

Il ruolo della luce naturale nell'ambito del risparmio energetico degli edifici

Prof. Ing. Fabio Bisegna

DIAEE, Sapienza

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Introduzione

- ❑ La luce naturale rappresenta un elemento di grandissima importanza all'interno degli edifici, sia dal punto di vista del comfort che dei potenziali risparmi energetici ed economici garantiti da una adeguata progettazione architettonica **ed urbana**
- ❑ Già 10 anni fa in contesto diverso si ponevano questioni dicotomiche sull'illuminazione. In una presentazione dal titolo **The Suitable City: in the head of the Planner or in the hands of the Citizens?**, introducendo Plasmacity e il ruolo dell'illuminazione nel contesto delle smart cities, avevo evidenziato contraddizioni sul ruolo che si stava assegnando all'illuminazione

Con la partecipazione di:



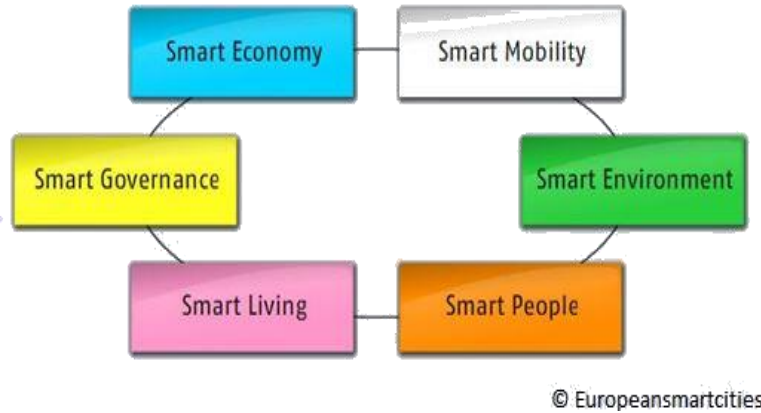
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



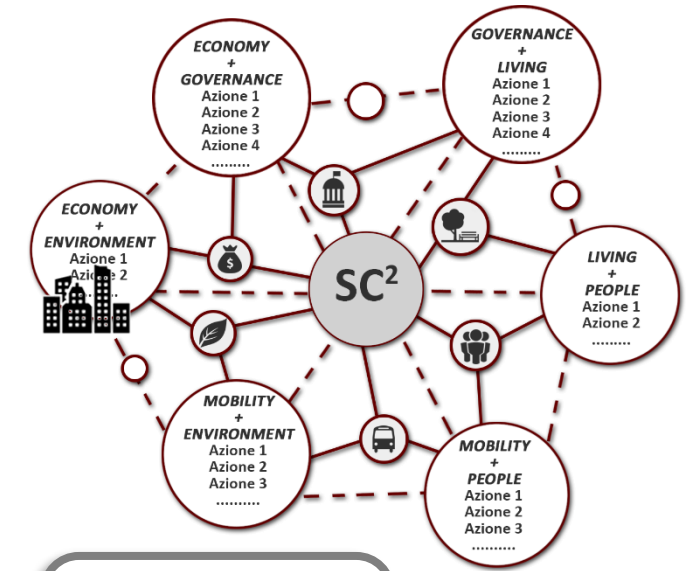
PLAnning the SMARt CITY (PLASMACITY)



SUM of Smart city axes



Integration of Smart City axes



TO...



THROUGH...



Priority-based
classification of
the strategies

MATRIX
MODELLING

Creation of
networks of
related actions

Con la partecipazione di:

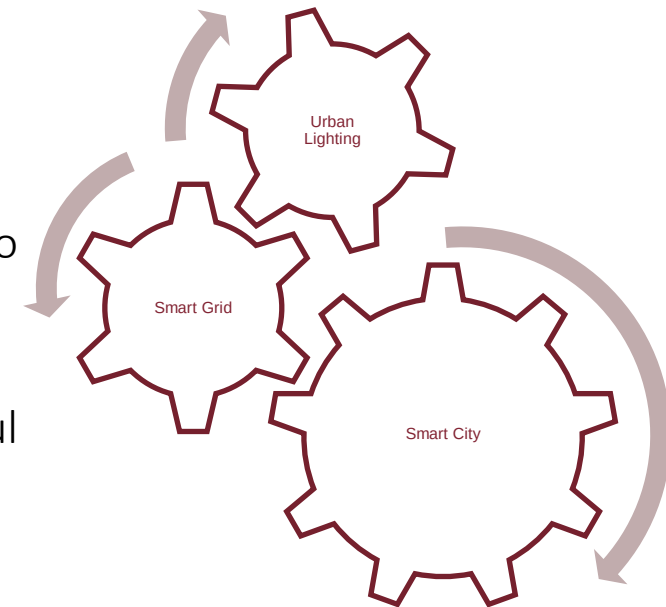


FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Smart Cities e Smart Lighting

- ❑ Introduzione di nuove tecnologie
- ❑ Opportunità di integrazione con sistemi di gestione per la mobilità, monitoraggio ambientale e degli edifici, miglioramento delle condizioni di sicurezza
- ❑ Utilizzo dell'illuminazione pubblica come supporto infrastrutturale diffuso capillarmente sul territorio



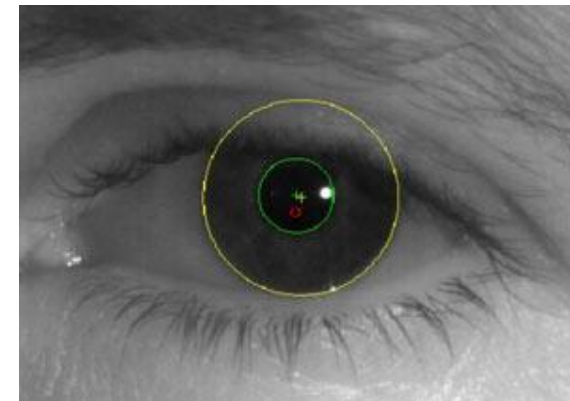
Con la partecipazione di:



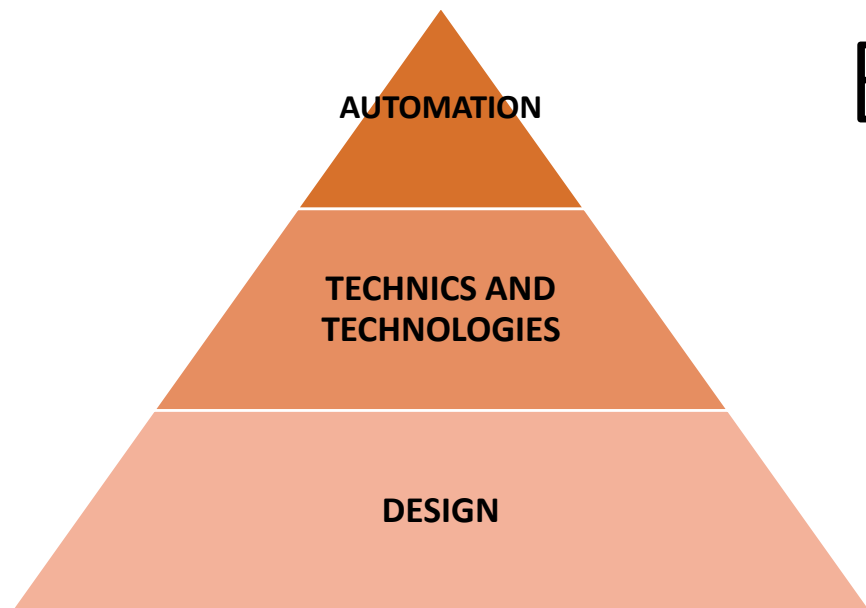
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

VS



Energy Efficiency in Buildings



**SMART
BUILDING**

LENI (Lighting Energy Numeric Indicator)

Many studies pointed out that the calculation method introduced in the EN 15193 lead to a significant **OVERESTIMATION OF THE LIGHTING ENERGY REQUIREMENTS**.

Unclear procedures of calculating
the Daylight Factor and the
Daylight supply factor

Underestimation of the daylighting
contribute

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Introduzione

- ❑ La luce naturale rappresenta un elemento di grandissima importanza all'interno degli edifici, sia dal punto di vista del comfort che dei potenziali risparmi energetici ed economici garantiti da una adeguata progettazione architettonica ed urbana
- ❑ L'illuminazione artificiale rappresenta un elemento considerevolmente energivoro, e la voce principale dei costi di servizio in gran parte degli edifici
- ❑ Oltre il 60% del consumo elettrico da illuminazione è da attribuirsi agli ambienti residenziale/terziario
- ❑ Il contributo dell'illuminazione artificiale ricopre una porzione significativa del consumo elettrico degli edifici, arrivando a superare il 40% per i grandi edifici commerciali.

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Perché la luce naturale

- ❑ Il dato trova spiegazione nel fatto che, nonostante la tecnologia dell'illuminazione artificiale abbia avuto negli ultimi anni una notevole evoluzione, lo sfruttamento dell'illuminazione naturale è una strategia progettuale poco utilizzata
- ❑ La percezione visiva è la conseguenza di un adattamento alla luce naturale che l'uomo ha sviluppato nei secoli
- ❑ la luce naturale è di fondamentale importanza per lo sviluppo di molte attività e per le problematiche di carattere psico-fisico che generalmente sono proprie di coloro i quali lavorano in ambienti illuminati esclusivamente con luce artificiale
- ❑ La luce naturale rappresenta anche una fondamentale risorsa in termini di risparmio energetico

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



La luce naturale negli edifici

- ❑ Un edificio illuminato naturalmente è un edificio appositamente progettato per sfruttare in modo efficiente la luce naturale attraverso opportuni componenti e strategie di controllo
- ❑ “In a world newly concerned about carbon emissions, global warming and sustainable design, the planned use of natural light in non-residential buildings has become an important strategy to improve energy efficiency ... The introduction of daylighting strategies...can considerably reduce a building’s electricity consumption and also significantly improve the quality of light in an indoor environment” (IEA Task 21 – *Daylighting in Buildings*)
- ❑ La task 21 dell’IEA ha chiuso i lavori nel 2000!

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Progettare la luce naturale negli edifici

- ❑ Progettare con la luce naturale significa:
 - ❑ Minimizzare l'impiego di energia:
 - ❑ Riducendo i carichi per illuminazione artificiale
 - ❑ Riducendo i carichi termici
 - ❑ Riducendo i carichi elettrici di picco
 - ❑ Massimizzare le condizioni di benessere:
 - ❑ Migliorando la qualità dell'illuminazione (prestazione visiva, comfort visivo, facilità di percezione)
 - ❑ Migliorando il comfort, la sicurezza e la salute degli occupanti
 - ❑ Incrementando la produttività

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Progettare la luce naturale negli edifici

- ❑ Compito dei progettisti:
 - ❑ Progettazione energeticamente efficiente
 - ❑ Comfort ambientale
 - ❑ Contenimento dei costi d'investimento
- ❑ Soluzioni classiche:
 - ❑ Aumento delle superfici vetrate
- ❑ Soluzioni innovative:
 - ❑ Ricerca di materiali e soluzioni innovative
 - ❑ Utilizzo e ottimizzazione di strategie di controllo della luce naturale ed artificiale

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Progettare la luce naturale negli edifici

- ❑ Progettare con la luce naturale significa realizzare un'integrazione multidisciplinare tra differenti tecniche e metodologie di progetto. Il processo di progettazione dell'intero edificio ne risulta coinvolto, dalla pianificazione urbana al progetto d'interni
 - ❑ Criteri architettonici (struttura, distribuzione funzionale degli spazi, requisiti estetici)
 - ❑ Criteri termici e illuminotecnici (benessere termico e visivo, produttività)
 - ❑ Utilizzo della luce artificiale
 - ❑ Strategie di controllo e integrazione di luce naturale e artificiale
 - ❑ Criteri di efficienza energetica (analisi energetica)

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Progettare la luce naturale negli edifici

Aspetti architettonici

- ☐ Rapporto aperture/volume totale
- ☐ Aperture in armonia con la facciata dell'edificio
- ☐ Aperture in armonia con la distribuzione degli spazi all'interno dell'edificio

Aspetti funzionali

- ☐ Definire gli spazi architettonici
- ☐ Garantire una distribuzione armonica e armoniosa della luce
- ☐ Assicurare una distribuzione della luce confortevole
- ☐ Garantire una distribuzione bilanciata di luce/ombra

Criteri di progetto per una buona illuminazione:

- ☐ Livelli di illuminamento
- ☐ Distribuzione delle luminanze all'interno del campo visivo
- ☐ (comfortevole) distribuzione della luce in ambiente
- ☐ Evitare l'abbagliamento
- ☐ Curare gli aspetti cromatici

Criteri per il soddisfacimento del compito visivo

- ☐ Intensità luminosa
- ☐ Dimensioni della zona di lavoro
- ☐ Tempo di osservazione
- ☐ contrasto all'interno della zona di lavoro

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Progettare la luce naturale – situazioni specifiche

- ❑ Nell'area sud-europea, e specificatamente nella regione Mediterranea, esistono specifici problemi progettuali derivanti dalla forte disponibilità di radiazione solare:
 - ❑ Elevata disponibilità di luce naturale
 - ❑ Problemi di abbagliamento
 - ❑ Carichi termici elevati in periodo estivo
 - ❑ Surriscaldamento in periodo invernale
- ❑ In clima Mediterraneo, i problemi di overheating e abbagliamento possono risultare più importanti della disponibilità di luce naturale
- ❑ Per realizzare una progettazione sostenibile e consapevole della luce naturale è necessario un approccio integrato che consideri l'edificio come una realtà (e non come un insieme di elementi distinti)

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



La UNI EN 15193

- ❑ Ad oggi, ancora non esistono semplici regole per garantire per ogni specifica attività una efficace illuminazione naturale all'interno di un ambiente confinato
- ❑ La norma UNI EN 15193:2008 “Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione” ed il suo aggiornamento UNI EN 15193-1:2017, che si colloca nell'ambito degli standard a supporto della EPBD, definiscono i metodi che permettono di stimare il consumo di energia elettrica per illuminazione degli interni di un edificio, tenendo conto del contributo del daylighting.

Con la partecipazione di:

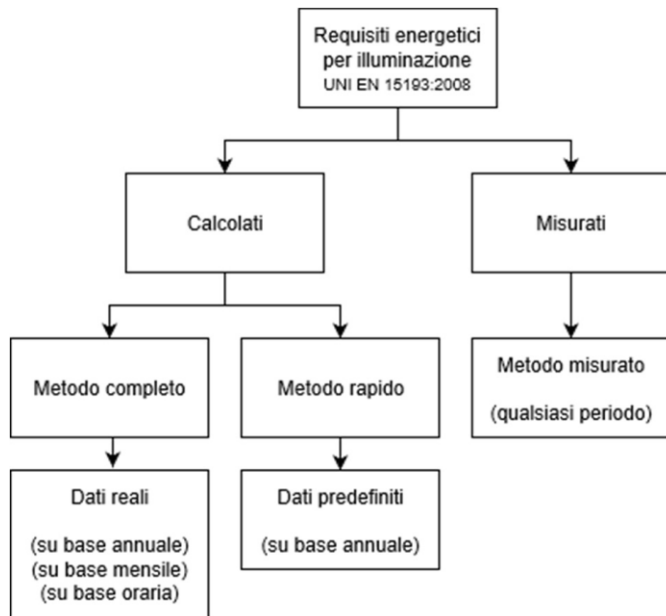


FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



La UNI EN 15193

Diagramma di flusso relativo ai tre metodi della UNI EN 15193-1:2008



Con la partecipazione di:

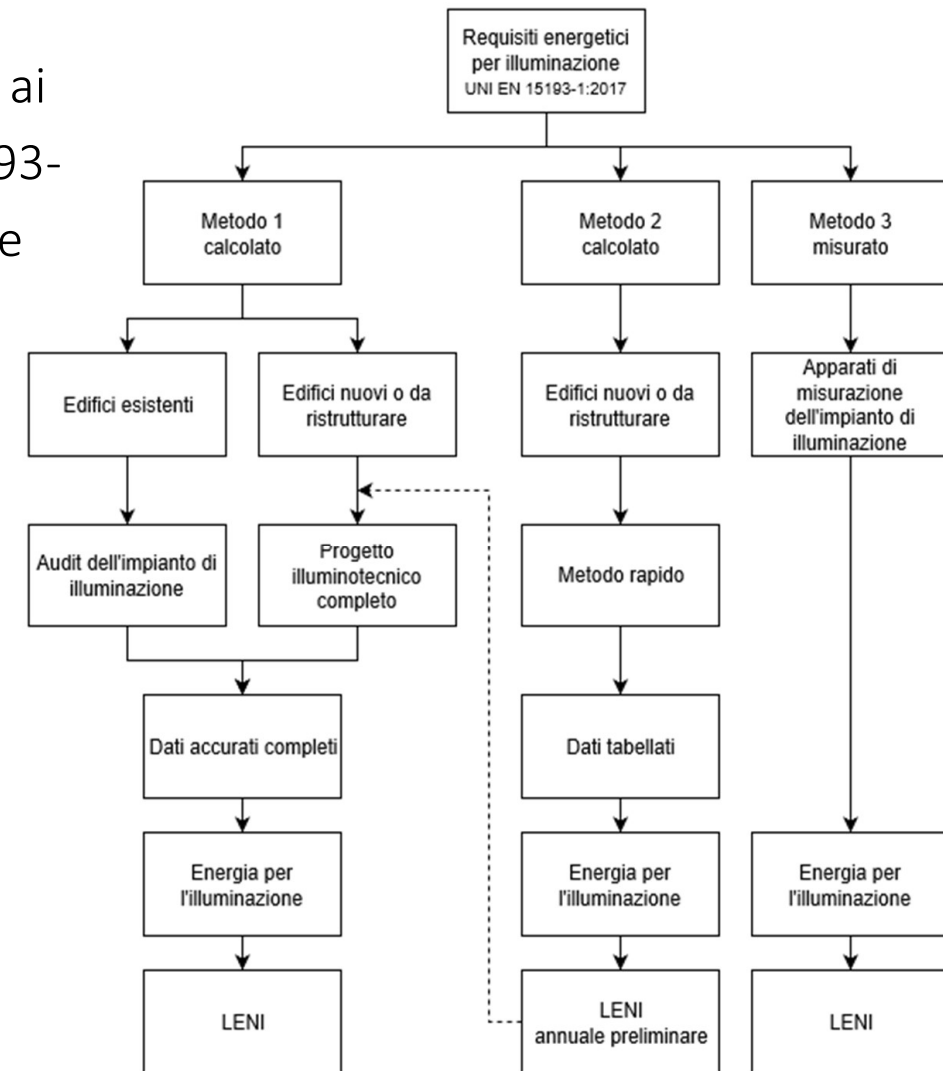


FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Diagramma di flusso relativo ai tre metodi della UNI EN 15193-1:2017 per la determinazione del fabbisogno energetico dell'illuminazione (LENI)

L'aggiornamento della UNI EN 15193:2021 è relativo fondamentalmente al calcolo del contributo di luce naturale in presenza di finestre inclinate



LENI (Lighting Energy Numeric Indicator)

- ❑ Il LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) è l'indicatore destinato a quantificare il consumo energetico di impianti di illuminazione. Può essere ottenuto tramite calcolo con metodo semplificato o completo.
- ❑ Il valore del LENI si ricava dalla:

$$LENI = W / A \text{ [kW h/m}^2 \text{ anno]}$$

dove W è l'energia totale usata per l'illuminazione in un anno, mentre A è la superficie a pavimento utile totale dell'edificio.

- ❑ W si ricava da

$$W = W_L + W_P \text{ [kW h/a nno]}$$

dove W_L rappresenta l'energia utilizzata per l'illuminazione annuale e W_P l'energia parassita annuale richiesta per fornire l'energia di caricamento per l'illuminazione di emergenza e l'energia richiesta dai sistemi di controllo in stand-by per i comandi di illuminazione dell'edificio

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



LENI (Lighting Energy Numeric Indicator)

□ Il LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) è l'indicatore destinato a quantificare il consumo energetico di impianti di illuminazione.

$$W_L = \sum \{ (P_n \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)] \} / 1000 \text{ [kWh/anno]}$$

P_n [W] è la potenza di illuminazione installata totale nel locale o nella zona;

F_C è il fattore di illuminamento costante;

t_D [h] è il periodo di utilizzo dell'impianto nelle ore diurne in un anno;

F_O è il fattore di dipendenza dall'occupazione;

F_D è il fattore di dipendenza dalla luce diurna;

t_N [h] è il periodo di utilizzo dell'impianto nelle ore notturne in un anno.

$$W_P = \sum \{ \{ P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)] \} + (P_{em} \cdot t_e) \} / 1000 \text{ [kWh/anno]}$$

P_{pc} [W] è la potenza parassita totale installata dei sistemi di controllo in un locale o in una zona;

t_y [h] è la durata di un anno;

t_D [h] è il periodo di utilizzo dell'impianto nelle ore diurne in un anno;

t_N [h] è il periodo di utilizzo dell'impianto nelle ore notturne in un anno;

P_{em} [W] è la potenza di caricamento di ingresso installata totale degli apparecchi di illuminazione di emergenza in un locale o in una zona;

t_e [h] è il tempo di caricamento dell'illuminazione di emergenza in un anno.

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Daylight factor

- ❑ La norma UNI EN 15193:2008 “Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione” ed i suoi aggiornamenti fanno uso del fattore di luce diurna (FLD) o Daylight Factor (DF)
- ❑ Il Daylight factor è una grandezza sintetica adimensionale che indica il rapporto tra l’illuminamento di una superficie posta all’interno di un ambiente comunicante con l’esterno tramite un’apertura, ed una superficie posta all’esterno, nello stesso istante, considerando un cielo nuvoloso (codificato come CIE standard Overcast sky)

$$\eta = \frac{E_{in}}{E_{out}}$$

- ❑ È una grandezza definita operativamente, permette di quantificare la disponibilità di luce naturale in ambiente, costituisce un indicatore dell’efficienza del sistema di illuminazione naturale

Con la partecipazione di:

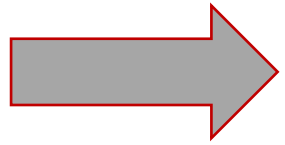


FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Daylight factor

- ❑ La UNI EN 15193 e suoi aggiornamenti si basano su una serie di dati pre-calcolati che però non tengono debitamente conto delle condizioni climatiche delle singole località, introducendo un livello di approssimazione che merita analisi approfondite, in quanto numerosi studi ne hanno evidenziato la sovrastima dei risultati ottenuti con i procedimenti in essa descritti



Va notato come la UNI EN 15193 risulta essere in linea con le altre norme europee che regolano la disponibilità di luce diurna in ambiente sia dal punto di vista progettuale (comfort visivo e benessere), sia dal punto di vista energetico (fabbisogno energetico per l'illuminazione artificiale), utilizzando il Daylight factor come parametro di riferimento calcolato

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Daylight factor

- ❑ Non è questa la sede per discutere delle osservazioni e critiche relative al DF utilizzato nella norma UNI EN 15193
- ❑ Esistono differenti metodi per la determinazione del *FLD* ed in generale essi prevedono il calcolo secondo le varie componenti della quantità:

$$FLD = SC + ERC + IRC$$

- ❑ dove i tre termini individuano rispettivamente la componente di illuminamento che entra direttamente in ambiente dalla porzione di cielo intercettata dall'apertura, la componente di riflessione esterna, e la componente di riflessione interna
- ❑ È però estremamente interessante notare come, ad oggi, il DF è ancora l'esplicito riferimento per le valutazioni relative alla luce naturale in ambiente

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Daylight factor - criticità

- ❑ Da diversi studi, nazionali e internazionali, sono emerse criticità sia relativamente all'utilizzo della grandezza Daylight Factor, sia alle condizioni con cui esso viene calcolato
- ❑ Nel tempo, sono state proposte alternative di strumento, alternative di metodo, integrazioni di strumenti...
- ❑ ...Nonostante queste limitazioni, questo parametro continua ad essere, a livello normativo, la grandezza di riferimento per la valutazione della disponibilità della luce diurna
- ❑ Qualche esempio in questo caso può aiutare...

Con la partecipazione di:



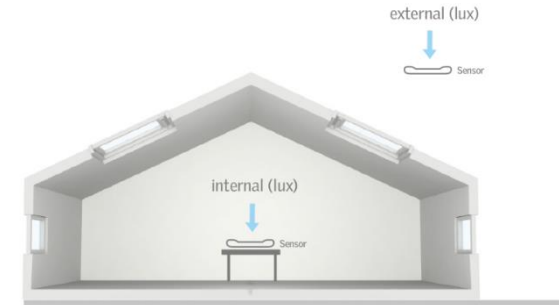
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Parametri per la valutazione della luce diurna

▪ Daylight factor (D)

Il Daylight factor è una grandezza sintetica adimensionale che indica il rapporto tra l'illuminamento di una superficie posta all'interno di un ambiente comunicante con l'esterno tramite un'apertura, ed una superficie posta all'esterno, nello stesso istante, considerando un cielo nuvoloso (codificato come CIE standard Overcast sky).

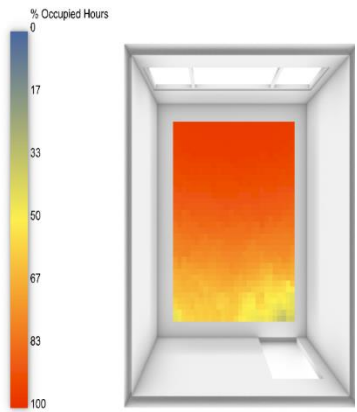


I nuovi parametri sono fondamentalmente legati alla Climate Based Daylight Modeling, sulla falsa riga di quanto già proposto in ambito climatizzazione attraverso l'utilizzo di anni tipo

▪ Daylight Autonomy (DA)

La Daylight Autonomy è la percentuale di tempo in un anno in cui in un determinato punto si registra il raggiungimento del livello di illuminamento minimo richiesto per il compito (solitamente 300 lx o 500 lx), grazie alla sola luce naturale. L'innovazione di questo parametro sta nel considerare la posizione geografica del sito in cui l'edificio preso in esame è ubicato, e le reali condizioni del cielo su base annuale.

Accanto alla daylight autonomy, si definiscono anche la Continuous DA e la Maximum DA



Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA **UNI EN 15193**, MEDIANTE LENICALC



25 ottobre 2023

Parametri per la valutazione della luce diurna

- Useful Daylight Illuminance (**UDI**)

L'**UDI** è composto da tre indici che assieme rappresentano la distribuzione complessiva dell'illuminamento in un anno. Fa sempre riferimento al livello di illuminamento da raggiungere sul piano di lavoro, ma stabilisce delle soglie:

UDI_{fell-short} indica la percentuale di tempo in cui i valori di illuminamento forniti dalla luce naturale sono carenti. Proposto per la prima volta nel 2005, ha imposto 100 lx come limite massimo;

UDI_{achived} indica la percentuale di tempo in cui i valori di illuminamento soddisfano le richieste del compito visivo. Può essere suddivisi in due ulteriori intervalli:

UDI_{supplementary} che ha come limite inferiore 100 lx e superiore 300 lx. Indica la frequenza con cui la luce naturale deve essere compensata dalla luce artificiale;

UDI_{autonomous} che ha come limite inferiore 300 lx e superiore 2000 lx. Indica la frequenza con cui la luce naturale non deve essere compensata da quella artificiale;

UDI_{exceeded} indica la percentuale di tempo in cui i valori di illuminamento forniti dalla luce naturale sono superiori ai 2000 lx, valore per cui possono determinarsi fenomeni di discomfort visivo e/o termico.

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA UNI EN 15193, MEDIANTE LENICALC



25 ottobre 2023

Parametri per la valutazione della luce diurna

- **Daylight Saturation Percentage (DSP)**

È un parametro derivante dall'*UDI*, dove il limite minimo è imposto a 430 lx ed il massimo a 4300 lx. Viene così indicata la percentuale di area entro cui è si raggiungono un livello all'interno dell'intervallo sopra indicato, per almeno il 50% del tempo.

- **Cumulative Illuminance (CI)**

Questo parametro combina alcune semplificazioni del Daylight factor al Climate Based Daylight Modeling. Definisce la percentuale di tempo in cui è raggiunto il livello di illuminamento prescritto su tutto l'arco dell'anno. Questo calcolo deve essere però svolto adoperando file climatici standardizzati e per la sola componente diffusa della luce naturale.

- **Annual Light Exposure (ALE)**

Rappresenta la quantità cumulata di flusso luminoso incidente su una superficie nell'arco di un anno e misurata in lx h/anno

- **Daylight factor target (D_T)**

Il Daylight factor target sarà il nuovo parametro di riferimento a livello europeo per il calcolo della luce naturale in un ambiente costruito (attualmente è già presente nella prEN 17037). E' un Daylight factor calcolato imponendo determinati valori: per dimostrare il raggiungimento di una adeguata condizione di luce naturale in un ambiente interno, è necessario verificare che sia garantito un determinato livello di illuminamento target (E_T), per una determinata percentuale di ore nell'anno, su una determinata percentuale di area rilevante.

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA UNI EN 15193, MEDIANTE LENICALC



25 ottobre 2023

Applicazione di grandezze alternative: LENI target e DF target

↓ Tabella 2 E_{dh} mediano e D_T di diverse località italiane

OBIETTIVI DELLA RICERCA

- Studio del Daylight factor target (D_T) e delle grandezze implicate nella sua procedura di calcolo (E_{dh} mediano) per determinarne l'applicabilità nella valutazione del fabbisogno energetico per l'illuminazione degli interni di edifici.
- Definizione del *LENI* target.

METODOLOGIA

- Scrittura di algoritmi di calcolo con il software Grasshopper v.1.0 per il calcolo di D_T e del *LENI* target per diverse località a partire dagli *Anni meteorologici tipici per l'illuminamento naturale* (AMTIN) prodotti da ENEA.
- Analisi e confronto dei valori ottenuti.
- Redazione di grafici per il calcolo rapido dell'energia utilizzata per l'illuminazione in un anno (W_L).

↓ Tabella 1 Confronto tra *LENI* calcolati con diversi metodi e *LENI* target

location	latitude	LENI		AM4 LENI		LENI target 500	
		EN 15193-1:2017 (Davg 4.25%) [kWh/m2*year]		(ENEA Edh/working days/Davg 5.7%) [kWh/m2*year]		(ENEA Edh/working days/DTavg 3.02%) [kWh/m2*year]	
Palermo	38.12		11.51		1.37		6.29
Roma	41.90		11.56		1.59		6.38
Trieste	45.63		12.02		2.44		6.74
$\Delta(max-min)$ [kWh/m2*year]			0.51		1.07		0.45
$\Delta(max-min)$ [%]			4%		79%		7%

Metodi per la valutazione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminamento artificiale considerando il contributo dell'illuminazione naturale. ENEA- Università Di Roma La Sapienza– Report RdS/PAR2017

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

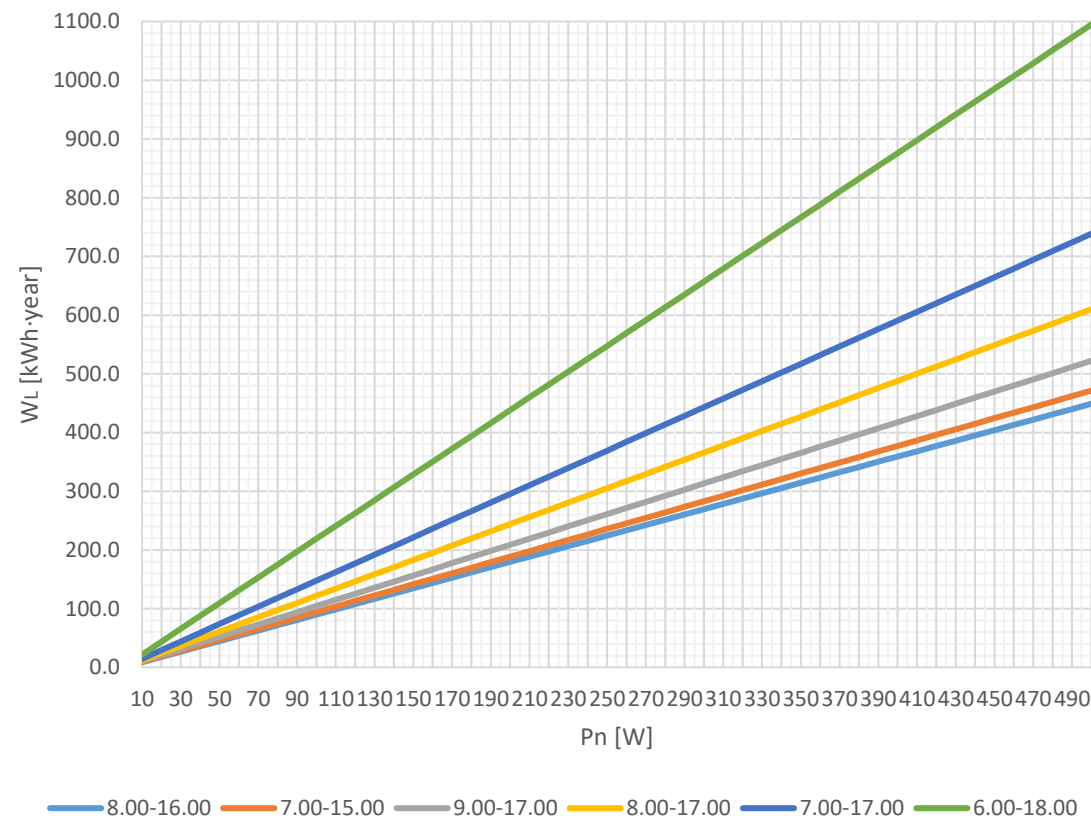


city	latitude	median Edh [lx]	DT100	DT300	DT500	DT750
Palermo	38.12	17757	0.56%	1.69%	2.82%	4.22%
Catanzaro	38.90	17263	0.58%	1.74%	2.90%	4.34%
Potenza	40.63	17140	0.58%	1.75%	2.92%	4.38%
Napoli	40.85	16873	0.59%	1.78%	2.96%	4.44%
Bari	41.12	16882	0.59%	1.78%	2.96%	4.44%
Campobasso	41.55	16489	0.61%	1.82%	3.03%	4.55%
Roma	41.90	16010	0.62%	1.87%	3.12%	4.68%
L'Aquila	42.35	16484	0.61%	1.82%	3.03%	4.55%
Perugia	43.10	16188	0.62%	1.85%	3.09%	4.63%
Ancona	43.62	16204	0.62%	1.85%	3.09%	4.63%
Firenze	43.77	16051	0.62%	1.87%	3.12%	4.67%
Genova	44.40	16082	0.62%	1.87%	3.11%	4.66%
Bologna	44.48	15759	0.63%	1.90%	3.17%	4.76%
Torino	45.05	15866	0.63%	1.89%	3.15%	4.73%
Venezia	45.43	16148	0.62%	1.86%	3.10%	4.64%
Milano	45.45	15735	0.64%	1.91%	3.18%	4.77%
Trieste	45.63	15974	0.63%	1.88%	3.13%	4.70%
Aosta	45.73	15885	0.63%	1.89%	3.15%	4.72%
Trento	46.07	14907	0.67%	2.01%	3.35%	5.03%
	max	17757	0.7%	2.0%	3.4%	5.0%
	min	15735	0.6%	1.7%	2.8%	4.2%
	avg	16377	0.6%	1.8%	3.1%	4.6%

Metodi per la verifica delle disponibilità di luce naturale e per la stima dei requisiti energetici per illuminazione in edifici nZEB

- L'utilizzo degli *Anni meteorologici tipici per l'illuminamento naturale* (AMTIN) prodotti da ENEA nella procedura di calcolo di D_T risulta estremamente semplice;
- un singolo valore di illuminamento esterno diffuso (E_{dh} mediano tra le 4380 ore con i livelli di massimo illuminamento nell'arco di una giornata) potrebbe essere sufficiente a definire in maniera rapida il clima luminoso di una località in una metodologia semplificativa;
- L'introduzione di D_T e lo studio della sua procedura di calcolo ha permesso la definizione di grafici caratteristici di ogni località, attraverso i quali sarà possibile calcolare rapidamente W_L , e successivamente il *LENI* target di qualsiasi edificio che rispetti i nuovi requisiti illuminotecnici imposti dalla EN 173037, semplicemente scegliendo l'orario operativo ed ipotizzando la potenza installata per l'illuminazione;
- i valori di *LENI* target calcolati sono risultati essere inferiori di circa il 50 % rispetto ai valori di *LENI* standard ottenuti con la metodologia proposta nella UNI EN 15193-1:2017: questo confronto mette in luce come, pur trattandosi di una metodologia semplificativa da utilizzare, come proposto, nelle prime fasi della progettazione di uno spazio, è comunque più accurata nel descrivere il clima luminoso delle località rispetto alla norma.
- Le differenze dell' E_{dh} mediano registrate nei capoluoghi italiani non sono state sufficienti a far variare il D_T in maniera significativa. Di conseguenza le differenze dei valori del *LENI* target per località diverse con clima luminoso diverso, risultano non particolarmente marcate come con altri metodi alternativi;
- le semplificazioni della procedura di calcolo del D_T cancellano la variabilità dovuta ai diversi orientamenti degli ambienti, registrata con altri metodi.

WL Roma [kWh/year] - median Edh 16010 lx



Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Daylight factor – metodi alternativi

- ❑ Tra le tante, una ricerca condotta da SAPIENZA ed ENEA ha definito una metodologia alternativa, che è stata confrontata con il metodo proposto dalla norma
- ❑ Una delle verifiche effettuate è stata la valutazione della condizione standard di calcolo del Daylight factor per verificarne la conservatività, sostituendo al cielo Overcast (cielo standard) i cieli Intermediate without Sun, Clear without Sun ed il cielo reale (tramite un set di dati misurati ed il modello di cielo di Perez), su un ufficio del Centro Ricerche Casaccia – ENEA, effettuando calcoli orari nei giorni degli equinozi e dei solstizi, utilizzando per le simulazioni i software Rhinoceros, Grasshopper, DIVA-for-Rhino, Radiance.
- ❑ Il calcolo effettuato in alcuni giorni è stato esteso su base cumulativa mensile e cumulativa annuale.

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Risultati e considerazioni

- Il Metodo semplificato da norma risulta essere uno strumento molto semplice da utilizzare, soprattutto in caso di analisi di edifici complessi. Si è dimostrato però come possa sovrastimare il fabbisogno energetico dell'illuminazione in media del 37% rispetto al Metodo completo da norma.
- In tutti i casi studio analizzati, il *LENI* calcolato con i diversi metodi da norma (versione 2008 e versione 2017) sono risultati sempre superiori a quelli calcolati con il metodo alternativo (AM).
- Con l'*AM* il *LENI* risulta maggiormente influenzato dalle variazioni di latitudine, di tipologia di finestra, dimensioni del locale.

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Risultati e considerazioni

- Le condizioni di calcolo standard del Daylight factor non sono risultate sempre conservative a livello orario nei giorni analizzati. Sia con il cielo Intermediate without Sun che con il cielo Clear without Sun risultano esserci ore del giorno in cui il D calcolato con cielo Overcast presenta valori superiori, questo a causa dell'influenza della posizione del sole rispetto alle aperture e alla diversa distribuzione delle luminanze.
- Effettuando i calcoli del D_{avg}^* con il modello di cielo di Perez (a partire da dati climatici forniti da ENEA) è possibile osservare come esso vari al variare dell'orientamento, risultando però in alcuni casi inferiore a D_{avg} .

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Risultati e considerazioni

- Cumulativamente sull'intero anno il D_{avg}^* calcolato come media dei 4 orientamenti risulta sempre superiore a D_{avg} , indicando come quest'ultima grandezza possa essere adatta a valutazioni di tipo energetico.
- Le differenze del D_{avg}^* cumulativo tra le varie località risulta molto contenuto, portando quindi a valori di $LENI$ che differiranno in funzione della potenza installata.

Con la partecipazione di:



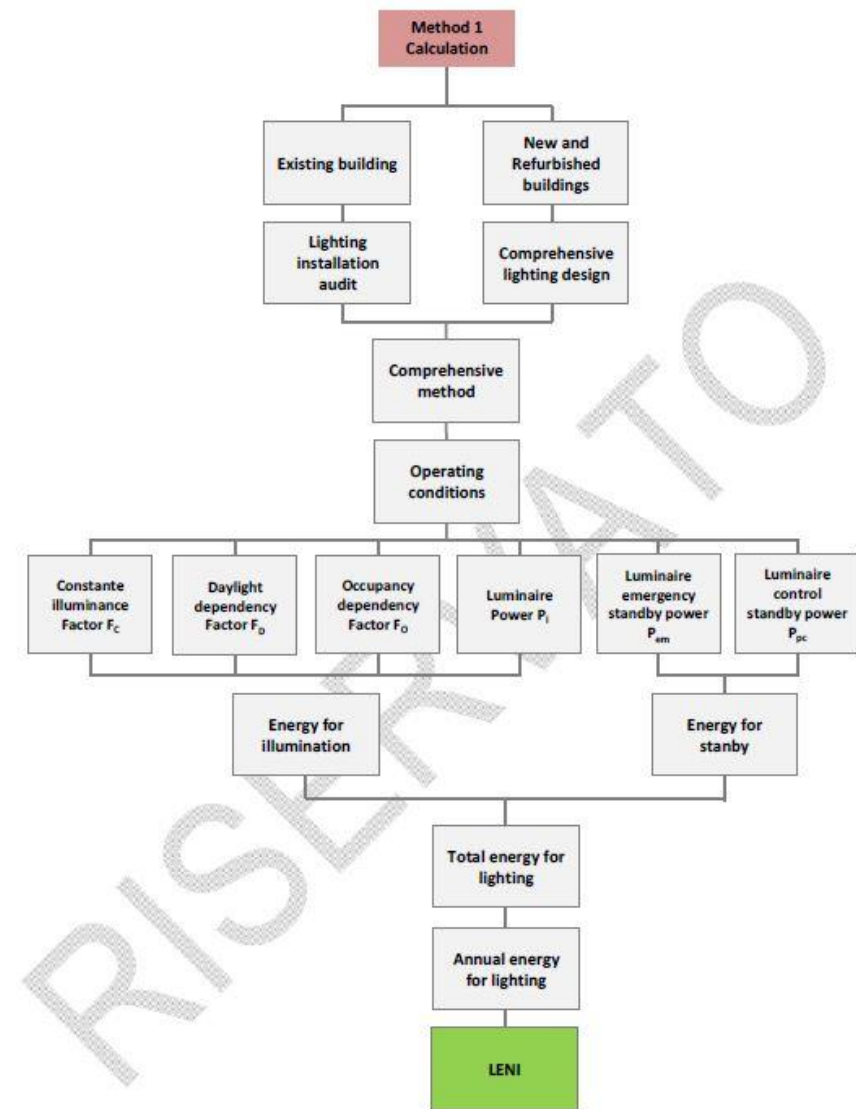
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



LENICALC - software per calcolo LENI

ENEA ha sviluppato LENICALC, software di calcolo del LENI.

Diagramma di flusso relativo al metodo di calcolo 1 che è stato implementato nel software LENICALC.



Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Prof. Ing. Fabio Bisegna,
DIAEE, Sapienza

fabio.bisegna@uniroma1.it

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

