



Ricerca di Sistema elettrico

Versione 1 – Software per il calcolo dell'indicatore LENI riferito allo standard EN15193-1

L. Blaso, S. Fumagalli, O. Li Rosi, F. Marino

VERSIONE 1 – SOFTWARE PER IL CALCOLO DELL'INDICATORE LENI RIFERITO ALLO STANDARD EN15193-1

L. Blaso, S. Fumagalli, O. Li Rosi (ENEA), F. Marino (Università Roma Tre)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto D.5: Innovazione tecnologica, funzionale e gestionale nell'illuminazione pubblica ed in ambienti confinati

Tema di Ricerca: Illuminazione

Obiettivo: Public Energy Living lab – Sviluppo di Metodologie di valutazione ed avvio penetrazione territoriale.

Implementazione software per calcolo prestazioni energetiche di sistemi di illuminazione di edifici

Responsabile del Progetto: Nicoletta Gozo, ENEA

Si ringrazia l'ing. Owen Ransen ed Gruppo di Lavoro GL10 "Efficienza energetica degli Edifici" UNI/CT023/GL10 della Commissione UNI/CT023 "Light and Lighting"

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 ATTIVITÀ PAR2015 (1/10/2015- 30/9/2016).....	6
3 <i>LIGHTING ENERGY NUMERIC INDICATOR E LO STANDARD PREN 15193-1:2015</i>	7
3.1 CONTESTO NORMATIVO.....	7
3.2 LA NORMA EN 15193-1:2015 ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS – MODULE M9 – ENERGY REQUIREMENTS FOR LIGHTING – PART 1: SPECIFICATIONS”	9
<i>Metodo 1</i>	13
<i>Metodo 2</i>	19
3.3 IMPLEMENTAZIONE DEL SOFTWARE LENICALC ENEA V1 PER IL CALCOLO DELL’INDICATORE LENI	20
3.3.1 <i>Architettura del software LENICALC ENEA V1</i>	22
4 CONCLUSIONI.....	30
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	31

Sommario

Il rapporto tecnico riporta la descrizione del software LENICALC ENEA V1 che è stato sviluppato e completato dall'ENEA in questa prima annualità. Il software LENICALC ENEA V1 si basa sul "metodo 1" di calcolo proposto dalla norma prEN 15193-1:2015 "*Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting. Part 1: Specifications*" che è un'evoluzione del precedente standard EN 15193:2007 (adottato dall'UNI nel 2008). La norma prEN 15193-1:2015 rientra nel set di standard redatti a supporto della Direttiva europea (2002/91/CE e successiva revisione 2012/31/UE, EPBD recast) recepita a scala nazionale, per l'adozione di misure sul rendimento energetico degli edifici, come strumento tecnico per il calcolo della prestazione energetica degli edifici.

Considerando il contesto normativo nel quale la norma prEN15193-1:2015 si colloca, l'importanza e l'originalità dell'attività svolta in questa annualità dall'ENEA (che prosegue quanto iniziato nel PAR 2014 - Report RdS/PAR2014/029, con l'implementazione di una prima versione del software - step 1), ha determinato lo sviluppo completo del software per il calcolo del LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) secondo il Comprehensive Method della norma prEN15193-1:2015. Il software realizzato, denominato "LENICAL ENEA V1" (che nel testo sarà abbreviato LENICALC) consente la determinazione del fabbisogno di energia elettrica per gli impianti di illuminazione artificiale presenti in un edificio pubblico, residenziale e non e si rivolge ai professionisti del settore illuminotecnico, impiantistico e della certificazione energetica che si apprestano ad effettuare valutazioni di tipo energetico su impianti nuovi, esistenti ed oggetto di riqualificazione per edifici pubblici, residenziali e non.

Nel report è presentato il software progettato seguendo gli step logici della norma per la costruzione del progetto e quindi il calcolo del LENI annuale di un edificio. Il software ora è pronto per essere validato nelle prossime due annualità ed essere quindi successivamente messo a disposizione.

1 Introduzione

Questo rapporto si riferisce alle attività di Sviluppo e implementazione del Progetto PELL sul territorio e si colloca nell'ambito dell'Accordo di Programma stipulato tra il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA per la realizzazione delle attività di ricerca previste dal Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale 2015-17.

In particolare il rapporto viene elaborato in funzione delle attività previste dal Piano Annuale per la Ricerca di Sistema Elettrico ENEA 2015 relative al periodo che va dal 1/10/2015 al 30/9/2016. Il Piano è articolato per attività di ricerca, obiettivi intermedi, costi e tempi di realizzazione.

Inquadrato nell'Area "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", il rapporto si riferisce alle attività svolte per il conseguimento degli obiettivi previsti al Progetto D5 "Innovazione tecnologica, funzionale e gestionale nell'illuminazione pubblica ed in ambienti confinati", afferente al Tema di Ricerca " Illuminazione" ed al conseguimento dell'obiettivo a. "Public Energy Living Lab – Sviluppo Metodologie di valutazione ed avvio penetrazione territoriale".

L'obiettivo finale delle attività previste dall'Area consiste nello sviluppo di strumenti e metodi che mirano al miglioramento di tecnologie ad alta efficienza energetica, allo scopo di stimolare nel mercato la circolazione di prodotti più performanti.

L'attività del Progetto D5 è stata suddivisa in 4 obiettivi:

- a. Public Energy Living Lab – Sviluppo Metodologie di valutazione ed avvio penetrazione territoriale
- b. Smart street – definizione architettura funzionale delle tecnologie e metodologie abilitanti (palo intelligente e smart lighting)
- c. Human Centric lighting – definizione, contesto e prima progettazione
- d. Comunicazione e diffusione dei risultati

Per ogni obiettivo sono stati individuati dei sub-obiettivi con specifiche attività volte al conseguimento dei risultati previsti dal Progetto D5.

Per l'attività a, relativa a "Public Energy Living Lab – Sviluppo Metodologie di valutazione ed avvio penetrazione territoriale" sono stati individuati tre sub-obiettivi.

Sub-obiettivi:

- a.1 – Sviluppo Metodologia
- a.2 – Implementazione del PELL sul territorio
- a.3 – Implementazione software per calcolo prestazioni energetiche di sistemi di illuminazione di edifici

Per ogni sub-obiettivo sono state individuate delle attività volte al suo conseguimento definito in ciascun task.

In particolare, il presente rapporto si riferisce alle attività previste dal sub-obiettivo a3 Implementazione software per calcolo prestazioni energetiche di sistemi di illuminazione di edifici che, proseguendo una attività iniziata nell'ultimo anno del triennio precedente del PAR 2014 (Report RdS/PAR2014/029) relativa all'implementazione di una prima versione del software (step 1) per il calcolo del LENI, versione del software che in questa annualità è stata sviluppata e completata la quale consente il calcolo del LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) secondo il "metodo 1" della norma prEN15193-1:2015 (Comprehensive Method). Il software realizzato è stato denominato "LENICAL ENEA V1" che nel report sarà indicato con la sigla "LENICALC."

Tutte le attività descritte in questo rapporto sono state interamente sviluppate da ENEA con la collaborazione del Gruppo di Lavoro GL10 "Efficienza energetica degli Edifici" UNI/CT023/GL10 della Commissione UNI/CT023 "Light and Lighting" del quale l'ENEA è coordinatore da ottobre 2015.

2 Attività PAR2015 (1/10/2015- 30/9/2016)

Area “Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici”

Progetto D5 “Innovazione tecnologica, funzionale e gestionale nell’illuminazione pubblica ed in ambienti confinati”

a.3. Implementazione software per calcolo prestazioni energetiche di sistemi di illuminazione di edifici:

- ✓ Si implementerà un software per la valutazione delle prestazioni energetiche degli impianti di illuminazione di edifici pubblici, residenziali e non - versione 1- per il calcolo dell’indicatore LENI riferito alla norma EN 15193 (attività che si collega a quanto svolto nella precedente PAR2014 che ha visto lo sviluppo di una versione 0 del software). Tale versione del software sarà completa rispetto alla procedura di valutazione dell’indicatore LENI ma non ancora completamente validata. **(Report RdS/PAR/2015/007)**
- ✓ Parallelamente, si effettuerà uno studio preliminare relativo all’identificazione di tipologie di edifici significative in rapporto ai fabbisogni energetici per l’illuminazione (ad esempio uffici, scuole, ospedali, etc.), delle caratteristiche degli stessi in termini di soluzioni di illuminazione naturale, di impianti di illuminazione artificiale e di tipologie di sistemi di controllo. Questa attività è propedeutica per identificare casi studio per una successiva validazione di strumenti di calcolo del fabbisogno per l’illuminazione (LENI) tra cui il software in oggetto . **(Report RdS/PAR/2015/005)**
- ✓ Sarà svolta una analisi di fattibilità per l’integrazione futura del software nella piattaforma PELL **(Report RdS/PAR/2015/007)**

Risultati/Deliverable:

- ✓ Versione 1 del software per il calcolo delle prestazioni energetiche degli impianti di illuminazione di edifici pubblici e residenziali e non (indicatore LENI)

Principale collaborazione: Politecnico di Torino - Dip. Energia
durata: ottobre 2015 - settembre 2016

3 Lighting Energy Numeric Indicator e lo standard prEN 15193-1:2015

3.1 Contesto normativo

In Europa, nell'ambito della certificazione energetica, il 18 giugno del 2010 è stata pubblicata la nuova Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia [1] (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD recast della precedente Direttiva Europea 2002/91/CE [2]) per promuoverne il miglioramento negli edifici di nuova costruzione e per quelli esistenti all'interno dell'Unione, tenendo conto delle condizioni locali, climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi e stabilendo:

- i requisiti minimi di efficienza energetica da rispettare, la redazione di idonea certificazione del rendimento energetico nell'edilizia e i requisiti minimi di efficienza energetica per gli edifici di nuova costruzione e per quelli già esistenti;
- la redazione di idonea certificazione del rendimento energetico nell'edilizia;
- l'imposizione di controlli periodici delle caldaie e degli impianti di condizionamento.

Nel quadro generale del set di standard EN a supporto della Direttiva EPBD, la posizione della norma prEN 15193:1:2015 “Energy performance of buildings – Module M9 – Energy requirements for lighting – Part 1: Specifications” [3] (comitato tecnico CENTC169) che consente la valutazione del fabbisogno energetico imputabile agli impianti di illuminazione artificiale e la conseguente determinazione dell'indice LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) è sintetizzato nella figura 1. A seguito del Mandato M/480, il CEN ha definito la struttura modulare in relazione a tutte le norme relative al rendimento energetico degli edifici, fornendo così un quadro generale agli stati membri dell'Unione europea. Per le norme è previsto che vengano fornite con le guide (Technical Report) e saranno forniti anche dei tools (spreadsheet) in qualità di metodi semplificati riferiti ai rispettivi metodi di calcolo semplificati previsti per ciascuna norma.

La norma prEN15193-1:2015 mette a disposizione tre metodologie di valutazione delle prestazioni energetiche per i sistemi di illuminazione artificiale di edifici residenziali e non, attraverso la stima dei consumi di energia elettrica imputabili all'illuminazione artificiale anche in presenza dei sistemi di controllo. Le metodologie possono essere applicate sia per edifici nuovi, esistenti o ristrutturati. Vista la complessità della procedura di calcolo, alla norma è stato affiancato un Technical Report (prCEN/TR 15193-2:2015) [4] per le indicazioni sui requisiti, mettendo a disposizione sezioni con commenti sulla norma, dando indicazioni sulle assunzioni fatte e riportando degli esempi applicati delle metodologie.

Considerando dunque il contesto normativo nel quale la norma prEN15193-1:2015 si colloca, si evince l'importanza e l'originalità dell'attività svolta in questa annualità dall'ENEA (che prosegue quanto iniziato nel PAR 2014 - Report RdS/PAR2014/029, con l'implementazione di una prima versione del software - step 1 [5]), che ha visto lo sviluppo completo del software per il calcolo del LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) secondo il metodo 1 della norma prEN15193-1:2015 (Comprehensive Method). Il software realizzato, denominato “LENICAL ENEA V1” (che nel testo sarà abbreviato LENICALC) consente la determinazione del fabbisogno di energia elettrica per gli impianti di illuminazione artificiale presenti in un edificio pubblico, residenziale e non, e si rivolge ai professionisti del settore della certificazione energetica ed ai progettisti illuminotecnici e/o impiantisti che devono effettuare valutazioni di tipo energetico su impianti nuovi, esistenti ed oggetto di riqualificazione.

L'attività è stata effettuata dall'ENEA, ed in accordo con l'UNI, con la collaborazione del Gruppo di Lavoro GL10 “Efficienza energetica degli Edifici” UNI/CT023/GL10 della Commissione UNI/CT023 “Light and Lighting” del quale l'ENEA è coordinatore da ottobre 2015.

La motivazione che ha portato l'ENEA a progettare e realizzare il software è la volontà di consentire a tutti di effettuare il calcolo del LENI, secondo la procedura indicata dalla norma prEN 15193-1:2015, in maniera corretta e senza semplificazioni dovute alla poca conoscenza della norma e dei calcoli da effettuare. Già nella versione UNI EN 15193:2008 [6] della norma (quella attualmente in vigore) la valutazione del

fabbisogno di energia elettrica di impianti di illuminazione artificiale è molto complessa ma nella versione di prossima pubblicazione la procedura proposta è stata aggiornata ed ulteriormente arricchita di alcuni aspetti (cfr. Report del Politecnico di Torino RdS/PAR2015/005) che di fatto rendono la norma di più difficile applicazione per utenti poco esperti nel settore o che non conoscano bene la norma stessa.

Il software LENICALC progettato, è il primo software realizzato per calcolare l'indicatore LENI secondo la prEN 15193-1:2015 (la cui pubblicazione, che è stata posticipata, dovrebbe avvenire all'inizio del 2017, in contemporanea con tutti gli altri standard che afferiscono al set di norme EPBD) e guiderà l'utente alla corretta determinazione di ogni parametro necessario al calcolo del LENI dell'edificio, rimandando sempre e comunque alla norma e senza volerla sostituire.

Overarching		Building (as such)		Technical Building Systems										
	Descriptions		Descriptions		Descriptions	Heating	Cooling	Ventilation	Humidification	Dehumidification	Domestic Hot water	Lighting	Building automation & control	PV, wind, ..
sub1	M1	sub1	M2	sub1		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
1	General	1	General	1	General									
2	Common terms and definitions; symbols, units and subscripts	2	Building Energy Needs	2	Needs									
3	Applications	3	(Free) Indoor Conditions without Systems	3	Maximum Load and Power									
4	Ways to Express Energy Performance	4	Ways to Express Energy Performance	4	Ways to Express Energy Performance									
5	Building Functions and Building Boundaries	5	Heat Transfer by Transmission	5	Emission & control									
6	Building Occupancy and Operating Conditions	6	Heat Transfer by Infiltration and Ventilation	6	Distribution & control									
7	Aggregation of Energy Services and Energy Carriers	7	Internal Heat Gains	7	Storage & control									
8	Building Partitioning	8	Solar Heat Gains	8	Generation & control									
9	Calculated Energy Performance	9	Building Dynamics (thermal mass)	9	Load dispatching and operating conditions									
10	Measured Energy Performance	10	Measured Energy Performance	10	Measured Energy Performance									
11	Inspection	11	Inspection	11	Inspection									
12	Ways to Express Indoor Comfort			12	BMS									
13	External Environment Conditions													
14	Economic Calculation													

Figura 1: Posizione dello standard nell'EPBD (tratta da prEN15193-1:2015)

3.2 *La norma EN 15193-1:2015 Energy performance of buildings – Module M9 – Energy requirements for lighting – Part 1: Specifications*

Nell'ambito illuminotecnico la definizione della norma EN 15193 (attualmente in vigore c'è la EN 15193:2007 e siamo in attesa della pubblicazione della prEN 15193-1:2015 che la sostituirà) ha fin da subito rivestito un ruolo importante in quanto consente il calcolo, seppure semplificato, del fabbisogno energetico per l'illuminazione artificiale, tenendo conto anche dei potenziali benefici imputabili all'integrazione della luce naturale ed artificiale, al controllo della luce artificiale sulla base nell'occupazione degli ambienti, alla presenza di ostruzioni esistenti davanti alle superfici vetrate, alla presenza di sistemi di schermatura ed alle caratteristiche climatiche del luogo.

L'utilizzo di questo standard può dare un contributo determinante ad una progettazione illuminotecnica consapevole anche dal punto di vista energetico, in quanto una analisi anche semplificata (metodo 2) può giocare comunque un ruolo essenziale nell'indirizzare alcune scelte progettuali. E' ormai conoscenza comune che l'uso di sistemi di controllo e di integrazione dell'illuminazione artificiale e naturale possa contribuire al conseguimento di alcuni importanti obiettivi, quali:

- incrementare il comfort visivo degli ambienti confinati;
- contribuire ad ottenere un risparmio energetico dovuto ad un minor consumo di energia elettrica per gli apparecchi di illuminazione ma anche ridurre i carichi termici endogeni prodotti dalle sorgenti di luce artificiale.

Se nella valutazione delle prestazioni energetiche per l'illuminazione si può considerare un profilo di utilizzo dinamico dell'illuminazione in presenza di sistemi di controllo, anche se con le necessarie semplificazioni, certamente si può pervenire ad una valutazione più precisa del fabbisogno energetico dei sistemi di illuminazione artificiale. Molti sono i fattori che condizionano l'efficienza energetica dei sistemi di controllo in quanto dipendono dai fattori connessi alle caratteristiche dell'edificio e del sistema stesso (strategie di controllo, tipologie dei dispositivi, architettura dei sistemi, etc.) quali ad esempio:

- la disponibilità di luce naturale esterna all'ambiente, che dipende dalla latitudine e longitudine del luogo, dal giorno del mese ed ora del giorno, dalle condizioni di cielo coperto, sereno, intermedio etc..;
- la quantità di luce naturale presente in ambiente, che dipende dalla disponibilità di luce naturale esterna, dalla presenza di ostruzioni esterne, dall'orientamento degli ambienti (nel caso si consideri la presenza della radiazione solare diretta), dalla presenza di sistemi di schermatura e dalla conformazione dell'ambiente e disposizione delle postazioni di lavoro, dai coefficienti di riflessione delle superfici interne agli ambienti;
- le caratteristiche dell'utenza, e cioè il profilo di occupazione, la modalità di interazione tra l'utenza e i componenti schermanti, la modalità di interazione tra l'utenza e l'impianto di illuminazione;
- le caratteristiche e le prestazioni dell'impianto di illuminazione (tipologia di apparecchi, distribuzione della luce in ambiente, etc.), la tipologia e l'architettura del sistema di controllo (controllo in base all'occupazione, alla presenza di luce naturale, alla volontà dell'utente, a scenografie predefinite, etc.).

La presenza di un sistema di controllo può aumentare la complessità di gestione dell'impianto e quindi rendere ancora più difficile la stima del fabbisogno energetico per l'illuminazione in quanto implica un comportamento dinamico dell'impianto nell'arco dell'anno, in quanto gli apparecchi possono essere accesi e/o spenti, dimmerati etc.

La norma prEN 15193-1:2015 "Energy performance of buildings – Module M9 – Energy requirements for lighting – Part 1: Specifications" specifica tre metodi di calcolo per la valutazione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione elettrica all'interno di un edificio che sono schematizzati nella figura 2.

I metodi di valutazione sono tre, i primi due sono metodi di calcolo mentre il terzo è un metodo di misurazione diretta del circuito di illuminazione.

Il “**metodo di calcolo 1**” offre due opzioni per gli edifici nuovi e/o ristrutturati e per gli edifici esistenti. Solo per gli edifici nuovi e/o ristrutturati è possibile utilizzare anche il “ **metodo di calcolo 2**” che è un metodo rapido per la stima annuale di energia.

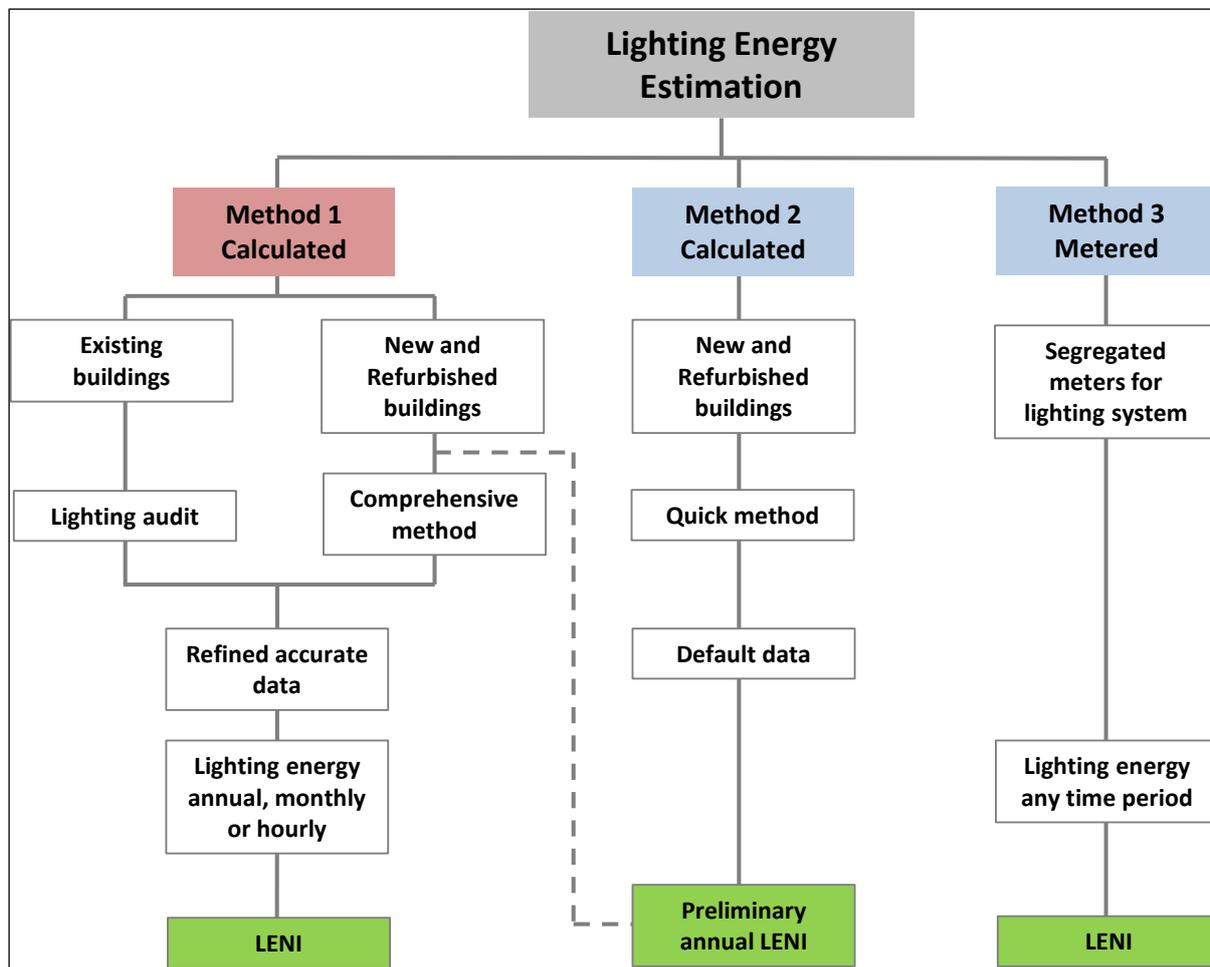


Figura 2. Diagramma di flusso relativo ai tre metodi per la determinazione del fabbisogno energetico dell'illuminazione

Le principali differenze dei tre metodi sono:

- **metodo 1**: è il metodo completo che presuppone che dell’edificio sia disponibile un progetto completo dell’impianto di illuminazione, quindi esistano i dati reali dei prodotti specificati nel progetto e ci sono tutte le informazioni dell’impianto (fondamentali per determinare l’energia impegnata per il funzionamento kWh). Nel caso di edifici nuovi o ristrutturati il metodo applicabile è il “**Comprehensive method**” per il quale è stato implementato LENICALC. Nel caso di edifici esistenti il processo previsto dal metodo 1 è di Audit dell’impianto di illuminazione per stabilire la potenza installata per i sistemi di illuminazione. In entrambi i casi la metodologia consente di pervenire alla determinazione del *LENI* dell’edificio su base annuale, mensile ed oraria [kWh/m²year]. Il time step armonizzato secondo le varie norme (Mandato M/480 EPBD) è pari a: 8760h per l’annuale e 730 h per il mensile. (nota: il calcolo orario dell’energia necessaria per l’illuminazione artificiale non è pratico e produce risultati di dettaglio eccessivo, che non sono significativi in quanto non esiste un metodo affidabile per la previsione dei valori dei fattori di dipendenza).
- **metodo 2**: è il metodo rapido (**Quick method**) che si applica ad edifici nuovi e/o ristrutturati per fare un calcolo approssimato del budget del carico installato mediante dati di default (tabelle) per stimare il fabbisogno di energia per l’illuminazione. In questo caso la metodologia consente di pervenire alla determinazione del *Preliminary annual LENI* dell’edificio [kWh/m²year] che consente solo una valutazione

orientativa ma sarà comunque necessario determinare il *LENI* con il metodo 1 per certificare dal punto di vista energetico l'impianto.

– **metodo 3:** è il metodo di misura diretta (**Metered method**) che fornisce il valore più accurato dell'energia utilizzata per l'illuminazione. In questo caso la metodologia consente di pervenire alla determinazione del *LENI* dell'edificio [kWh/m²year].

La formula generale del *LENI* (Lighting Energy Numeric Indicator) [kWh/m²year] è la seguente:

$$LENI = W / A \quad (1)$$

dove:

W [kWh/year]: energia totale annua utilizzata per l'illuminazione

A[m²]: superficie totale di pavimento dell'edificio

Il valore del *LENI* dell'edificio è calcolato normalizzando l'energia annua totale necessaria per l'illuminazione (W) all'area utile (A) dello stesso edificio.

L'energia annua totale necessaria per l'illuminazione elettrica in un edificio W è determinata sommando i valori di energia totale necessaria per l'illuminazione W_t per ciascuna stanza o zona dell'edificio:

$$W = 8760/t_s \cdot \sum W_t \quad [\text{kWh/year}] \quad (2)$$

L'energia totale consumata su base annua per l'illuminazione artificiale W può essere calcolata attraverso la seguente formula:

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \quad (3)$$

dove:

W_{L,t} [kWh/anno] è l'energia complessiva consumata nel periodo "t" per il funzionamento dell'impianto di illuminazione artificiale;

W_{P,t} [kWh/anno] è l'energia parassita consumata nel periodo "t" per ricaricare le batterie dell'illuminazione di emergenza e per far funzionare i dispositivi dei sistemi di controllo in modalità standby.

La stima dell'energia annua richiesta W_{L,t} e l'energia annua parassita W_{P,t} si calcolano utilizzando le due formule di seguito indicate, riferita al periodo "t" di valutazione su base oraria, giornaliera, mensile oppure annuale:

$$W_{L,t} = \frac{\sum \{(P_n \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_D \cdot F_O) + (t_D \cdot F_D)]\}}{1000} \quad (4)$$

dove:

W_{L,t} [kWh] è l'energia elettrica consumata in un dato periodo "t" per garantire l'illuminazione artificiale richiesta nell'edificio;

P_n [W] è la potenza elettrica installata per l'illuminazione artificiale in un ambiente o zona dell'edificio;

F_C [-] è il fattore di illuminamento costante;

t_D [h] è il numero di ore di utilizzo dell'ambiente in presenza di luce naturale;

F_O [-] è il fattore che tiene conto dell'occupazione degli utenti in ambiente;

F_D [-] è il fattore che tiene conto della disponibilità di luce naturale in ambiente;

t_N [h] è il numero di ore di utilizzo dell'ambiente in assenza di luce naturale;

$$W_{P,t} = \frac{\sum \{P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} \cdot t_{em})\}}{1000} \quad (5)$$

dove:

$W_{P,t}$ [kWh] è l'energia parassita annua consumata nel periodo "t" di riferimento;

P_{pc} [W] è la potenza parassita totale assorbita dal sistema di controllo dei singoli ambienti o parti dell'edificio;

t_y [h] è il numero totale di ore di utilizzo di un ambiente (valore standard: 8760 ore);

t_D [h] è il numero di ore di utilizzo dell'ambiente in presenza di luce naturale;

t_N [h] è il numero di ore di utilizzo dell'ambiente in assenza di luce naturale;

P_{em} [W] è la potenza elettrica installata per garantire la ricarica delle batterie dell'illuminazione artificiale di emergenza;

t_{em} [W] è il tempo di ricarica delle batterie dell'illuminazione di emergenza.

In particolare, i fattori di dipendenza hanno il seguente significato:

- F_D (Daylight dependency factor): è il fattore che dipende dalla disponibilità di luce naturale entrante in ambiente e dal tipo di sistema di controllo dell'illuminazione naturale installato (manuale o automatico).
- F_O (Occupancy dependency factor): è il fattore che dipende dalla tipologia di sistema di controllo utilizzata (F_{OC}), dalla proporzione di tempo durante la quale l'ambiente risulterà non occupato, che a sua volta dipenderà dalla destinazione d'uso dell'edificio e dalla tipologia dell'ambiente oltre che dal numero complessivo di utenti che occupano l'ambiente (fattore di assenza F_A).
- F_C (Constant illuminance factor): è il fattore che tiene conto, in presenza di un sistema di controllo automatico con fotosensore closed loop, della possibile riduzione di potenza ottenibile mantenendo costante l'illuminamento medio sul piano di lavoro (l'impianto viene infatti normalmente sovradimensionato per garantire nel tempo, in relazione al decadimento delle prestazioni dei componenti, l'illuminamento richiesto).

Il livello di dettaglio con il quale i vari fattori indicati nelle formule (4) e (5) vengono determinati dipende dal metodo di calcolo utilizzato, infatti nel metodo 1 i valori dipendono dal progetto reale dell'impianto mentre nel metodo 2 sono valori tabellari.

Per completezza, di seguito si riportano i diagrammi di flusso di entrambi i "metodi 1 e 2" per evidenziare la complessità del *metodo 1*, per il quale l'ENEA ha ritenuto necessario lo sviluppo del Software LENICAL descritto nel paragrafo successivo, rispetto al *metodo 2* per il quale il TC169 metterà a disposizione un tool di calcolo (spreadsheet).

Metodo 1

In particolare, in figura 3 è riportato il processo per determinare il LENI.

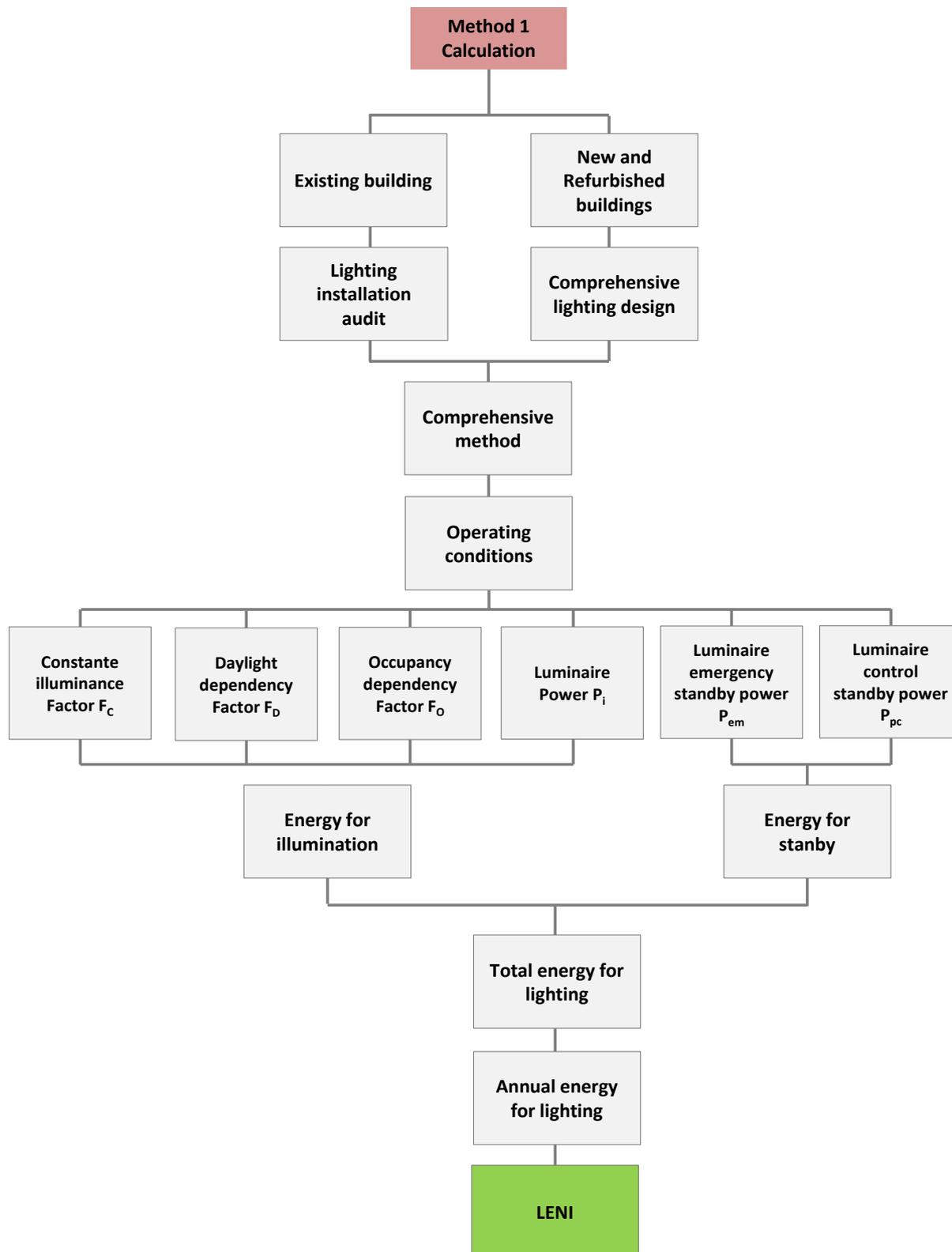


Figura 3. Diagramma di flusso della metodologia di calcolo del LENI secondo metodo 1

Per quanto riguarda l'indicatore "Occupancy Dependency Factor F_o " per il metodo 1, nell'allegato E dello standard è definita la modalità per la sua determinazione, ed in particolare, è necessario determinare F_{oc} che rappresenta la tipologia del sistema di controllo utilizzato (manuale e/o automatico) (figura 4) ed F_A che rappresenta la proporzione di tempo durante la quale l'ambiente non è utilizzato (figura 5).

Systems without automatic presence or absence detection	F_{oc}
Manual On/ Off Switch	1,00
Manual On/ Off Switch + additional automatic sweeping extinction signal	0,95
Systems with automatic presence and/or absence detection	
Auto On/ Dimmed	0,95
Auto On/ Auto Off	0,90
Manual On/ Dimmed	0,90
Manual On/ Auto Off	0,80

Figura 4. Tabella per determinare i valori F_{oc}

Overall building calculation		Room by room calculation		
Building type	F_A	Building type	Room type	F_A
Residential buildings	0,00	Residential buildings	Living room	0,30
			Bedroom	0,40
			Room for children or retired persons	0,30
			Dining room	0,70
			Kitchen	0,60
			Bathroom	0,80
			Toilet	0,90
			Entrance hall	0,80
			Corridor, stairs	0,70
			Storeroom	0,90
			Cellar	0,95
			Laundry	0,98
			Larder	0,98
			Workroom	0,60
Home workshop	0,80			
Garage	0,95			
Offices	0,20	Offices	Cellular office 1 person.	0,40
			Cellular office 2-6 persons.	0,30
			Open plan office >6persons sensing/30m ²	0,00
			Open plan office >6persons sensing/10m ²	0,20
			Corridor (dimmed)	0,40
			Entrance hall	0,00
			Showroom/Expo	0,60
			Bathroom	0,90
			Rest room	0,50
			Storage room/Cloakroom	0,90
			Technical plant room	0,98
			Copying/Server room	0,50
			Conference room	0,50
			Archives	0,98

Figura 5. Esempio di tabella per determinare F_A in funzione della destinazione d'uso degli edifici

In Figura 6. F_O come funzione di F_A in relazione ai differenti sistemi di controllo) è possibile leggere il grafico che consente di determinare il Fattore di Occupazione in funzione del Fattore di Assenza, dove:

- 1) è un sistema che presenta l'on/off manuale;
- 2) è un sistema che presenta l'on/off manuale + l'on automatico e la dimmerazione;
- 3) è un sistema che presenta l'on/off automatico + l'on manuale e la dimmerazione;
- 4) è un sistema che presenta l'on manuale e l'off automatico.

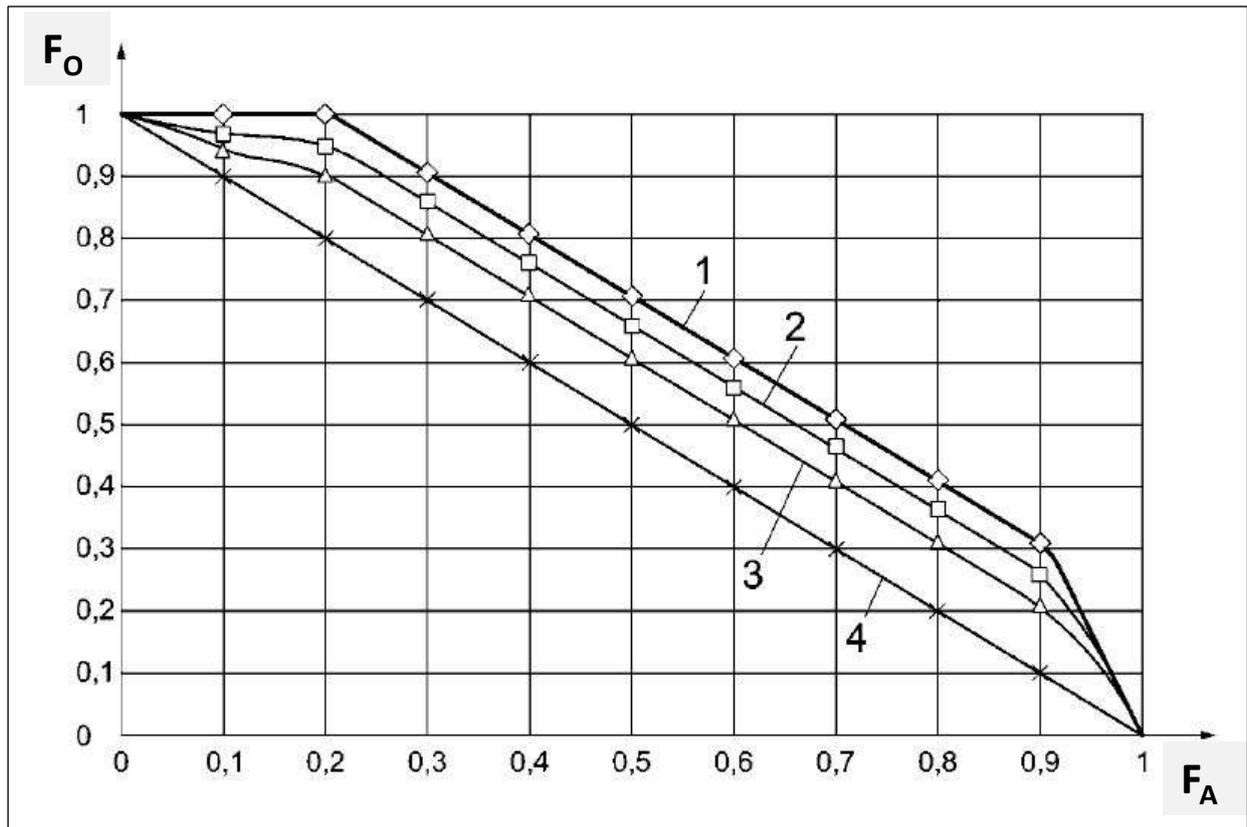


Figura 6. F_O come funzione di F_A in relazione ai differenti sistemi di controllo

Per quanto riguarda l'indicatore "Daylight Dependency Factor F_D ", per il metodo 1, nell'allegato F dello standard (ISO 10916:2014) (figura 7) è definito il metodo di calcolo per determinare il numero di ore di luce, l'apporto di luce naturale attraverso le facciate vetrate verticali e/o orizzontali (lucernari) ed il loro impatto sulla domanda di energia per l'illuminazione artificiale, sia per edifici esistenti che per la progettazione di edifici nuovi o ristrutturati.

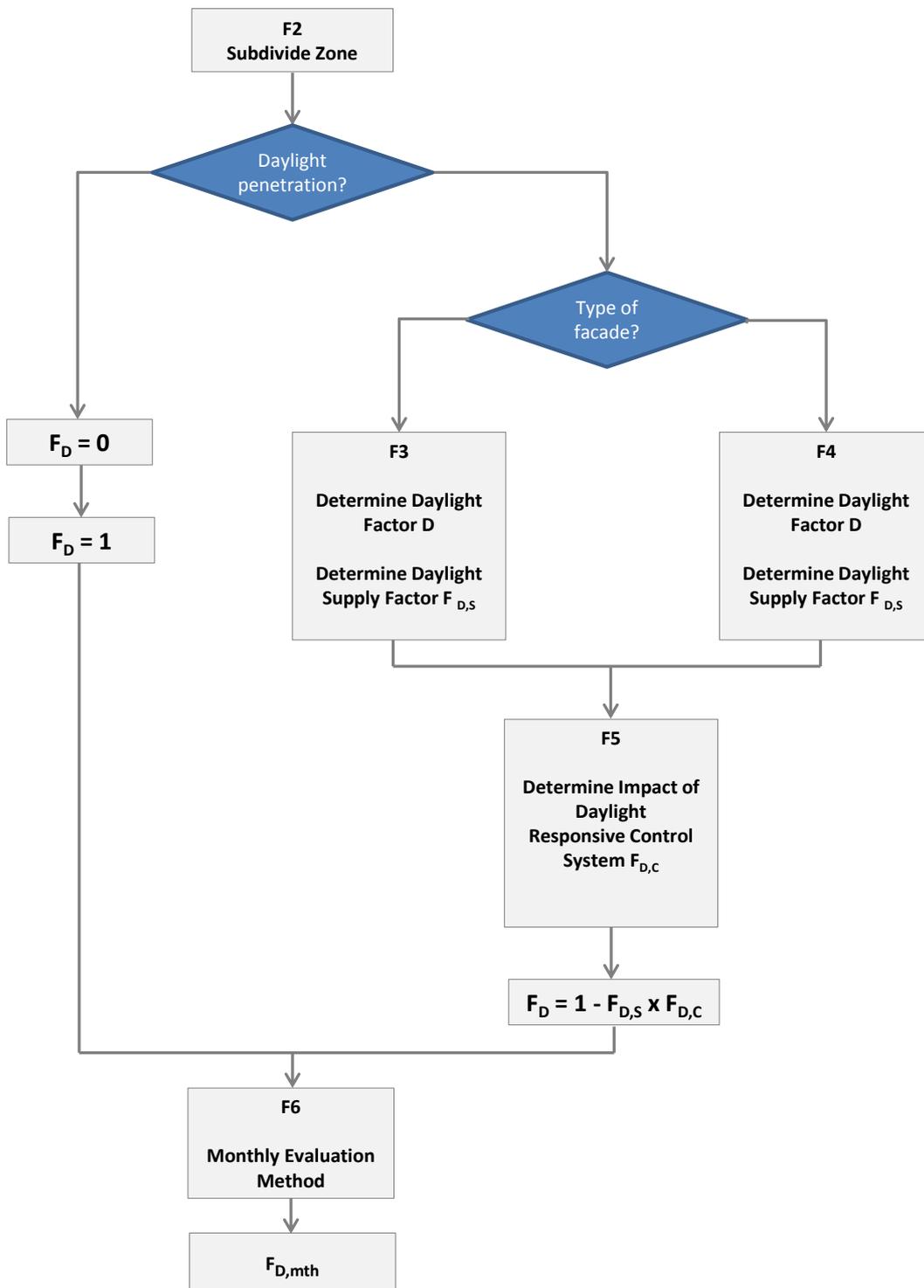


Figura 7. Diagramma di flusso della Daylight availability (Annex F)

Inoltre, un elemento innovativo dello standard (prEN15193-1:2015), sempre *per il metodo 1*, rispetto a quello ancora in vigore (UNI EN 15193:2008) è l'introduzione di fattori che consentano la valutazione dell'efficienza energetica del sistema determinando il "fattore di Spesa" che descrive il rapporto tra costi (spese) e benefici, formando così il valore reciproco di un fattore di utilizzazione e_L :

$$e_L = \text{Energy use} / \text{Energy need} = W_{us} / W_{nd} \tag{6}$$

Dove:

- W_{nd} [kWh]: è l'energia necessaria per l'illuminazione ed è l'equivalente energetico del flusso luminoso che è richiesto per l'illuminazione elettrica nello spazio (sulla base dei requisiti illuminotecnici definiti nella EN12464-1:2011 [7]), quantificata per il periodo di effettivo funzionamento ed assumendo un ideale controllo dell'illuminazione (assenza, luce naturale e compensazione da sovradimensionamento). Questa energia si determina comprendendo tutte le influenze che non sono da attribuire all'efficienza della tecnologia impiegata per l'illuminazione;
- W_{us} [kWh]: è l'energia utilizzata per l'illuminazione artificiale (può essere calcolata o misurata come da procedura prEN15193-1:2015).

Nel Technical Report (CEN/TR 15193-2:2015) dello standard, nella *sezione 6.4 "Expenditure factors for lighting systems calculation"* è specificato bene nelle apposite figure quali siano gli aspetti che influenzano l'energia W_{nd} (figura 8) e quelli che determinano i "fattori parziali di spesa" (figura 9) che consentono di determinare il fattore di spesa e_L nel seguente modo:

$$e_L = e_{L,ES} \cdot e_{L,O} \cdot e_{L,D} \cdot e_{L,C} \quad (7)$$

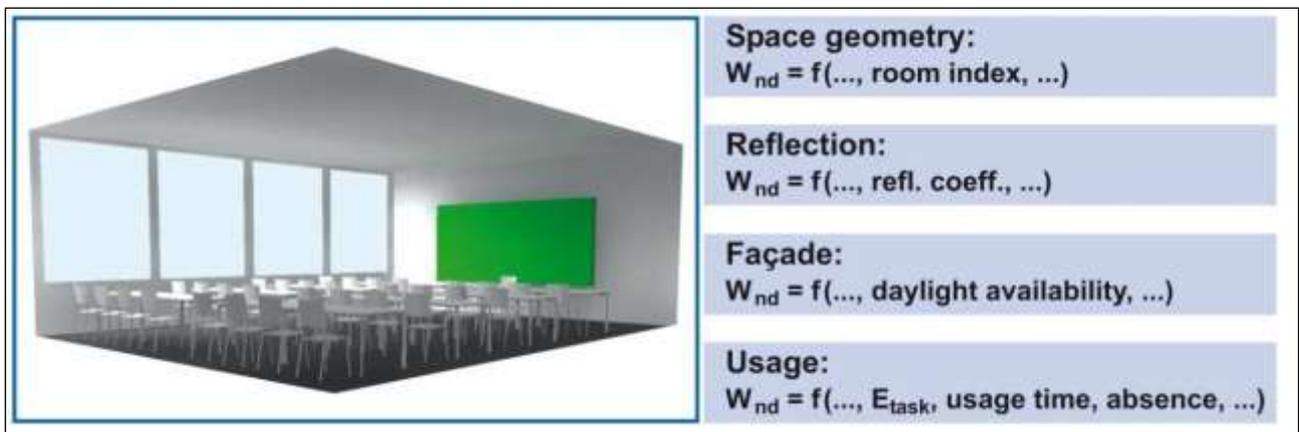


Figura 8. Fattori che influenzano il valore di W_{nd}

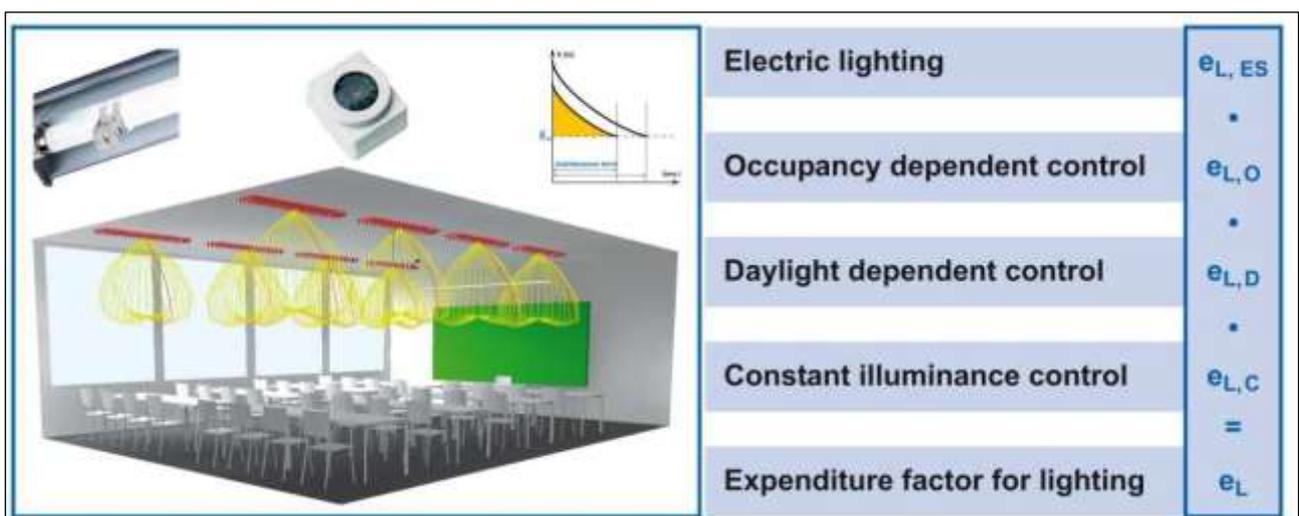


Figura 9. Fattori parziali di spesa

Nella figura che segue (figura 10) è riportato un esempio applicativo per il calcolo del fattore di spesa indicato nel Technical Report (CEN/TR 15193-2:2015) dello standard, nella *sezione 6.4.3 "Application of expenditure factors"* per un ufficio mettendo a confronto gli apporti di W_{us} e dei fattori parziali di spesa.

Si evince come, a parità di valore di W_{nd} (come da requisiti prestazionali), l'energia utilizzata W_{us} sia nettamente differente in funzione delle tecnologie installate nell'impianto e della capacità o meno del sistema di illuminazione di sfruttare il contributo della luce naturale (sistema di controllo equipaggiato con un fotosensore) o il reale utilizzo da parte dell'utente (sistema di controllo equipaggiato con un sensore di presenza).

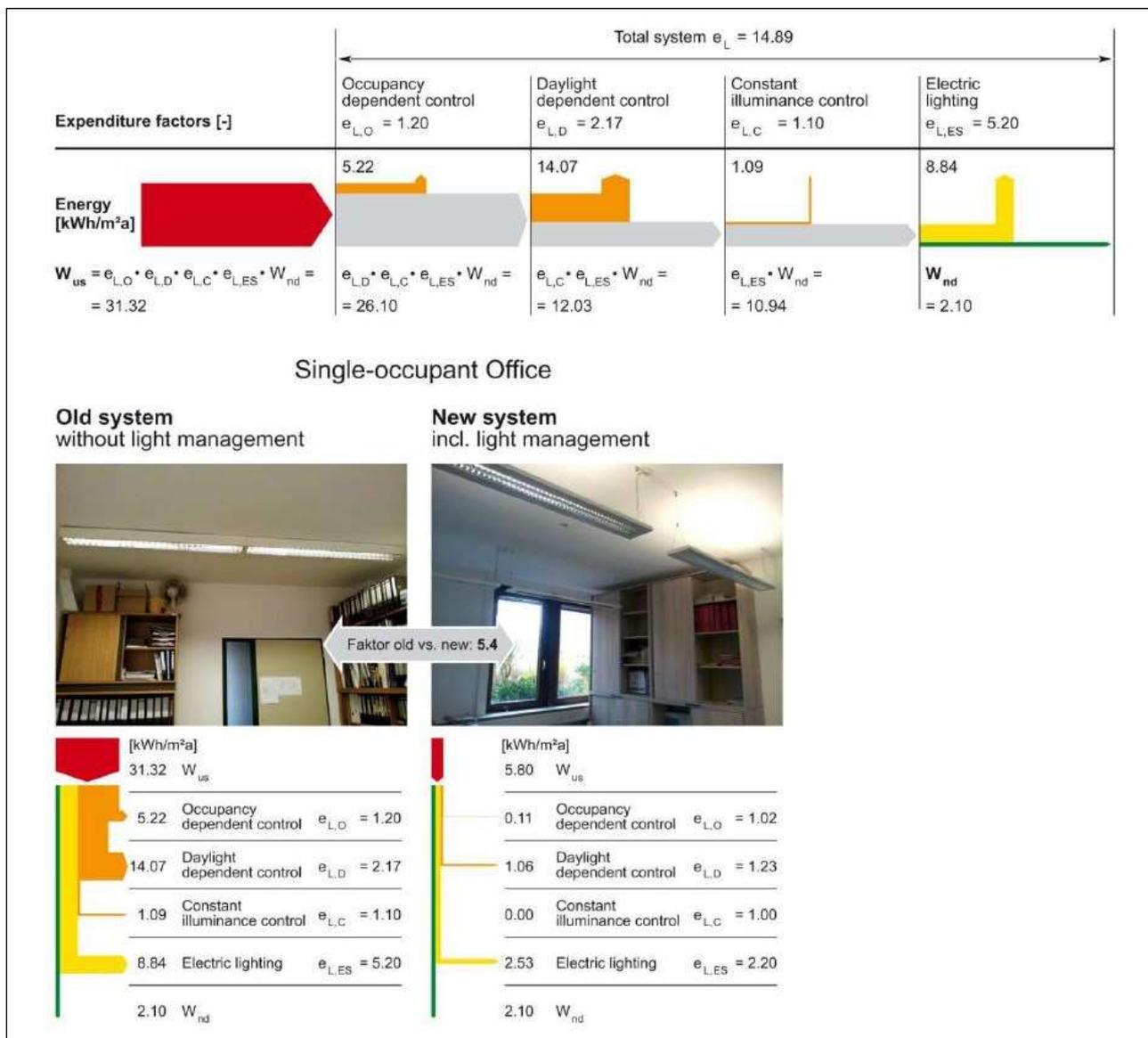


Figura 10. Confronto dei flussi energetici di un ufficio singolo nel caso di impianto di illuminazione esistente e nuovo

Metodo 2

Nella figura 11 è riportato il processo per determinare il *Preliminary LENI*.

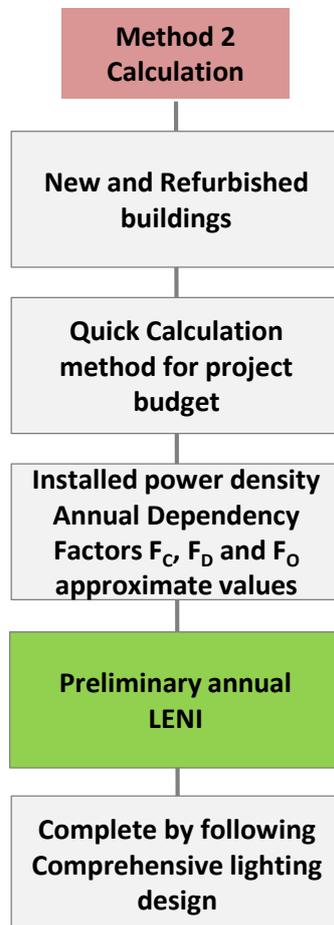


Figura 11. Diagramma di flusso della metodologia di calcolo del Preliminary LENI secondo il metodo 2

Nel caso del *metodo 2*, è messa a disposizione una versione semplificata del metodo precedentemente analizzato per la stima (budget) del fabbisogno annuo di energia per l'illuminazione negli edifici. Questo metodo è inteso come strumento da utilizzarsi solo in fase di studio di fattibilità o di un concept durante la progettazione degli edifici. Infatti, la procedura utilizza approssimazioni nel calcolo dei carichi installati per l'illuminazione artificiale e di valori di default per stimare i fattori di dipendenza (F_D , F_O e F_C).

Il valore ottenibile con questo metodo è un Preliminary LENI, meno preciso del LENI che successivamente si otterrà con il LENI (metodo 1).

Il valore del Preliminary Leni si determina in questo modo, dove t_y è pari a 8760 ore [h]

$$\text{LENI} = \{F_C \cdot (P_i/1000)\} \cdot F_O \cdot [(t_D \cdot F_D) + t_N] + 1 + \{1,5/t_y \cdot [t_y - (t_D + t_N)]\} \quad (8)$$

Anche nel caso del Preliminary LENI vale la formula (1) $\text{LENI} = W/A$ [kWh/m²year]

3.3 Implementazione del software LENICALC ENEA V1 per il calcolo dell'indicatore LENI

In questa annualità si è proceduto al completamento dello sviluppo del software relativo al calcolo del LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) secondo il metodo 1 (Comprehensive Method, Figura 3. Diagramma di flusso della metodologia di calcolo del LENI secondo metodo 1) della norma prEN15193-1:2015 “Energy performance of buildings – Module M9 – Energy requirements for lighting – Part 1: Specifications”.

La determinazione del LENI, come già evidenziato nel paragrafo precedente, è molto complessa ed il calcolo dei molteplici fattori che concorrono alla definizione degli indici *Dependency Factor* sopra citati (F_D , F_O , F_C), per ciascuna stanza che costituisce l’edificio, comporta non solo un calcolo oneroso in termini di tempo ma anche molte difficoltà nella gestione dei calcoli parziali necessari alla determinazione prima del SubLENI per stanza, piano e settore dell’edificio ed infine al calcolo del LENI dell’edificio su base annua.

Questa oggettiva complicazione potrebbe facilmente indurre a semplificazioni o peggio ad errori involontari da parte di un professionista intento ad applicare la norma stessa. L’importanza del LENI nella determinazione del fabbisogno di energia elettrica imputabile agli impianti di illuminazione artificiale negli ambienti confinati ricopre un ruolo talmente importante nella quantificazione del fabbisogno di energia elettrica di un edificio che, pur ammettendo le semplificazioni che una procedura deve comportare, richiede che la stessa procedura venga applicata da chiunque senza errori.

Questo è stata la motivazione che ha portato alla progettazione e realizzazione del software al fine di consentire ai professionisti una corretta valutazione del LENI aiutando l’utente a seguire l’intera procedura nei vari steps di calcolo per determinare il fabbisogno di energia degli impianti di illuminazione.

Il software è stato denominato LENICALC ENEA V1 (figura 12) e di seguito sarà sempre indicato con la sigla “LENICALC” (figura 13).



Figura 12. Icona del software LENICALC

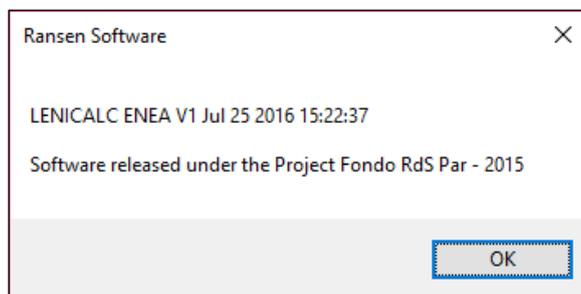


Figura 13. Etichetta di “Ricerca di Sistema Par 2015” presente nel software

Il software consente di calcolare il LENI (solo per il metodo 1 in quanto per il metodo 2 il Comitato Tecnico CENTC169 fornirà un apposito spreadsheet) su base annua per un edificio costituito da più piani, caratterizzato da “n” superficie finestrata di tipo verticale o orizzontale, in presenza o assenza di sporgenze esterne (verticali o orizzontali) consentendo il dettaglio di accuratezza nella definizione del progetto come previsto dallo standard stesso.

A titolo di esempio si riporta la planimetria, di una piano, di un edificio importato nel software con un file DXF per effettuare delle prove di calcolo figura 14.

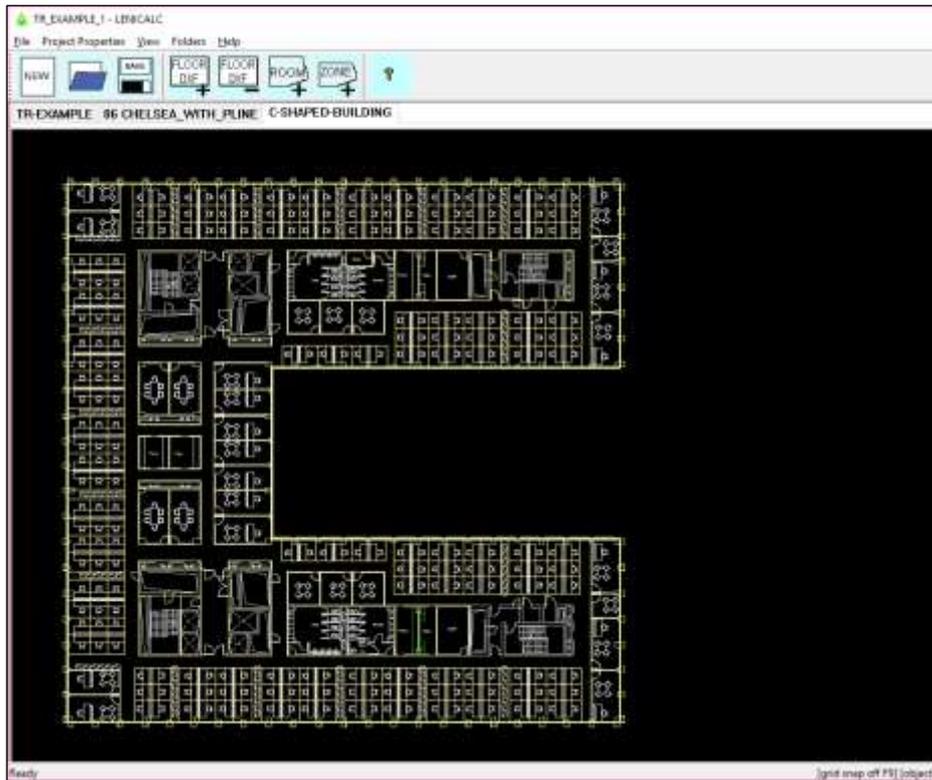


Figura 14. Esempio della planimetria di un piano di un edificio testato

Il software sviluppato è in lingua inglese ed al suo interno è presente una sezione “help” che ha la funzione di ribadire alcuni concetti basilari della norma, dare istruzioni sul funzionamento ed utilizzo del software (figura 15).

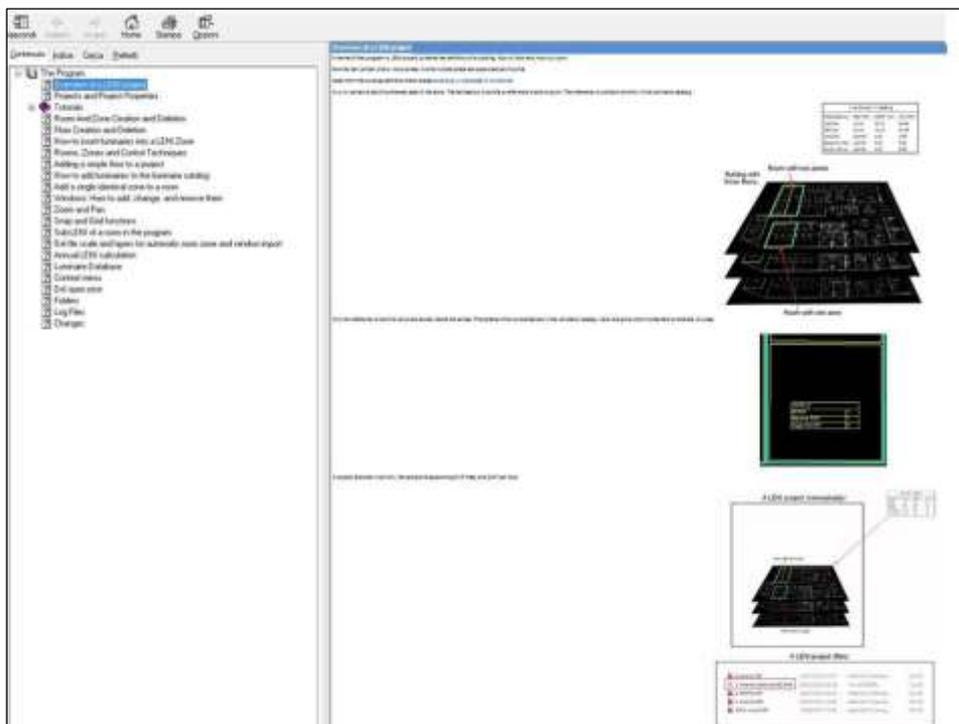


Figura 15. Sezione Help

3.3.1 Architettura del software LENICALC ENEA V1

LENICALC è stato sviluppato per il sistema operativo Windows e nella prima fase di implementazione (cfr. Report RdS/PAR2014/029) si era pensato, per il futuro, all'opportunità di estenderlo al sistema Operativo MAC per massimizzare la platea di utilizzatori.

In realtà, in questa prima annualità di attività è stato effettuato uno studio di fattibilità per prevedere l'integrazione futura del software LENICALC, che oggi si presenta come un file "install", direttamente nella piattaforma del PELL, in una sezione opportunamente dedicata agli edifici pubblici. Questo studio preliminare di fattibilità ha evidenziato l'importanza di rendere il software LENICALC utilizzabile indipendentemente dalla tipologia del sistema Operativo del pc (Windows o MAC) e dagli aggiornamenti dei sistemi operativi stessi, in questo modo si dovrebbe garantire la piena funzionalità del software in attesa di successive revisioni della norma prEN15193-1:2015. Ovviamente nelle prossime annualità si dovrà procedere alla identificazione delle possibili soluzioni e verificare la fattibilità di trasferimento del software sulla piattaforma PELL o sul portale del PELL (report RdS/PAR2015/001).

L'architettura attuale del programma LENICALC.EXE sviluppato e completato quest'anno è la seguente:

- il programma è scritto in C++ usando Visual Studio 2013 ed utilizza il Doc/View architettura di MFC (Microsoft Foundation Classes). Questa tipo di architettura separa i calcoli/dati dell'oggetto dalla vista (View) dell'oggetto;
- il programma gira su piattaforma Windows a 64 bit, per esempio Windows 7 8 o 10;
- un progetto viene salvato su disco come un insieme di file, quali:
 - un file XML con dati numerici e geometrici del progetto;
 - uno o più file DXF che vengono usato come sfondo e guida alla costruzione di piani/stanze/zone.
- Il calcolo è effettuato utilizzando lo standard IEEE di calcolo: IEEE 754-2008 pubblicato agosto 2008. (ISO/IEC/IEEE 60559:2011 è identico alla IEEE 754-2008.);
- Il programma utilizza la libreria 3D grafica open "OpenGL";
- Il programma realizzato è stato consegnato con un "install" che copia tutti file e crea tutte le cartelle necessaria.

La struttura di LENICALC ricalca, step by step, le fasi della norma per procedere alla valutazione del fabbisogno energetico degli impianti di illuminazione artificiale presenti in un edificio e relativo calcolo del LENI. In particolare, le fasi da seguire per utilizzare LENICALC e determinare il LENI annuale dell'edificio analizzato, sono sintetizzate in figura 16.

Di seguito viene analizzato più nel dettaglio ogni step del software LENICALC:

1. Sezione "New Project". In questa sezione è possibile creare un progetto nuovo ed è necessario definire alcuni parametri specifici del progetto che sono propedeutici al calcolo secondo la metodologia della norma prEN15193-1:2015. La definizione dei parametri può avvenire con la selezione da menù tendina oppure editando un valore, a seconda della tipologia di informazione richiesta dallo standard.

Ad esempio, nel caso esistano dei valori "default", il software li proporrà pur lasciano la possibilità di modificarli (es. Fattore di Manutenzione in cui è proposto il valore pari a 0,80 essendo un valore tipico per gli ambienti interni) (figura 17).

Per gli accessi successivi al primo sarà sufficiente selezionare l'opzione **File → Open Project**.



Figura 16. Schema funzionale degli step che costituiscono LENICALC

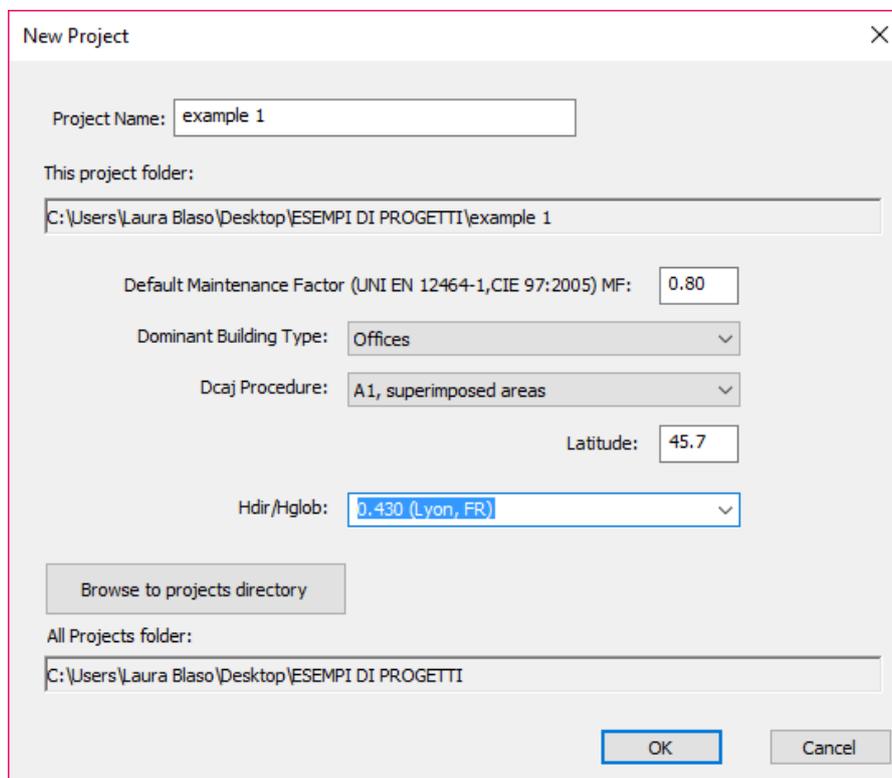


Figura 17. Sezione creazione Progetto Nuovo

2. Sezione “Project Properties” è possibile selezionare:

a) la voce **“Add DXF floor to project”**: in questo sezione si può costruire l’edificio importando “n” file DXF quanti sono i piani che lo costituiscono (opportunamente creato con un altro software. È stato scelto il formato DXF contiene tutte le informazioni geometriche dell’edificio, in 2D, ed è facilmente realizzabile con qualunque software).

Il file DXF può essere creato seguendo alcune specifiche indicazioni sui layers e sulle dimensioni, in modo da avere un ulteriore aiuto sulla posizione dei vari oggetti che costituiscono gli spazi, e quindi procedere alla identificazioni delle stanze presenti sul piano, alle zone interne di ciascuna stanza, alle superfici finestrate etc... (cfr. figura 16).

b) la voce **“Add simple floor”**: in questo sezione si può costruire all’interno del software un ambiente/stanza semplice, per fare alcune prove prima di procedere alla importazione di un intero edificio. Questa sezione consente poi di procedere normalmente alla definizione delle proprietà della stanza e quindi al calcolo (figura 18).

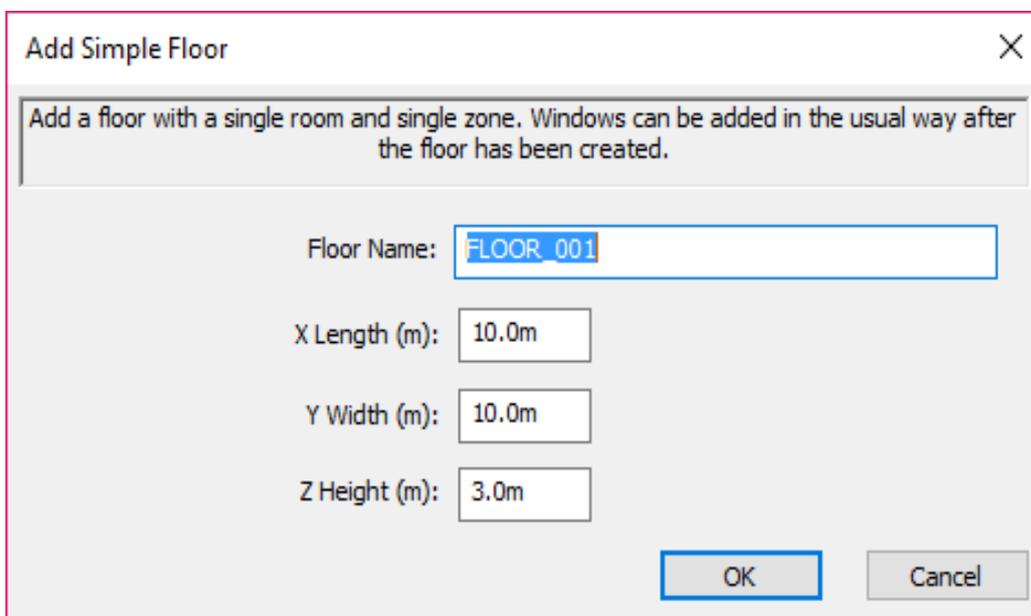


Figura 18. Funzione per la realizzazione di una semplice stanza

In figura 19 è riportato un esempio completo di identificazione di due piani di un edificio.

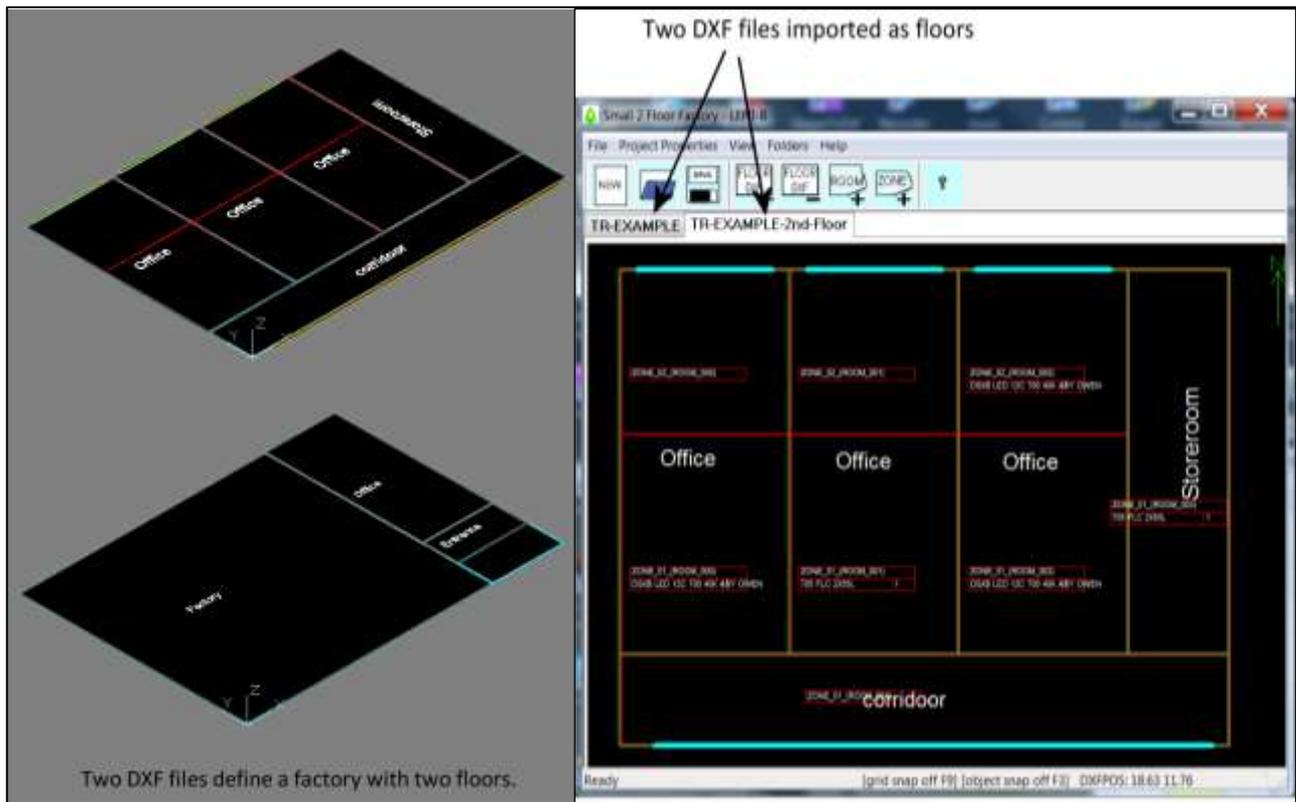


Figura 19. Esempio di piani importati ed identificazione di stanze, zone e superfici finestrate

3. Sezione “Room Properties”: in questa sezione è possibile associare alla stanza tutte le proprietà richieste dallo standard e quindi procedere con la configurazione del progetto (figura 20).

Room Properties ✕

Room Name:

Area=100.0 m² (bounding box 10.0m x 10.0m)

Room Type: ▼

Worksurface height:

Room MF (UNI EN 12464-1,CIE 97:2005):

Dcaj: ▼ User Dcaj:

Calculated Daylight Factor Dcaj: 7.539%

Effective Transmittance $\tau_{d65\text{ sna}}$: 0.652

Shading: ▼

Annual daylight hours, td: Annual nighttime hours, tn:

Figura 20. Interfaccia Room Properties

4. Sezione “Zone Properties” in questa sezione è possibile associare alle zone che costituiscono una stanza tutte le proprietà richieste dallo standard e quindi procedere con la configurazione del progetto (figura 21).

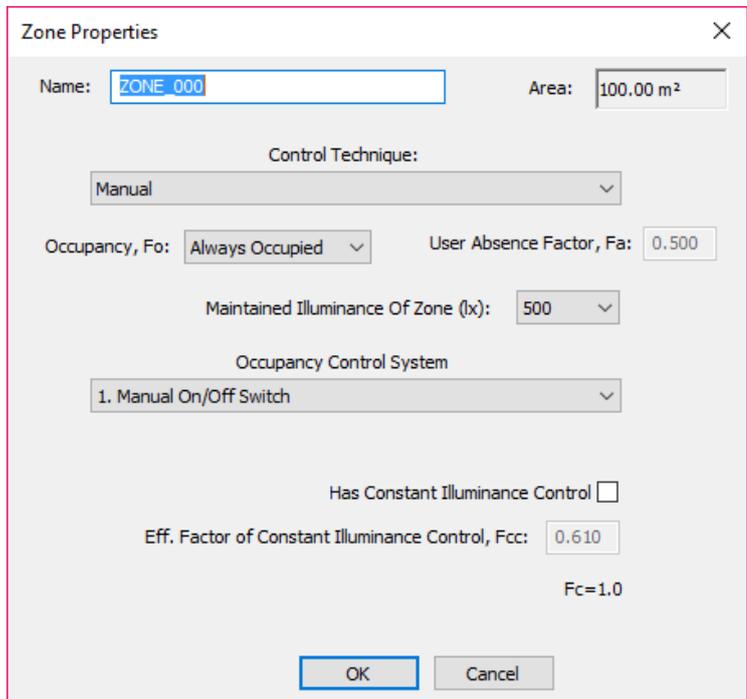


Figura 21. Interfaccia Zone Properties

5. Sezione “Window Properties” in questa sezione è possibile associare, ad ogni stanza, “n” superfici fenestrate verticali (figura 22) o “n” roof lights (figura 24) e quindi procedere alla loro caratterizzazione. Solo nel caso delle superfici fenestrate verticali è possibile definire l’eventuale presenza di ostruzioni esterne come definito dallo standard (figura 23).

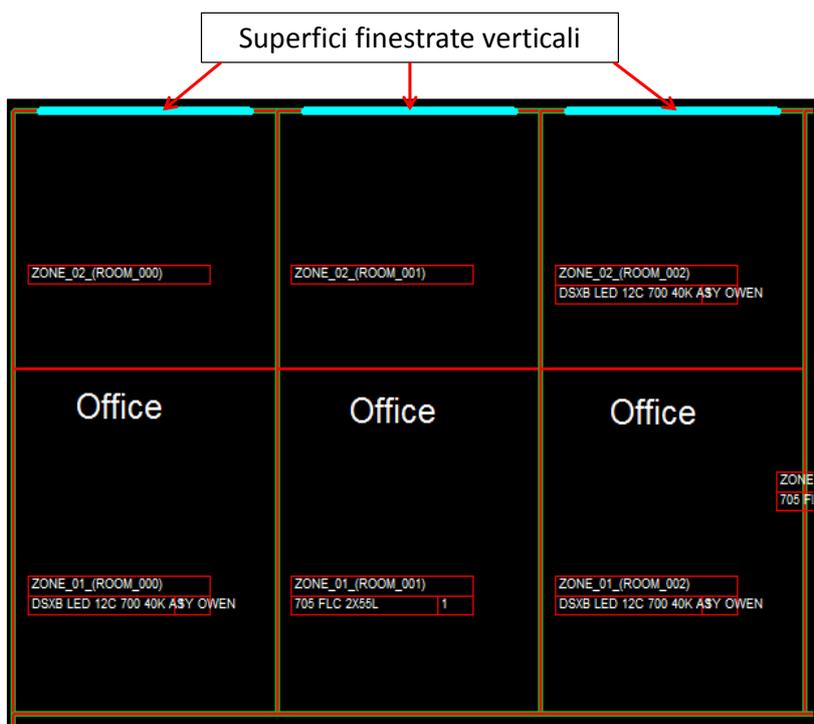


Figura 22 Superfici fenestrate verticali

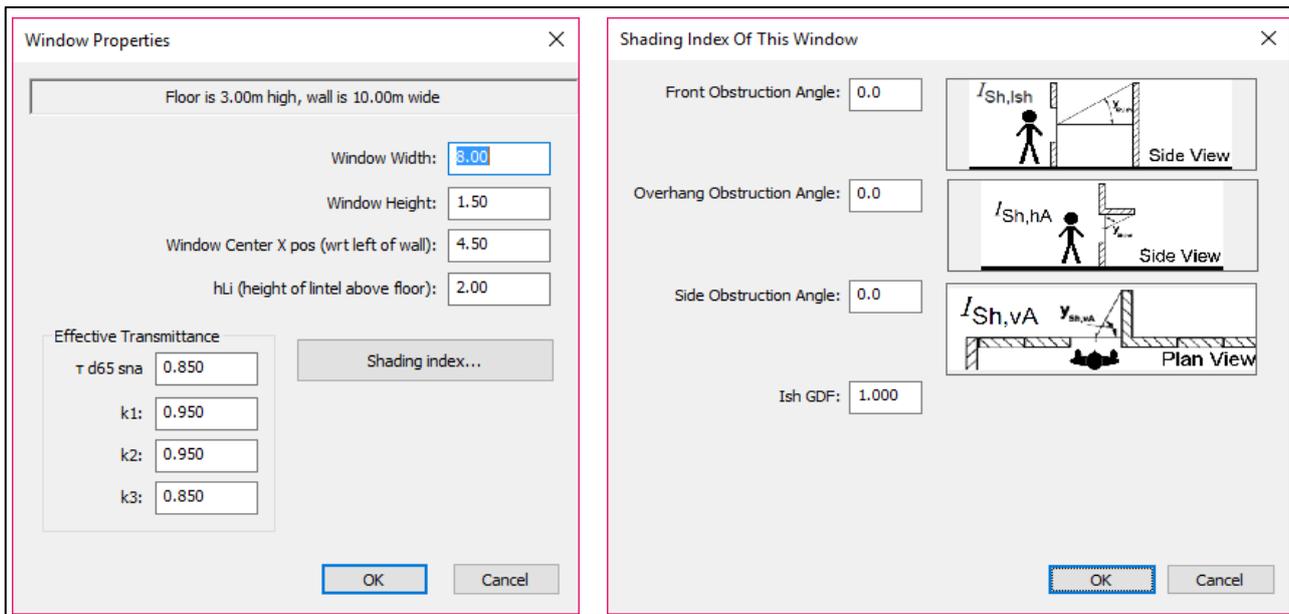


Figura 23. Caratterizzazione delle finestre verticali e delle ostruzioni esterne

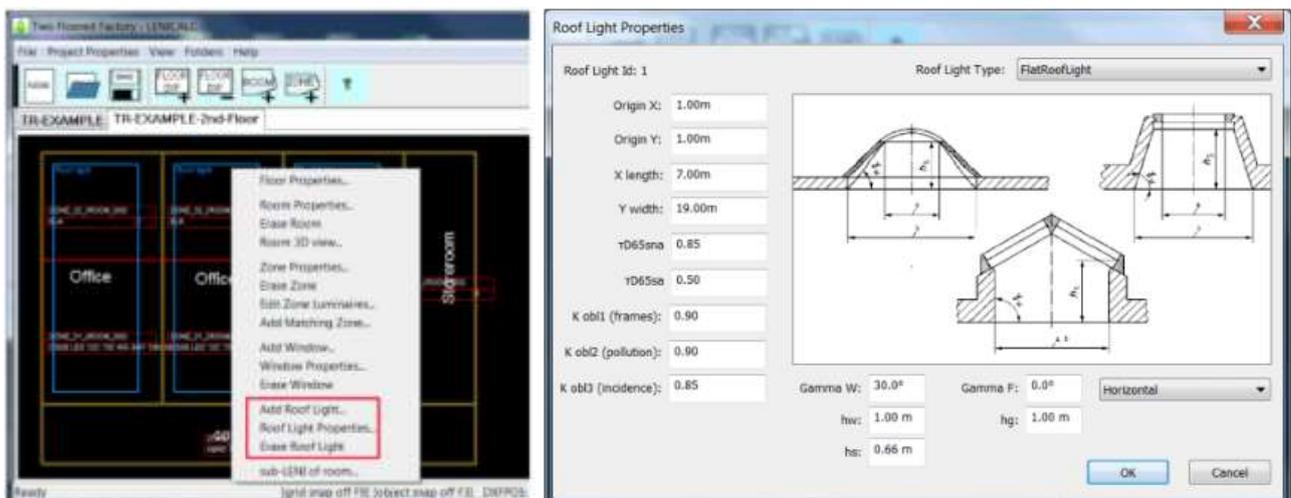


Figura 24. Roof light

Per verificare il corretto posizionamento delle superfici finestrate è possibile selezionare la visualizzazione 3D (figura 25).

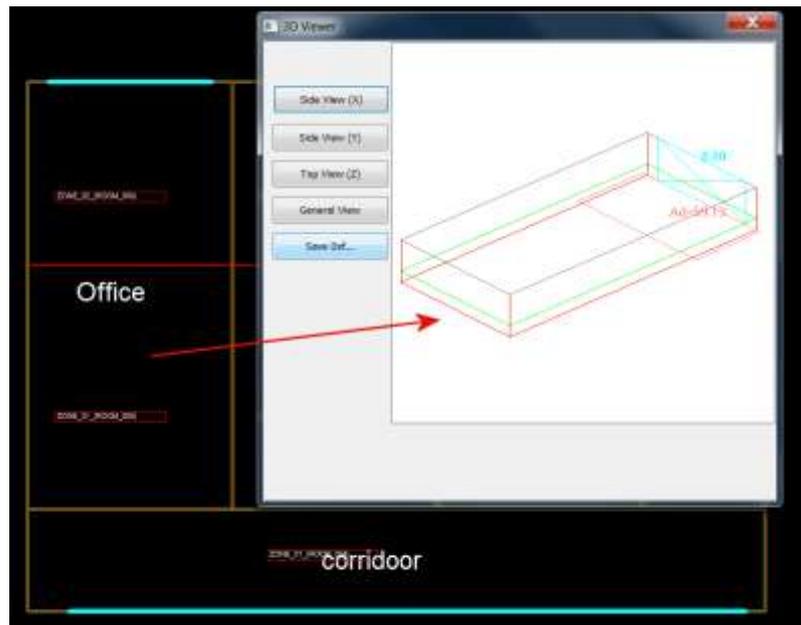


Figura 25. Vista 3D

6. Sezione “Edit zone Luminaires”: in questa sezione è possibile associare ad ogni zona la quantità e la tipologia di apparecchi di illuminazione artificiale previsti dal progetto e definire le proprietà tecniche di ciascuna tipologia di apparecchio di illuminazione (potenze installate, potenze parassite, descrizione etc..) (figura 26).

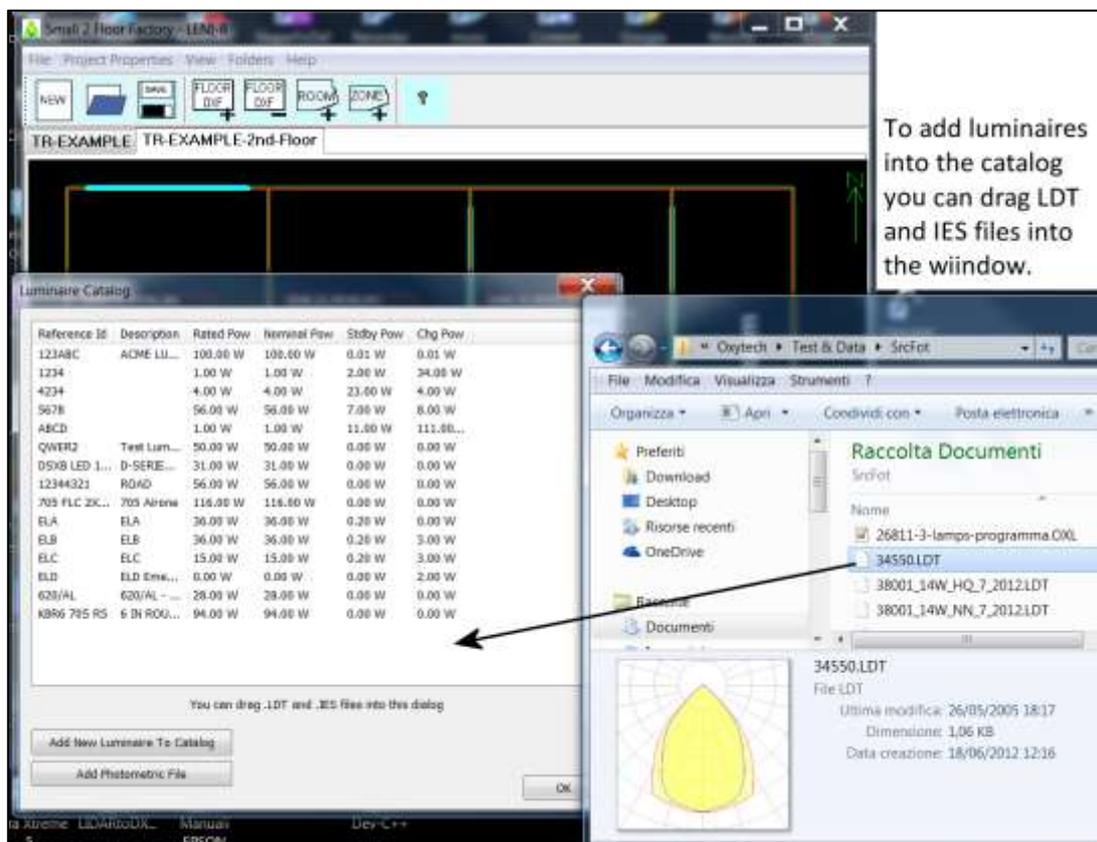
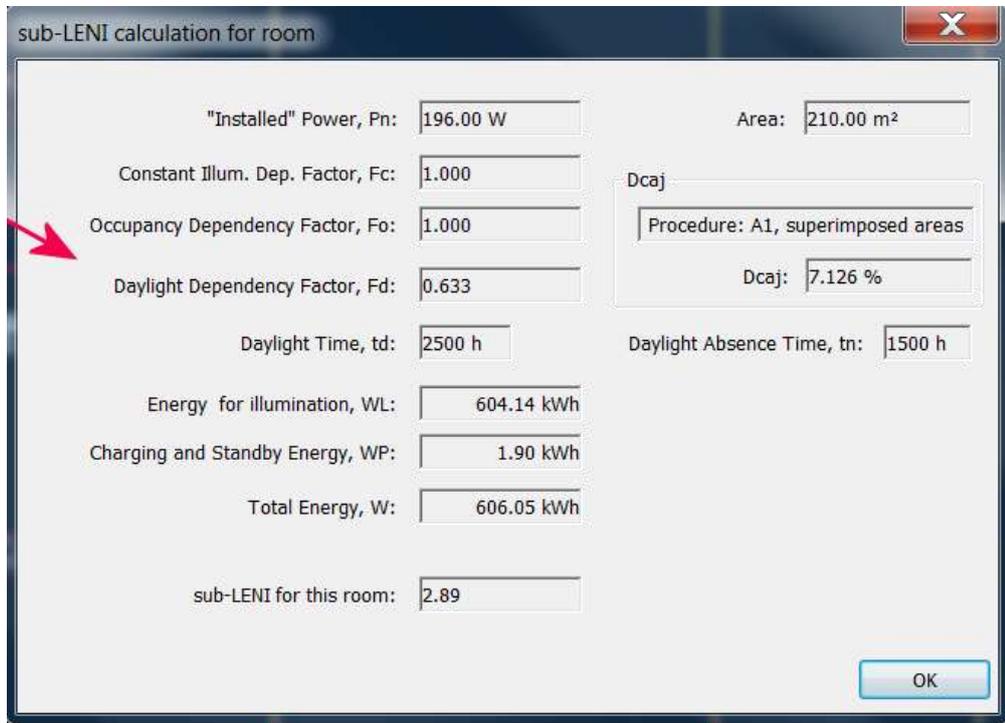


Figura 26. Identificazione degli apparecchi di illuminazione

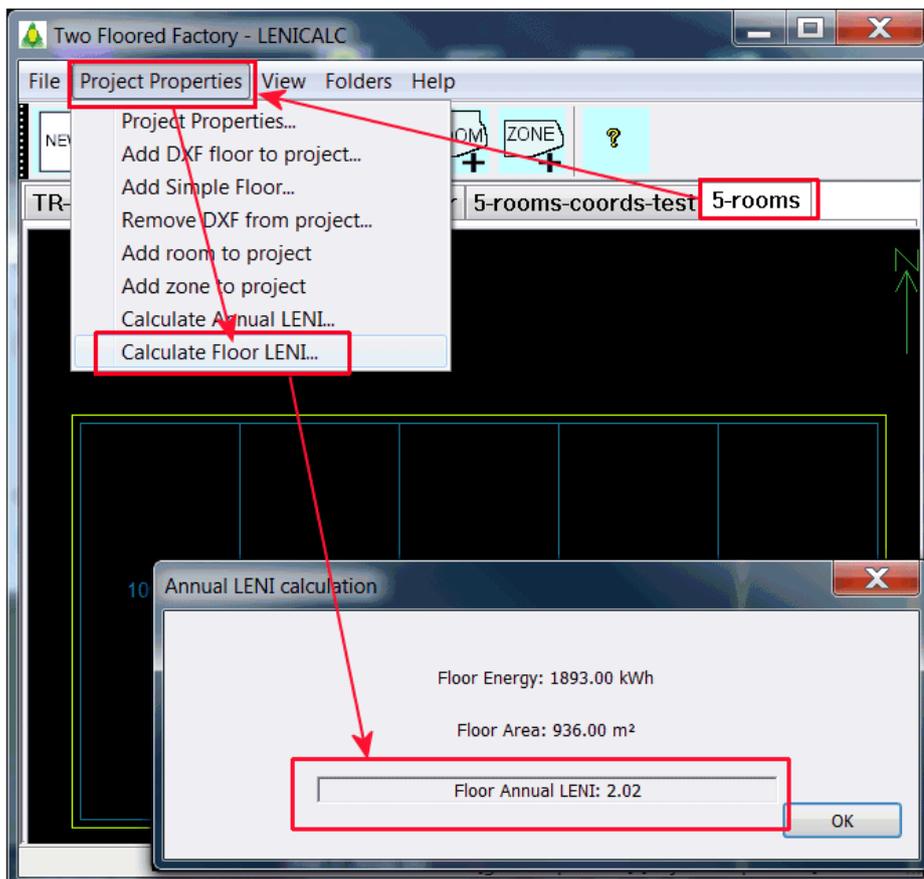
7. Sezione “sub-LENI of room o floor”: in questa sezione è possibile visualizzare il calcolo del Sub-LENI della stanza e/o del piano oggetto di analisi (figura 27 e 28).



Parameter	Value
"Installed" Power, Pn:	196.00 W
Area:	210.00 m ²
Constant Illum. Dep. Factor, Fc:	1.000
Occupancy Dependency Factor, Fo:	1.000
Daylight Dependency Factor, Fd:	0.633
Daylight Time, td:	2500 h
Daylight Absence Time, tn:	1500 h
Energy for illumination, WL:	604.14 kWh
Charging and Standby Energy, WP:	1.90 kWh
Total Energy, W:	606.05 kWh
sub-LENI for this room:	2.89

Procedure: A1, superimposed areas
Dcaj: 7.126 %

Figura 27. Sub-LENI di una stanza selezionata



Two Floored Factory - LENICALC

File Project Properties View Folders Help

- Project Properties...
- Add DXF floor to project...
- Add Simple Floor...
- Remove DXF from project...
- Add room to project
- Add zone to project
- Calculate Annual LENI...
- Calculate Floor LENI...

5-rooms-coords-test 5-rooms

Annual LENI calculation

Floor Energy: 1893.00 kWh
Floor Area: 936.00 m²
Floor Annual LENI: 2.02

Figura 28. Sub-LENI di un piano selezionato

8. Sezione “Calculate Annual LENI” in questa sezione si visualizza il calcolo finale relativo al LENI annuale dell’edificio (figura 29 e 30). Il processo per il calcolo del LENI annuale dell’edificio oggetto di analisi è quindi completato.

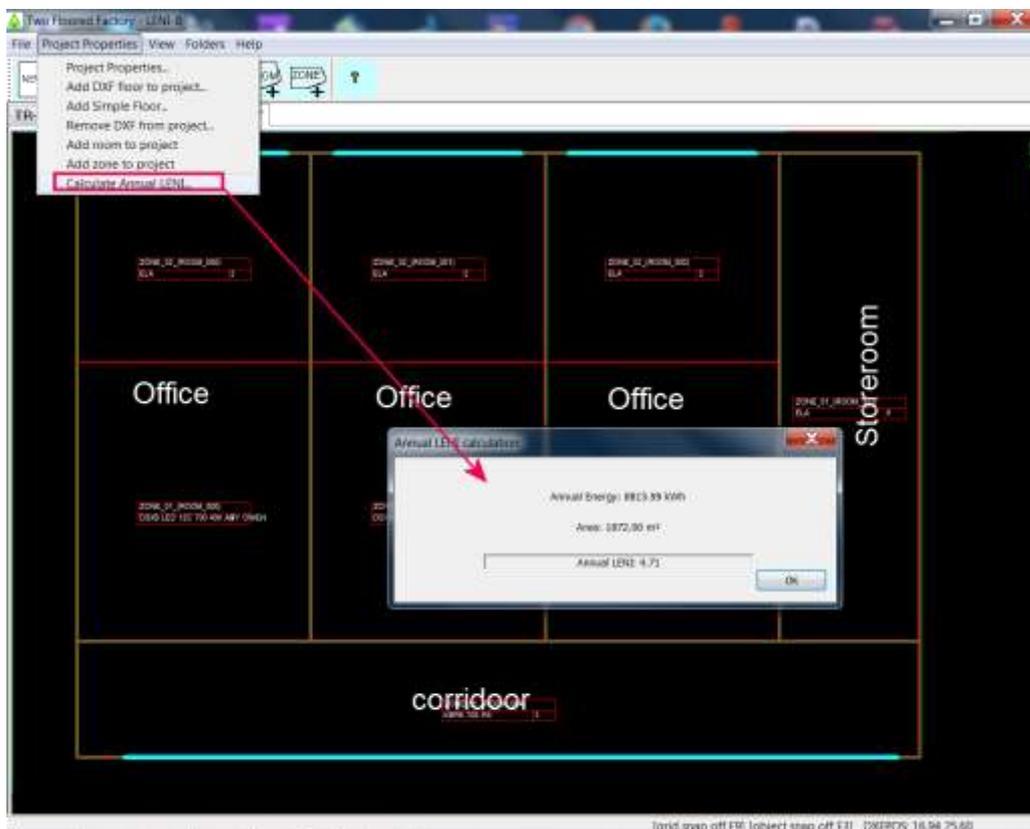


Figura 29. Calcolo annuale del LENI per l’edificio

4 Conclusioni

Alla fine di questa prima annualità è stato raggiunto l’obiettivo prefisso quale l’implementazione ed il completamento del software per il calcolo del LENI secondo il “metodo 1” della norma prEN15193-1:2015. Il software LENICAL ENEA V1 è stato completato e consente il calcolo del LENI annuale di un edificio (sia esso pubblico, residenziale e non).

Durante lo sviluppo il software è stato testato per step, in modo da individuare e risolvere eventuali errori nell’implementazione della procedura di calcolo, ma certamente questa fase di test non è terminata.

Per il proseguo dell’attività si ritiene necessario dover effettuare una serie di lavori utili a poter mettere a disposizione il software, quali:

- Effettuare una attività di validazione del software LENICAL ENEA V1 su progetti opportunamente individuati con l’attività del Politecnico di Torino (cfr. report RdS/PAR2015/005) in modo da identificare eventuali errori/criticità ed il corretto funzionamento ;
- Effettuare l’aggiornamento del software a seguito di eventuali errori/criticità emerse dall’attività di validazione;
- Redigere un Technical Report, in lingua italiana, che servirà come spiegazione della struttura e della filosofia del software LENICALC e delle scelte che vi sono alla base. In questo modo, essendo la norma, il software e la sezione dell’help in lingua inglese, si mette a disposizione uno strumento in lingua italiana per coloro che hanno meno dimestichezza con la lingua straniera;

- Definire il facsimile del report dei risultati ottenuti con il software, in modo da avere un format che dovrà essere implementato all'interno del software LENICAL ENEA V1.
- Procedere alla identificazione delle possibili soluzioni e verificare la fattibilità di trasferimento del software LENICAL ENEA V1 sulla piattaforma PELL o sul portale del PELL (report RdS/PAR2015/001).

5 Riferimenti bibliografici

1. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione), 2010
2. Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia, 2002
3. prEN 15193:1:2015. "Energy performance of buildings – Module M9 – Energy requirements for lighting – Part 1: Specifications"
4. Technical Report prCEN/TR 15193-2:2015. "Energy Performance of buildings- Module 9- Energy requirements for lighting Part 2: Accompanying technical report on Explanation and Operation of Energy requirement for lighting standard pr15193-1".
5. L. Blaso, S. Fumagalli, O. Li Rosi, P. Pistochini, M.G. Villani, A. Antonelli, G. Leonardi, A. Pasqua. "Progettazione e sperimentazione con sistemi a LED innovativi". Report RdS/PAR2014/029, 2014
6. UNI EN 15193:2008. "Prestazione energetica degli edifici. Requisiti energetici per illuminazione". Marzo 2008, 2008.
7. EN 12434-1:2001, "Light and Lighting - Lighting of work places – Part 1: indoor work places", 2011