



AN.I.P.L.A.  
ASSOCIAZIONE NAZIONALE  
ITALIANA PER L'AUTOMAZIONE



*Building Automation per il Risparmio Energetico*

26 Ottobre 2011 – ore 9:55

Sala Verde

SAVE – Veronafiore

# Efficienza ed efficacia energetica degli impianti di illuminazione

Luigi Martirano, *Università Sapienza di Roma*

DIAEE Area Elettrica, Via Eudossiana, 18

*[martirano@uniroma1.it](mailto:martirano@uniroma1.it)*



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Indice degli argomenti trattati

- Introduzione
- Efficienza ed efficacia dei sistemi di illuminazione
- Tecniche, azioni e strategie di controllo
- Indicatori di efficienza ed efficacia e valutazione della prestazione energetica dei sistemi di illuminazione
- Case study

L'efficienza è una caratteristica intrinseca del sistema ed esprime una potenzialità di performance (è correlata al concetto di potenza).

Sostanzialmente agisce sulla POTENZA  
NOMINALE del sistema



$$W = P_N * t \quad [\text{kWh}]$$

L'efficacia è la messa in atto della potenzialità ed è correlata al concetto di energia.

Agisce tramite i CONTROLLI:

-sulla POTENZA

-Sul TEMPO


$$W = F_k * P_N * t \quad [\text{kWh}]$$

Il sistema deve essere opportunamente predisposto all'efficacia.

**Progetto energetico dell' edificio o progettazione energetica:**

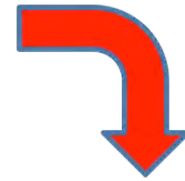
Procedura che integra la progettazione del sistema edificio-impianto, dal progetto preliminare sino agli elaborati esecutivi, e comprende: la **selezione delle soluzioni più idonee ai fini dell'uso razionale dell'energia e della riduzione dell'impatto ambientale** (incluse le caratteristiche degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva, degli impianti di illuminazione artificiale e gli altri usi elettrici o *energetici obbligati*), .....

# Prestazione energetica di un edificio rispetto all'esterno (Dir. 2010/31/UE)

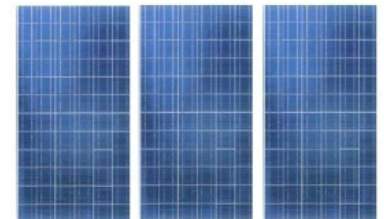
RETE ELETTRICA

RETE

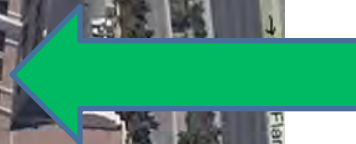
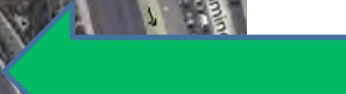
GAS



CHP



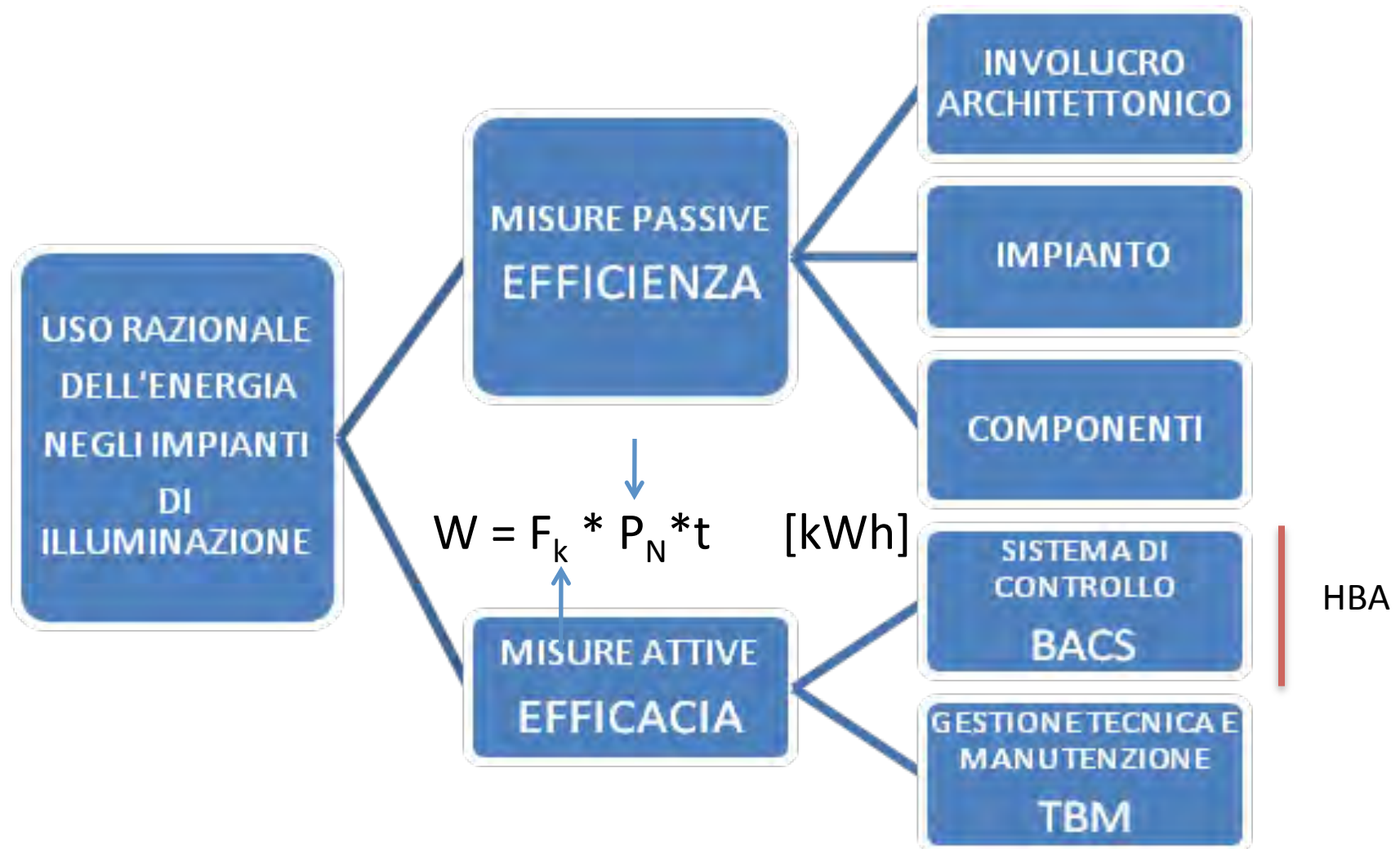
FER



«edificio a energia quasi zero»: edificio ad altissima prestazione energetica. Il fabbisogno energetico molto basso o **quasi nullo** dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze;

Art.2 Direttiva 2010/31/UE 19 maggio 2010

## ***Misure di efficienza ed efficacia*** dei sistemi di illuminazione



# COS' E' L' HBA

## Home and building automation

E' LA TECNICA CHE **INTEGRA** LE DIVERSE FUNZIONI DEI DIVERSI IMPIANTI PRESENTI IN UNA CASA O EDIFICIO ATTRAVERSO L' UTILIZZO DI *TECNOLOGIE INNOVATIVE* QUALI I **SISTEMI BUS** E LE *RETI DI COMUNICAZIONE*.

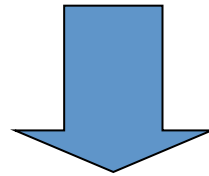
SISTEMI BUS





# Sistema Elettronico per la Casa e l' Edificio: HBES (Home and Building Electronic Systems)

È un sistema elettrico/elettronico che ha come obiettivo quello di controllare e comandare, in maniera automatizzata o no, un insieme integrato di funzioni in edifici

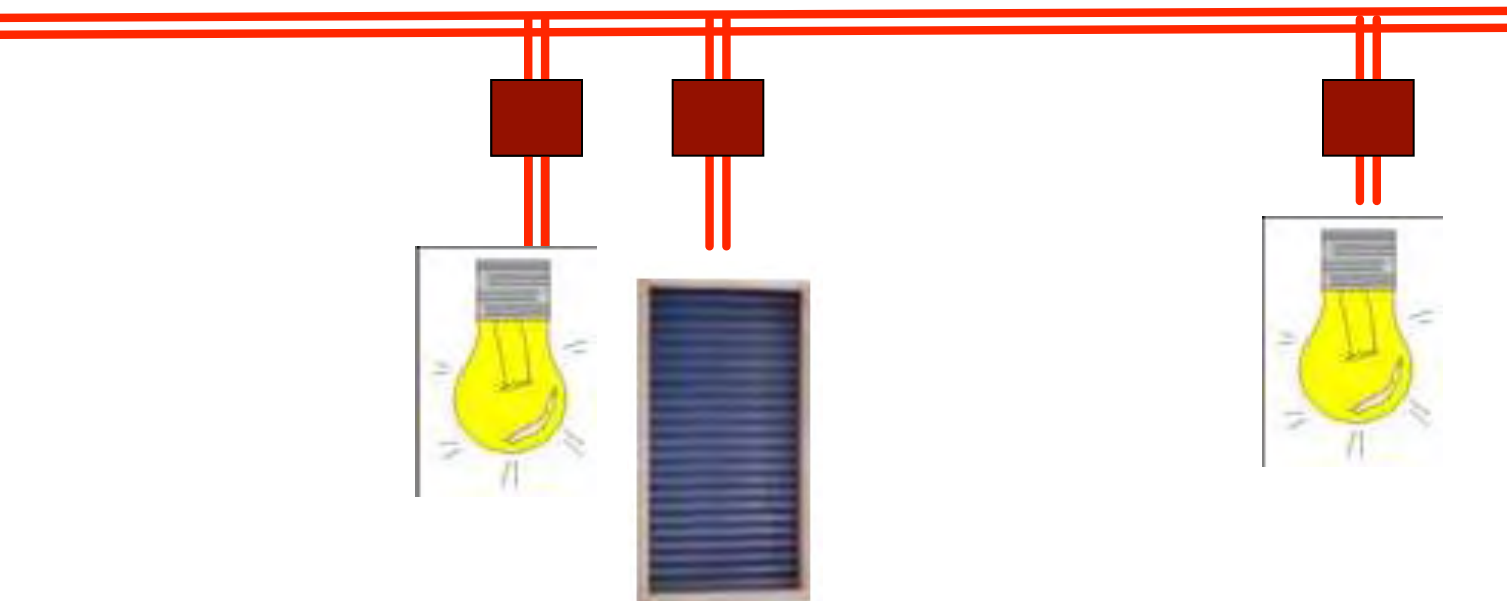


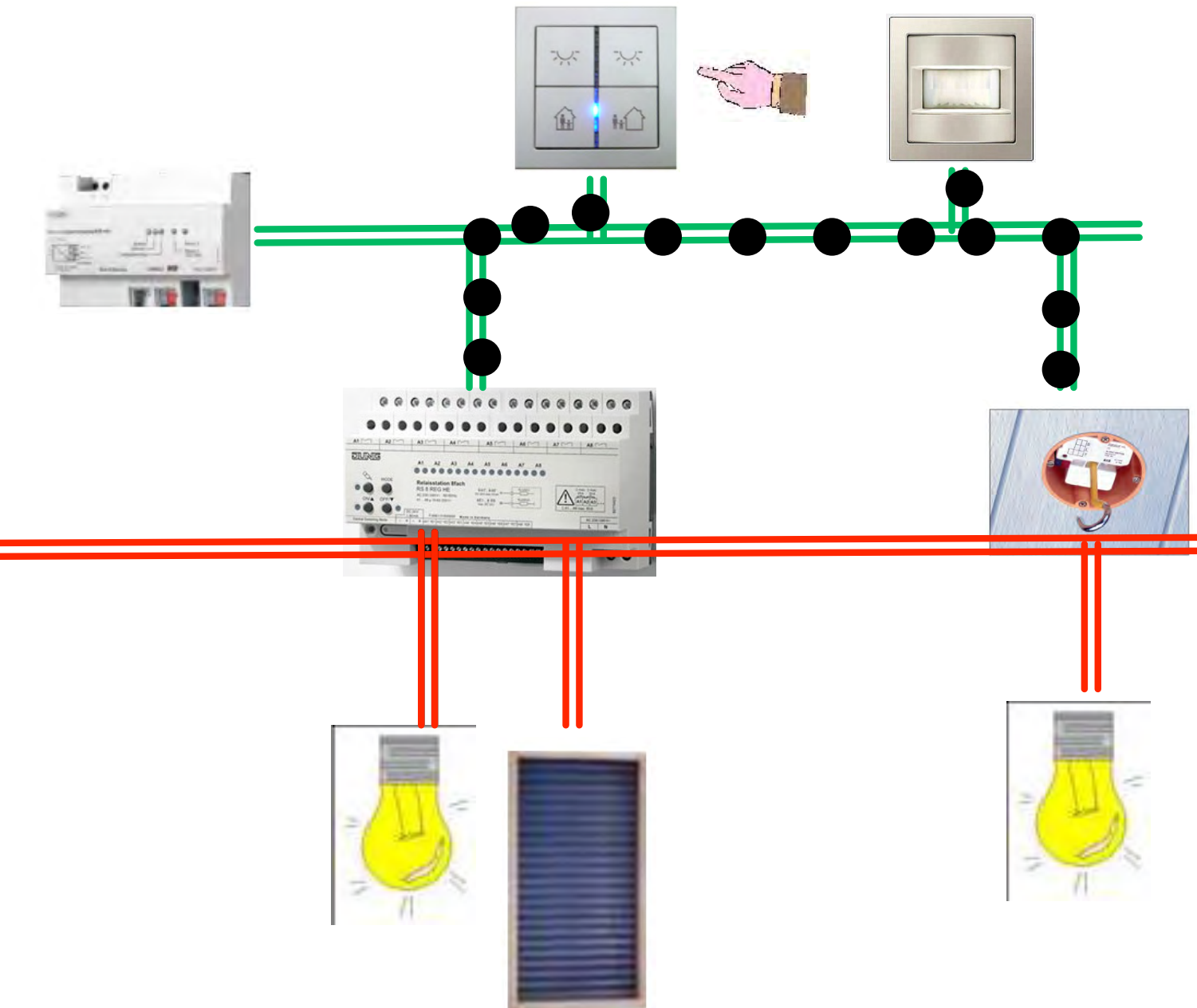
## sistemi BUS

**Una rivoluzione nel modo di concepire il comando di un dispositivo**

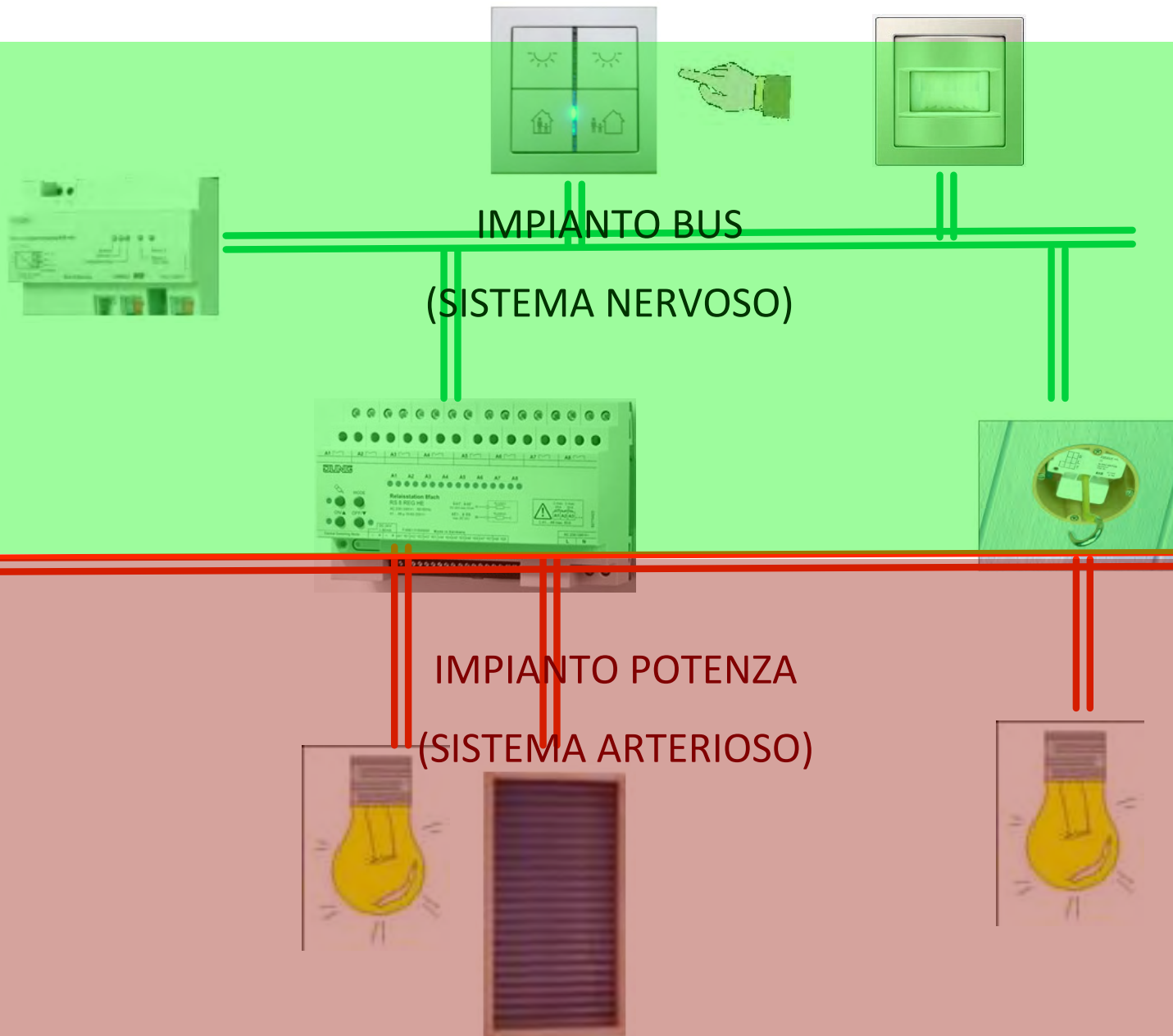
## IMPIANTO TRADIZIONALE:

Il comando è effettuato tramite un dispositivo meccanico direttamente interposto tra la sorgente di alimentazione e l' utilizzatore

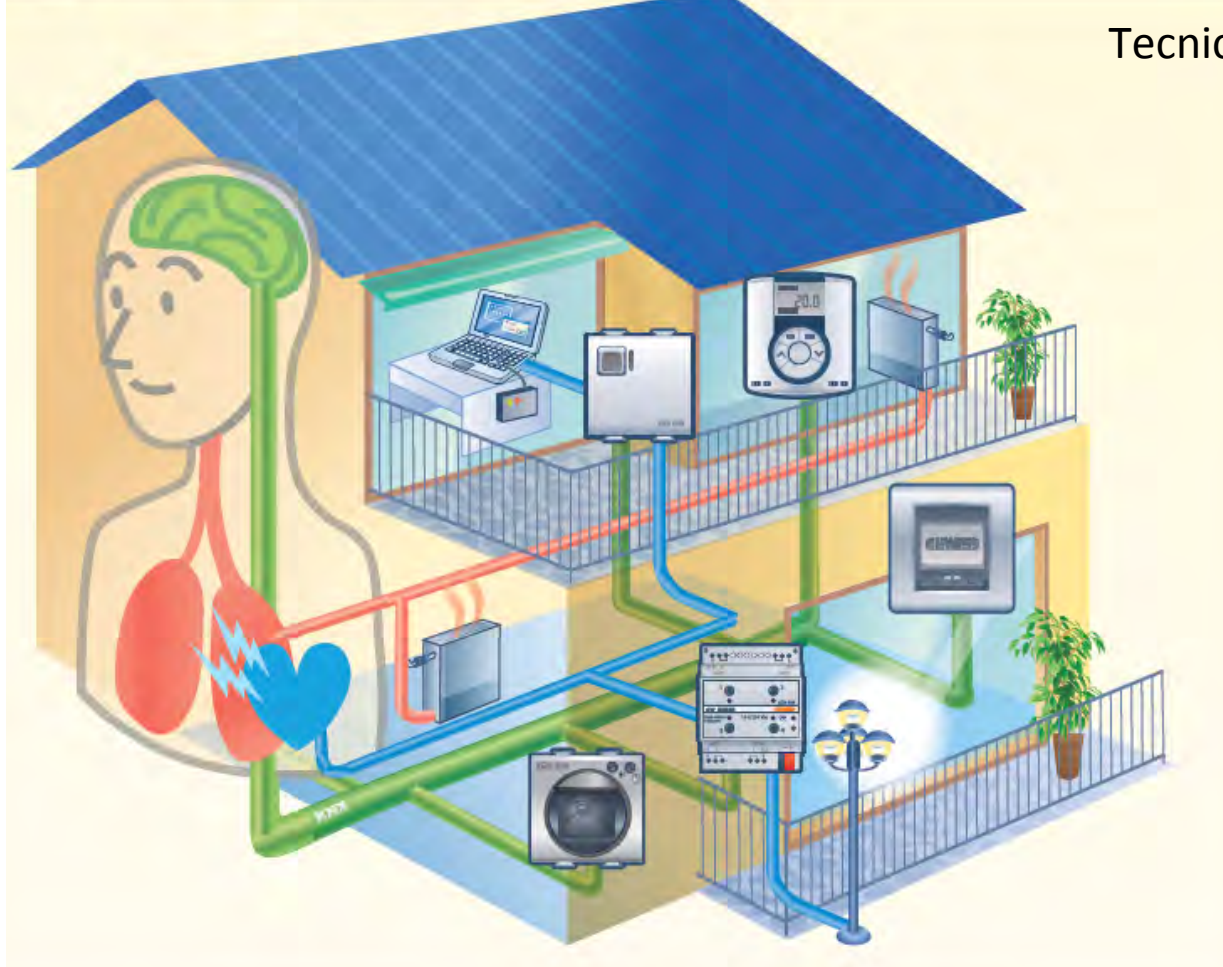




**IMPIANTO HBES:**  
 Il comando è effettuato tramite un dispositivo elettronico intelligente interposto tra la sorgente di alimentazione e l'utente (ATTUATORE) ed un dispositivo elettronico intelligente collegato ad un BUS (DISPOSITIVO DI INGRESSO) tramite un telegramma di informazioni



**IMPIANTO HBES:**  
Il comando è effettuato tramite un dispositivo elettronico intelligente interposto tra la sorgente di alimentazione e l'utente (ATTUATORE) ed un dispositivo elettronico intelligente collegato ad un BUS (DISPOSITIVO DI INGRESSO) tramite un telegramma di informazioni



## Sistema BUS

Insieme dei dispositivi e delle loro interconnessioni che realizza applicazioni utilizzando uno o più supporti di comunicazione comune a tutti i dispositivi ed attuando la comunicazione dei dati tra gli stessi secondo un protocollo di comunicazione prestabilito.

## HBES o Sistema HBES o impianto HBES

Home and Building Electronic System (Sistema elettronico per la casa e l'edificio), sistema BUS conforme alla serie di Norme CEI EN 50090.



# NORMA ITALIANA CEI

Norma Italiana

## CEI 205-2

Data Pubblicazione	Edizione
2005-05	Prima

Classificazione	Fascicolo
205-2	7628

Titolo

Guida ai sistemi bus su doppino per l'automazione nella casa e negli edifici, secondo le Norme CEI EN 50090

Tecniche, azioni e strategie di controllo

# NORMA ITALIANA CEI

Guida

## CEI 205-14

Data Pubblicazione	Edizione
2009-07	Prima

Classificazione	Fascicolo
205-14	9886

Titolo

Guida alla progettazione, installazione e collaudo degli impianti HBES

# NORMA ITALIANA CEI

Guida

## CEI 205-18

Data Pubblicazione

2011-01

Titolo

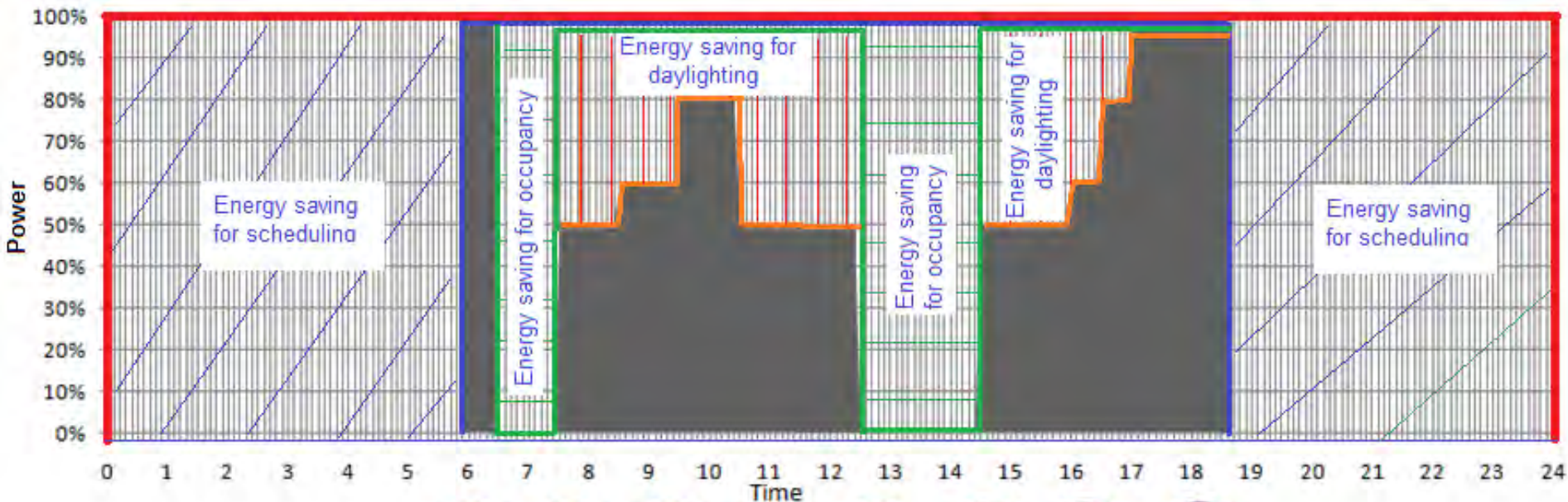
Guida all'impiego dei sistemi di automazione degli impianti tecnici negli edifici  
Identificazione degli schemi funzionali e stima del contributo alla riduzione del fabbisogno energetico di un edificio

# Efficienza ed efficacia dei sistemi di illuminazione

$$W = P_N * t \quad [\text{kWh}]$$

$$W = (k_p * P_N) * (k_t * t) \quad [\text{kWh}]$$

$$W = F_k * P_N * t \quad [\text{kWh}]$$



Il fattore correttivo  $F_k$  coincide con i BAC factors introdotti dalla norma EN15232



# Lighting system like a car

Aerodynamic, engine, power control, fuel, etc



Efficiency

Driving style, speed, accelerations, etc.



*OPERATION*

Effectiveness



## Gli impianti devono essere predisposti ad un efficace utilizzo

1) Utilizzatori con potenza modulabile e con elevata efficienza anche a potenza ridotta

(es. climatizzatore con inverter o lampada con dimming\*)

2) Disposizione degli utilizzatori in accordo con le effettive esigenze

(es. apparecchi illuminanti disposti tenendo conto della luce naturale)

3) Sistema di controllo adeguato alle effettive esigenze

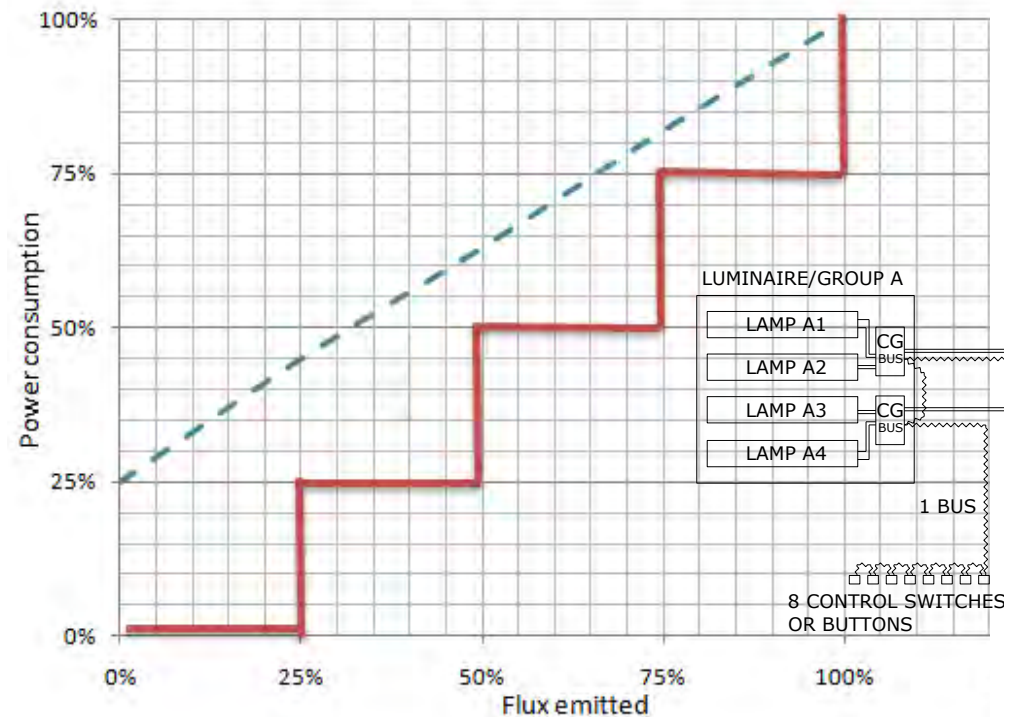
(es. gruppi di accensione o regolazione che tengono conto delle aree di lavoro o della luce naturale)

# 1) Utilizzatori con potenza modulabile e con elevata efficienza anche a potenza ridotta (*tecnica di controllo*)

*Switching*: attraverso l'accensione parzializzata delle lampade;

*Dimming* : attraverso la regolazione continua del flusso luminoso emesso.

- singola lampada (*switching in the lamp*),
- singolo apparecchio (*switching in the luminaire*),
- gruppi di lampade (*switching groups of lamps*),
- gruppi di apparecchi (*switching groups of luminaires*).

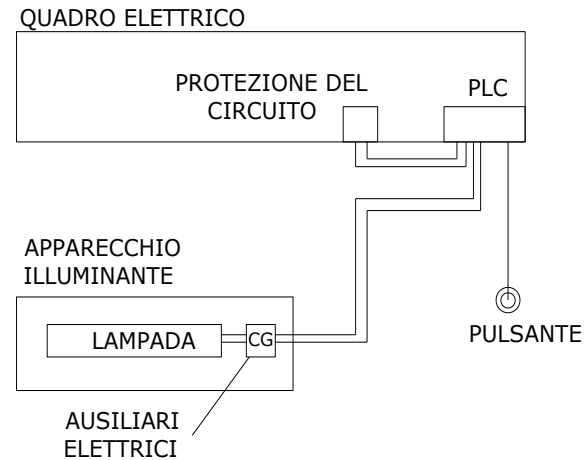
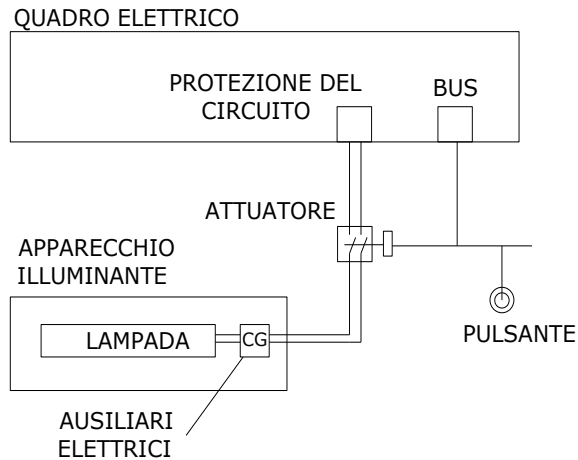
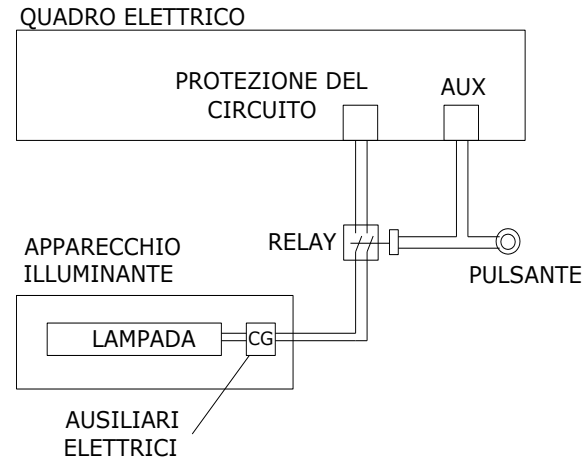
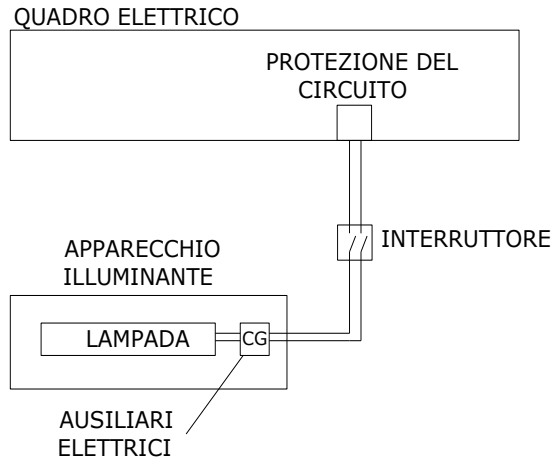


*Azioni di controllo*, ovvero come viene implementata la *tecnica di controllo*:

- mediante l' interruzione diretta del circuito di alimentazione (***tradizionale***),
- mediante un circuito di controllo ausiliario (***relay***),
- **mediante un sistema ausiliario BUS di tipo distribuito (*attuatori BUS*) \***,
- mediante un sistema ausiliario BUS di tipo concentrato (***PLC***).

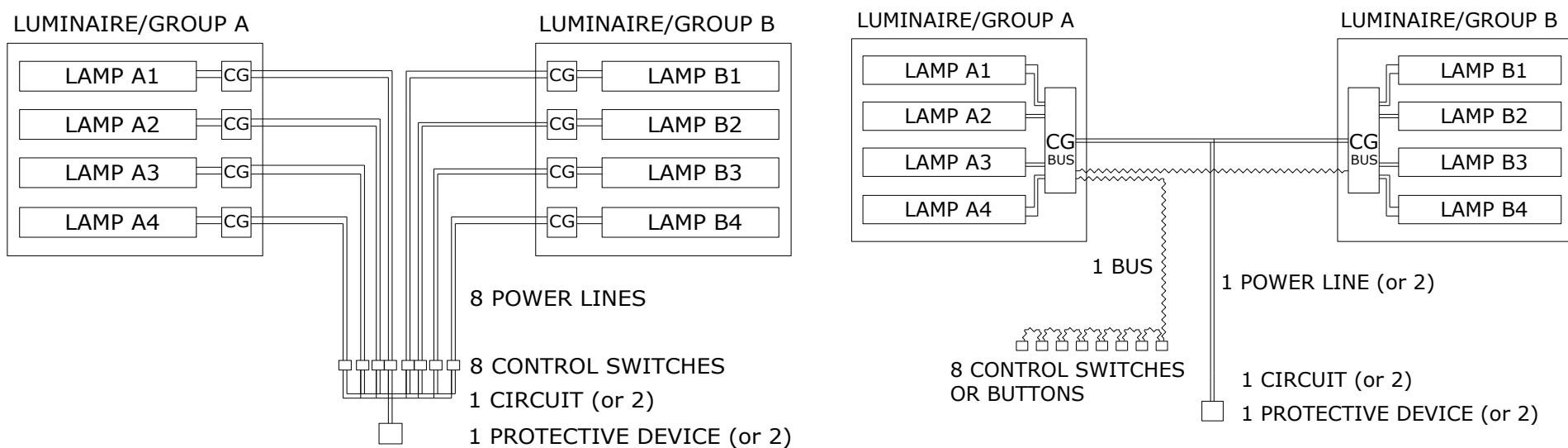
\*HBES Home and Building Electronic Systems  
EN 50090  
CEI 205

# Azioni di controllo



*Azioni di controllo, ovvero come viene implementata la tecnica di controllo:*

- mediante l'interruzione diretta del circuito di alimentazione (***tradizionale***),
- mediante un circuito di controllo ausiliario (***relay***),
- mediante un sistema ausiliario BUS di tipo distribuito (***attuatori BUS***),
- mediante un sistema ausiliario BUS di tipo concentrato (***PLC***).



***Le 7 strategie di controllo***, ovvero quale fine deve perseguire il controllo:

*Scheduling*

*Daylighting*

*Occupancy room occupancy o area occupancy*

*Integrating*

*Zoning*

*Remoting*

*Metering*

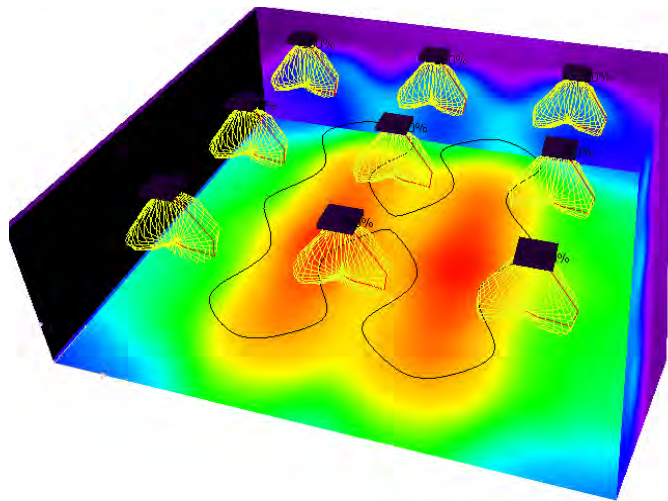
2) Disposizione degli utilizzatori in accordo con le effettive esigenze

The general criteria adopted in lighting design of interior consider generally only a condition of “**night time**”.

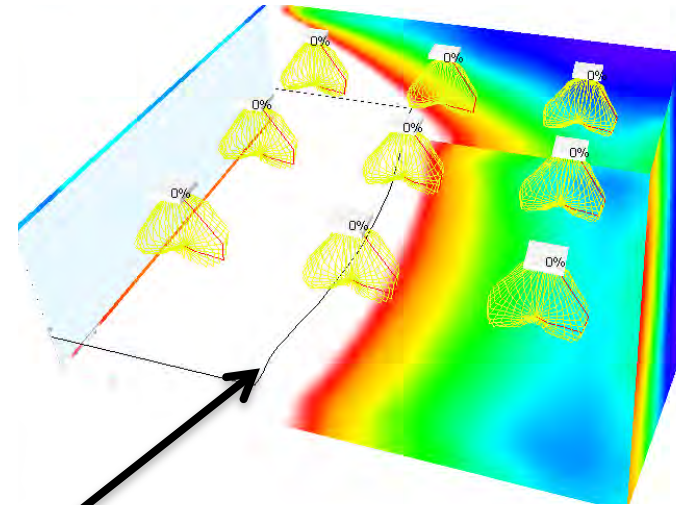


A complete lighting design (luminaires arrangements and control group system) has to consider also a condition of “**day time**” with the presence of natural daylight to permit an adequate management of the lamps.

## 2) Disposizione degli utilizzatori in accordo con le effettive esigenze

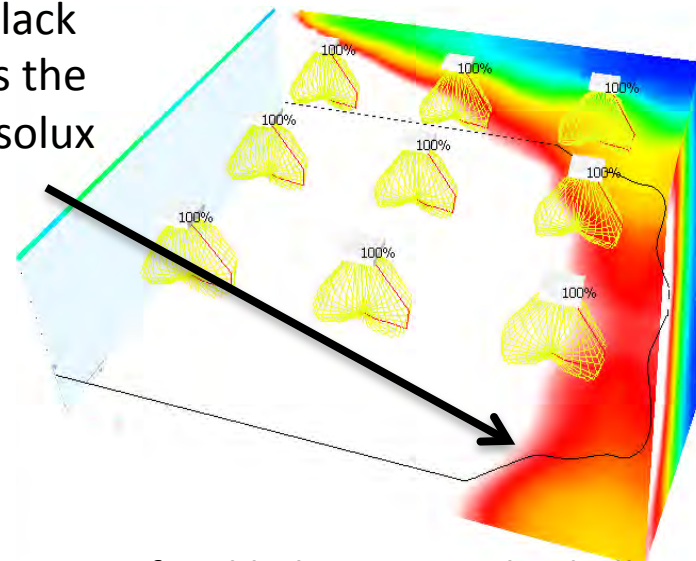


Night time illuminance profile



artificial lighting switched off

the black  
line is the  
300 isolux



artificial lighting switched all on

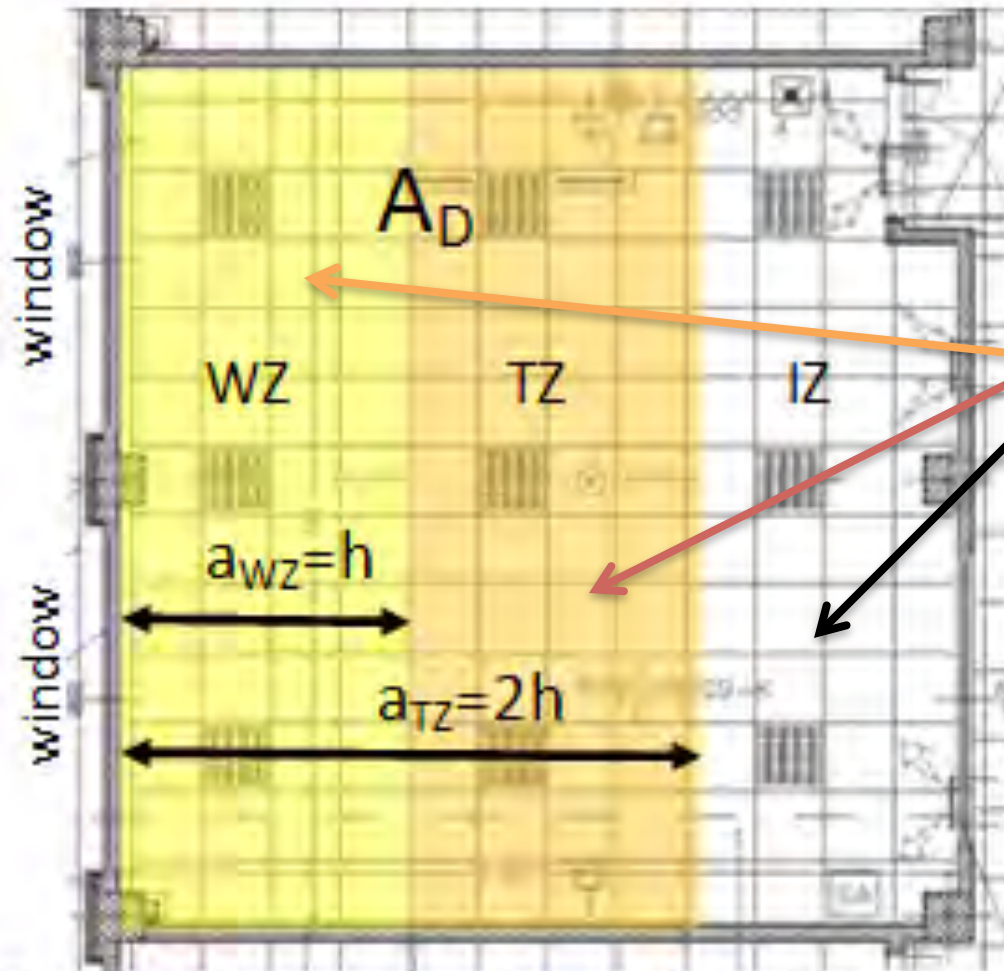
Day time illuminance profile March 21 - 10:30 AM



# Daylight Impact on Energy Performance of Internal Lighting

Giuseppe Parise (Fellow IEEE) Luigi Martirano (S.M.IEEE)

IEEE/IAS Annual meeting 2011 – October 9-13 - Orlando Florida (USA)



The paper suggests a table of DF factors

	$D_C > 3\%$ Strong	$3\% > D_C > 2\%$ Medium	$2\% > D_C > 1\%$ Weak	$D_C < 1\%$ None
$DF_{WZ}$	10%	7%	4%	2%
$DF_{TZ}$	2%	2%	1%	0%
$DF_{IZ}$	0%	0%	0%	0%

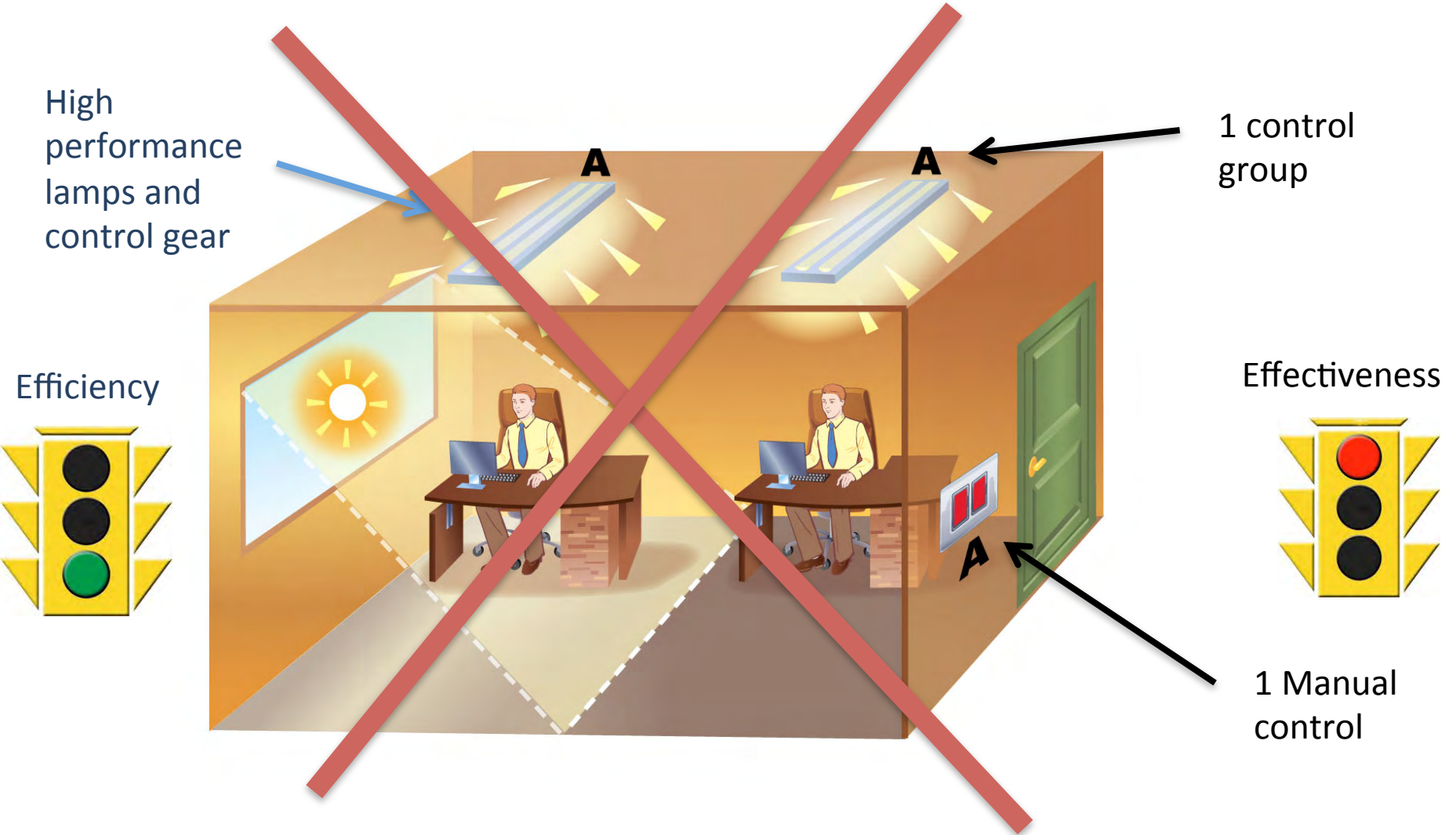
AWZ → switching

ATZ → dimming

AIZ → switching

Figure 7. The room could be subdivided in three zones WZ, TZ and IZ. The sum of WZ and TZ areas is equal to the daylight area  $A_D$ . The depth of WZ and TZ are function of the height of the window  $h$ .

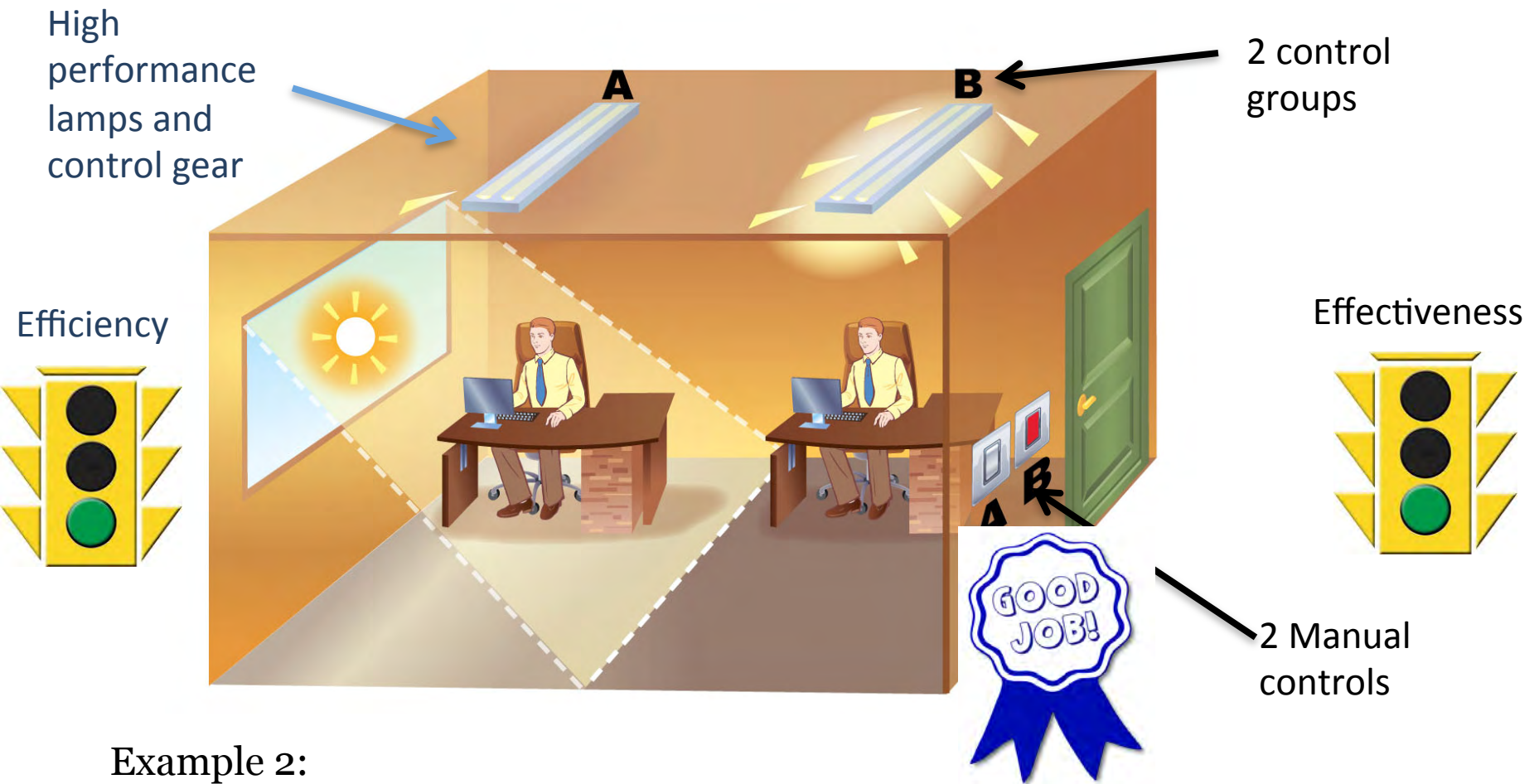
### 3) Sistema di controllo adeguato alle effettive esigenze



Example 1:

1 manual control group - not effectiveness with manual control

### 3) Sistema di controllo adeguato alle effettive esigenze

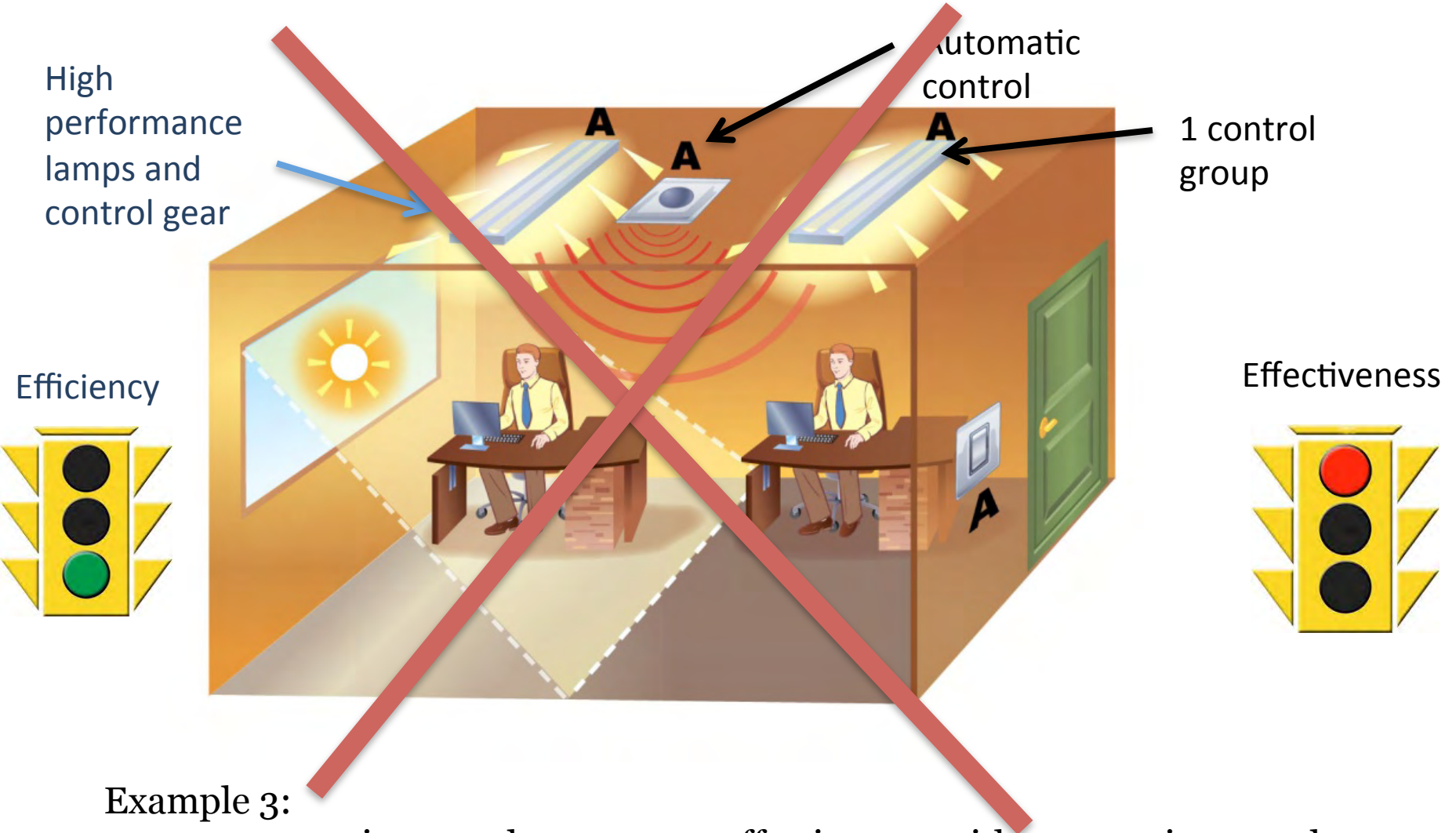


Example 2:

2 manual control groups -> good effectiveness with manual control



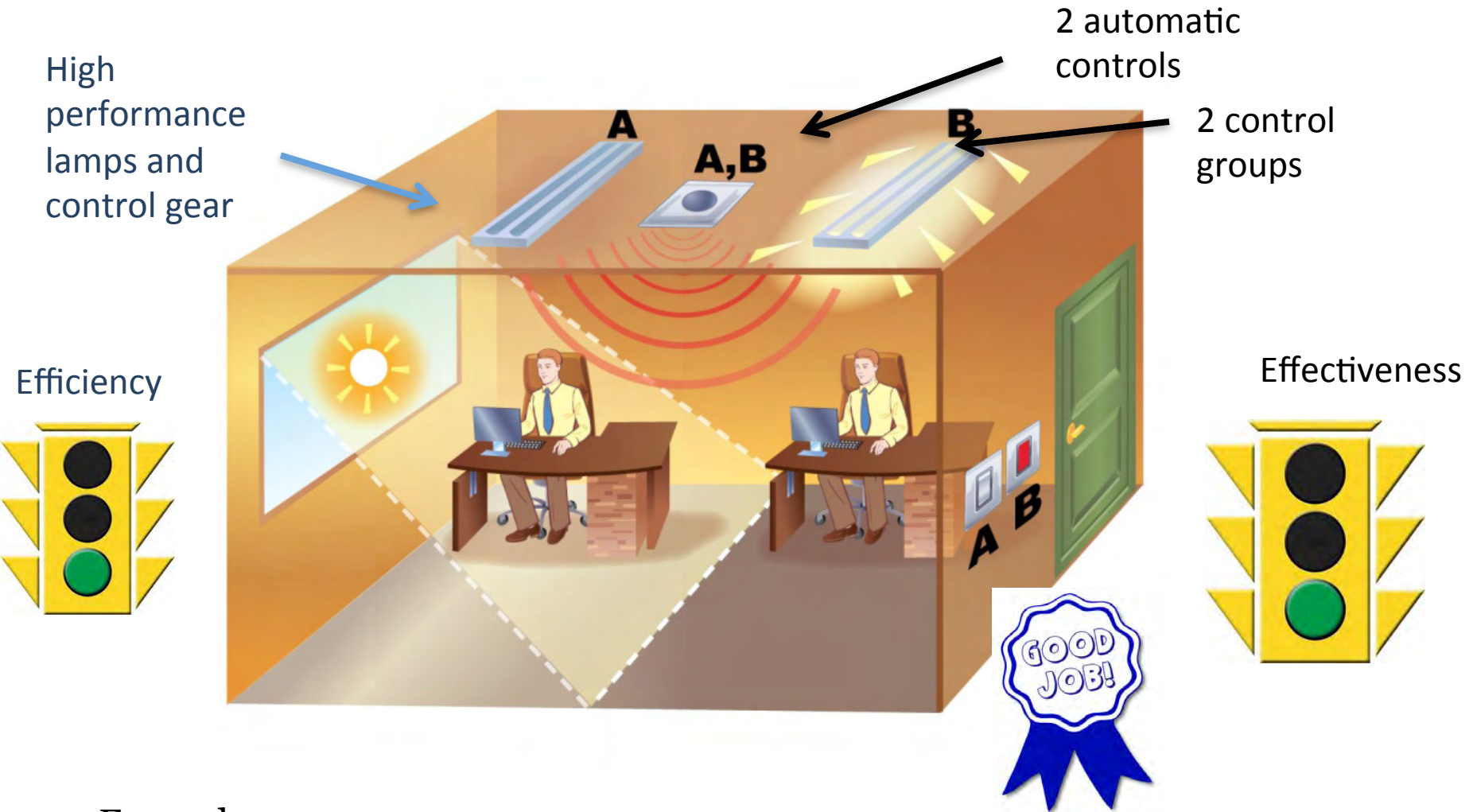
### 3) Sistema di controllo adeguato alle effettive esigenze



Example 3:

1 automatic control group - not effectiveness with automatic control

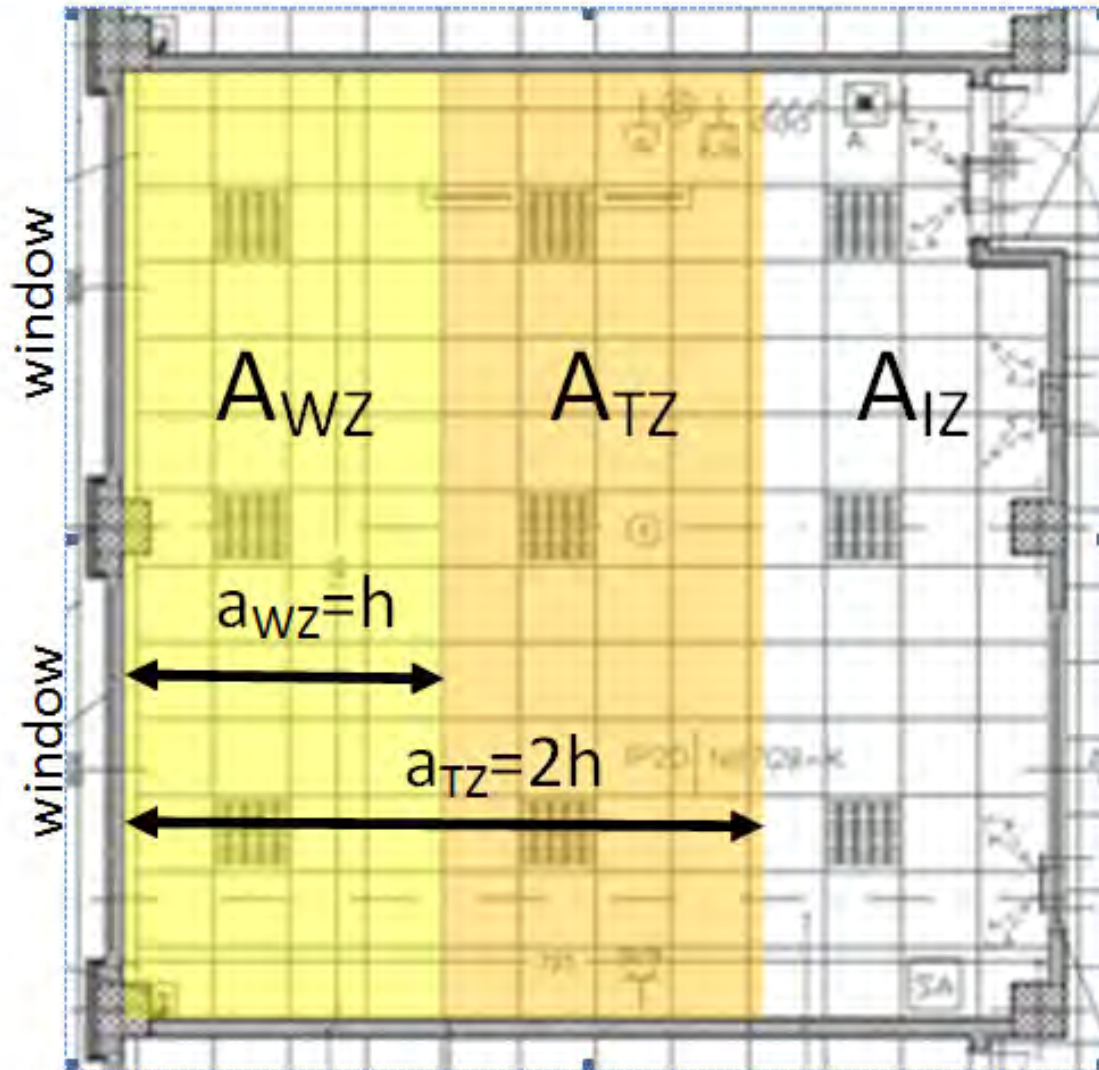
### 3) Sistema di controllo adeguato alle effettive esigenze



Example 4:

2 automatic control groups -> good effectiveness with automatic control

## 4) Daylighting strategy



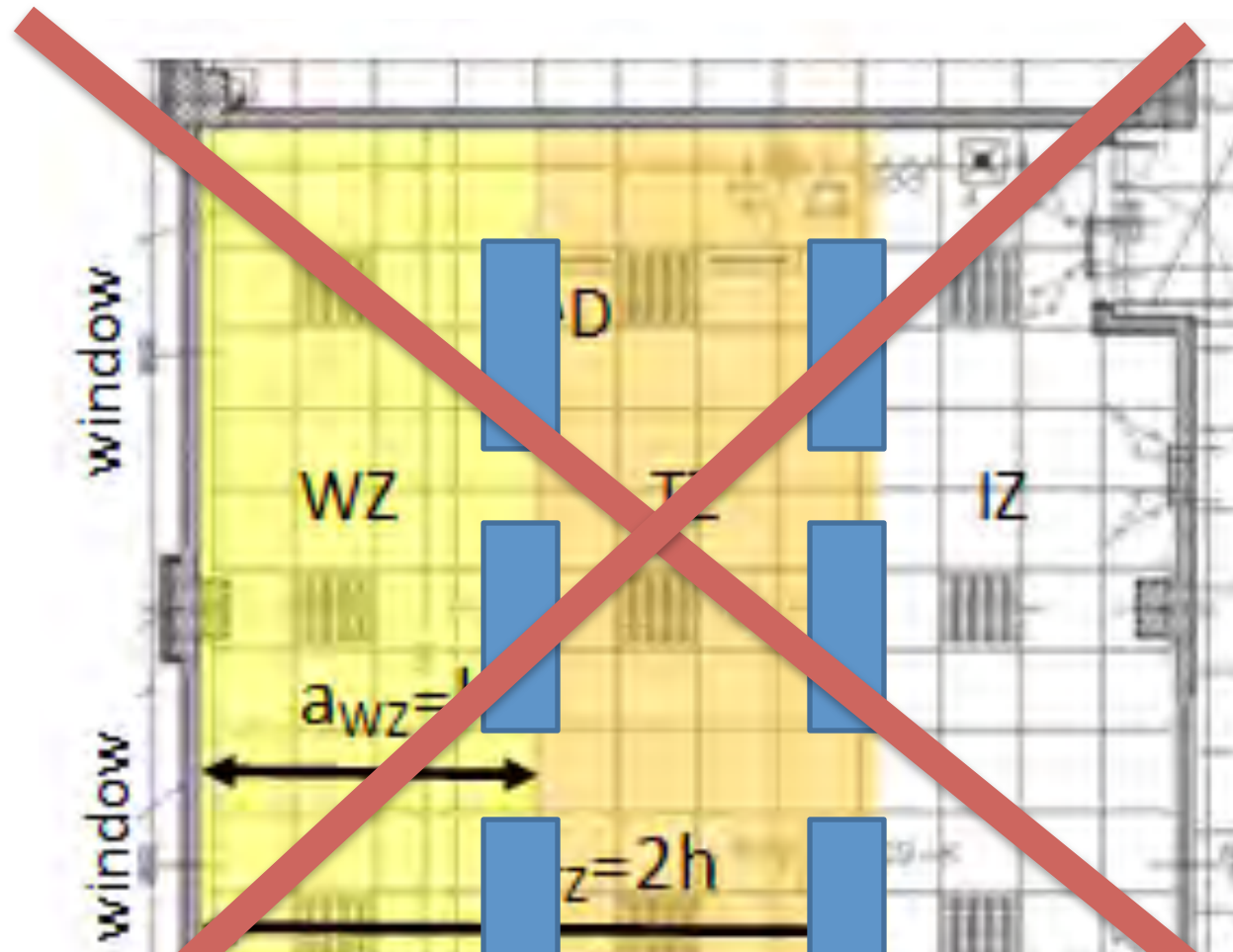
A good optimization consists in arranging the lighting system according to the three zones  $A_{WZ}$ ,  $A_{TZ}$  and  $A_{IZ}$ .

$A_{WZ} \rightarrow$  switching

$A_{TZ} \rightarrow$  dimming

$A_{IZ} \rightarrow$  switching

... according to the daylight ...

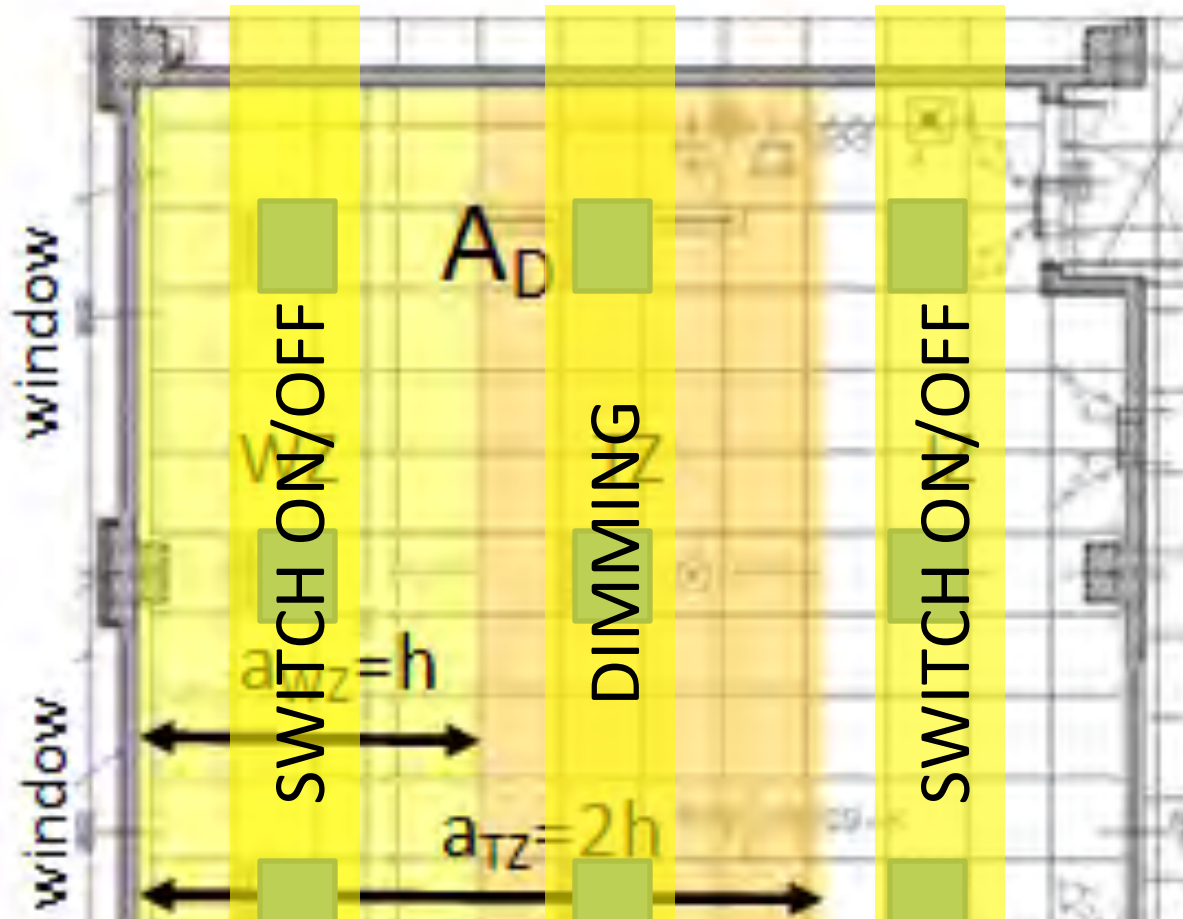


3x2  
matrix  
of 2x58 W

IMPOSSIBLE TO CONTROL ACCORDING TO  
THE DAYLIGHT



... according to the daylight ...

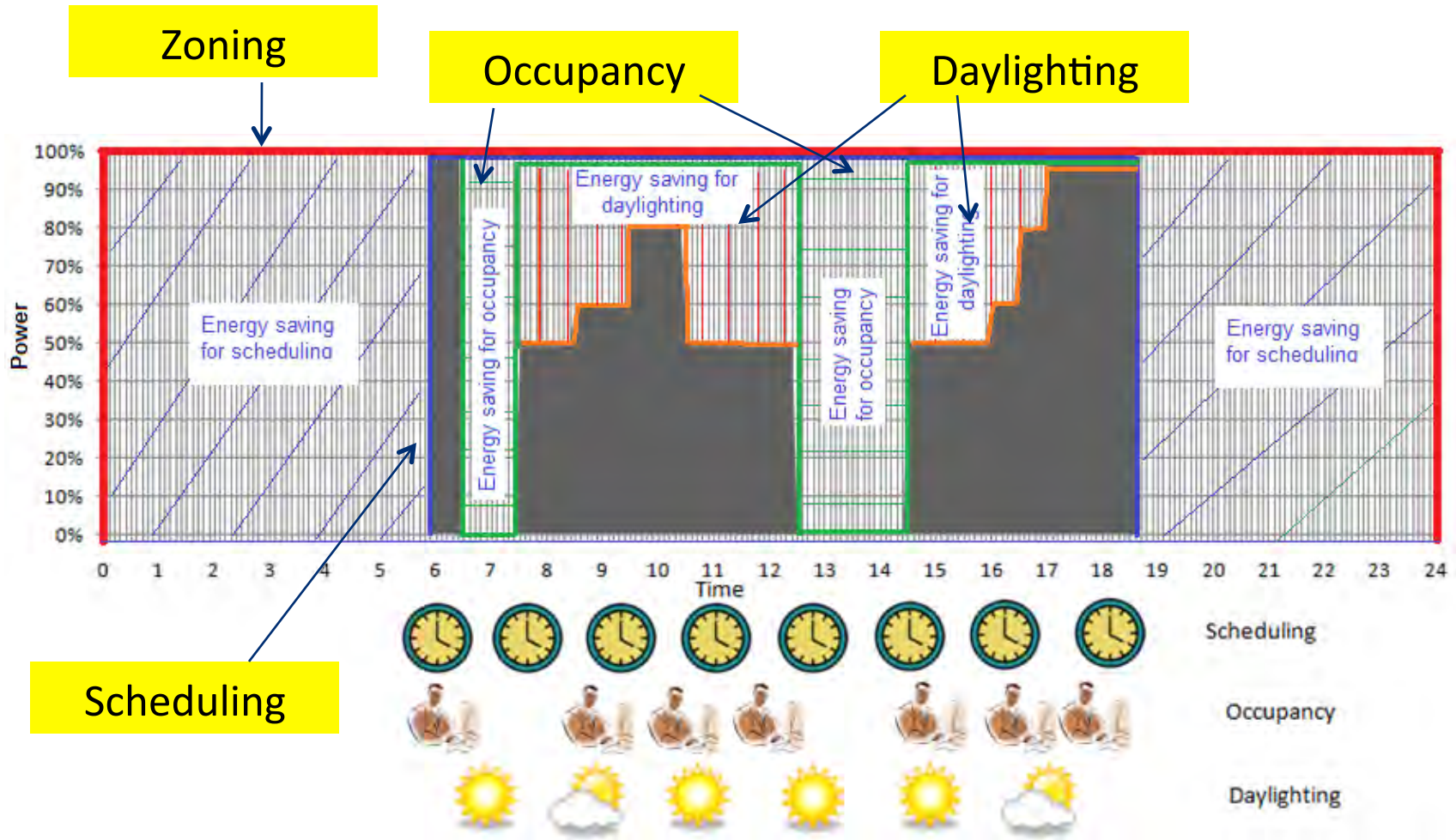


3x3  
matrix  
of 4x18 W

CONTROL OPTIMIZED ACCORDING TO THE  
DAYLIGHT



# Control systems: effectiveness



# Standard for the Design of High Performance Green Buildings suggests

*the use of occupant sensors with multi level switching or dimming systems that reduces lighting power when no persons are present.*

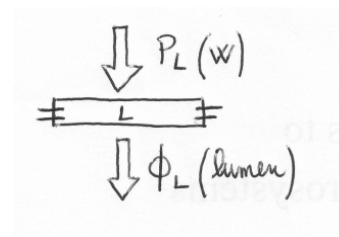
*lighting in all daylight zones adjacent to vertical fenestration greater than 25 m<sup>2</sup> shall be provided with controls that automatically reduce lighting power in response to available daylight by continuous dimming or stepped switching.*



# INDICATORI DI EFFICIENZA

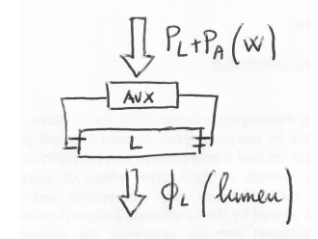
*Efficienza luminosa della lampada*

$$\varepsilon_L = \Phi_L / P_L \quad [\text{lm/W}]$$



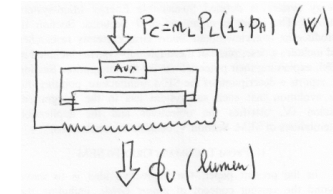
*Efficienza luminosa del complesso lampada-ausiliari*

$$\varepsilon_{LA} = \Phi_L / (P_L + P_A) \quad [\text{lm/W}]$$



*Efficienza luminosa dell'apparecchio luminoso  
come complesso lampada ausiliari ottica*

$$\varepsilon_{LAO} = \varepsilon_L \eta_O \eta_A \quad [\text{lm/W}]$$



*Efficienza luminosa dell'apparecchio luminoso come complesso  
lampada ausiliari ottica nel tempo (efficienza luminosa  
dell'impianto)*

$$\varepsilon_{LAOT} = \varepsilon_L \eta_O \eta_A \eta_T \quad [\text{lm/W}]$$

# INDICATORI DI EFFICIENZA

METODO DEL  
FLUSSO TOTALE

*Efficienza limite del  
sistema di illuminazione*

$$\delta_T = \frac{E \cdot (1 + p_A)}{\eta_L \cdot CU \cdot MF}$$

$$= E / (\epsilon_L \eta_O \eta_A \eta_T) \quad [\text{W/m}^2]$$

Lampada L

Ottica O

Ausiliari A

Manutenzione T

Sistema

*Efficienza effettiva del  
sistema di illuminazione*

$$\delta_E = P_N / A \quad [\text{W/m}^2]$$

$P_N$  la potenza elettrica nominale complessiva dell'impianto di illuminazione effettivamente installato

$A$  l' area del locale oggetto della valutazione.

$$P_N = n_A n_L P_L (1 + p_A) \quad [\text{W}]$$

$n_A$  è il numero di apparecchi illuminanti utilizzati per l' illuminazione del locale.

$n_L$  il numero di lampade per apparecchio.

# INDICATORI DI EFFICIENZA

*Efficienza relativa del sistema di illuminazione*

$$\frac{\delta_E - \delta_T}{\delta_T} = \left( \frac{n_A \cdot n_L \cdot P_L \cdot (1 + p_A)}{A} - \frac{E}{\varepsilon_L \eta_O \eta_A \eta_T} \right) / \frac{E}{\varepsilon_L \eta_O \eta_A \eta_T}$$

Lampada  $\varepsilon_L$

Ottica  $\eta_O$

Ausiliari  $\eta_A$

Manutenzione  $\eta_T$

Sistema  $\min(\delta_E - \delta_T)$

# EFFICACIA DEI SISTEMI

## EN 15193 - LENI

### 4 Calculating energy used for lighting

#### 4.1 Total energy used for lighting

##### 4.1.1 Total estimated energy

The total estimated energy required for a period in a room or zone shall be estimated by the equation:

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \text{ [kWh]} \quad (6)$$

Where:

An estimate of the lighting energy required to fulfil the illumination function and purpose in the building ( $W_{L,t}$ ) shall be established using the following equation:

$$W_{L,t} = \sum \{ (P_o \times F_o) \times [(t_o \times F_o \times F_o) + (t_N \times F_o)] \} / 1000 \text{ [kWh]} \quad (7)$$

An estimate of the parasitic energy ( $W_{P,t}$ ) required to provide charging energy for emergency lighting and for standby energy for lighting controls in the building shall be established using the equation

$$W_{P,t} = \sum \{ \{ P_{pc} \times [t_y - (t_o + t_N)] \} + (P_{em} \times t_{em}) \} / 1000 \text{ [kWh]} \quad (8)$$

# EFFICACIA

## EN 15232 - CLASSI

Energy use		Energy demand		System losses	Auxiliary energy	BAC factor	Notes
Heating	=	$Q_{NH}$ prEN13790	+	$Q_{H,loss}$ prEN15316		$f_{BAC,hc}$	
			+		$W_{h,aux}$ prEN15316	$f_{BAC,e}$	
Cooling	=	$Q_{NC}$ prEN13790	+	$Q_{C,loss}$ prEN15255		$f_{BAC,hc}$	
			+		$W_{c,aux}$	$f_{BAC,e}$	
Ventilation	=				$W_{V,aux}$ prEN15241	$f_{BAC,e}$	
Lighting	=				$W_{light}$ prEN15193	$f_{BAC,e}$	The impact of lighting control has to be evaluated separately with prEN15193.





# *Indicatore numerico di prestazione dell'impianto LENI*

$$\text{LENI} = (F_K \cdot P_N \cdot t_0) / (1000 \cdot A) \text{ [kWh/m}^2\text{anno ]}$$

$$F_K = F_O F_C [ p \tau (F_D - 1) + 1 ]$$

$F_O$  = “Fattore di dipendenza dall’occupazione” che tiene conto di un controllo luce, manuale o automatico, sensibile all’occupazione dei locali. [adim]

$F_C$  = “Fattore d’illuminamento costante” che tiene conto di un controllo luce che regola la massima potenza erogabile dall’impianto, per evitare che nei primi periodi di utilizzo delle lampade, ovvero quando sono in piena efficienza, si determini un livello di illuminamento superiore al necessario. [adim]

$F_D$  = “Fattore di dipendenza dalla luce diurna” che tiene conto un controllo luce, manuale o automatico, sensibile alla presenza di luce diurna. [adim]

$p = P_D / P_N$  [adim]

$\tau = t_D / t_0$  [adim]

$P_D$  = Potenza elettrica del sistema di illuminazione che ricade nell'area che gode di luce naturale ovvero che può essere efficacemente regolata in funzione della luce diurna [W]

$P_N$  = Potenza installata di tutti gli apparecchi illuminanti della zona, compresi gli alimentatori. [W]

$t_D$  = Periodo di funzionamento diurno: ore di accensione dell’impianto in presenza di luce diurna [h].

$t_0$  = Periodo di funzionamento dell’edificio [h].



# Indicatore numerico di prestazione dell'impianto LENI

INPUT

AZIONE

OUTPUT

$a, b, w, h$

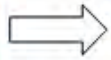


Valutazione geometrica  
dell'area che beneficia di  
luce diurna  $A_D$



$a_D, b_D, A_D$

$A_D$ , Disposizione  
apparecchi

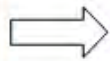


Valutazione della potenza  
elettrica di illuminazione che  
ricade in  $A_D$

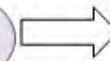


$P_D, p$

$A_C, A_D, a_D, h, I_0$   
 $\tau_w, k_1, k_2, k_3$

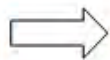


Valutazione della  
disponibilità di luce diurna



$D_C, D$

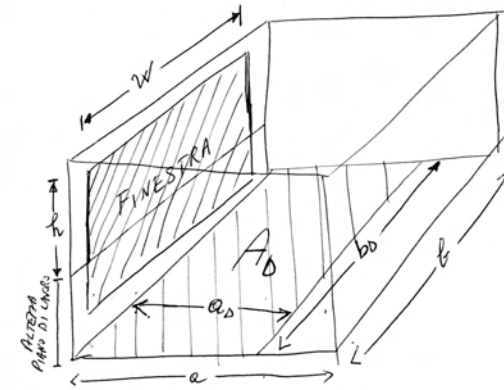
-Informazioni  
-Norma



Valutazione dei periodi di  
funzionamento dell'edificio  
ed in presenza di luce diurna



$t_D, t, \tau$



# *Indicatore numerico di prestazione dell'impianto LENI*

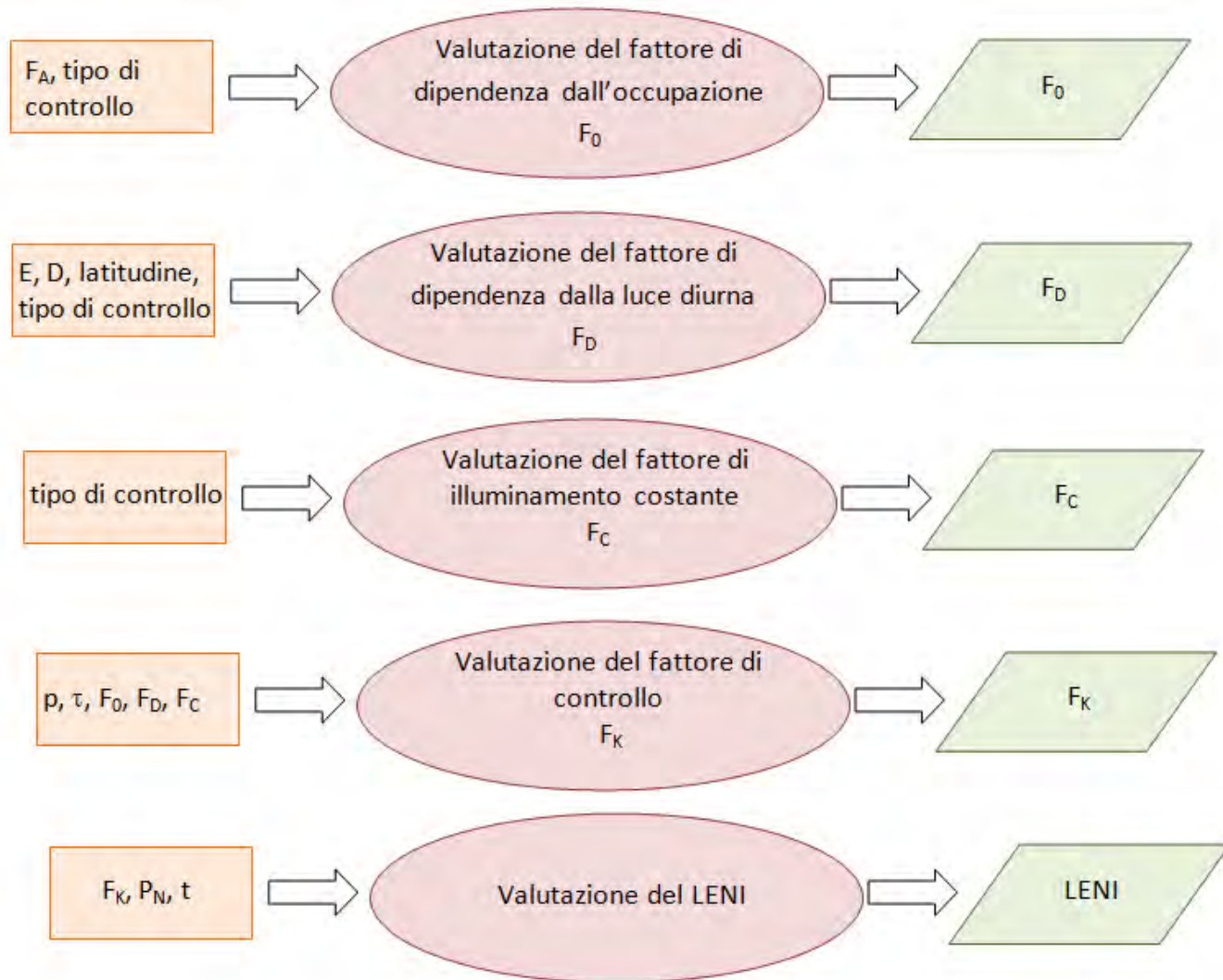
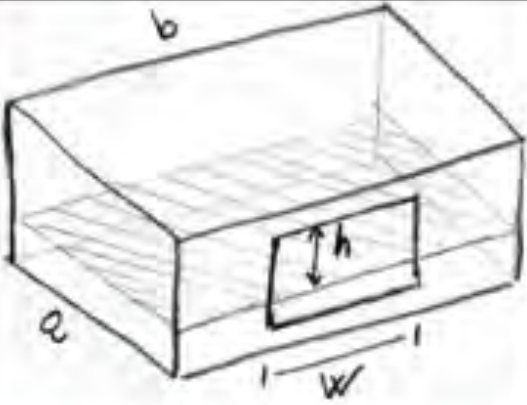


Tabella A1 - Valori di  $\tau$

Locali	Ore di funzionamento definite			$\tau$
	$t_D$	$t_N$	$t_G$	$\tau$
Uffici	2250	250	2500	0,9
Scuole	1800	200	2000	0,9
Ospedali	3000	2000	5000	0,6
Alberghi	3000	2000	5000	0,6
Ristoranti	1250	1250	2500	0,5
Impianti sportivi	2000	2000	4000	0,5
Negozi	3000	2000	5000	0,6
Fabbriche	2500	1500	4000	0,625

Tabella A2 - Valori di p

Tipo di locale	Larghezza finestratura	p	
Poco profondo $a < 2,5h$	$w > b - 1,25h$	1	
	$w < b - 1,25h$	$(1,25h + w)/b$	
Profondo $a > 2,5h$	$w > b - 1,25h$	$2,5h/a$	
	$w < b - 1,25h$	$\frac{2,5h(w + 1,25h)}{ab}$	

Dove  $a$  è la profondità del locale,  $h$  l'altezza utile della finestra rispetto al piano di lavoro,  $w$  la larghezza della finestra,  $b$  la larghezza della parete della finestra.



Tabella A3 per il calcolo di  $F_O$  in funzione di  $F_A$  e del tipo di controllo

$F_A$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Manual On/Off switch	1.000	1.000	1.000	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.000
Manual On/Off Switch + additional automatic sweeping extinction signal	1.000	0.975	0.950	0.950	0.750	0.550	0.650	0.450	0.350	0.250	0.000
Auto on/Dimmed	1.000	0.975	0.950	0.850	0.750	0.550	0.650	0.450	0.350	0.250	0.000
Auto on/Auto off	1.000	0.950	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.000
Manual on/Dimmed	1.000	0.950	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.000
Manual on/Auto Off	1.000	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.000

Dove  $F_A$  è il fattore di assenza

Tabella A4 – Valori di  $F_D$  in funzione di E, della disponibilità di luce diurna, della latitudine e del tipo di controllo

		300			500			750		
		W	M	S	W	M	S	W	M	S
Nord	Man	0,86	0,75	0,64	0,90	0,79	0,67	0,93	0,84	0,71
	Aut	0,48	0,37	0,24	0,62	0,46	0,30	0,73	0,58	0,39
Centro	Man	0,85	0,74	0,63	0,89	0,78	0,66	0,92	0,82	0,69
	Aut	0,44	0,34	0,22	0,59	0,42	0,27	0,71	0,55	0,35
Sud	Man	0,84	0,73	0,62	0,88	0,76	0,64	0,92	0,81	0,67
	Aut	0,40	0,31	0,18	0,56	0,38	0,24	0,69	0,51	0,30

W,M,S disponibilità di luce strong (forte) , medium (media) e weak (debole) valutabile tramite la norma UNI 15193.  
300, 500 e 750 sono i valori di illuminamento di progetto in lux.

Tabella A5 – Valori di  $F_C$

Controllo luminosità costante	$F_C$ (UNI15193)	$F_C$ (proposto)
NO	1	1
SI	$F_C = (1 + MF)/2$	$F_C = (\delta_E - \delta_T) * (1 + MF)/2$

## *Fattori correttivi BAC factors ai sensi della norma UNI 15232*

$$W = (P_N \cdot t_0) \cdot f_{BAC,L}$$

Dove:

$$f_{BAC,L} = F_K$$

Strategia	scheduling	occupancy		daylighting	integrating
Classe	F <sub>O</sub>	F <sub>O</sub>		F <sub>D</sub>	F <sub>c</sub>
		ON	OFF		
D	NO	MAN	MAN	NO	NO
C	SI	MAN	MAN	MAN	NO
B	SI	AUT	AUT	AUT	NO
A	SI	MAN	AUT	AUT	SI

Tabella 2 - Valori del  $f_{BAC,L}$  per i sistemi di illuminazione tenendo conto di un valore di illuminamento di progetto pari a 300 o 500 lux, latitudini del sud, centro e nord Italia, disponibilità di luce naturale media,  $p=0,5$ .

	BAC efficiency factors $f_{BAC,L}$																		
Classe	Classe D	Classe C						Classe B						Classe A					
Latitudine	N,C,S	Nord		Centro		Sud		Nord		Centro		Sud		Nord		Centro		Sud	
Illuminamento	300,500	300	500	300	500	300	500	300	500	300	500	300	500	300	500	300	500	300	500
Uffici, scolastico ( $F_A=0,2 - \tau=0,9$ )	1	0,84	0,86	0,84	0,86	0,83	0,85	0,64	0,68	0,63	0,67	0,62	0,65	0,52	0,55	0,51	0,53	0,50	0,52
Ospedaliero, negozi, alberghiero ( $F_A=0 - \tau=0,6$ )	1	0,93	0,94	0,92	0,93	0,92	0,93	0,81	0,84	0,80	0,83	0,79	0,81	0,73	0,75	0,72	0,74	0,71	0,73
Alberghiero camere ( $F_A=0,6 - \tau=0,6$ )	1	0,51	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,41	0,42	0,40	0,41	0,40	0,41	0,29	0,30	0,29	0,30	0,29	0,29
Ristoranti ( $F_A=0 - \tau=0,5$ )	1	0,94	0,95	0,94	0,95	0,93	0,94	0,84	0,87	0,84	0,86	0,83	0,85	0,76	0,78	0,75	0,77	0,74	0,76
Fabbriche ( $F_A=0 - \tau=0,625$ )	1	0,92	0,93	0,92	0,93	0,92	0,93	0,80	0,83	0,79	0,82	0,78	0,81	0,72	0,75	0,71	0,74	0,71	0,73



## Ore equivalenti di utilizzazione

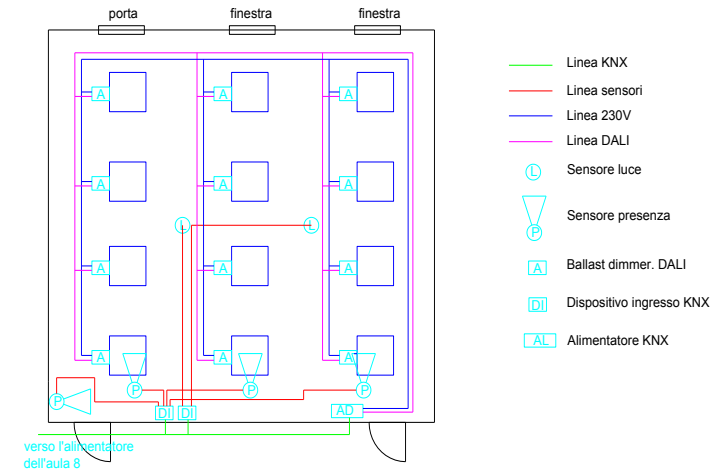
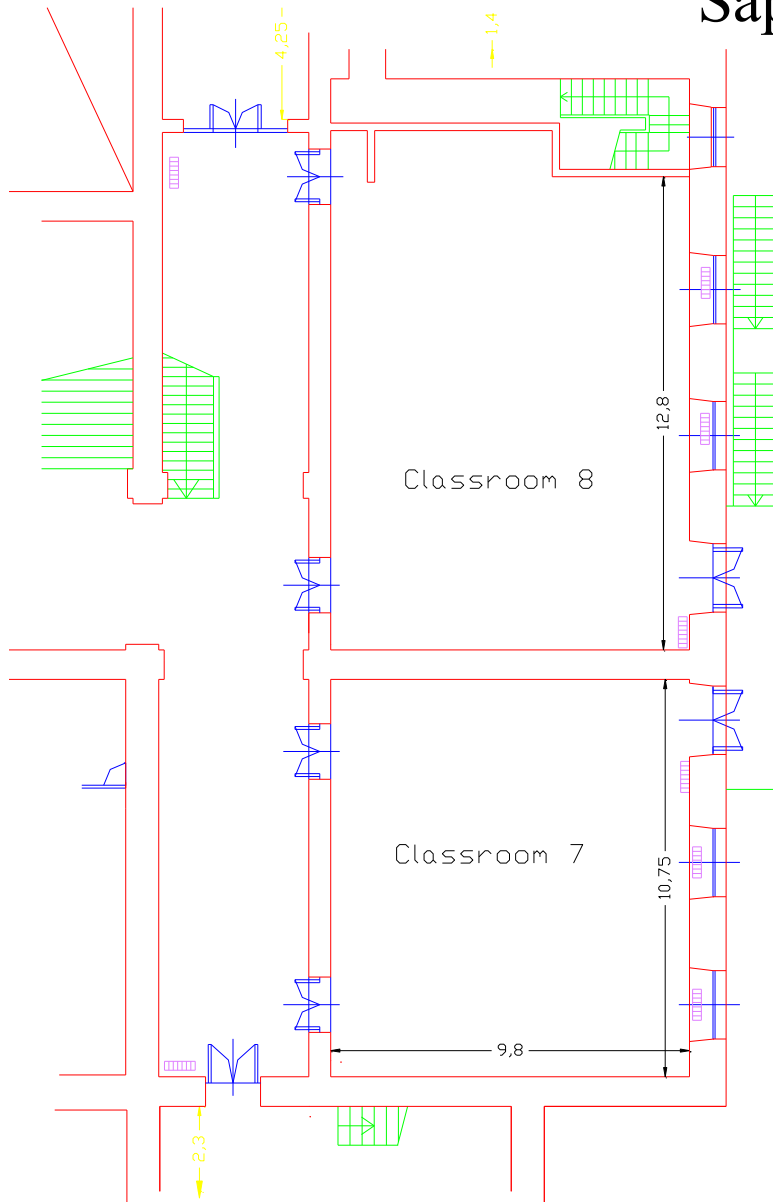
$$t_0^* = W / P_N = t_0 \cdot f_{BAC,L} \quad [h]$$

~~~~~

| Ore di utilizzazione equivalenti |          |          |      |        |      |      |      |          |      |        |      |      |      |          |      |        |      |      |      |
|----------------------------------|----------|----------|------|--------|------|------|------|----------|------|--------|------|------|------|----------|------|--------|------|------|------|
| Classe                           | Classe D | Classe C |      |        |      |      |      | Classe B |      |        |      |      |      | Classe A |      |        |      |      |      |
| Latitudine                       | N,C,S    | Nord     |      | Centro |      | Sud  |      | Nord     |      | Centro |      | Sud  |      | Nord     |      | Centro |      | Sud  |      |
| Illuminamento                    | 300,500  | 300      | 500  | 300    | 500  | 300  | 500  | 300      | 500  | 300    | 500  | 300  | 500  | 300      | 500  | 300    | 500  | 300  | 500  |
| Uffici                           | 2500     | 2108     | 2151 | 2097   | 2140 | 2086 | 2119 | 1612     | 1703 | 1582   | 1663 | 1551 | 1622 | 1290     | 1363 | 1265   | 1330 | 1241 | 1298 |
| Scolastico                       | 2000     | 1686     | 1720 | 1678   | 1712 | 1669 | 1695 | 1290     | 1363 | 1265   | 1330 | 1241 | 1298 | 1032     | 1090 | 1012   | 1064 | 993  | 1038 |
| Ospedali, Alberghi               | 5000     | 4625     | 4685 | 4610   | 4670 | 4595 | 4640 | 4055     | 4190 | 4010   | 4130 | 3965 | 4070 | 3650     | 3771 | 3609   | 3717 | 3569 | 3663 |
| Alberghi camere                  | 5000     | 2544     | 2577 | 2536   | 2569 | 2527 | 2552 | 2028     | 2095 | 2005   | 2065 | 1983 | 2035 | 1460     | 1508 | 1444   | 1487 | 1427 | 1465 |
| Negozi                           | 5000     | 4625     | 4685 | 4610   | 4670 | 4595 | 4640 | 4055     | 4190 | 4010   | 4130 | 3965 | 4070 | 3650     | 3771 | 3609   | 3717 | 3569 | 3663 |
| Ristoranti                       | 2500     | 2344     | 2369 | 2338   | 2363 | 2331 | 2350 | 2106     | 2163 | 2088   | 2138 | 2069 | 2113 | 1896     | 1946 | 1879   | 1924 | 1862 | 1901 |
| Fabbriche                        | 4000     | 3688     | 3738 | 3675   | 3725 | 3663 | 3700 | 3213     | 3325 | 3175   | 3275 | 3138 | 3225 | 2891     | 2993 | 2858   | 2948 | 2824 | 2903 |

# Case study

## 2 aule universitarie presso la Facoltà di Ingegneria – Università Sapienza di Roma





# Case study

## 2 aule universitarie presso la Facoltà di Ingegneria

|                      |                           |            | Aula 7 | Aula 8 |
|----------------------|---------------------------|------------|--------|--------|
| Area                 |                           | [m2]       | 106    | 126    |
| Ante operam          | Numero di apparecchi      | [#]        | 12     | 15     |
|                      | Consumo di un apparecchio | [W]        | 90     | 90     |
|                      | Consumo del sistema       | [W]        | 1080   | 1350   |
|                      | Ore di funzionamento aula | [h]        | 2000   | 2000   |
|                      | BAC factor Fk (FO,FC,FD)  | [p.u.]     | 1      | 1      |
|                      | Densità di potenza        | [W/m2]     | 10,2   | 10,7   |
|                      | LENI                      | [kWh/m2/y] | 20,4   | 21,4   |
| Cambio ballast       | Consumo di un apparecchio | [W]        | 80     | 90     |
|                      | Consumo del sistema       | [W]        | 960    | 1350   |
|                      | Densità di potenza        | [W/m2]     | 9,1    | 10,7   |
|                      | LENI                      | [kWh/m2/y] | 18,1   | 21,4   |
|                      | Risparmio                 | [kWh/m2/y] | 2,3    | 0,0    |
|                      |                           | [%]        | 11%    | 0%     |
| Sistema di controllo | $\tau$                    | p.u.       | 0,9    | 0,9    |
|                      | $p$                       | p.u.       | 0,3    | 0,3    |
|                      | FO                        | p.u.       | 0,9    | 0,9    |
|                      | FD                        | p.u.       | 0,34   | 0,34   |
|                      | FC                        | p.u.       | 0,9    | 1      |
|                      | BAC factor Fk (FO,FC,FD)  | [p.u.]     | 0,7    | 0,74   |
|                      | LENI                      | [kWh/m2/y] | 13,7   | 15,9   |
|                      | Risparmio                 | [kWh/m2/y] | 6,7    | 5,6    |
|                      |                           | [%]        | 33%    | 26%    |
| Totale               | LENI                      | [kWh/m2/y] | 12,1   | 15,9   |
|                      | Risparmio                 | [kWh/m2/y] | 8,2    | 5,6    |
|                      |                           | [%]        | 40%    | 26%    |

| Tipo di controllo                            | F <sub>D</sub> |          |
|----------------------------------------------|----------------|----------|
|                                              | UNI15193       | Valutato |
| Switching 4 gruppi di controllo<br>0-50-100% | 0,34           | 0,47     |
| Dimming                                      |                | 0,32     |

