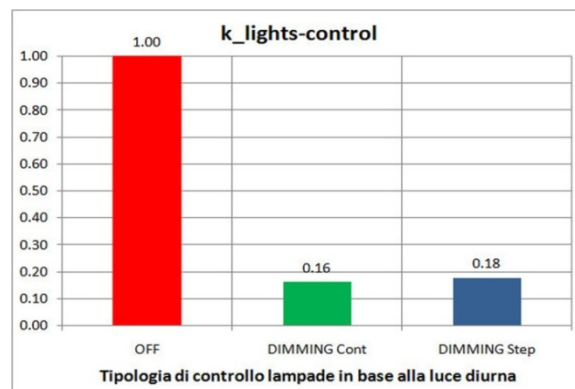
3. Calcolo di $k_{ostacolo}$, i diagrammi si riferiscono ai diversi tipi di schermi solari elencati in Tab.1.



4. Calcolo di $k_{shading}$



5. Calcolo di $k_{lights-control}$



3 - Esempio di applicazione

Per chiarire al meglio il funzionamento del metodo si propone il calcolo del LENI per un locale ad uso ufficio ubicato a Roma, con una parete finestrata esposta a sud e che rispetti le ipotesi di validità enunciate alla fine del paragrafo 1. Si eseguirà il calcolo in due casi:

- caso 'A': assenza di controllo dell'illuminazione (le luci rimangono accese durante tutto l'orario di lavoro);
- caso 'B' controllo a "dimming continuo" (le luci si attenuano in presenza di luce diurna).

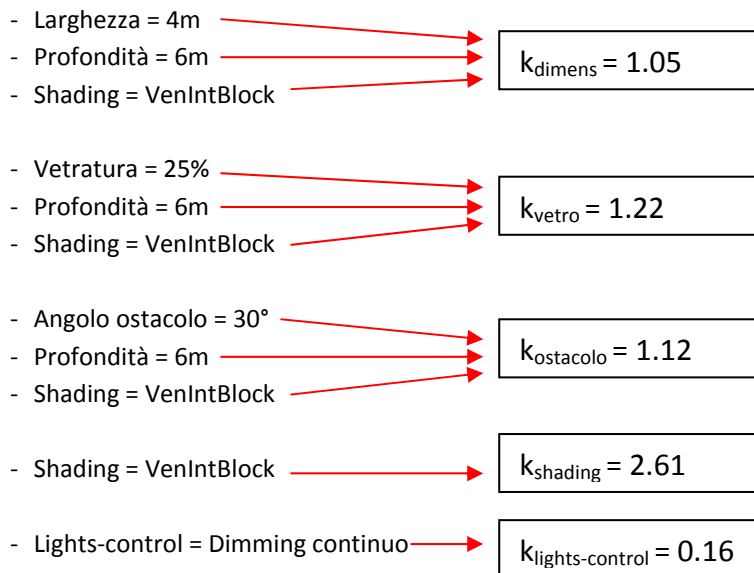
I dati fondamentali del locale sono i seguenti:

- Larghezza = 4 m;
- Profondità = 6 m;
- Percentuale trasparente = 25% ;
- Ostacolo esterno (palazzo antistante) con angolo di oscuramento = 30° ;
- Schermo solare = Veneziana interna automatizzata (VenIntBlock);
- Sistema di controllo dell'illuminazione = $\begin{cases} \text{Caso 'A'} = \text{nessuno (Off)} \\ \text{Caso 'B'} = \text{dimming continuo} \end{cases}$

Nel **caso 'A'** il calcolo è banale poiché, non essendo presenti sistemi di controllo automatico dell'illuminazione non vi sarà alcun risparmio rispetto alla situazione di riferimento, infatti le luci rimangono sempre accese indipendentemente dalla quantità di luce diurna.

$$LENI_{CASO A} = F_L \cdot LENI_{rif} = 1.00 \cdot 49.4 = \mathbf{49.40} \text{ kWh/m}^2\text{anno} \quad (1186 \text{ kWh/anno})$$

Nel **caso 'B'** il calcolo è illustrato qui di seguito. Per ricavare i fattori "k" sono stati utilizzati i diagrammi delle pagine 5, 6, 7 e 8.



$$F_L = k_{\text{dimens}} \cdot k_{\text{vetro}} \cdot k_{\text{ostacolo}} \cdot k_{\text{shading}} \cdot k_{\text{lights-control}} = 1.05 \cdot 1.22 \cdot 1.12 \cdot 2.61 \cdot 0.16 = \mathbf{0.60}$$

$$LENI_{CASO B} = F_L \cdot LENI_{rif} = 0.60 \cdot 49.4 = \mathbf{29.64} \text{ kWh/m}^2\text{anno} \quad (711 \text{ kWh/anno})$$

Dall'esempio si desume che, per il locale in analisi, l'introduzione di un controllo automatizzato dell'illuminazione conduce ad un risparmio del 40% rispetto alla situazione non ottimizzata.

4 - Considerazioni sull'affidabilità e confronto con la norma EN 15193

Quando ci si trova di fronte a metodi numerici come quello qui proposto o quello della norma EN 15193 la prima domanda che ci si pone riguarda l'affidabilità dei risultati. In effetti c'è un limite concettuale che li accomuna: entrambi si basano su un processo simulativo, quindi non su un modello fisico e neppure su misurazioni di situazioni reali. Inoltre la necessità di semplificare l'enorme mole di parametri presenti introduce delle approssimazioni e impone dei vincoli più o meno rigidi all'intervallo di validità delle soluzioni. Ciò comporta inevitabilmente degli errori difficilmente quantificabili. D'altronde i processi simulativi vengono utilizzati in ogni campo dell'ingegneria ed è grazie ad essi che oggi si possono studiare e risolvere problemi che un tempo non erano neppure immaginabili. Basti pensare che per elaborare questo metodo di calcolo sono state eseguite 7014 simulazioni annuali che hanno impegnato i computer per circa tre giorni. Un tempo che può sembrare lungo, ma se avessimo effettuato misurazioni reali sarebbero stati necessari 7014 anni per arrivare a questi risultati.... un tempo decisamente poco gestibile!

Si riporta in Tab.3 un breve confronto tra il metodo qui illustrato e quello della norma EN 15193.

Tab.3: Confronto tra le due metodologie di calcolo dell'indice LENI

Metodo di calcolo sperimentale	Metodo di calcolo norma EN15193
<p>Punti di forza:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Applicazione immediata eseguendo una sola moltiplicazione di coefficienti. Applicabile facilmente anche senza computer. - Considera l'effetto delle protezioni solari. - Considera l'effetto di soluzioni innovative come il controllo integrato dell'illuminazione e degli schermi solari. - Considera anche le ripercussioni termiche delle soluzioni illuminotecniche (non in questa trattazione). - Distribuito gratuitamente. <p>Punti di debolezza:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La versione attuale non è molto flessibile poiché sono stati fissati diversi parametri, tra cui: livello di illuminamento richiesto (500lux), ubicazione (Roma), orientazione (Sud). - Vengono considerati solo ostacoli orizzontali (es. montagne o edifici) e non agetti (es. balconi o ali). - Non viene considerato il controllo dell'illuminazione in base all'occupazione dei locali. - Non viene preso in considerazione il controllo manuale. 	<p>Punti di forza:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vengono considerati i controlli elettronici dell'illuminazione sia in relazione alla disponibilità di luce diurna (<i>flux control</i>) che all'occupazione dei locali (<i>presence control</i>). - Viene considerata una vasta gamma di elementi architettonici ostruenti, tra cui anche gli atrii e i cortili. - Presenta una buona flessibilità poiché ottiene come risultato parziale la disponibilità di luce diurna che svincola i dati architettonici da quelli impiantistici. <p>Punti di debolezza:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nel calcolo della disponibilità di luce diurna non viene preso in considerazione il parametro "orientazione". Questo lascia pensare che vi siano delle consistenti approssimazioni sulla stima della disponibilità di luce. - Gli schermi solari vengono trattati solo in modo molto semplicistico e senza controlli automatici. - Non viene indicato il numero e la posizione dei sensori luminosi.

5 - Conclusioni e strumenti di calcolo

Il presente studio ha proposto una metodologia semplice per la determinazione dei fabbisogni energetici di illuminazione di un ambiente in presenza di Building Automation. Le finalità sono dunque simili a quelle della norma EN 15193 ma l'impostazione del calcolo è differente. Il metodo normativo ha dei vantaggi in termini di flessibilità, mentre quello qui illustrato è più semplice da applicare e comunque entrambi hanno delle specificità particolari. Senza la pretesa di proporre uno strumento di altissima precisione, i risultati dei calcoli potranno comunque dare un'idea delle possibilità di risparmio, aprendo la strada ad una serie di soluzioni impiantistiche innovative. Come obiettivo futuro ci proponiamo di applicare le formule ad una serie di casi reali per valutarne sul campo l'accuratezza.

Per finire segnaliamo che è stato implementato il software *LeniManager* che permette di eseguire contestualmente i calcoli del metodo normativo e quelli del metodo qui esposto. Grazie a questo software è stato possibile eseguire molto velocemente una serie di valutazioni e confronti che saranno oggetto di altre trattazioni.

