



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dipartimento di Ingegneria Elettrica

*Conferenza:*

***Building Automation: una tecnologia abilitante per il risparmio energetico***

**Metodologia di valutazione del risparmio energetico nell'illuminazione:  
un'alternativa alla norma EN 15193**

*LinvinLuce/EnerMotive - 28 Maggio 2009 - Milano*

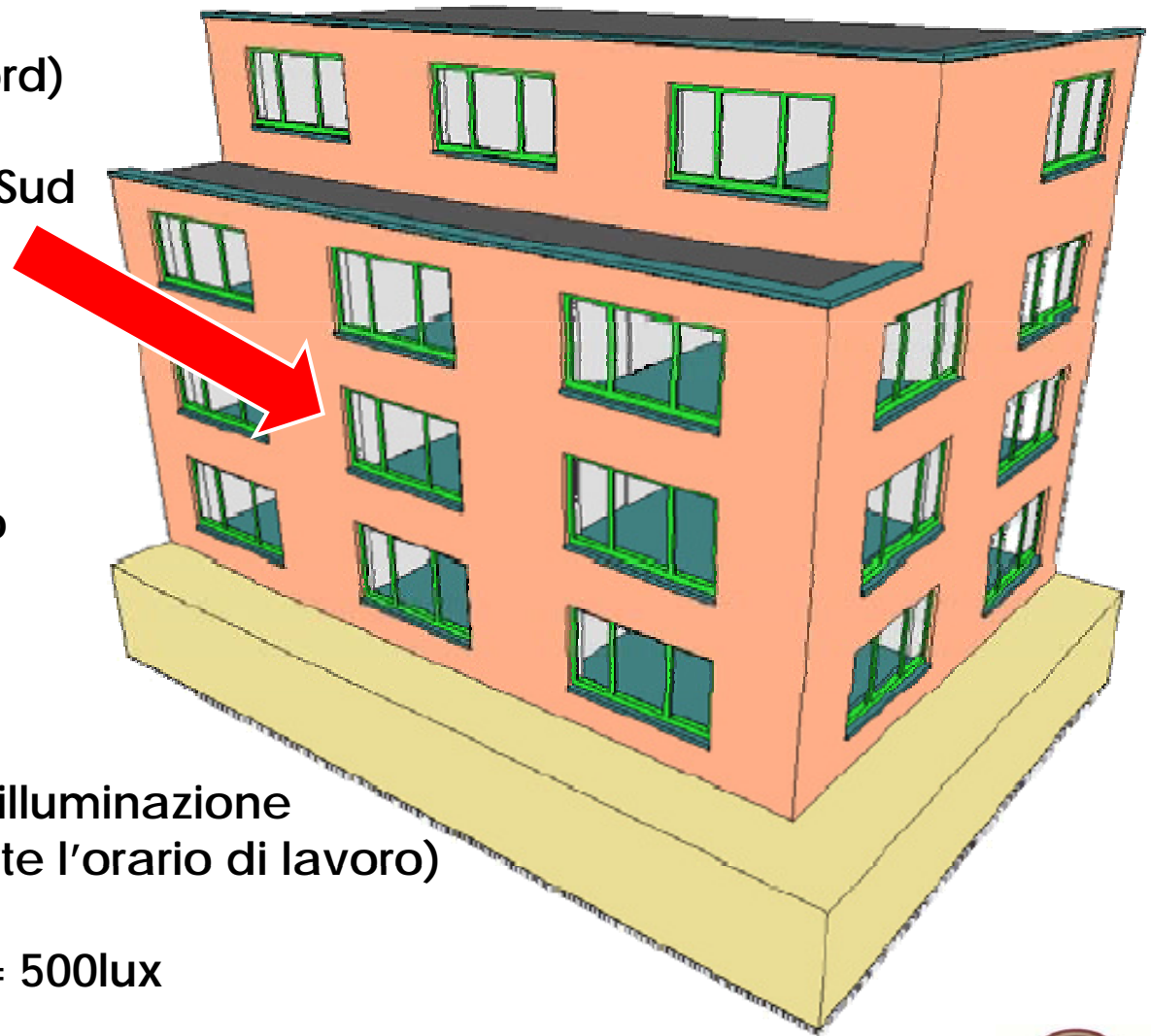
**Ing. Marco Cecconi (m.cecconi@uniroma1.it)**

# Confronto con la norma UNI EN 15193

Metodo di calcolo norma EN15193	Metodo di calcolo sperimentale
<p><b>Punti di forza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>-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>).</li><li>-Viene considerata una vasta gamma di elementi architettonici ostruenti.</li><li>-Presenta una buona flessibilità poiché ottiene come risultato parziale la disponibilità di luce diurna che svincola i dati architettonici da quelli impiantistici.</li></ul> <p><b>Punti di debolezza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>-Nel calcolo della disponibilità di luce diurna non viene presa in considerazione l'orientazione dell'edificio.</li><li>-Gli schermi solari vengono trattati in modo approssimato e senza controlli automatici.</li><li>-Non viene indicato il numero e la posizione dei sensori luminosi né delle lampade.</li></ul>	<p><b>Punti di forza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>-Facile applicazione.</li><li>-Considera l'effetto delle protezioni solari complesse.</li><li>-Considera l'effetto di soluzioni innovative come il controllo integrato dell'illuminazione e degli schermi solari.</li><li>-Considera anche le ripercussioni termiche delle soluzioni illuminotecniche (non in questa trattazione).</li><li>-Distribuito gratuitamente.</li></ul> <p><b>Punti di debolezza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>-Ancora in fase di studio: scarsa flessibilità.</li><li>-Non viene considerato il controllo dell'illuminazione in base all'occupazione dei locali.</li><li>-Non viene preso in considerazione il controllo manuale dell'illuminazione.</li></ul>

## Condizioni di validità del modello proposto

- Latitudine: Roma (41.54° Nord)
- Una facciata vetrata verso Sud
- Locale rettangolare
- Altezza locale = 3m
- Destinazione d'uso: terziario (orario di ufficio)
- Potenza luce = 16W/m<sup>2</sup>
- Controllo centralizzato dell'illuminazione (luci sempre accese durante l'orario di lavoro)
- Illuminamento di progetto = 500lux



## Elaborazione della metodologia di calcolo



- Definizione dell'ambito delle condizioni di prova.
- Simulazione di tutte le grandezze ambientali del locale in analisi ad intervalli di 10 minuti per un intero anno con regolazione *real-time* dell'illuminazione e delle protezioni solari in base alle grandezze ambientali.
- Regressioni parametriche sui risultati ottenere le equazioni interpolanti che costituiscono il metodo.

In totale 7014 simulazioni e 1'474'623'360 dati di output elaborati

## Procedimento di calcolo

Il LENI 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.

$$LENI = F_L \cdot LENI_{rif}$$

*Fabbisogno energetico di riferimento*  
**= 49,4 kWh/m<sup>2</sup>anno**

$$\text{Fattore di locale} = k_{\text{dimens}} \cdot k_{\text{vetro}} \cdot k_{\text{ostacolo}} \cdot k_{\text{shading}} \cdot k_{\text{lights-control}}$$

dove:

$k_{\text{dimens}}$  = Fattore dipendente dalle **dimensioni del locale**

$k_{\text{vetro}}$  = Fattore dipendente dalla **percentuale di vetratura**

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

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

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

**I fattori 'k' si determinano attraverso una serie di diagrammi**

## Esempio di calcolo

### Obiettivo:

Valutazione energetica di un ufficio ubicato a Roma e con una parete finestrata orientata a SUD, in due condizioni:

- **Caso 'A': Assenza di controlli dell'illuminazione** (luci sempre accese durante l'orario d'ufficio);
- **Caso 'B': Controllo a "Dimming continuo"**.

### Caratteristiche specifiche del locale analisi:

Caratteristica	Valore
Larghezza	6 m
Profondità	4 m
Vetratura	30 %
Ostacolo	Angolo di 20° col piano del pavimento
Protezione solare	VenIntBlock (veneziana interna automatizzata)
Controllo illuminazione	CASO 'A' : Nessuno CASO 'B' :Dimming continuo

## Esempio di calcolo

### **CASO 'A'**

Non essendo presenti controlli automatici non si avrà nessun risparmio rispetto al caso di riferimento, quindi:

### Locale in analisi:

Dimensioni = 6x4m; Vetro = 30%;  
Ostacolo=20°;  
Shading= *VenIntBlock*;  
**Lights-Control=OFF**

$$LENI = F_L \cdot LENI_{rif} = 1,00 \cdot 49,40 = 49,40 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$$

*Fabbisogno energetico di riferimento = 49,4 kWh/m<sup>2</sup>anno*

**Fattore di locale = 1**



## Esempio di calcolo

### CASO 'B'

In questo caso ci sarà sicuramente un risparmio rispetto al caso di riferimento. Per valutarlo è necessario calcolare il fattore di locale.

### Locale in analisi:

Dimensioni = 6x4m; Vetro = 30%;

Ostacolo=20°;

Shading= *VenIntBlock*;

Lights-Control= *DimmingContinuo*

$$LENI = F_L \cdot LENI_{rif}$$

*Fabbisogno energetico di riferimento* = 49,4 kWh/m<sup>2</sup>anno

**Fattore di locale** =  $k_{dimens} \cdot k_{vetro} \cdot k_{ostacolo} \cdot k_{shading} \cdot k_{lights-control}$

Il calcolo dei coefficienti 'k' si effettua utilizzando i diagrammi delle prossime slide.





# Esempio di calcolo

CASO 'B'

Locale in analisi:

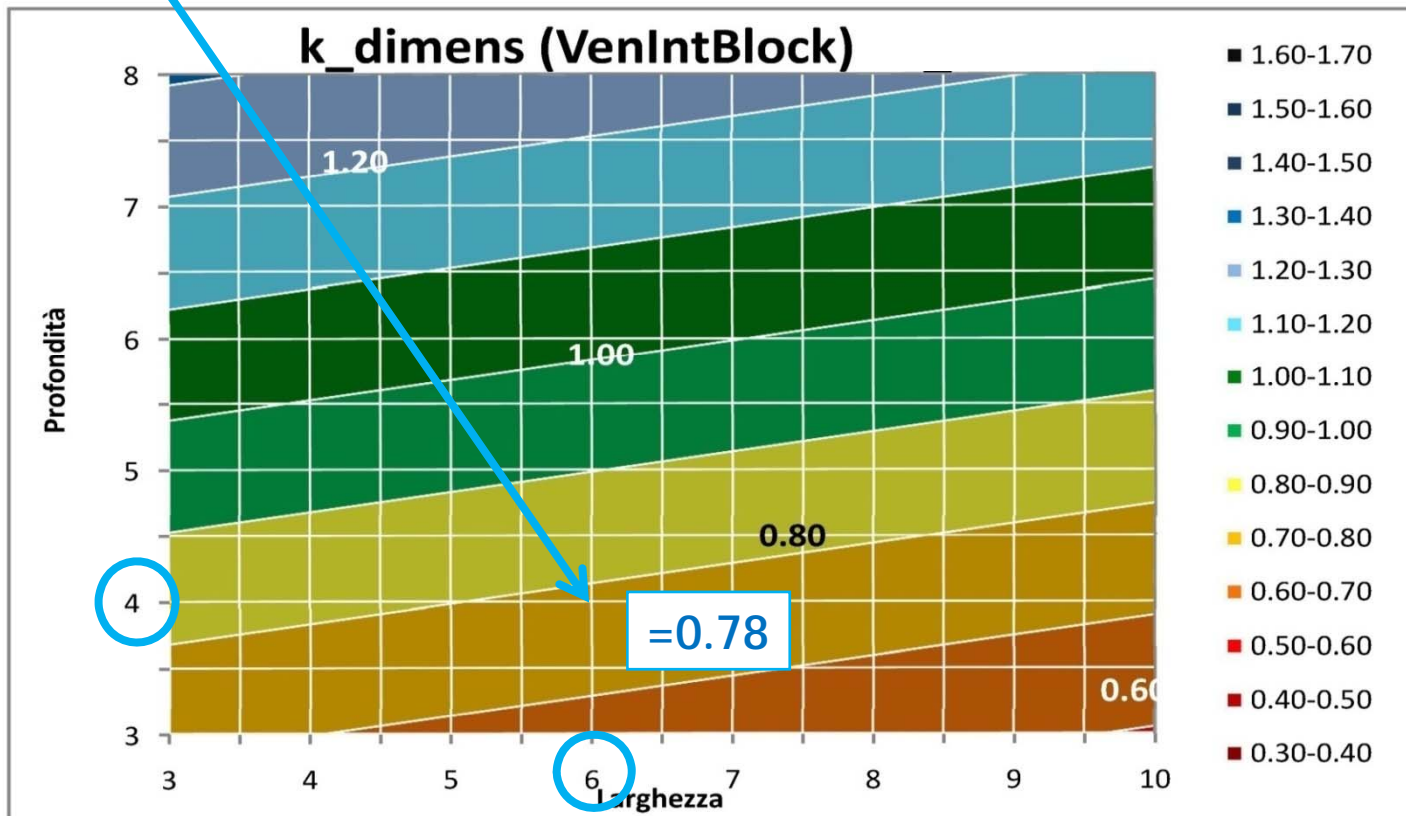
Dimensioni = 6x4m; Vetrol = 30%;  
Ostacolo=20°.

Shading= VenIntBlock;

Lights-Control= DimmingContinuo

Determinazione del fattore  $k_{dimens}$ :

$$F_L = k_{dimens} \cdot k_{vetro} \cdot k_{ostacolo} \cdot k_{shading} \cdot k_{lights-control}$$



# Esempio di calcolo

CASO 'B'

Locale in analisi:

Dimensioni = 6x4m Vetra = 30%

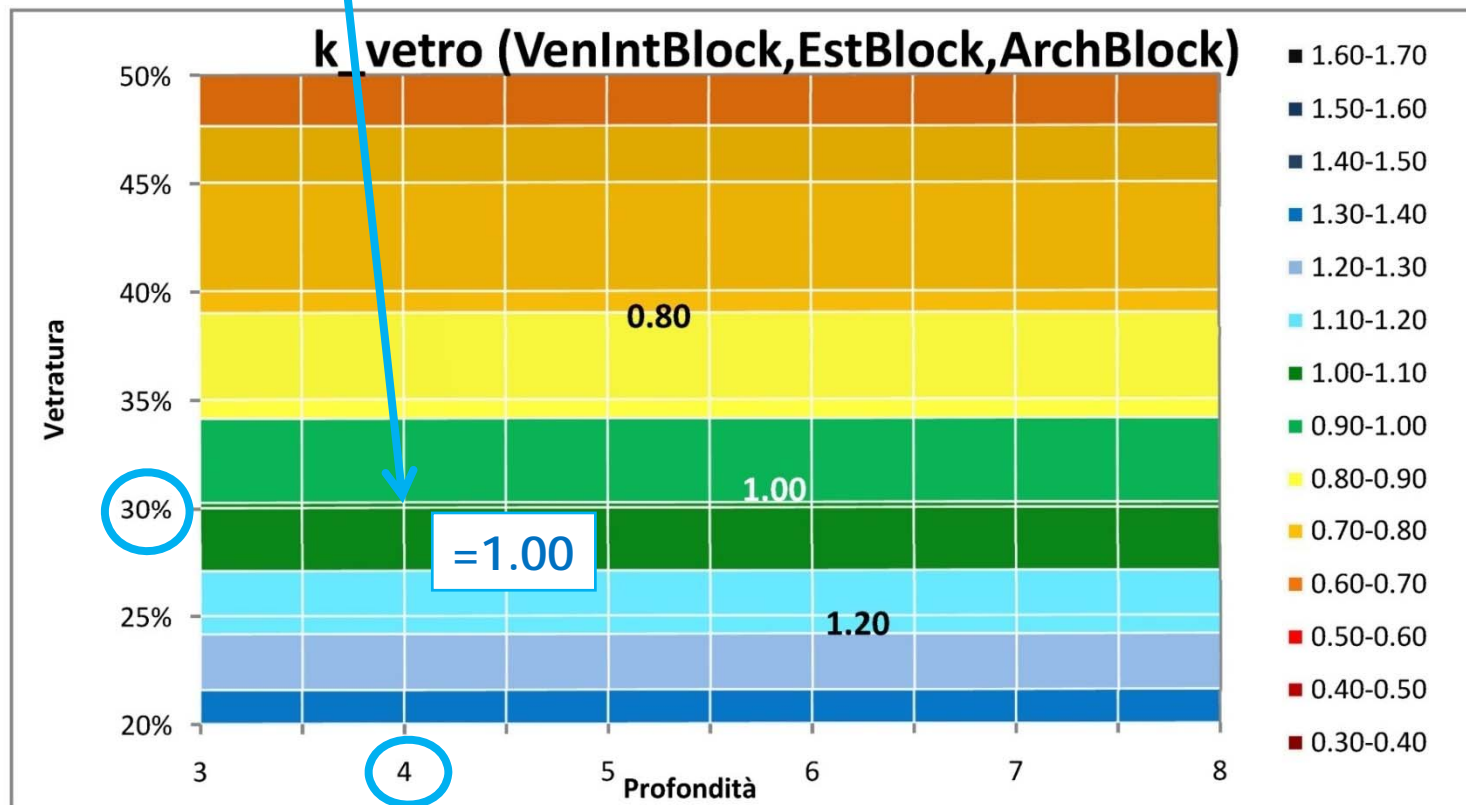
Ostacolo=20°

Shading= VenIntBlock

Lights-Control= DimmingContinuo

Determinazione del fattore  $k_{vetra}$ :

$$F_L = k_{dimens} \cdot k_{vetra} \cdot k_{ostacolo} \cdot k_{shading} \cdot k_{lights-control}$$



# Esempio di calcolo

CASO 'B'

Determinazione del fattore  $k_{ostacolo}$ :

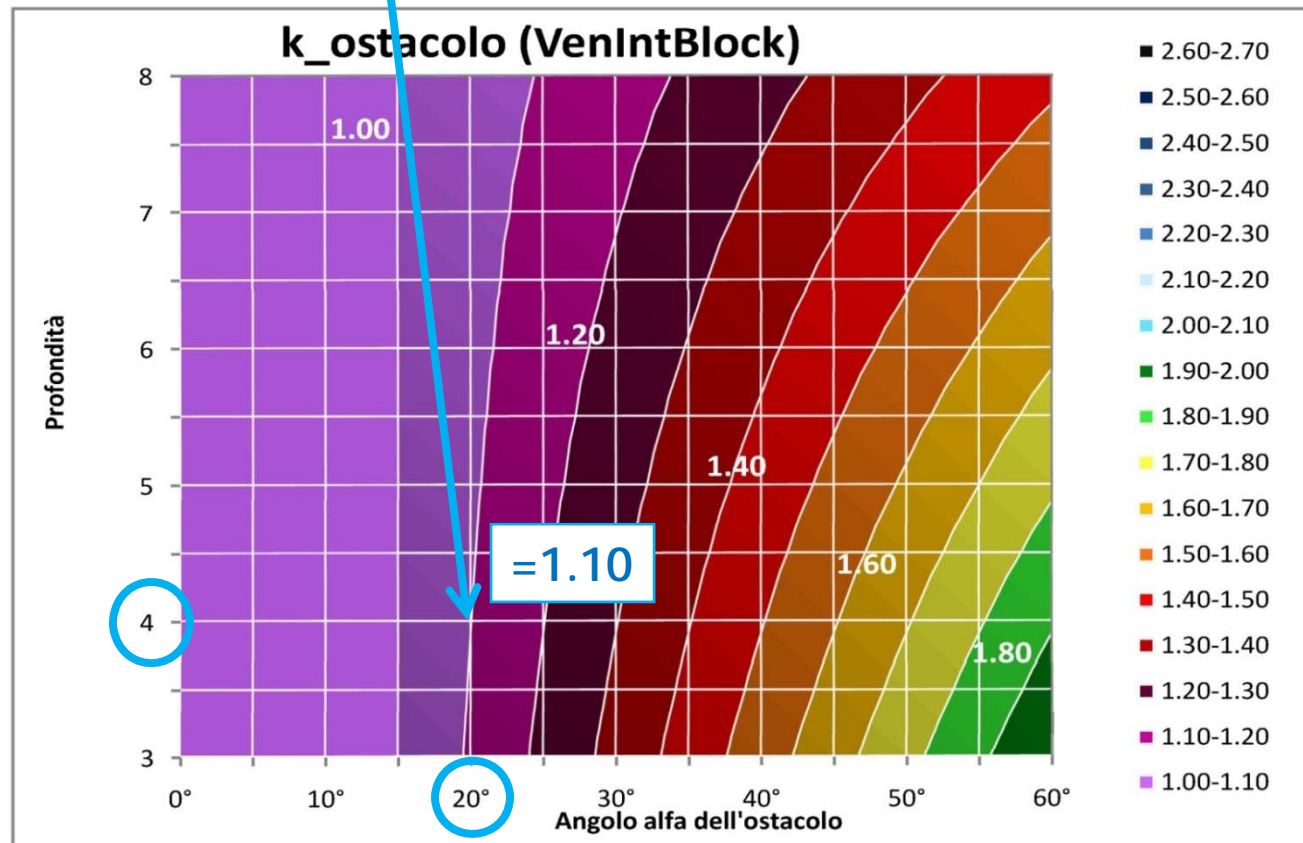
Locale in analisi:

Dimensioni = 6x4m; Vetrot = 30%;  
Ostacolo = 20°;

Shading = VenIntBlock;

Lights-Control = Dimming Continuo

$$F_L = k_{dimens} \cdot k_{vetro} \cdot k_{ostacolo} \cdot k_{shading} \cdot k_{lights-control}$$



# Esempio di calcolo

CASO 'B'

## Locale in analisi:

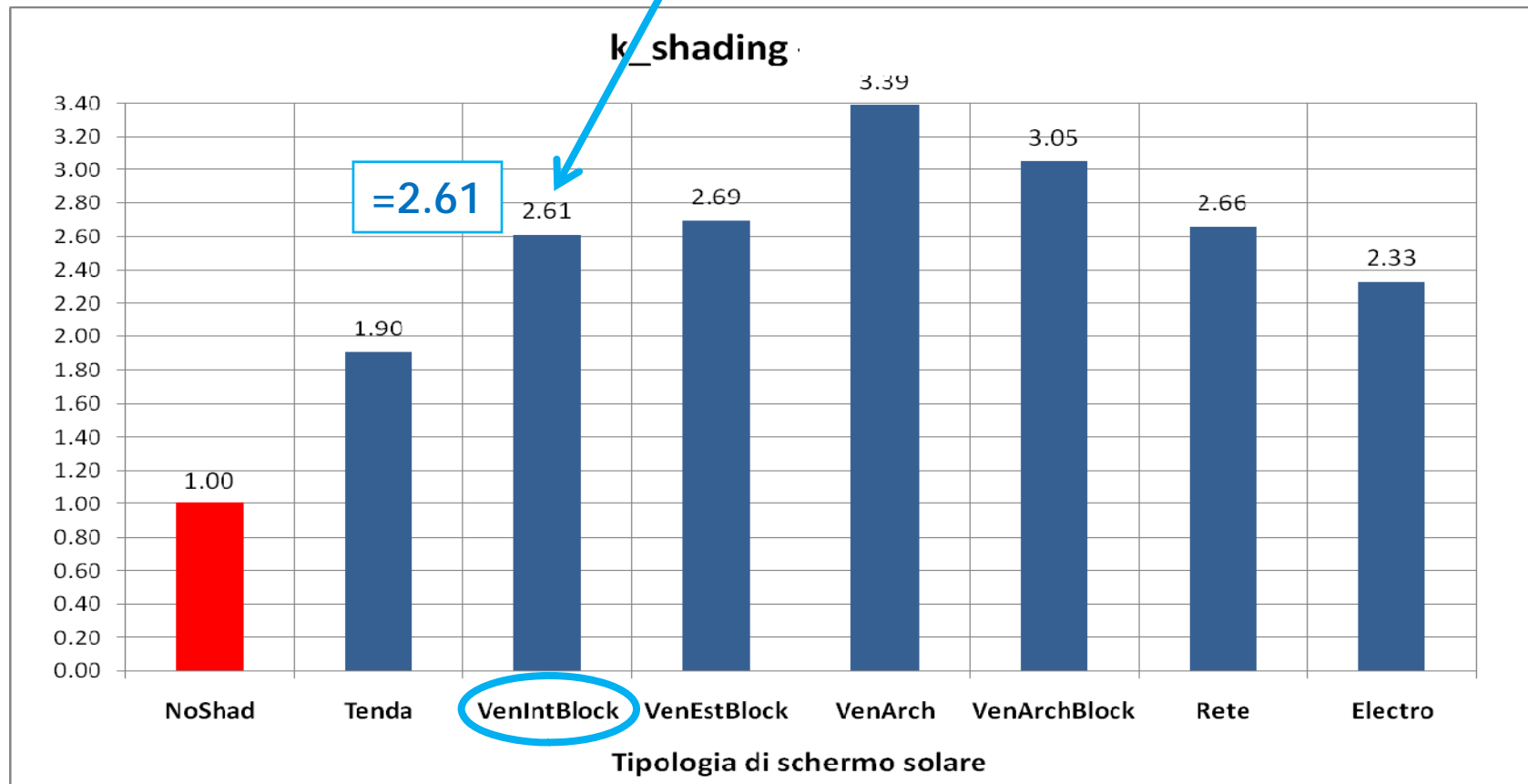
Dimensioni = 6x4m; Vetro = 30%;  
Ostacolo=20°

Shading= VenIntBlock

Lights-Control= DimmingContinuo

Determinazione del fattore  $k_{shading}$ :

$$F_L = k_{dimens} \cdot k_{vetro} \cdot k_{ostacolo} \cdot k_{shading} \cdot k_{lights-control}$$



# Esempio di calcolo

CASO 'B'

## Locale in analisi:

Dimensioni = 6x4m; Vetro = 30%;

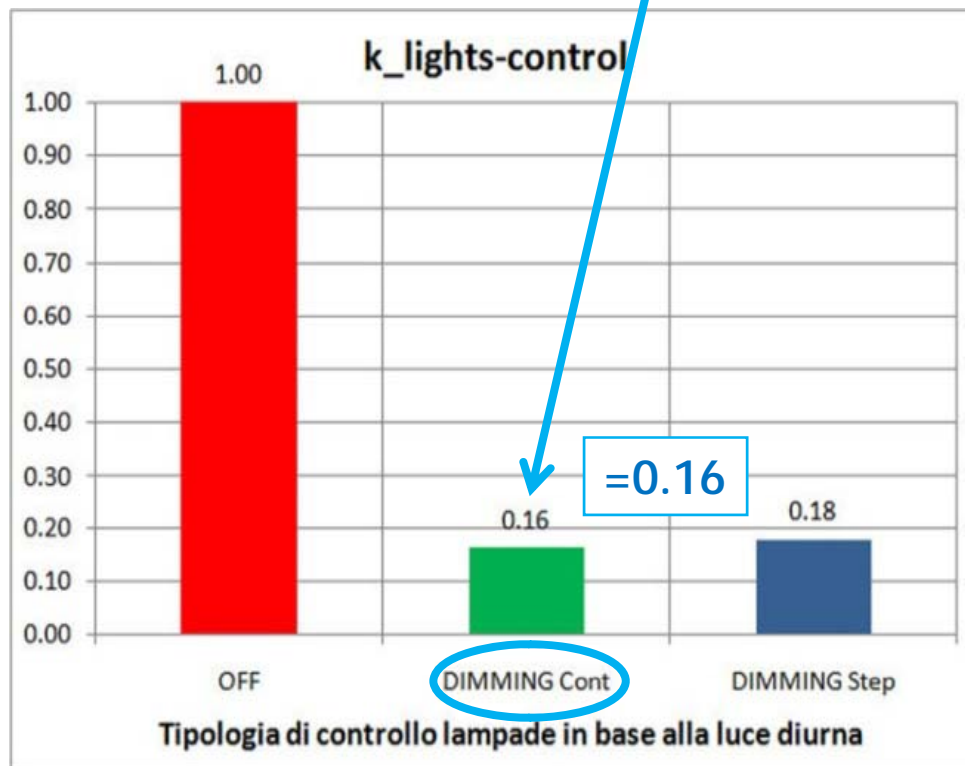
Ostacolo=20°;

Shading= VenIntBlock;

**Lights-Control=DimmingContinuo**

Determinazione del fattore  $k_{light-control}$ :

$$F_L = k_{dimens} \cdot k_{vetro} \cdot k_{ostacolo} \cdot k_{shading} \cdot k_{lights-control}$$



## Esempio di calcolo

### CASO 'B'

Una volta conosciuti tutti i coefficienti 'k' bastano poche moltiplicazioni per calcolare il LENI:

#### Locale in analisi:

Dimensioni = 6x4m; Vetro = 30%;

Ostacolo=20°;

Shading= *VenIntBlock*;

Lights-Control= *DimmingContinuo*

$$LENI = F_L \cdot LENI_{rif} = 0,370 \cdot 49,40 = 18,28 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$$

*Fabbisogno energetico di riferimento* = 49,4 kWh/m<sup>2</sup>anno

$$\begin{aligned} \text{Fattore di locale} &= k_{\text{dimens}} \cdot k_{\text{vetro}} \cdot k_{\text{ostacolo}} \cdot k_{\text{shading}} \cdot k_{\text{lights-control}} = \\ &= 0,78 \cdot 1,00 \cdot 1,10 \cdot 2,61 \cdot 0,164 = \\ &= 0,370 \end{aligned}$$

Rispetto al CASO 'A' vi è un risparmio annuale del 67%



# Software di calcolo: *LeniManager*

Per un calcolo più veloce è stato implementato il software *LeniManager* che permette di eseguire contestualmente i calcoli del metodo normativo e 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.

### Caratteristiche impianto d'illuminazione e sistemi di controllo

CARATTERISTICHE IMPIANTO

	IMP-base	IMP-utente	IMP-ott
$E_{in}$ : illuminamento medio richiesto =	500 lux	500 lux	500 lux
$\epsilon$ : efficienza delle lampade =	25 lm/W	80 lm/W	100 lm/W
$B$ : coeff. di utilizzazione lampade =	0.60 adim	0.60 adim	0.70 adim
MF: fattore di manutenzione =	0.80 adim	0.80 adim	0.80 adim
$P_{n,inst}$ : potenza da installare (solo lampade) =	1500 W	469 W	321 W
$P_{n,imp}$ : potenza singolo lampada =	60 W	36 W	36 W
$N_{lamp}$ : numero di lampade da installare =	25 adim	13 adim	9 adim
$P_r$ : perdite del reattore =	0.0%	10.0%	2.0%
$P_{n,tot}$ : potenza nominale complessiva impianto =	1500 W	516 W	328 W
$P_{n,d}$ : densità di potenza =	41.7 W/m <sup>2</sup>	14.3 W/m <sup>2</sup>	9.1 W/m <sup>2</sup>

ESERCIZIO E CONTROLLI

Destinazione d'uso: Ufficio

$t_{D}$ : periodo di funzionamento diurno = 2650 h

$t_{N}$ : periodo di funzionamento notturno = 465 h

$F_a$ : fattore di assenza = 0.20 adim

Controllo luci in relazione all'occupazione dei locali = Manuale

$F_{oc}$ : fattore di occupazione = 1.00 adim

$F_{D}$ : fattore di dipendenza dell'occupazione = 1.00 adim

Disponibilità di luce diurna (rispetto a  $D_d$ ) = Media

Disponibilità di luce diurna (rispetto a  $D$ ) = Media

$a_p$ : coefficiente empirico = 1.243 adim

$b_p$ : coefficiente empirico = -0.012 1/\*

$F_{D,50}$ : fattore di disponibilità di luce diurna = 0.76 adim

Controllo luci in relazione alla luce diurna = Automatico

$F_{D,50}$ : fattore di controllo a luce diurna = 0.30 adim

$F_{D}$ : fattore di dipendenza dalla luce diurna = 1.00 adim

$F_c$ : fattore d'illuminamento costante = 1.00 adim

$F_{DC}$ : Fattore confrontabile con  $F_{oc}$  del calcolo sperimentale =  $F_D F_c$  = 1.00 adim

### RISULTATI del calcolo effettuato secondo la NORMA EN 15193

RISULTATI

Cinque diverse soluzioni comprensive (impianto + controlli) combinazione delle alternative inserite precedentemente:

	IMP-base CONTR-base	IMP-base CONTR-ott	IMP-ott CONTR-utente	IMP-ott CONTR-base	IMP-ott CONTR-ott
$P_n$ : Potenza installata complessiva dell'impianto = $\frac{E_n \cdot A}{\epsilon \cdot B \cdot MF} (1 + 0.01 P_r)$	1500 W	1500 W	516 W	328 W	328 W
	42 W/m <sup>2</sup>	42 W/m <sup>2</sup>	14 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>	9 W/m <sup>2</sup>
$T$ : Ore effettive di utilizzo a piena potenza = $(t_D F_a F_{D,50} + t_N F_a F_D) F_c$	3115 h/anno	1381 h/anno	2384 h/anno	3115 h/anno	1381 h/anno
$W_L$ : Fabbisogno energetico complessivo illuminazione = $\frac{P_n \cdot T}{1000}$	4673 kWh/anno	2072 kWh/anno	1229 kWh/anno	1021 kWh/anno	463 kWh/anno
	1.03 TEP/anno	0.46 TEP/anno	0.27 TEP/anno	0.22 TEP/anno	0.10 TEP/anno
	935 €/anno*	414 €/anno*	246 €/anno*	204 €/anno*	91 €/anno*
$LENI$ : Fabbisogno energetico specifico illuminazione = $\frac{W_L}{Area}$	129.8 kWh/m <sup>2</sup> anno	57.6 kWh/m <sup>2</sup> anno	34.1 kWh/m <sup>2</sup> anno	28.4 kWh/m <sup>2</sup> anno	12.6 kWh/m <sup>2</sup> anno

RISPARMI rispetto al caso di riferimento

	IMP-base CONTR-base	IMP-base CONTR-ott	IMP-ott CONTR-utente	IMP-ott CONTR-base	IMP-ott CONTR-ott
Dovuto all'impianto	0%	0%	-66%	-78%	-78%
Dovuto alla Building Automation	0%	-56%	-23%	0%	-56%
Complessivo	0%	-56%	-74%	-78%	-90%

RISPARMI ASSOLUTI

	IMP-base CONTR-base	IMP-base CONTR-ott	IMP-ott CONTR-utente	IMP-ott CONTR-base	IMP-ott CONTR-ott
Complessivo (En. Elettr.)	0 kWh/anno	2600 kWh/anno	3443 kWh/anno	3651 kWh/anno	4220 kWh/anno
Complessivo (TEP)	0.00 TEP/anno	0.57 TEP/anno	0.76 TEP/anno	0.80 TEP/anno	0.93 TEP/anno
Complessivo (euro)	0 €/anno	520 €/anno	689 €/anno	730 €/anno	844 €/anno

\* Costo energia elettrica = 0.20 €/kWh

**LENI: Variazione con le ottimizzazioni**

La bande colorate si riferiscono alle quattro possibili combinazioni di ottimizzazione che compaiono nelle tabelle. La lancetta gialla indica la combinazione inserita dall'utente.

**LENI: Variazione con l'illuminamento richiesto**

\* Calcolo modificato rispetto alla norma in modo da tener conto dell'area di non-daylight

## Conclusioni, applicazioni, sviluppi futuri

Il metodo descritto è ancora in fase di studio e presenta i limiti tipici di un'applicazione sperimentale. Nonostante ciò, il metodo è applicativo e fornisce con semplicità dei risultati che possono essere utili per una **ricognizione preliminare delle possibilità offerte dalla *Building Automation***.

Rispetto alla norma UNI EN 15193 vi sono punti di forza e di debolezza che pongono questo metodo non in competizione ma piuttosto in cooperazione con le indicazioni normative. I risultati provenienti dai due calcoli possono essere confrontati per una mutua verifica.

Per il futuro ci si propone di far evolvere il modello proposto, nonché di analizzare un impianto effettivamente realizzato per misurare sul campo l'accuratezza delle valutazioni calcolate.

**L'articolo completo sul metodo qui descritto è scaricabile da:**

[www.marcocecconi.it/articolo\\_tesi.pdf](http://www.marcocecconi.it/articolo_tesi.pdf)





**Grazie dell'attenzione**