



Ricerca di Sistema elettrico

Studio preliminare e identificazione di edifici tipo per la validazione del metodo di calcolo del LENI

Chiara Aghemo, Anna Pellegrino, Valerio R. M. Lo Verso

STUDIO PRELIMINARE E IDENTIFICAZIONE DI EDIFICI TIPO PER LA VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO DEL LENI

Chiara Aghemo, Anna Pellegrino, Valerio R. M. Lo Verso

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

Obiettivo: D5a: Public Energy Living lab – Sviluppo di Metodologie di valutazione ed avvio penetrazione territoriale. a.3
Implementazione software per calcolo prestazioni energetiche di sistemi di illuminazione di edifici.

Responsabile del Progetto: Nicoletta Gozo, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studio preliminare per l'identificazione di edifici ed installazioni tipo propedeutico alla validazione del metodo di calcolo standard del Lighting Energy Numeric Indicator (LENI)"

Responsabile scientifico ENEA: arch. Laura Blaso

Responsabile scientifico Politecnico di Torino, DENERG: prof. Anna Pellegrino

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE	5
2 FATTORI INFLUENZANTI IL FABBISOGNO DI ENERGIA PER ILLUMINAZIONE NEGLI EDIFICI.....	7
3 LA NORMA EN 15193	11
4 L'APPROCCIO AL CALCOLO DEL LENI	12
5 CONFRONTO TRA EN 15193:2008 E PREN15193-1:2015	14
5.1 VARIAZIONI NEL METODO DI CALCOLO	15
5.1.1 <i>Calcolo del fattore di disponibilità di luce naturale ($F_{D,S}$)</i>	15
5.1.2 <i>Calcolo del fattore di controllo dell'illuminazione ($F_{D,C}$)</i>	20
5.1.3 <i>Calcolo del fattore di illuminamento costante (F_c)</i>	22
5.1.4 <i>Calcolo del tempo annuale di utilizzo in presenza e assenza di luce naturale (t_D e t_N)</i>	22
5.2 INTRODUZIONE DI NUOVI FATTORI PER L'ANALISI DELL'EFFICIENZA ENERGETICA DEI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE (FATTORE DI CONSUMO)	22
5.3 MIGLIORAMENTI NELLA DESCRIZIONE DEL METODO DI CALCOLO E DELLA SUA MODALITÀ DI APPLICAZIONE	23
6 STUDIO DI SENSITIVITÀ SUI FATTORI DI INFLUENZA DEL DAYLIGHT SUPPLY FACTOR $F_{D,S}$	24
6.1 EFFETTO DELLA LATITUDINE E DEL CLIMA (H_{DIR}/H_{GLOB})	25
6.2 EFFETTO DELL'ORIENTAMENTO	27
6.3 EFFETTO DEL SISTEMA DI SCHERMATURA MOBILE ('SUN SHADING SYSTEMS ACTIVATED')	28
6.4 VARIAZIONE DEI VALORI LENI IN CONSEGUENZA DELLA VARIAZIONE DEI VALORI $F_{D,S}$	30
7 IDENTIFICAZIONE DI EDIFICI DI RIFERIMENTO	33
7.1 EDIFICIO PER UFFICI	37
7.2 EDIFICIO SCOLASTICO	45
7.3 EDIFICIO RESIDENZIALE	53
7.4 EDIFICIO OSPEDALIERO	58
8 PARAMETRI DA VARIARE PER LA VALIDAZIONE DEL SOFTWARE DI CALCOLO LENICALC_ENEA-V1 STUDIO PARAMETRICO PER IL CALCOLO DEL LENI	64
9 CONCLUSIONI	64
10 DISSEMINAZIONE	65
11 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	66

Sommario

Il rapporto tecnico riporta i risultati di uno studio preliminare finalizzato alla successiva validazione di un software per il calcolo dell'indice di fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione negli edifici (LENICALC ENEA V1). Il software si basa sul metodo di calcolo proposto dal progetto di norma prEN 15193-1:2015 *"Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting. Part 1: Specifications"*. Il documento normativo, che rappresenta un'evoluzione del precedente standard EN 15193:2007 (adottato dall'UNI nel 2008), fa parte dell'insieme di strumenti tecnici per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, messi a punto a livello europeo, e recepiti a scala nazionale, per l'adozione delle misure espresse dalla Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici (EPBD) e dalla successiva revisione (2012/31/UE, EPBD recast).

Più in generale, lo studio preliminare si pone l'obiettivo di evidenziare, da un punto di vista concettuale, quali siano i fattori che contribuiscono a determinare il consumo di energia elettrica per l'illuminazione negli edifici, di analizzare in dettaglio l'approccio di calcolo messo a punto nello standard e quindi identificare degli edifici di riferimento mediante i quali sviluppare, successivamente, un percorso di validazione del metodo di calcolo della normativa e del software LENICALC ENEA V1.

Particolare attenzione viene data alla descrizione degli aspetti innovativi introdotti nel metodo di calcolo dettagliato del nuovo progetto di norma rispetto a quanto inizialmente definito nel documento del 2007. Il calcolo dettagliato del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione e del corrispondente indice LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) secondo la EN 15193:2007 trascurava infatti alcuni fattori determinanti, soprattutto per quanto attiene alla stima del contributo della luce naturale per l'illuminazione interna durante il periodo di utilizzo degli edifici. Questi fattori sono stati integrati nel nuovo progetto di norma insieme ad altre modifiche e implementazioni volte a incrementare l'accuratezza del calcolo, la comprensibilità del metodo, l'individuazione dei dati di input e in generale quindi la diffusione e l'applicabilità dello standard. Nella prima parte del rapporto tecnico si riportano inoltre i risultati di un'analisi di sensitività condotta per verificare l'impatto delle nuove variabili sulla stima del fattore di disponibilità dalla luce naturale ($F_{D,S}$), e quindi sul valore finale del LENI, rispetto al calcolo sviluppato con il precedente modello (prEN15193-1:2015 versus EN 15193:2007).

Nella seconda parte del rapporto tecnico, ed in relazione a quanto emerso dall'analisi del metodo di calcolo dettagliato del progetto di norma, si è proceduto alla definizione di edifici tipo di riferimento, identificati con l'obiettivo di procedere, in una successiva fase dell'attività di ricerca, alla validazione del calcolo del LENI mediante il software LENICALC ENEA v1 e alla definizione di valori di riferimento.

1 Introduzione

L'illuminazione degli spazi interni o degli ambienti esterni è uno dei fattori che concorrono a determinare il consumo globale di energia primaria su larga scala e la conseguente produzione ed immissione di CO₂ in atmosfera.

Secondo la International Energy Agency IEA, nel 2005 i consumi per illuminazione rappresentavano il 19% dell'energia elettrica consumata su scala mondiale [1], con una forte differenza fra i paesi industrializzati (5-15% del consumo nazionale) e paesi in via di sviluppo (fino all'86% del consumo nazionale di energia elettrica). Nei paesi industrializzati, il consumo di energia per illuminazione era distribuito nel modo seguente: 28% nel settore residenziale, 48% nel settore terziario, 16% nel settore industriale e 8% nel settore dell'illuminazione pubblica e stradale. Inoltre, rispetto ai diversi usi finali di energia negli edifici in ambito europeo, l'illuminazione risultava responsabile di un consumo pari al 14% per gli edifici commerciali e quasi dell'11% per gli edifici residenziali (Figura 1).

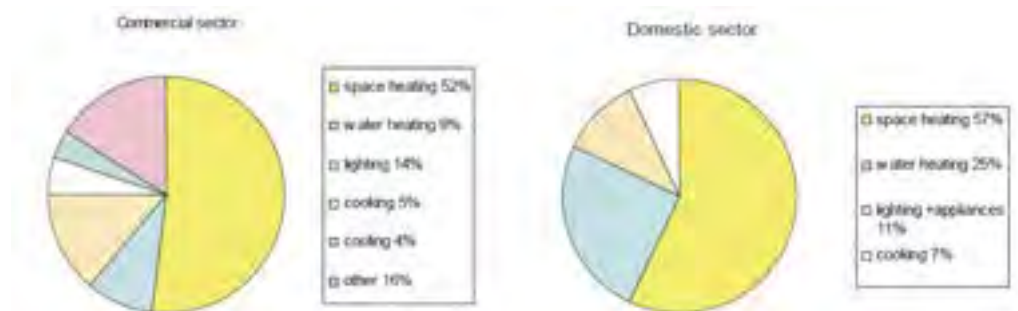


Figura 1 – Consumo energetico per uso finale negli edifici EU commerciali e residenziali [2].

Secondo un più recente studio condotto nel 2012 dal Department of Energy degli Stati Uniti (DOE) [3], il consumo di energia per illuminazione nel settore edilizio negli USA era pari al 9.2% del totale di energia consumata sul posto ('site energy'), corrispondente al 14.4% dell'energia primaria. A differenza di altri tipi di consumo, che registrano andamenti crescenti negli ultimi anni, tuttavia il consumo di energia elettrica per illuminazione è stato stimato in diminuzione (nel 2015 negli Stati Uniti è stato previsto pari al 7.5% del consumo totale, pari al 11.8% di energia primaria). Secondo queste previsioni, ci si attende che il consumo per illuminazione decresca ulteriormente nel prossimo ventennio, diventando, negli USA, il 7.3% del consumo totale nel 2025 (corrispondente al 11.0% di energia primaria) e il 7.2% (corrispondente al 10.6% del consumo di energia primaria) nel 2035. Un analogo trend è stato stimato per i paesi europei. La IEA nel 2010 [2] prevedeva una riduzione dei consumi dal 2005 al 2015 e quindi al 2030 ascrivibile principalmente alla progressiva sostituzione di sorgenti luminose di tipo tradizionale (ad incandescenza e fluorescenza negli ambienti interni degli edifici, ad alogenuri metallici per l'illuminazione pubblica) con sorgenti allo stato solido (LED), ma anche alla maggior diffusione di sistemi automatici di controllo, con conseguente riduzione dei tempi di utilizzo degli impianti, e al miglioramento nello sfruttamento del flusso luminoso prodotto dagli apparecchi (con maggiori rendimenti e fattori di utilizzazione del flusso). Nonostante sia previsto un incremento della richiesta globale di flusso luminoso (+25% nel 2015 e +55% nel 2030) si stima una riduzione dei consumi di energia elettrica per l'illuminazione da meno di metà a meno di un terzo rispetto ai consumi del 2005 (Figura 2).

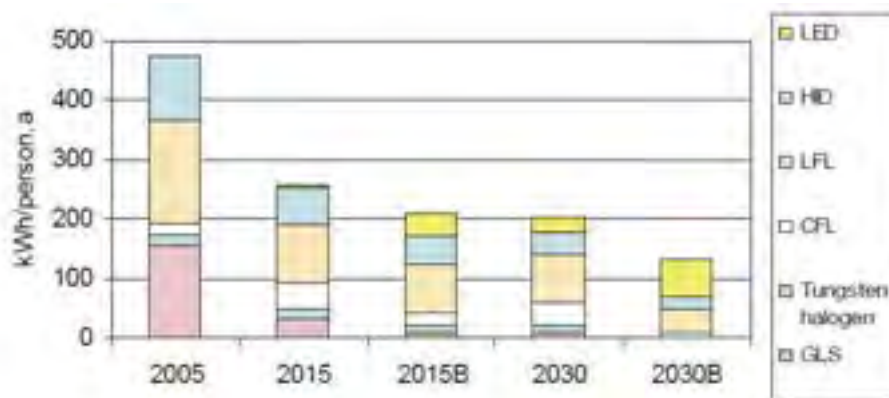


Figura 2 - Scenari di consumo di energia elettrica per illuminazione nel 2005, 2015 e 2030, per diverse tipologie di lampade. Gli scenari 2015B e 2030B si basano sull'ipotesi di una maggior diffusione dei LED [2].

Le misure per ridurre i consumi di energia elettrica per l'illuminazione, in particolare nel settore edilizio, sono riconducibili a diversi ambiti:

- Efficienza energetica di prodotto
- Efficienza energetica di sistema
- Comportamento orientato al risparmio energetico.

L'efficienza energetica di un prodotto, in campo illuminotecnico, descrive la prestazione, associata all'uso di energia elettrica, dei singoli componenti degli impianti di illuminazione artificiale: sorgenti luminose, apparecchi di illuminazione, reattori. L'incremento dell'efficienza e dei rendimenti dei componenti degli impianti è una prima essenziale misura per il contenimento dei consumi energetici. In questo senso l'innovazione e lo sviluppo tecnologico nel settore illuminotecnico negli ultimi quindici anni è stato notevolissimo, trainato in particolare dall'introduzione nel mercato illuminotecnico delle sorgenti a stato solido e nello specifico dei LED a luce bianca ad alta potenza. Un impulso decisivo allo sviluppo tecnologico e all'evoluzione del mercato è giunto anche dall'emanazione, a livello europeo, di Direttive sull'Ecodesign di prodotti utilizzatori o connessi all'uso di energia (Directive 2005/32/EC on Ecodesign of Energy-using Products – EuP [4] e Directive 2009/125/EC on Ecodesign of energy related products – ErP [5]), e sull'etichettatura energetica degli stessi (Directive 92/75/EEC e Directive 2010/30/UE) [6]. Queste direttive hanno portato alla progressiva eliminazione dal mercato dei prodotti poco efficienti e all'adozione dell'etichettatura energetica per consentire un'informazione più completa e una scelta più consapevole da parte dell'utente finale.

Aumentare l'efficienza dei singoli prodotti, o componenti di impianto, non è però sufficiente a garantire la riduzione dei consumi energetici, come evidenziano gli studi condotti sul "rebound effect" [7], il fenomeno secondo cui l'incremento dell'efficienza energetica può portare ad un risparmio ben inferiore di quanto atteso, a causa di un incremento nell'uso dell'energia (*"se la lampada è più efficiente posso tenerla accesa di più"*). In questa logica l'attenzione va spostata al sistema, includendo possibilmente anche l'utente finale, il cui comportamento influisce in larga misura sul consumo effettivo di energia.

Riferendosi al tema dell'illuminazione, ed in particolare all'illuminazione artificiale degli edifici, occorre guardare non solo all'efficienza dei singoli componenti dell'impianto, ma al sistema nel suo insieme, includendo ciò che contribuisce a determinare l'uso dell'impianto, siano essi i sistemi di controllo o le modalità di interazione tra utente e impianto.

In quest'ottica, sono in corso studi per valutare l'opportunità di allargare la legislazione relativa all'Ecodesign dei prodotti ai sistemi di illuminazione, intendendoli come un sistema olistico che comprende sorgenti luminose, alimentatori, apparecchi o apparecchi multipli che costituiscono un sistema, sensori e controlli, nonché la progettazione e l'installazione del sistema (Preparatory Study on Lighting Systems - ENER Lot 6 [8]).

A scala di edificio la logica diventa quella della valutazione della prestazione energetica di un edificio (secondo la Energy Performance of Buildings Directive, EPBD), che, per quanto attiene l'illuminazione, significa valutare la prestazione energetica dei sistemi di illuminazione tenendo conto di tutti i fattori

influenti, sia in termini di efficienza dei componenti, sia in termini di uso degli impianti, ovvero di controllo degli stessi in rapporto all'occupazione degli spazi e alla disponibilità di luce naturale. Questo approccio è adottato nella norma europea EN 15193 *"Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting"* [9], che, nell'ambito delle normative associate alla Direttiva EPBD, standardizza una metodologia comune per la valutazione semplificata del fabbisogno di energia per l'illuminazione negli edifici. Il calcolo consente una valutazione dell'efficienza energetica del sistema edificio-impianto, poiché tiene conto della disponibilità di luce naturale (risultante dalle caratteristiche architettoniche dell'edificio), delle caratteristiche funzionali degli spazi e delle caratteristiche dell'impianto nel suo insieme (apparecchi di illuminazione e relativi sistemi di controllo).

Nell'ambito di questo studio viene sviluppato un approfondimento sul tema del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione degli edifici ed in particolare viene condotta un'analisi della norma 15193 e dell'approccio di calcolo messo a punto nello standard. Particolare attenzione viene data alla descrizione degli aspetti innovativi introdotti nel metodo di calcolo dettagliato del nuovo progetto di norma (prEN 15193-1:2015) [10] rispetto a quanto inizialmente definito nel documento del 2007 (EN 15193:2007) [11].

Obiettivo di questo studio preliminare è inoltre la definizione di edifici di riferimento che possano essere utilizzati, nelle successive fasi dell'attività di ricerca, come casi studio per la validazione del software di calcolo messo a punto dall'ENEA per l'applicazione della norma (LENICALC ENEA V1), per la validazione del metodo stesso e per la definizione di indici di prestazione energetica di riferimento per alcune tipologie di edifici pubblici italiani.

2 Fattori influenzanti il fabbisogno di energia per illuminazione negli edifici

Il fabbisogno di energia elettrica per illuminazione artificiale in un edificio dipende da una combinazione di diversi aspetti, che possono principalmente essere ricondotti a:

- Fabbisogno di illuminazione
- Disponibilità di luce naturale negli ambienti (a copertura parziale o totale del fabbisogno di luce)
- Efficienza dell'impianto
- Tempo di utilizzo dell'impianto.

A loro volta questi aspetti dipendono da:

- Caratteristiche dell'edificio
- Caratteristiche del sito
- Caratteristiche del sistema di illuminazione
- Caratteristiche del sistema di controllo.

Le caratteristiche dell'edificio determinano sia il fabbisogno di luce, sia la disponibilità di luce naturale negli ambienti. Il primo dipende dalla tipologia di edificio e quindi dalle attività svolte negli ambienti. In funzione delle attività ed in base alla normativa tecnica di settore (UNI EN 12464-1 *"Light and Lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places"* [12]) vengono stabiliti i requisiti di illuminazione, tra cui l'illuminamento medio mantenuto, rispetto ai quali viene progettato e dimensionato l'impianto. La tipologia di edificio determina anche il profilo d'uso degli ambienti e quindi il potenziale tempo di utilizzo degli impianti di illuminazione.

Le caratteristiche architettoniche dell'edificio comportano inoltre la disponibilità di luce naturale interna agli ambienti. In particolare risultano determinanti: l'orientamento degli ambienti, le dimensioni e il grado di trasmissione luminosa delle superfici trasparenti, le dimensioni degli ambienti e le loro proprietà di riflessione luminosa e la presenza di componenti per la schermatura della radiazione solare (fissi o mobili).

La disponibilità di luce naturale all'interno degli ambienti è però anche funzione delle caratteristiche del sito: la latitudine e le caratteristiche climatiche del luogo (prevalenza di cieli sereni o di cieli coperti, luminanza della volta celeste in funzione della torbidità dell'atmosfera o del grado di inquinamento, etc.), nonché il grado di ostruzione prodotto dal contesto circostante l'edificio determinano la quantità di luce naturale incidente sulle superfici trasparenti.

Le caratteristiche dei sistemi di illuminazione determinano l'assorbimento di potenza complessivo dell'impianto che, oltre a dipendere dal fabbisogno di illuminazione, varierà in funzione dell'efficienza dei componenti del sistema (sorgenti luminose, apparecchi, alimentatori, etc.) e del fattore di utilizzazione del flusso luminoso (ad esempio a seconda che il sistema sia a luce diretta, indiretta o mista). Il consumo energetico dipenderà inoltre dal tipo di sistema di controllo che, garantendo la possibilità di integrazione tra luce naturale e artificiale o l'accensione dell'impianto in base all'occupazione degli ambienti, determinerà l'effettivo tempo di utilizzo del sistema di illuminazione artificiale.

Un ulteriore fattore di influenza sul consumo energetico per l'illuminazione è dato dall'interazione tra utente e sistemi, sia per quanto riguarda gli apparecchi di illuminazione che i sistemi mobili di schermatura della radiazione solare.

Nella Figura 3 viene schematizzato l'insieme di relazione tra i fattori che influiscono nella determinazione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione negli edifici.

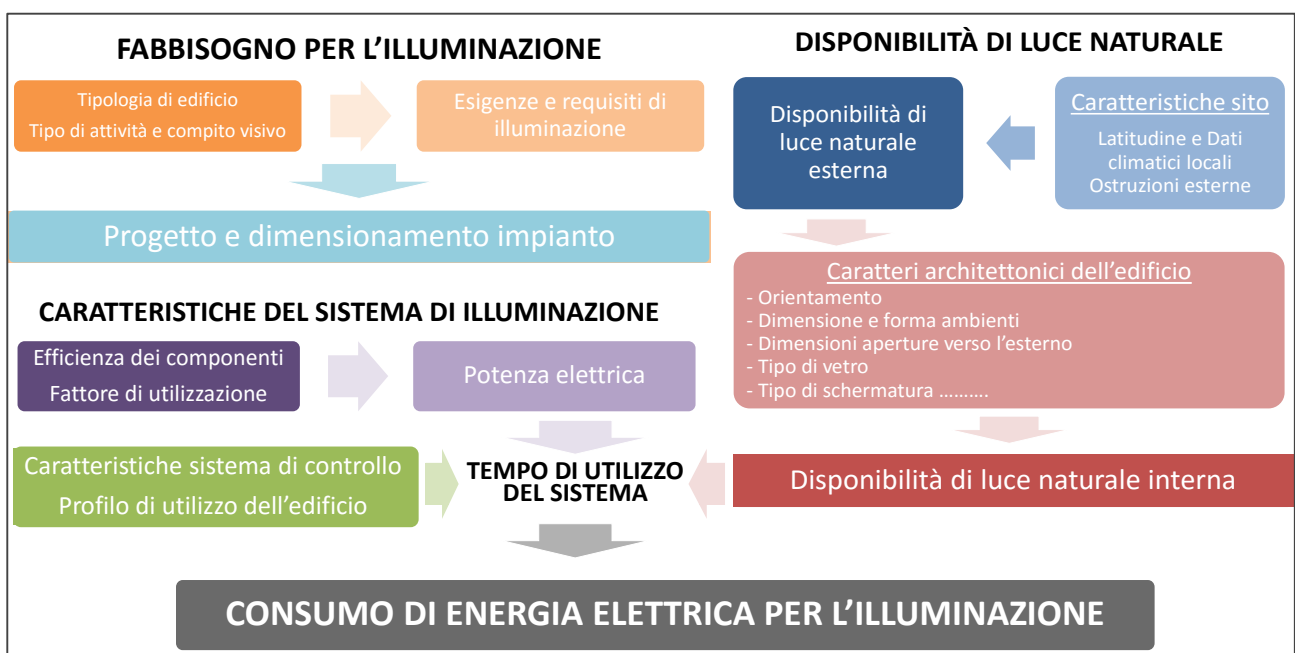


Figura 3 - Schematizzazione dei parametri che influenzano il consumo di energia elettrica per illuminazione.

Il grado di influenza esercitato dai fattori sopra descritti sul consumo di energia elettrica per illuminazione artificiale è stato analizzato in alcuni studi disponibili in letteratura. Fra gli altri, si possono citare:

- Lo Verso et al. (2014) [13] hanno sviluppato un modello matematico per la stima dell'indice di consumo annuo per illuminazione artificiale in funzione di una serie di parametri progettuali di input, di natura climatica, architettonica ed impiantistica, quali: sito di progetto (il modello è validato per 3 città: Berlino, Torino e Catania); orientamento della finestra; dimensioni della superficie trasparente, espressa come rapporto area finestrata/area del muro contenente la finestra (window-to-wall-ratio, WWR); fattore di trasmissione luminosa del vetro; presenza di un'ostruzione davanti alla finestra, espressa attraverso l'angolo di ostruzione; profondità dell'ambiente; illuminamento medio mantenuto sul piano di lavoro e relativa potenza elettrica installata; tipo di sistema di controllo dell'illuminazione (in particolare, sono stati proposti 2 modelli, uno per un controllo a interruttore on-off e uno per un controllo a fotosensore). Il metodo è stato basato su una serie di oltre 1600 simulazioni, usando Daysim per il calcolo del consumo annuo di illuminazione. I calcoli sono stati riferiti ad un ambiente ufficio, con un profilo di utilizzo basato su giorni feriali (lunedì – venerdì), con orario dalle 8:30 alle 18:30. La Figura 4 mostra i range di valori di consumo per illuminazione (energy demand for lighting $ED_{lighting}$) ottenuti per i due sistemi di controllo impiegati: con entrambi i sistemi si osserva come i valori massimi di $ED_{lighting}$ siano intorno ai 32 kWh/m²anno, ottenuti per gli ambienti caratterizzati dalla minor

disponibilità di luce naturale (combinazione di massimo angolo di ostruzione e profondità dell'ambiente e minima area vetrata e fattore di trasmissione luminosa). Appare anche evidente come in presenza di un sistema di controllo manuale il consumo per illuminazione sia superiore a 20 kWh/m²anno per tutte le configurazioni analizzate, anche quelle più favorevoli in termini di disponibilità di luce naturale (assenza di ostruzioni, ambienti poco profondi e molto finestrati, elevata trasmissione luminosa del vetro); per le medesime configurazioni, in presenza di un sistema di controllo automatico basato sull'integrazione della luce naturale e artificiale, il consumo per illuminazione scende fino a 5 kWh/m²anno.

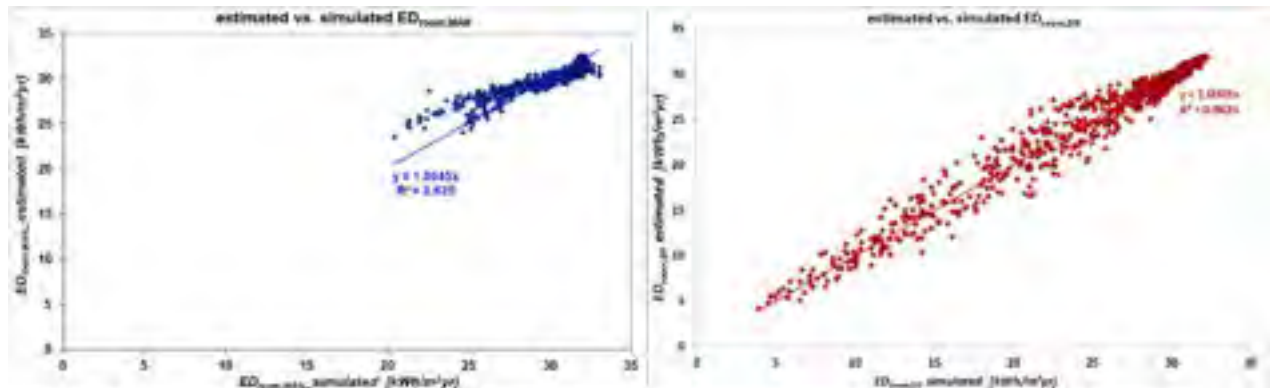


Figura 4 – Valori di fabbisogno di energia per illuminazione ottenuti da simulazione e da un modello matematico per 2 sistemi di controllo della luce (manuale MAN e daylight-responsive DR).

- Cammarano et al. (2015) [14] hanno integrato l'analisi precedente analizzando l'impatto delle medesime variabili sulla disponibilità di luce naturale all'interno di un ambiente, essendo questo uno dei fattori di influenza sul consumo annuo di energia per illuminazione. Le simulazioni sono sempre state effettuate con il software dinamico Daysim.

Uno stralcio dei risultati che sono stati ottenuti è riportato di seguito. La quantità di luce naturale in ambiente è stata analizzata attraverso una serie di indici dinamici [15]: fra questi, in particolare in figura vengono riportati i valori di Daylight Autonomy DA, vale a dire *“la percentuale del tempo in cui l'ambiente è occupato (8:30 – 18:30 in questo senso, dal lunedì al venerdì) in cui l'illuminamento dovuto alla sola luce naturale è superiore al valore richiesto in normativa (500 lx in questo caso)”*. La Daylight Autonomy è una grandezza correlata al fabbisogno di energia per l'illuminazione poiché stima la disponibilità di luce naturale utile rispetto al requisito di illuminamento, ed è associabile concettualmente al daylight supply factor $F_{D,S}$ del metodo di calcolo del LENI. Nella Figura 5, per diversi parametri di influenza (orientamento, profondità dell'ambiente, window-to-wall ratio, angolo di ostruzione di un edificio prospiciente), vengono riportati il valore medio della DA, integrato dal valore massimo e dal valore minimo in modo da visualizzare l'ampiezza della variazione.

I risultati mostrati in figura permettono di evidenziare che:

- in relazione all'effetto dell'*orientamento* (Figura 5a), si osserva una daylight autonomy mediamente maggiore per gli ambienti a Sud senza tenda, intermedia a Ovest e inferiore a Nord. La tendenza si modifica se si considera la presenza di un sistema schermante a sud: in questo caso il valore di daylight autonomy si riduce significativamente, risultando mediamente inferiore sia rispetto agli ambienti a Ovest che a nord (simulati in assenza di schermatura). Potenzialmente, si può dunque assumere che il consumo di energia elettrica per illuminazione sia maggiore proprio per gli ambienti esposti a Sud che, alle latitudini considerate, richiedono l'uso di schermature sia per aspetti termici che di controllo dell'abbagliamento
- in relazione all'effetto della *profondità dell'ambiente* (Figura 5b), si osserva un andamento particolare: i valori DA_{medio} decrescono, come lecito attendersi, al progressivo aumentare della profondità ambientale, con andamento circa lineare, fino alla profondità di 6 m, per poi mostrare una riduzione meno significativa del valore medio e più netta del valore massimo. Emerge dunque

come oltre una certa profondità (circa 6 metri) la penetrazione di luce naturale sia decisamente ridotta e i valori di DA tendano ad avvicinarsi ai valori minimi

- in relazione all'effetto del *window-to-wall ratio* WWR (Figura 5c), si osserva un progressivo decremento del valore DA_{medio} al diminuire della superficie finestrata (WWR), in modo circa lineare: dimezzando la superficie finestrata (da WWR = 0.6 a WWR = 0.3) il valore DA_{medio} osservato si dimezza (-48.3%), il che rivela come la dimensione delle finestre sia un parametro significativo ai fini della disponibilità di luce naturale in ambiente e al conseguente consumo di energia elettrica per illuminazione
- in relazione all'effetto dell'*angolo di ostruzione* (Figura 5d), si osserva un progressivo decremento del valore DA_{medio} al crescere dell'altezza dell'ostruzione prospiciente, in modo circa lineare. Si dimostra dunque come la presenza di ostruzioni poste frontalmente rispetto alle finestre dell'ambiente in esame rappresenti un parametro significativo di influenza sulla disponibilità di luce naturale in ambiente, espressa dal valore DA_{medio} , e conseguentemente sul consumo di energia elettrica per illuminazione.

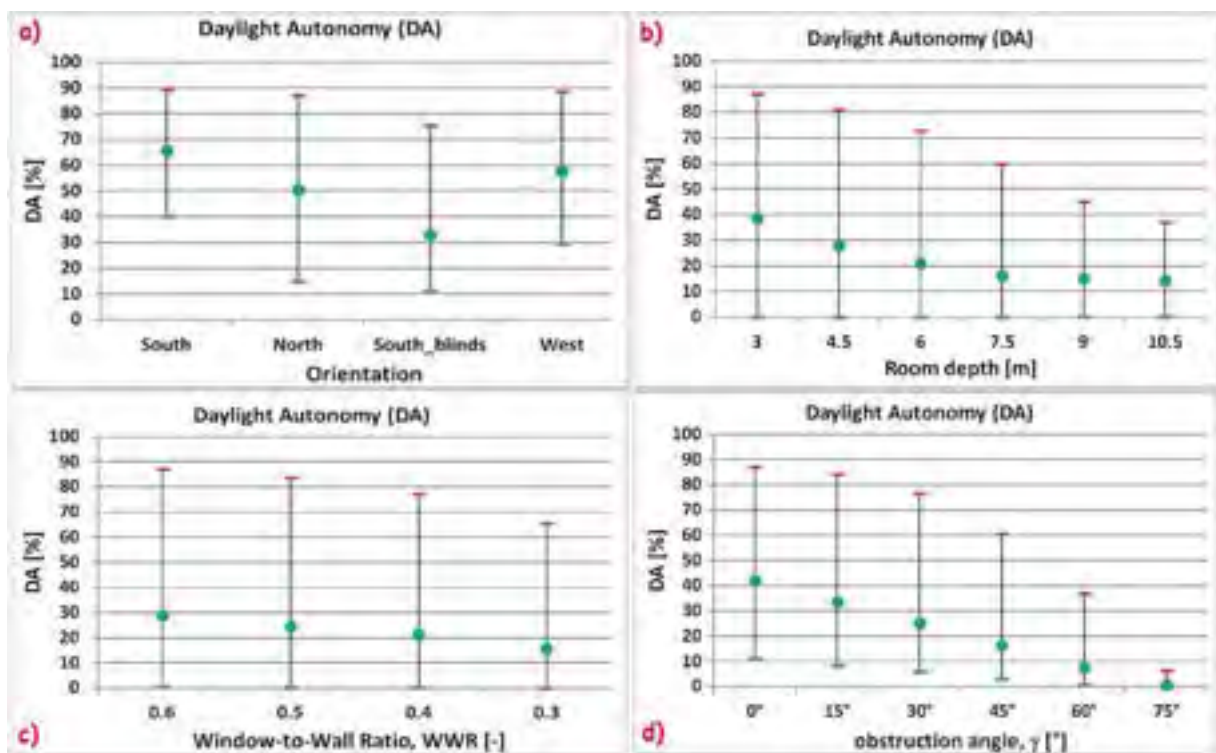


Figura 5 – Effetto di diverse variabili architettoniche sulla DA (e quindi indirettamente sul LENI): a) orientamento; b) profondità dell'ambiente; c) window-to-wall ratio; d) angolo di ostruzione.

- Heiselberg et al. (2009) [16] hanno effettuato uno studio di sensibilità su una lista di 21 fattori importanti ai fini di determinare una riduzione del consumo di energia primaria di un edificio, utilizzando il metodo degli effetti elementari. Fra i vari fattori analizzati, i sistemi di controllo dell'illuminazione sono risultati al secondo posto come fattore di maggior significatività, subito dopo la ventilazione meccanica in periodo invernale, mentre la potenza elettrica installata al quinto. Meno significativo è invece risultato il parametro Fattore di Luce Diurna (tredicesimo posto su 21 - Figura 6).

Rank	Parameter	μ	Rank	Parameter	μ
1	8 q_m	46,30	12	2 U (climate shield)	6,86
2	20 Lighting control	44,84	13	19 Daylight factor	5,76
3	11 $q_{i,n}$	24,78	14	5 g-value	3,96
4	12 SFP	22,96	14	17 Heat loads	3,96
5	18 Lighting power	18,56	16	13 $q_{m,s}$	3,86
6	10 q_n	16,36	17	6 Shading	2,12
7	21 Usage factor	15,94	18	16 $q_{n,n}$	1,96
8	14 $q_{n,s}$	12,58	19	1 Heat capacity	1,36
9	9 η_{VGV}	11,46	20	3 Line loss	1,24
10	4 U (windows)	10,28	21	7 Overhang	1,22
11	15 $q_{m,n}$	7,08			

Figura 6 – Fattori di maggior influenza sulla riduzione del consumo di energia primaria di un edificio, utilizzati nello studio di sensitività condotto da Heiselberg et al. [16].

- Shen and Tzempelikos (2013) [17] hanno effettuato un'analisi di incertezza e di sensitività sul legame fra le condizioni di illuminazione naturale e le prestazioni di consumo energetico in uffici con tende a rullo interna a movimentazione automatica, utilizzando una modellazione termica e illuminotecnica integrata. In particolare, gli autori hanno analizzato la significatività di 7 parametri: dimensione della finestra, espressa come rapporto area finestrata/area di pavimento (window-to-floor ratio, WFR); il fattore di trasmissione luminosa del vetro e il fattore di trasmissione luminosa del sistema schermante (la tenda a rullo interna); il rapporto fra le dimensioni dell'ambiente (aspect ratio), la resistenza termica della parete e la tipologia di elemento trasparente. Per l'analisi integrata, gli autori hanno utilizzato 5 indici prestazionali per analizzare la significatività dei risultati, fra i quali il consumo annuo per illuminazione e per climatizzazione (invernale e estiva) e lo Useful Daylight Illuminance $UDI_{100-2000}$ (vale a dire la "percentuale di tempo in cui l'ufficio è occupato dall'utenza in cui l'illuminamento sul piano di lavoro, dovuta alla sola illuminazione naturale, ricade nell'intervallo 'utile' 100-2000 lux" [15]). Nella logica di questo indice, un elevato valore è sinonimo di condizioni ottimali di illuminazione naturale, in quanto mostra come non sia necessaria l'accensione a piena potenza degli apparecchi di illuminazione artificiale né l'impiego della tenda automatica per la schermatura della componente solare diretta. In sintesi, gli autori hanno evidenziato le seguenti significatività:
 - in relazione ai risultati di tutti gli indici calcolati ($UDI_{100-2000}$ e indici di consumo annuale per illuminazione e per climatizzazione invernale ed estiva), i parametri che hanno mostrato la maggior significatività sono risultati il WFR e la tipologia di vetro, seguiti dalle proprietà di trasmissione del componente schermante. Questo trend è stato osservato per tutti gli orientamenti considerati (Sud, Ovest, Nord)
 - per tutte gli indici di prestazione, l'analisi di incertezza ha evidenziato una elevata dispersione dei risultati, il che suggerisce che il team di progettazione, fin dalle prime fasi del processo progettuale, deve assumere con molta cautela i dati di input per la stima del consumo finale di energia di un edificio.

3 La norma EN 15193

La norma EN 15193 "Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting" [9] è finalizzata a stabilire delle procedure convenzionali per la stima del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione interna degli edifici. Viene definito un indicatore numerico - Lighting Energy Numeric Indicator (LENI) - e vengono specificati i metodi per calcolare e/o misurare la quantità di energia richiesta o utilizzata per l'illuminazione.

La norma esula da considerazioni relative al progetto degli impianti di illuminazione ed infatti l'applicazione del metodo e la stima del fabbisogno energetico si fondano sul principio che l'illuminazione dell'edificio oggetto di analisi sia adeguata, ovvero conforme alle buone pratiche di progetto nel caso di edifici esistenti

e, per edifici nuovi o in fase di ristrutturazione, coerente con i requisiti espressi dalle normative tecniche di settore (EN 12464-1 per gli ambienti di lavoro interni [12], EN 12193 per gli edifici per lo sport [18] e EN 1838 per gli impianti di illuminazione di emergenza [19]).

Il documento fa parte dell'insieme di normative che sono state sviluppate a scala europea, e successivamente recepite a livello nazionale, per supportare l'applicazione delle direttive sulla valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici e si applica ad edifici sia di nuova realizzazione, sia esistenti o in corso di ristrutturazione. L'indicatore LENI, oltre a rappresentare la metrica che quantifica la prestazione energetica dell'impianto di illuminazione, costituisce un dato di input per la stima dei carichi termici per il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio e per la determinazione della prestazione energetica totale dell'edificio stesso.

Lo standard originale EN 15193:2007 è stato oggetto di una revisione durante il biennio 2013-14, revisione culminata con la redazione di un nuovo testo, il prEN 15193-1:2015 [10], nel quale i parametri di influenza del LENI sono stati rivisti ed ampliati.

4 L'approccio al calcolo del LENI

La norma EN 15193:2007 descrive tre diversi approcci per la determinazione dell'indice LENI: due approcci di calcolo e uno di misura.

I due approcci di calcolo, definiti "Comprehensive method" (metodo dettagliato) e "Quick method" (metodo rapido) si differenziano per accuratezza e velocità di applicazione; inoltre il metodo rapido implica un calcolo esclusivamente annuale, mentre quello dettagliato può essere applicato per valutazioni sia annuali, sia mensili o orarie (Figura 7).

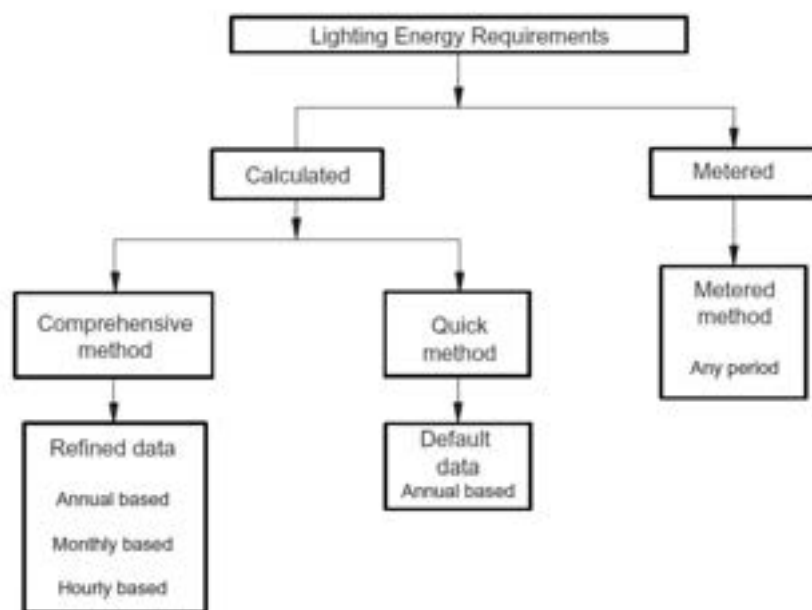


Figura 7 – Flow chart relativo alle diverse modalità di determinazione dell'indice LENI secondo la EN15193:2007.

In termini generali il metodo di calcolo del LENI considera, con diversi livelli di dettaglio, tutti i principali fattori che influiscono sul consumo di energia elettrica per l'illuminazione negli edifici: le caratteristiche dei sistemi di illuminazione, espresse in termini di potenza elettrica assorbita, la tipologia di sistema di controllo della luce, le caratteristiche dell'edificio che determinano la disponibilità di luce naturale e il fabbisogno di luce e il tempo di utilizzo degli ambienti.

Per quanto riguarda la potenza elettrica degli impianti il metodo di calcolo del LENI distingue tra potenza necessaria per l'illuminazione funzionale degli ambienti, ovvero durante il periodo di utilizzo, e potenza

parassita, necessaria per l'alimentazione dei sistemi di controllo degli apparecchi di illuminazione al di fuori del periodo di utilizzo degli ambienti e per la ricarica degli apparecchi per l'illuminazione di emergenza durante tutto il periodo considerato nel calcolo.

L'approccio di calcolo del LENI si basa sull'integrazione della potenza assorbita nel tempo, secondo la seguente formula:

$$LENI = \frac{W}{A} = \frac{W_{L,t} + W_{P,t}}{A} \quad \left[\frac{kWh}{m^2 anno} \right]$$

$$W_{L,t} = \sum \frac{(P_n \times F_c) \times [(t_D \times F_O \times F_D) + (t_N \times F_O)]}{1000} \quad [kWh/t_s]$$

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

- W = energia totale annua richiesta per l'illuminazione [kWh/a]
 $W_{L,t}$ = energia totale per l'illuminazione riferita al tempo t [kWh/ t_s]
 $W_{P,t}$ = energia totale di standby riferita al tempo t [kWh/ t_s]
 A = area totale utile dell'edificio [m^2]
 P_n = potenza totale per gli apparecchi di illuminazione [W]
 P_{pc} = potenza totale per i sistemi di controllo in condizioni di standby [W]
 P_{em} = potenza totale per l'illuminazione di emergenza [W]
 F_c = fattore di illuminazione costante [-]
 F_D = fattore di dipendenza dalla luce naturale [-]
 F_O = fattore di dipendenza dall'occupazione [-]
 t_D = tempo in presenza di luce naturale [h]
 t_N = tempo in assenza di luce naturale [h]
 t_y = numero totale di ore per un anno standard [h]
 t_{em} = tempo di ricarica delle batterie degli apparecchi di emergenza [h].

Nel caso del calcolo rapido il tempo t corrisponde all'intero anno e i valori dei fattori di dipendenza vengono ricavati da tabelle fornite nella norma: si tratta di una stima di massima per edifici tipo.

Per il calcolo dettagliato i valori di ciascun parametro vengono determinati in base alle caratteristiche specifiche dell'edificio. L'approccio prevede di suddividere l'edificio in zone per tener conto delle diverse caratteristiche architettoniche, funzionali o impiantistiche dei vari ambienti presenti nell'edificio. Il valore finale è dato dalla sommatoria delle energie relative all'insieme delle zone considerate rapportato all'area complessiva delle stesse.

Particolare importanza nel calcolo assumono i fattori di dipendenza F_D e F_O , che consentono di stimare il tempo effettivo di utilizzo degli impianti di illuminazione in rapporto alla disponibilità di luce naturale e all'occupazione degli ambienti.

F_D viene determinato in base a:

- fattore di luce diurna, calcolato tenendo conto delle caratteristiche architettoniche dell'edificio quali profondità e dimensione della zona, dimensioni e caratteristiche delle aperture, caratteristiche delle ostruzioni esterne, etc.
- caratteristiche del sito espresse mediante la latitudine del luogo
- requisito di illuminamento medio mantenuto della zona
- tipo di sistema di controllo.

F_O a sua volta viene determinato in funzione di altri due fattori:

- fattore di assenza, che tiene conto, in base al tipo di ambiente, della probabilità di assenza degli utenti durante il periodo complessivo di utilizzo dell'edificio
- tipo di sistema di controllo.

Per quanto riguarda i sistemi di controllo la norma fornisce valori di calcolo relativi alle principali soluzioni di gestione degli impianti: manuale, automatico o misto. In particolare vengono considerate le strategie di controllo basate sull'integrazione tra luce naturale e artificiale e sul rilevamento dell'occupazione.

Nel calcolo dell'energia totale per l'illuminazione funzionale degli ambienti viene introdotto un ulteriore fattore correttivo: F_c , che considera la riduzione di energia ottenibile nel caso in cui l'impianto sia dotato di dispositivi che consentono di mantenere costante l'illuminamento durante la vita dell'impianto, e quindi di ridurre l'extra consumo che si avrebbe a impianto nuovo. In fase di progetto, gli impianti di illuminazione vengono normalmente sovradimensionati per garantire che il requisito di illuminazione (illuminamento medio mantenuto) sia garantito alla fine del periodo di vita previsto prima del successivo ciclo di manutenzione. Questo implica, a impianto nuovo, la produzione di un flusso luminoso superiore a quanto necessario e quindi un corrispondente sovra consumo.

In termini di applicazione il metodo di calcolo si basa su alcune formule (ad esempio per il calcolo del fattore di luce diurna) e sull'utilizzo di valori tabellari.

Ulteriori dettagli sulle caratteristiche del metodo di calcolo del LENI adottato nella norma EN 15193:2007 possono essere desunti da studi precedenti [20][21][22].

La norma EN 15193:2007 rappresenta un passo avanti significativo in un'ottica di miglioramento dell'efficienza energetica dell'illuminazione, in particolare poiché fornisce un quadro di riferimento per la stima del fabbisogno.

In seguito alla pubblicazione della norma è stato condotto dal CENSE uno studio finalizzato a identificare i limiti e le difficoltà di applicazione della norma stessa [23]. Lo studio, condotto mediante la diffusione di questionari e lo svolgimento di workshop, ha reso possibile formulare raccomandazioni per un miglioramento della norma che ne garantisca una maggior diffusione e applicazione.

I risultati di questo studio hanno evidenziato come la norma venga considerata un documento utile e i metodi di calcolo applicabili. Cionondimeno alcune parti del documento vengono considerate poco chiare e si evidenzia come alcuni aspetti, che caratterizzano gli edifici e influiscono sulle loro prestazioni, non siano considerati nel metodo di calcolo. Lo studio del CENSE si conclude con alcune raccomandazioni per la revisione della norma:

- revisione della struttura e dell'editing del documento per rendere più agevole l'utilizzo e la comprensione del metodo di calcolo
- ampliamento del metodo di calcolo in modo da coprire i seguenti aspetti:
 - o definizione di un metodo di calcolo della potenza installata in edifici nuovi
 - o definizione di un metodo per tener conto della presenza di schermature mobili
- ampliamento delle opzioni corrispondenti ai sistemi di controllo basati sull'integrazione con la luce naturale
- ampliamento dei dati climatici.

Sulla base dei risultati di questo studio è stato sviluppato il nuovo documento normativo, presentato nel progetto di norma prEN 15193-1:2015.

5 Confronto tra EN 15193:2008 e prEN15193-1:2015

La norma EN 15193:2007 è stata sviluppata durante il primo mandato dell'EPBD. Durante il secondo mandato, è stato invece messo a punto il progetto di norma prEN 15193-1:2015, che rappresenta una revisione del precedente documento normativo, non tanto nel modello di base per la stima del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione (che resta sostanzialmente invariato sia nella definizione dei fattori influenti che nelle formule di calcolo fondamentali), quanto nel livello di dettaglio e accuratezza con cui questi fattori vengono calcolati, nonché nel dettaglio con cui il metodo di calcolo viene descritto e l'utente assistito nel definire e individuare tutti i dati necessari alla stima del LENI. Inoltre, una differenza sostanziale consiste nell'inclusione degli edifici residenziali tra le tipologie edilizie per le quali è possibile applicare il metodo di calcolo del LENI.

Le principali differenze tra i due documenti, oltre all'introduzione degli edifici residenziali, possono essere ricondotte a:

- variazioni nel metodo di calcolo (accuratezza e dettaglio nella stima dei diversi fattori influenti)
- introduzione di nuovi fattori per l'analisi dell'efficienza energetica dei sistemi di illuminazione
- miglioramenti nella descrizione del metodo di calcolo e della sua modalità di applicazione.

Di seguito vengono descritte e spiegate in dettaglio le evoluzioni e le differenze relative a ciascuno degli ambiti precedentemente identificati.

5.1 Variazioni nel metodo di calcolo

Confrontando i due documenti normativi emerge, come principale differenza nel metodo di calcolo del LENI, la maggior accuratezza, raggiunta nel progetto di norma del 2015, nel determinare il potenziale apporto della luce naturale per la riduzione del consumo di energia elettrica per l'illuminazione.

Facendo riferimento alle formule di calcolo descritte nel paragrafo 4, il fattore che introduce l'apporto di luce naturale è F_D , che a sua volta dipende da altri due fattori:

$$F_D = 1 - (F_{D,S} \times F_{D,C})$$

$F_{D,S}$ = Daylight Supply Factor (fattore di disponibilità di luce naturale)

$F_{D,C}$ = Lighting Control Factor (fattore di controllo dell'illuminazione).

$F_{D,S}$ stima la "daylight autonomy" della zona considerata, ovvero l'autonomia della luce naturale nel garantire il requisito di illuminamento richiesto, mentre $F_{D,C}$ tiene conto del tipo di sistema di controllo dell'illuminazione artificiale. Il primo stima la disponibilità di luce naturale in rapporto all'illuminamento richiesto, mentre il secondo quantifica la possibilità di ottimizzare l'integrazione tra la luce naturale e artificiale in relazione al sistema di controllo, ovvero in rapporto al grado di automazione nella gestione dell'impianto in presenza di luce naturale.

Nel nuovo documento sono state introdotte delle variazioni sostanziali nel modo di calcolare sia $F_{D,S}$, sia $F_{D,C}$.

5.1.1 Calcolo del fattore di disponibilità di luce naturale ($F_{D,S}$)

Nella precedente versione della norma, $F_{D,S}$ veniva determinato da tabelle in funzione della latitudine del luogo, della classe di penetrazione della luce naturale (e quindi del fattore di luce diurna D) e del requisito di illuminamento mantenuto; esso risultava indipendente dalle specifiche condizioni climatiche del luogo, dalla presenza o meno di schermature mobili e dall'orientamento delle superfici vetrate. Nella nuova versione della norma $F_{D,S}$ viene calcolato tenendo conto di due diverse configurazioni dei componenti vetrati: con protezione solare o per il controllo dell'abbagliamento attiva e con schermature solari o contro l'abbagliamento non attivate. Per le due condizioni di funzionamento viene introdotto inoltre il rispettivo tempo percentuale di utilizzo. La formula di calcolo risulta essere:

$$F_{D,S} = t_{rel,D,SNA} \times F_{D,S,SNA} + t_{rel,D,SA} \times F_{D,S,SA}$$

$t_{rel,D,SNA}$ = frazione del tempo totale di utilizzo durante il quale il sistema di schermatura non è in funzione

$F_{D,S,SNA}$ = fattore di disponibilità di luce naturale in assenza delle schermature

$t_{rel,D,SA}$ = frazione del tempo totale di utilizzo durante il quale il sistema di schermatura è in funzione
($t_{rel,D,S,SA} = 1 - t_{rel,D,S,SNA}$)

$F_{D,S,SA}$ = fattore di disponibilità di luce naturale in presenza di schermature.

Di seguito viene descritta la procedura di calcolo di $F_{D,S}$ per zone dell'edificio con aperture verticali. Una procedura concettualmente analoga, ma con tabelle e dati di input diversi è prevista per zone con aperture in copertura.

$t_{rel,D,SA}$ e $t_{rel,D,SA}$

La frazione di tempo in cui il sistema di schermatura non è presente viene determinata in funzione del sito in cui è collocato l'edificio, delle condizioni climatiche e dell'orientamento della superficie vetrata. I parametri utilizzati per definire i tre fattori sono rispettivamente:

- la latitudine del luogo
- la condizione di illuminazione esterna o esposizione luminosa della località considerata, definita come rapporto tra l'illuminamento diretto e diffuso (H_{dir}/H_{glob})
- l'orientamento della superficie vetrata (Sud, Est/Ovest – considerate corrispondenti, Nord).

In Figura 8 vengono riportate, a titolo di esempio, le tabelle con i valori relativi di tempo di utilizzo dell'edificio in assenza di schermatura per facciate orientate a SUD e a NORD. Questi valori sono validi per facciate non ostruite, viceversa, per facciate con indice di ombreggiamento I_{sh} minore di 0.5 è necessario considerare, per qualunque orientamento di facciata, il $t_{rel,D,SA}$ corrispondente alle facciate esposte a NORD.

$t_{rel,D,SA}$ South									
H_{dir}/H_{glob}	γ								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,99	0,97	0,94	0,93	0,96	0,98	0,98	0,93	0,88
0,2	0,94	0,91	0,86	0,84	0,86	0,87	0,88	0,80	0,72
0,3	0,89	0,86	0,79	0,75	0,75	0,76	0,75	0,69	0,61
0,4	0,83	0,80	0,71	0,65	0,64	0,65	0,65	0,60	0,53
0,5	0,71	0,67	0,57	0,50	0,49	0,50	0,51	0,47	0,40
0,6	0,55	0,51	0,41	0,35	0,32	0,34	0,36	0,32	0,25
0,7	0,47	0,43	0,32	0,24	0,23	0,26	—	—	—
0,8	—	0,42	0,32	0,24	0,23	0,26	—	—	—
0,9	—	0,42	0,32	0,24	0,23	0,26	—	—	—

$t_{rel,D,SA}$ North									
H_{dir}/H_{glob}	γ								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,2	0,97	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,3	0,92	0,92	0,94	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,4	0,84	0,85	0,89	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,5	0,77	0,79	0,83	0,91	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
0,6	0,73	0,75	0,80	0,89	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
0,7	0,71	0,73	0,79	0,88	0,98	1,00	—	—	—
0,8	—	0,73	0,79	0,88	0,98	1,00	—	—	—
0,9	—	0,73	0,79	0,88	0,98	1,00	—	—	—

Figura 8 – Tempo relativo di utilizzo dell'edificio in assenza di sistemi schermanti per facciate orientate a Sud e a Nord.

$F_{D,S,SNA}$

Analogamente, $F_{D,S,SNA}$ viene determinato in funzione di:

- latitudine del luogo
- condizioni di illuminazione esterna (rapporto tra illuminamento diretto e diffuso (H_{dir}/H_{glob}))
- orientamento
- illuminazione naturale interna in assenza di schermatura, definita attraverso il fattore di luce diurna D della zona oggetto di analisi
- requisito di illuminazione della zona (illuminamento medio mantenuto).

Per ciascun orientamento la norma fornisce una tabella in cui sono riportati i valori di $F_{D,S,SNA}$ in funzione degli altri parametri. I dati variano in funzione di cinque intervalli di latitudine (0° - 15° ; 15° - 30° ; 30° - 45° ; 45° - 60° ; 60° - 75°) e, per ogni intervallo di latitudine, al variare del requisito di illuminamento medio mantenuto (100 lux; 300 lux; 500 lux; 750 lux; 1000 lux), del fattore di luce diurna (0.125%; 0.5%; 1%; 1.5%; 2%; 3%; 5%; 8%; 12%; 18%) e dell'esposizione luminosa. I valori di H_{dir}/H_{glob} , che tengono conto delle caratteristiche climatiche del luogo, sono diversi a seconda dell'intervallo di latitudine e globalmente sono compresi nell'intervallo tra 0.34 e 0.71.

A titolo di esempio, in Figura 9 si riporta la tabella per la determinazione dei valori di $F_{D,S,SNA}$ per facciate verticali orientate a SUD.

F _{D,S,UNA} [%]												
South façade												
Geo-graphic location γ	τ_m [°]	R_{ext}/R_{int}	D [%]									
			0,125	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0	18,0
0° - 15°	100	0,34	31,9	65,6	97,9	99,4	99,7	99,9	99,9	100,0	100,0	100,0
		0,66	26,1	64,3	94,0	96,2	98,1	99,3	99,3	100,0	100,0	100,0
	300	0,34	25,1	75,2	83,3	91,9	94,0	96,8	98,0	99,2	99,6	99,6
		0,66	19,9	59,8	67,7	78,3	82,5	88,4	90,5	95,5	98,2	98,3
	500	0,34	18,5	55,6	68,2	82,2	85,7	91,6	94,6	97,2	98,5	98,5
		0,66	14,7	44,0	54,3	65,7	69,3	76,4	80,1	85,6	91,5	92,0
	750	0,34	12,9	38,6	52,6	70,2	75,0	84,4	90,0	94,4	96,6	96,6
		0,66	10,3	30,9	42,4	55,4	58,6	66,6	70,6	76,2	83,1	84,2
	1000	0,34	9,7	29,1	41,0	59,2	64,7	77,2	85,0	91,4	94,6	94,9
		0,66	7,6	23,3	33,4	47,2	50,7	59,7	64,2	79,0	76,3	77,9
15° - 30°	100	0,36	30,6	62,4	95,9	97,6	97,8	98,7	99,0	99,4	99,6	99,6
		0,58	25,4	88,1	96,5	99,2	98,6	99,6	99,6	100,0	100,0	100,0
	300	0,36	24,3	73,0	83,1	91,1	92,0	95,3	96,7	98,2	98,7	98,8
		0,58	20,6	61,7	70,8	87,8	88,4	94,3	95,9	98,5	98,5	98,5
	500	0,36	17,5	53,7	69,0	82,7	84,8	90,8	93,6	96,6	97,7	97,8
		0,58	14,8	44,3	61,0	75,4	77,0	85,9	89,8	94,6	97,2	97,3
	750	0,36	12,3	36,9	53,5	71,4	75,1	84,5	89,6	94,2	96,2	96,4
		0,58	10,3	30,6	46,9	62,7	65,0	76,3	81,9	89,2	93,6	94,0
	1000	0,36	9,3	27,7	41,7	60,5	65,1	77,9	85,1	91,5	94,5	94,9
		0,58	7,7	23,2	37,0	52,6	55,4	67,9	74,9	83,6	89,7	90,4
30° - 45°	100	0,45	26,9	80,6	88,7	92,1	90,7	93,0	93,1	94,5	94,7	95,1
		0,71	17,8	53,3	70,1	80,0	78,4	84,6	85,6	89,5	90,3	90,9
	300	0,45	20,8	62,5	75,4	84,2	83,1	88,4	89,6	92,4	93,3	93,8
		0,71	10,6	32,3	46,6	57,1	56,8	66,4	70,0	77,0	82,4	83,6
	500	0,45	15,4	46,3	62,5	75,0	75,2	83,4	86,1	90,4	91,8	92,4
		0,71	7,6	22,6	39,4	46,6	48,2	56,3	59,5	67,6	73,6	75,4
	750	0,45	10,6	32,3	48,2	65,3	67,1	77,1	81,2	87,2	89,7	90,4
		0,71	5,3	18,0	27,8	36,2	36,2	47,1	51,3	59,6	65,9	68,2
	1000	0,45	8,3	24,9	37,7	55,4	58,3	71,0	77,2	84,6	87,8	88,6
		0,71	4,1	12,4	21,9	32,0	32,6	41,5	46,0	54,2	60,3	63,0

F _{D,S,UNA} [%]												
South façade												
Geo-graphic location γ	τ_m [°]	R_{ext}/R_{int}	D [%]									
			0,125	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0	18,0
45° - 60°	100	0,36	25,3	75,8	93,2	98,4	98,5	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
		0,58	24,3	72,8	94,2	99,0	99,2	99,8	99,8	99,9	99,9	99,9
	300	0,36	17,2	51,7	84,0	75,3	76,7	83,7	87,5	91,4	93,1	93,5
		0,58	16,7	50,2	66,5	78,0	77,5	85,0	87,7	92,3	94,0	94,4
	500	0,36	12,0	36,0	49,6	63,7	66,4	75,3	81,1	87,6	90,7	91,3
		0,58	11,5	34,6	51,3	66,0	66,6	76,4	80,7	87,1	90,1	90,8
	750	0,36	8,1	24,3	36,9	51,7	54,5	65,6	73,0	81,6	88,2	87,1
		0,58	6,0	23,9	38,9	54,5	56,0	68,3	74,8	83,0	87,0	87,9
	1000	0,36	6,1	16,3	28,4	42,4	45,4	57,9	66,5	76,3	82,2	83,3
		0,58	6,0	17,9	30,2	45,1	46,9	60,4	68,5	78,6	83,4	84,5
60° - 75°	100	0,40	20,6	61,7	88,3	72,9	73,0	75,7	76,9	75,3	78,9	80,3
		0,48	17,8	53,4	80,0	64,2	64,2	66,8	68,1	68,7	70,5	72,5
	300	0,40	13,2	39,7	51,3	61,5	62,5	68,3	71,5	75,3	77,1	78,7
		0,48	11,9	35,7	48,1	54,4	54,8	59,9	62,6	66,3	68,0	70,2
	500	0,40	8,6	25,7	38,1	51,4	53,6	61,9	66,7	72,1	74,9	76,5
		0,48	7,5	23,8	35,6	46,3	47,2	54,1	57,9	62,9	65,4	67,6
	750	0,40	5,7	17,1	26,7	39,8	42,6	53,5	60,1	67,3	70,9	72,6
		0,48	5,4	16,1	25,7	37,5	39,3	47,6	52,7	58,9	62,2	64,5
	1000	0,40	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7	69,5
		0,48	4,0	12,1	19,5	30,1	32,1	42,2	48,2	55,4	59,4	61,8

Figura 9 - Fattore di disponibilità della luce naturale in assenza di schermature (F_{D,S,UNA}) per facciate orientate a SUD.

$F_{D,S,SA}$

Per quanto riguarda la disponibilità di luce naturale in presenza di schermature per il controllo solare o dell'abbagliamento ($F_{D,S,SA}$) i fattori che ne determinano il valore sono:

- la classe di disponibilità di luce diurna (D_{class}), che a sua volta dipende dal fattore di luce diurna relativo all'apertura nel muro, cioè il fattore di luce diurna calcolato in assenza del componente trasparente e/o schermante (D_{CA})
- il sistema di schermatura per il controllo solare o dell'abbagliamento.

Per quanto riguarda i sistemi di schermatura vengono considerate quattro situazioni corrispondenti a condizioni e a soluzioni tipologiche ricorrenti:

- sistemi di protezione dall'abbagliamento – includono tende e veneziane con controllo manuale
- schermature con funzionamento automatico per la protezione dalla radiazione solare e dall'abbagliamento, movimentate in relazione alla quantità di luce naturale disponibile – ad esempio veneziane che, una volta abbassate, consentono la regolazione dell'inclinazione delle lamelle per garantire l'ingresso della luce naturale
- sistemi di conduzione della luce naturale
- assenza di protezione dalla radiazione solare e ombreggiamenti.

In Figura 10 si riporta la tabella relativa alla determinazione del fattore $F_{D,S,SA}$ per aperture verticali.

System solution (to be used for the period $t_{rel,D,SA,j}$)		$F_{D,S,SA,j}$			
		Classification of daylight availability			
		None	Low	Medium	Strong
1	Glare protection only: systems which provide glare protection in compliance with the regulations applying to the respective utilization profile, e. g. regulations for computer terminal workplaces. This includes manually operated venetian blinds and semi-transparent fabric sun-screens.	—	0,1	0,2	0,3
2	Automatically-operated protection against solar radiation and glare: devices to protect against solar radiation and/or glare and which can be moved in relation to the amount of daylight available. Venetian blinds which are automatically opened slightly after being lowered, so that transmittance is greater than that of the fully-closed blinds.	—	0,2	0,43	0,55
3	Light-guiding systems.	—	0,3	0,65	0,8
4	No protection against solar radiation and shades. NOTE Only applicable for areas being evaluated to which no special regulations or provisions such as the regulations for computer terminal workplaces apply.	—	0,6	0,75	0,8

Figura 10 – fattore di disponibilità di luce naturale in presenza di schermature.

Per quanto riguarda i sistemi di conduzione della luce naturale si assume che includano i sistemi di controllo dell'abbagliamento con funzioni aggiuntive di conduzione della luce. Ad esempio:

- veneziane con modalità di funzionamento cut-off, ovvero con lamelle e modalità di movimentazione studiate per bloccare la radiazione solare diretta e ottimizzare la penetrazione della radiazione solare diffusa e consentire la vista verso l'esterno
- vetri per il ri-direzionamento della luce, ovvero componenti trasparenti in grado di trasmettere almeno il 30% della radiazione solare diretta incidente verso l'alto quando soggetti a radiazione solare con angolo di incidenza inferiore a 35° e azimuth 0°. Questi componenti, che occupano parte dell'area vetrata, dovrebbero comunque essere associati ad altri sistemi di protezione dalla radiazione solare o dall'abbagliamento
- veneziane esterne di protezione e ri-direzionamento della luce, ovvero veneziane con lamelle diffondenti e diversa inclinazione nella parte alta e bassa del sistema

- veneziane di protezione e ri-direzionamento della luce in intercapedine (vetri doppi o doppie facciate), ovvero veneziane con lamelle speculari e diversa inclinazione nella parte alta o bassa.

I valori di $F_{D,S,SA}$ corrispondenti alla quarta riga della tabella (assenza di protezione dalla radiazione solare) non sono pertinenti ad aperture vetrate con protezioni solari o contro l'abbagliamento, ma sono stati introdotti per ricordare che, in ambienti con videoterminali qualche sistema di protezione, per il controllo della luminanza, dovrà essere previsto. In assenza di una spiegazione più dettagliata, la presenza di questa riga nella tabella può creare confusione in merito ai dati da utilizzare in edifici esistenti in cui effettivamente non siano presenti schermature mobili e per i quali quindi non vi sia una riduzione della penetrazione della luce naturale rispetto a quanto calcolato con $F_{D,S,SA}$.

5.1.2 Calcolo del fattore di controllo dell'illuminazione ($F_{D,C}$)

Il secondo fattore incluso nella formula di calcolo del fattore di dipendenza dalla luce naturale (F_D) è il fattore di controllo dell'illuminazione ($F_{D,C}$) che, analogamente alla versione 2007 della norma, viene determinato in funzione della classe di penetrazione della luce naturale e del tipo di sistema di controllo. Le possibili alternative di controllo dipendente da luce naturale sono state ampliate rispetto al documento precedente: la soluzione unica presente nel documento del 2007 (controllo automatico in base alla luce naturale) è stata dettagliata in sette diverse tipologie, con caratteristiche di automazione e di efficienza crescenti. In particolare vengono distinti sistemi con sola accensione e spegnimento automatici dai sistemi che prevedono anche la regolazione del flusso luminoso e, tra questi ultimi, viene fatta una distinzione in base all'accensione, automatica o manuale, e in base alla possibilità di eliminare o meno i consumi in condizioni di stand-by.

In aggiunta, nel progetto di norma del 2015, il fattore viene fatto variare anche in relazione al valore di illuminamento medio mantenuto della zona in esame.

Nella Figura 11 è riportata la tabella per la determinazione dei valori di $F_{D,C}$.

Type of control		Type of system	$F_{D,C}$ as a function of daylight supply								
			Classification of daylight availability								
			Low			Medium			Strong		
			E_{min}								
			300 lx	500 lx	750 lx	300 lx	500 lx	750 lx	300 lx	500 lx	750 lx
Manual		I	0.56	0.67	0.84	0.55	0.52	0.49	0.69	0.57	0.54
Automatic	Switched	On/off	0.56	0.59	0.59	0.63	0.63	0.62	0.67	0.65	0.65
		On/off at stages	0.65	0.70	0.73	0.70	0.73	0.75	0.73	0.75	0.78
		Daylight responsive off	0.65	0.70	0.73	0.70	0.73	0.75	0.73	0.75	0.78
	Dimmed	Stand-by, keyless, switch-on	0.65	0.70	0.73	0.70	0.73	0.75	0.73	0.75	0.78
		No stand-by, keyless, switch-on	0.71	0.74	0.78	0.77	0.78	0.79	0.81	0.81	0.81
		Stand-by, keyless, key switch-on	0.72	0.77	0.80	0.77	0.80	0.83	0.80	0.83	0.84
		No stand-by, keyless, key switch-on	0.76	0.81	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89

Figura 11 – Fattore di correzione $F_{D,C}$ che tiene conto dell'effetto di sistemi di controllo dell'illuminazione basati sull'integrazione della luce naturale e artificiale.

A valle di quanto descritto e nell'ottica di produrre una sintesi delle principali differenze nel calcolo di F_D è possibile schematizzare con un diagramma di flusso il processo di calcolo del fattore di dipendenza della luce naturale secondo i due documenti normativi (Figura 12). Nella figura, le caselle con linea continua individuano degli output del metodo di calcolo mentre le caselle tratteggiate i dati di input corrispondenti alle caratteristiche dell'edificio o della zona. Inoltre le caselle con bordo rosso individuano le principali differenze introdotte, nel calcolo di F_D , nel progetto di norma prEN 15193-1:2015.

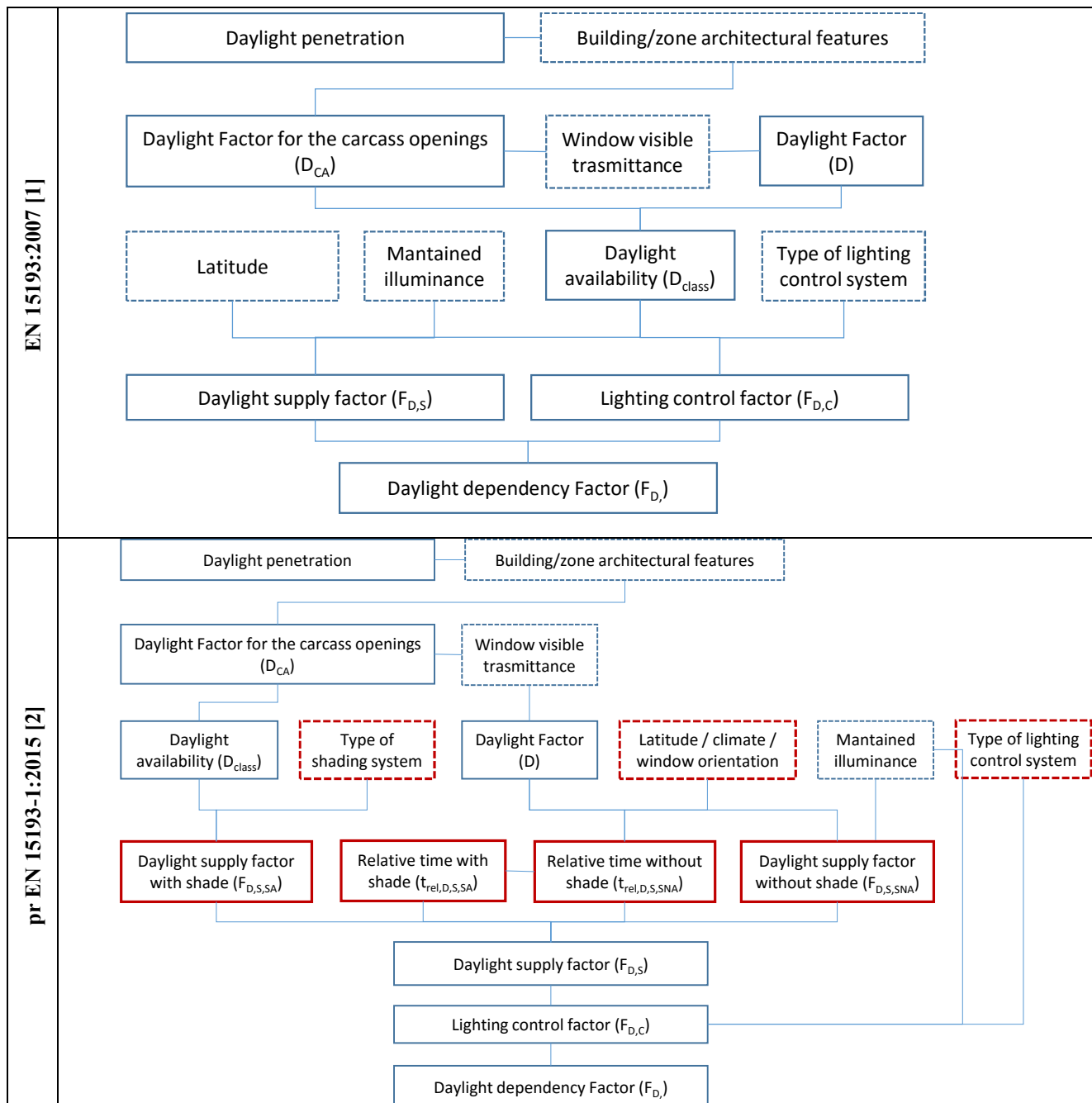


Figura 12 – Diagramma di flusso per il calcolo del fattore di dipendenza dalla luce naturale secondo la norma EN15193:2007 e il progetto di norma prEN 15193-1:2015.

La revisione del metodo semplificato di calcolo del fattore di dipendenza dalla luce naturale rappresenta la modifica più sostanziale ai fini del calcolo del LENI tra norma iniziale e progetto di norma. I dati e l'approccio descritto in questo paragrafo riguardano il calcolo in presenza di aperture verticali, ma una procedura analoga è adottabile nel caso di edifici o zone con lucernari.

5.1.3 Calcolo del fattore di illuminamento costante (F_c)

Alcune differenze nel metodo di calcolo si riscontrano anche in rapporto al fattore di illuminamento costante (F_c). Anche in questo caso il progetto di norma del 2015 introduce un ulteriore fattore nella formula di calcolo che diventa:

$$F_c = 1 - 0.5 F_{cc} (1 - MF)$$

Viene cioè introdotto il fattore di efficienza del controllo di illuminamento costante (F_{cc}), che tiene conto della non lineare corrispondenza tra potenza assorbita e flusso luminoso emesso da certe sorgenti di luce e dell'errore e fluttuazione nella regolazione del flusso da parte dei sistemi di controllo. In generale si considera che l'impatto di F_{cc} sia molto limitato e quindi è possibile considerare un valore pari a 1 nel caso in cui il dato tecnico specifico del sistema non sia noto.

Viene inoltre fornita una spiegazione più dettagliata del significato del fattore in rapporto alla pratica di progettazione degli impianti di illuminazione e al calcolo del LENI, dando in particolare indicazione di quali condizioni tecniche consentono di considerare il fattore F_c diverso da 1 (impianti di illuminazione/apparecchi che abbiano un sistema di regolazione del flusso luminoso, ovvero sistemi con illuminamento costante controllato).

5.1.4 Calcolo del tempo annuale di utilizzo in presenza e assenza di luce naturale (t_D e t_N)

Il calcolo del fabbisogno di energia per l'illuminazione dipende dal tempo annuale di utilizzo dell'edificio e, in base alla concezione dell'indice LENI, che stima la possibile riduzione dei consumi in rapporto alla disponibilità di luce naturale, dal tempo di utilizzo in presenza di luce naturale e/o in assenza di luce naturale (rispettivamente t_D e t_N).

Nella prima versione della norma i valori di t_D e t_N venivano forniti per le diverse tipologie edilizie come dati standard, citando la possibilità di determinare attraverso apposite formule gli effettivi orari di alba e tramonto in funzione della latitudine del luogo. Nella proposta di norma del 2015, oltre a dati standard, vengono fornite le formule per il calcolo di t_D e t_N in funzione della latitudine del luogo e del profilo di utilizzo degli ambienti (si tiene anche conto della sospensione o meno dell'attività lavorativa durante i week end). A titolo di esempio, nella Tabella 1 vengono confrontati i valori forniti nel documento del 2007 rispetto a quelli calcolati, per edifici di analoga destinazione d'uso, con le formule fornite nel progetto di norma.

Tabella 1 – Confronto tra i valori tabellari di t_D e t_N (EN 15193:2007) e i valori ottenuti con le formule introdotte nel prEN 15193-1:2015.

		EN 15193:2007	prEN 15193-1:2015							
	Latitudine	Fisso	35°		45°		55°		65°	
	Pausa week-end	-	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
UFFICI	Orario di utilizzo	Fisso	8:00 - 17:00							
	t_D	2250	2338	3273	2309	3233	2243	3140	2031	2844
	t_N	250	9	12	37	52	103	145	315	441
SCUOLE	Orario di utilizzo	Fisso	8:00 - 16:00							
	t_D	1800	2086	-	2086	-	2049	-	1851	-
	t_N	200	0	-	0	-	37	-	235	-
EDIFICI PER IL COMMERCIO	Orario di utilizzo	Fisso	7:00 - 20:00							
	t_D	3000	-	4212	-	4134	-	3975	-	3632
	t_N	2000	-	533	-	611	-	770	-	1113

5.2 Introduzione di nuovi fattori per l'analisi dell'efficienza energetica dei sistemi di illuminazione (fattore di consumo)

Nell'ambito del metodo di calcolo dettagliato, il progetto di norma introduce il concetto di fattore di consumo degli impianti di illuminazione. Questo fattore consente una rapida analisi dei flussi di energia in un impianto di illuminazione artificiale, sia in termini globali che separatamente per ogni componente dell'impianto. Il fattore di consumo per i sistemi di illuminazione è un valore adimensionale che esprime il consumo di un impianto in rapporto a quello di un impianto di riferimento. Viene definito come:

$$e_L = \frac{W_{us}}{W_{nd}} \quad [-]$$

dove:

e_L = fattore di consumo dei sistemi di illuminazione [-]

W_{us} = energia utilizzata per l'illuminazione (calcolata o misurata) [kWh]

W_{nd} = energia di riferimento necessaria per l'illuminazione [kWh].

In dettaglio:

$$e_L = e_{L,C} \cdot e_{L,O} \cdot e_{L,D} \cdot e_{L,ES} \quad [-]$$

dove:

$e_{L,C}$ = fattore parziale di consumo relativo al controllo costante dell'illuminamento [-]

$e_{L,O}$ = fattore parziale di consumo relativo al controllo dell'illuminazione in funzione dell'occupazione [-]

$e_{L,D}$ = fattore parziale di consumo relativo al controllo dell'illuminazione in funzione della luce naturale [-]

$e_{L,ES}$ = fattore parziale di consumo relativo al sistema di illuminazione

e ancora:

$$e_{L,ES} = \frac{P}{P_e} = e_{L,ES,del} \cdot e_{L,ES,dis} \cdot e_{L,ES,gen} \quad [-]$$

dove:

P = densità di potenza elettrica installata per l'illuminazione [W/m^2]

P_e = densità di potenza elettrica di riferimento per l'illuminazione [W/m^2]

$e_{L,ES,del}$ = fattore parziale di consumo per fornire l'illuminazione artificiale sul piano di lavoro [-]

$e_{L,ES,dis}$ = fattore parziale di consumo relativo all'efficienza dell'apparecchio di illuminazione [-]

$e_{L,ES,gen}$ = fattore parziale di consumo relativo all'efficienza luminosa della sorgente [-].

Viene cioè definito un metodo per valutare l'efficienza energetica relativa a ciascun componente/aspetto determinante il sistema di illuminazione:

- sistema di controllo ($e_{L,C}$; $e_{L,O}$; $e_{L,D}$)
- modalità di illuminazione del piano di lavoro, risultate dal fattore di utilizzazione del flusso luminoso, ovvero dalle caratteristiche degli apparecchi, dalla modalità di installazione e dalle caratteristiche dell'ambiente ($e_{L,ES,del}$)
- apparecchi di illuminazione ($e_{L,ES,dis}$)
- sorgente di luce ($e_{L,ES,gen}$).

Ciascun fattore di consumo è stimato come rapporto tra la prestazione dell'impianto oggetto di analisi e quella di un sistema di riferimento.

5.3 Miglioramenti nella descrizione del metodo di calcolo e della sua modalità di applicazione

Una delle criticità emerse a valle degli studi sulla diffusione e applicazione della norma EN 15193 riguarda la difficoltà di comprensione di certe sue parti e la carenza di informazione su come calcolare alcuni dei dati richiesti per la stima del fabbisogno di energia [23]. Il progetto di norma prEN 15193-1 si propone di colmare questo limite:

- viene specificato chiaramente il ruolo della norma nel contesto delle direttive sulla valutazione della prestazione energetica degli edifici e nel quadro generale delle conseguenti normative
- vengono chiarite le differenze e le modalità di scelta tra i metodi di calcolo e di misura presentati
- viene fornita una descrizione dettagliata dei passaggi di calcolo e dei dati di input necessari

- viene fornito un metodo per il calcolo semplificato della potenza elettrica degli impianti di illuminazione da adottarsi nel caso di edifici nuovi
- vengono forniti strumenti di supporto all'applicazione del metodo di calcolo dettagliato (vedi Annex A; Annex B e Annex C).

Oltre a quanto sopra, è stata prevista la pubblicazione di una seconda parte della norma (prCEN/TR 15193-2:2015, [24]) finalizzata a fornire un supporto pratico per l'applicazione della 15193-1. Si tratta di un rapporto tecnico che fornisce informazioni dettagliate per una corretta comprensione ed utilizzo, a livello nazionale, della norma. Il documento fornisce:

- commenti alle diverse sezioni della norma
- spiegazioni della procedure e informazioni di riferimento
- giustificazioni delle scelte che sono state fatte
- descrizione dei processi
- esempi svolti e valori di benchmark
- consigli relativi ai sistemi di controllo
- linee guida per la progettazione degli impianti di illuminazione negli edifici residenziali.

Quest'ultimo punto risulta particolarmente importante poiché, a differenza dei luoghi di lavoro, non esistono normative specifiche che definiscono i requisiti per il progetto degli impianti di illuminazione nelle residenze. Questo ovviamente determina una maggior difficoltà nella definizione dei dati di input per il calcolo del LENI.

6 Studio di sensitività sui fattori di influenza del Daylight Supply Factor

$F_{D,S}$

Come già evidenziato in precedenza, il concetto di Daylight Supply Factor $F_{D,S}$ è stato significativamente esteso nella nuova versione dello standard EN 15193, con l'introduzione di parametri climatici del sito di progetto (attraverso il fattore 'luminous exposure', H_{dir}/H_{glob}), l'orientamento dell'edificio e la presenza di alcune tipologie di sistemi di schermatura mobili.

Al fine di valutare l'importanza delle nuove variabili, è stato condotto uno studio di sensitività, avente un duplice obiettivo:

1. confrontare i valori degli indici $F_{D,S}$ e LENI che si ottengono applicando allo stesso caso le due versioni, vecchia e nuova, dello standard
2. valutare l'impatto delle nuove variabili introdotte nella nuova versione dello standard sul Daylight Supply Factor $F_{D,S}$ e, di conseguenza, sul valore dell'indice LENI.

L'analisi è stata di tipo parametrico, condotta su uno spazio campione appositamente individuato (nella fattispecie un ambiente ad uso ufficio di dimensioni 3.5 m * 5.4 m * 3 m - larghezza * profondità * altezza), variandone alcune caratteristiche climatiche ed architettoniche, quali:

- **latitudine**: si sono selezionate 5 località, con latitudine 7.5°, 22.5°, 37.5°, 52.5°, 67.5°; in questo modo, si è scelta una località al centro di ognuno dei 5 range di latitudine individuati dalla norma
- **'luminous exposure'** H_{dir}/H_{glob} : per ogni latitudine, il range di valori H_{dir}/H_{glob} proposto dalla normativa è stato suddiviso in un numero diverso di sottointervalli, secondo lo schema seguente:

○ latitudine 7.5° →	valori H_{dir}/H_{glob} : 0.34, 0.404, 0.468, 0.532, 0.596, 0.66
○ latitudine 22.5° →	valori H_{dir}/H_{glob} : 0.36, 0.415, 0.47, 0.525, 0.58
○ latitudine 37.5° →	valori H_{dir}/H_{glob} : 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.71
○ latitudine 52.5° →	valori H_{dir}/H_{glob} : 0.39, 0.44, 0.49, 0.54, 0.59
○ latitudine 67.5° →	valori H_{dir}/H_{glob} : 0.40, 0.44, 0.48
- **orientamento**: l'ambiente è stato assunto esposto a Sud, a Ovest (rappresentativo anche dell'esposizione Est, secondo le tabelle della norma) e a Nord

- sistemi di schermatura mobili: l'ambiente campione è stato assunto sia come non schermato, sia come dotato dei sistemi di schermatura inseriti nella norma, vale a dire i sistemi etichettati come "glare protection"; 'automatic sun and glare control'; 'light guiding'
- area della superficie finestrata: la superficie trasparente è stata dimensionata in modo da determinare 4 valori di Daylight Factor D: 5%, 3%, 1.5%, 1%.

Per tutti i casi, si sono mantenuti costanti i valori dei seguenti parametri:

- fattore di trasmissione luminosa del componente trasparente, assunto pari a 74%
- fattore di riduzione del telaio k_1 , assunto pari a 0.8
- fattore di riduzione per lo sporcamento k_2 , assunto pari a 0.9
- fattore di riduzione per l'incidenza non-normale della radiazione k_3 , assunto pari a 0.85.

Ognuna delle variabili sopra descritte è stata applicata al caso-studio (ufficio campione), ottenendo in questo modo un database di oltre 1200 casi. Per ognuno dei casi, si è proceduto a calcolare il valore del Daylight Supply Factor $F_{D,S}$ utilizzando anche la precedente versione dello standard, in modo da poter comparare i risultati ottenuti con le due versioni.

6.1 Effetto della latitudine e del clima (H_{dir}/H_{glob})

L'effetto della latitudine e del parametro 'luminous exposure' H_{dir}/H_{glob} sul Daylight Supply Factor $F_{D,S}$ è riportato in Figura 13. Al fine di permettere il confronto fra i valori $F_{D,S}$ calcolati secondo le due versioni della norma, nella figura sono stati riportati soltanto i valori $F_{D,S}$ calcolati, seguendo l'approccio della nuova norma, per i casi caratterizzati dall'assenza di sistemi di schermatura mobili. È opportuno sottolineare come usando la vecchia versione dello standard si ottenga, per ogni latitudine, un solo valore di $F_{D,S}$ (per ogni latitudine nel range 38°-60°), mentre utilizzando l'approccio della nuova norma si ottenga un set di valori $F_{D,S}$ (uno per ogni valore H_{dir}/H_{glob}). La nuova norma, inoltre, copre un più ampio range di latitudini (0°-75°). In particolare, ai fini del confronto fra vecchia e nuova versione dello standard, in figura si sono plottati 3 valori calcolati secondo la vecchia norma (righe continue orizzontali):

- un valore $F_{D,S}$ per $L=38^\circ$, da confrontare con il set di valori $F_{D,S}$ ottenuto con la nuova norma per $L=37.5^\circ$
- un valore $F_{D,S}$ per $L=52.5^\circ$, da confrontare con il set di valori $F_{D,S}$ ottenuto con la nuova norma per $L=52.5^\circ$
- un valore $F_{D,S}$ per $L=60^\circ$, da confrontare con il set di valori $F_{D,S}$ ottenuto con la nuova norma per $L=67.5^\circ$.

Tutti e 3 i valori sopra descritti sono stati ottenuti come media dei valori $F_{D,S}$ calcolati per 3 diversi valori di Daylight Factor ($D=5\%$; $D=3\%$; $D=1\%$).

Al fine di sintetizzare i numerosi risultati ottenuti dallo studio parametrico, in Figura 13 è stato riportato, per ogni latitudine e per ogni valore H_{dir}/H_{glob} , il valore medio dei valori $F_{D,S}$ calcolati per le diverse esposizioni e per i diversi fattori di luce diurna D. Ogni valore medio è stato integrato con il valore massimo e il valore minimo, in modo da visualizzare l'ampiezza della variazione dei valori $F_{D,S}$ (linee tratteggiate) per ogni H_{dir}/H_{glob} .

Analizzando i trend visualizzati in figura, si possono trarre le seguenti considerazioni:

- in relazione alla procedura proposta nella nuova versione dello standard, si osserva come per ogni latitudine, i valori $F_{D,S}$ decrescano al crescere del valore del 'luminous exposure' H_{dir}/H_{glob} , per quanto con una pendenza diversa. In particolare, la curva relativa alla latitudine 52.5° mostra un trend peculiare, con una pendenza quasi nulla, il che significa che i valori $F_{D,S}$ si mantengono quasi costanti (con un decremento di lieve entità) al crescere del rapporto H_{dir}/H_{glob} . Inoltre, si osserva come a parità di valore H_{dir}/H_{glob} i trend dei valori $F_{D,S}$ in genere tendano a decrescere al crescere della latitudine. Questo significa che la disponibilità di luce naturale presso un determinato sito geografico, in presenza dello stesso contributo di radiazione diretta rispetto alla radiazione diffusa (caratteristica, questa, del clima locale), dipende in prima analisi dalla latitudine, risultando maggiore per i siti prossimi all'equatore. Questo andamento generale risulta in parte smentito per alcune latitudini: gli $F_{D,S}$ medi calcolati per le coppie di latitudini 7.5° - 22.5° e 37.5° - 52.5° si invertono per alcuni valori di H_{dir}/H_{glob} , risultando maggiori per le latitudini maggiori. Emerge dunque come la disponibilità di luce naturale ad

una determinata latitudine dipenda da una combinazione di diversi fattori, e pertanto non possa essere legata in maniera biunivoca alla sola latitudine

- in relazione al confronto fra le due versioni della norma, occorre rimarcare ancora una volta come la differenza più evidente sia nell'approccio stesso intrinseco delle due norme. Con la versione precedente della norma per una determinata latitudine si ottiene un solo valore $F_{D,S}$, mentre con la nuova versione si ottiene una nuvola di punti per i diversi valori del parametro '*luminous exposure*'. Al fine di facilitare il confronto fra risultati, si è pertanto calcolato un valore medio unico rappresentativo del $F_{D,S}$ per una certa latitudine secondo la nuova norma, come media di tutti i valori $F_{D,S}$ calcolati per quella latitudine (media rispetto al valore H_{dir}/H_{glob} , all'orientamento e al valore di Daylight Factor D). In questo modo, è risultato:

- per $L=38^\circ$ (15193:2008), $F_{D,S} = 0.763$; per $L=37.5^\circ$ (pr15193-1:2015), $F_{D,S,medio} = 0.553$
- per $L=52.5^\circ$ (15193:2008), $F_{D,S} = 0.607$; per $L=52.5^\circ$ (pr15193-1:2015), $F_{D,S,medio} = 0.605$
- per $L=60^\circ$ (15193:2008), $F_{D,S} = 0.527$; per $L=67.5^\circ$ (pr15193-1:2015), $F_{D,S,medio} = 0.472$.

Si osserva dunque una corrispondenza molto forte per la latitudine 52.5° , mentre per le latitudini 38° e 60° , i valori $F_{D,S}$ calcolati con la versione precedente della norma risultano maggiori dei corrispondenti valori calcolati con la nuova norma: in media, +12.8% per la $L = 60^\circ$ e +37.9% per la $L = 38^\circ$. Appare dunque evidente come la versione aggiornata della norma abbia portato, per le latitudini 38° e 60° (vale a dire gli estremi del range di latitudini della norma precedente), ad una riduzione della quantità di luce naturale stimata attraverso il Daylight Supply Factor.

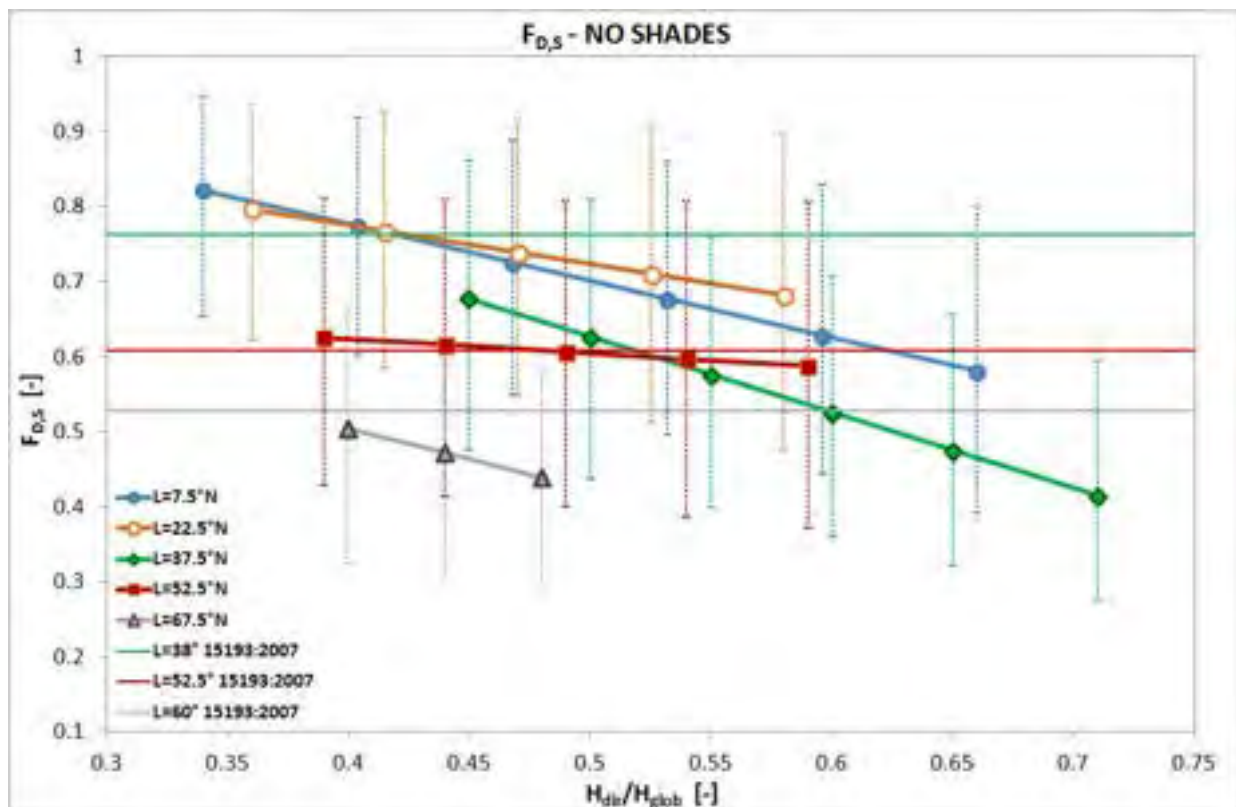


Figura 13 - Variazione dei valori $F_{D,S}$ per diverse latitudini e rapporti H_{dir}/H_{glob} secondo le norme prEN 15193-1:2015 e EN 15193:2007.

6.2 Effetto dell'orientamento

La Figura 14 mostra l'effetto dell'orientamento sul Daylight Supply Factor $F_{D,S}$, calcolato secondo la procedura della nuova versione della norma (la vecchia versione non teneva conto dell'orientamento, per cui non è possibile effettuare un confronto fra le due versioni su questo fattore di influenza). In figura, viene riportato un grafico specifico per ogni sistema di schermatura mobile, così come uno per il caso in cui il sistema di schermatura sia invece assente. Ai fini di una sintetica rappresentazione dei risultati, in ogni grafico, è stato riportato il valore $F_{D,S}$ medio calcolato, per ogni latitudine, come media dei valori $F_{D,S}$ ottenuti per i diversi orientamenti e fattori di luce diurna D . Inoltre, la Tabella 2, riporta i valori $F_{D,S}$ calcolati come media dei valori $F_{D,S}$ per ogni latitudine, differenziati per il tipo di sistema di schermatura mobile.

Dall'analisi dei trend visualizzati in figura e dei dati riportati in tabella, si possono ricavare la seguenti osservazioni:

- in relazione ai valori assoluti di $F_{D,S}$ calcolati per i 4 sistemi di schermatura, si osserva (Tabella 2) come i valori maggiori siano quelli caratterizzanti l'assenza di schermi, come previsto. I sistemi mobili riducono la quantità di luce naturale in ambiente in maniera diversa: la massima riduzione si è riscontrata con il sistema 'manual glare' (riduzione rispetto al caso 'assenza di schermo' nel range -32.8% ÷ -6.0%, rispettivamente per l'esposizione Sud e Nord, mentre il sistema 'light guiding' assicura una maggior quantità di luce naturale, risultando il sistema meno penalizzante rispetto al caso 'assenza di shade' (riduzione nel range -10.2% ÷ -1.5%, per l'esposizione Sud e Nord. Il sistema 'automated sun and glare control' fornisce valori $F_{D,S}$ intermedi rispetto agli altri 2 sistemi di schermatura
- limitatamente al caso di assenza di sistema di schermatura mobile, i valori $F_{D,S}$ calcolati per l'orientamento Sud sono risultati maggiori di quelli calcolati per l'orientamento Est e questi a loro volta maggiori dei valori calcolati per l'orientamento Nord. In dettaglio, La differenza percentuale fra i valori $F_{D,S}$ calcolati per l'orientamento Sud rispetto all'orientamento Nord è pari al +22.3%
- in presenza di una schermatura mobile operata manualmente dagli utenti per il controllo dell'abbagliamento ('*manual glare*'), gli andamenti sono opposti: i valori $F_{D,S}$ sono maggiori nel caso di ambienti esposti a Nord, seguiti dagli ambienti esposti a Est, con valori più bassi osservati per gli ambienti esposti a Sud. In dettaglio, la differenza percentuale fra i valori $F_{D,S}$ calcolati per l'orientamento Sud rispetto all'orientamento Nord è pari al -12.7%.

Questi andamenti appaiono coerenti con la diversa frequenza di utilizzo di questo sistema di schermatura per i diversi orientamenti: in risposta alla maggior presenza di radiazione solare diretta a Sud rispetto a quanto non si verifichi a Est e a Nord, la tenda viene utilizzata con più frequenza, riducendo in maniera più significativa la disponibilità di luce naturale, espressa dal valore $F_{D,S}$

- in presenza di una schermatura automatica per il controllo dell'abbagliamento e del surriscaldamento ('*automatic sun and glare shade*'), i valori $F_{D,S}$ mostrano lo stesso andamento, alle diverse latitudini, indipendentemente dall'orientamento. In dettaglio, la differenza percentuale fra i valori $F_{D,S}$ calcolati per l'orientamento Sud rispetto all'orientamento Nord è pari al -0.2. Pertanto, l'utilizzo automatico di questo sistema di schermatura determina una quantità di luce naturale entrante in ambiente che di fatto risulta indipendente dall'orientamento
 - in presenza di sistemi di re-direzionamento della luce naturale ('*light guiding*'), i valori maggiori sono stati osservati per l'orientamento Sud. In dettaglio, la differenza percentuale fra i valori $F_{D,S}$ calcolati per l'orientamento Sud rispetto all'orientamento Nord è pari al +11.5%.
- Questi andamenti sono di fatto coerenti con il fatto che questo sistema di schermatura non si limita a schermare la luce solare, ma la ri-direziona all'interno dell'ambiente, consentendo un miglior sfruttamento della luce naturale incidente sulla facciata (che è globalmente maggiore, nel corso dell'anno e per tutte le latitudini analizzate, per le facciate esposte a Sud rispetto a quanto non si osservi per facciate esposte a Ovest e a Nord).

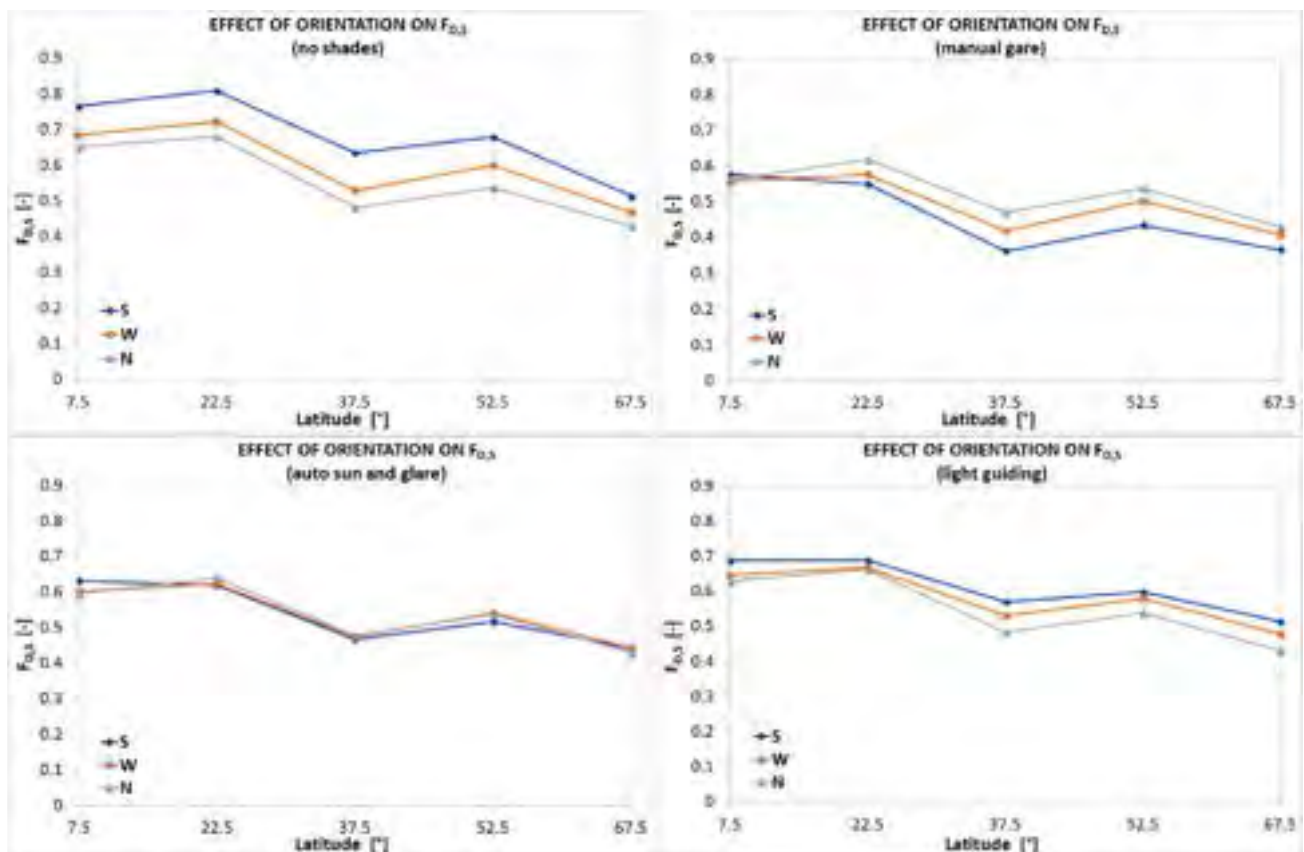


Figura 14 - Variazione dei valori $F_{D,S}$ per i diversi orientamenti secondo la norma prEN 15193-1:2015.

Tabella 2 - Valori medi di $F_{D,S}$ calcolati come media dei valori $F_{D,S}$ per ogni latitudine, in funzione dell'orientamento.

Orientamento	No shade	Manual glare		Automated sun and glare control		Light guiding	
		$F_{D,S,med}$ [-]	$\Delta\%^{(*)}$	$F_{D,S,med}$ [-]	$\Delta\%^{(*)}$	$F_{D,S,med}$ [-]	$\Delta\%^{(*)}$
S	0.682	0.458	-32.8	0.536	-21.4	0.612	-10.2
O	0.602	0.493	-18.1	0.537	-10.7	0.581	-3.4
N	0.558	0.524	-6.0	0.537	-3.7	0.549	-1.5

(*) $\Delta\%$: la differenza percentuale è stata calcolata rispetto al caso 'no shade'

6.3 Effetto del sistema di schermatura mobile ('sun shading systems activated')

La Figura 15 mostra i valori $F_{D,S}$ che sono stati calcolati per i diversi sistemi di schermatura, confrontati con il caso di assenza di schermatura. Al fine di consentire una più immediata e semplice lettura dei risultati, i valori $F_{D,S}$ sono visualizzati in un grafico specifico per ogni latitudine. Inoltre, in ogni grafico è stato riportato il valore medio dei valori $F_{D,S}$ calcolati, relativamente a ogni H_{dir}/H_{glob} , per i diversi orientamenti e per i diversi valori del Daylight Factor D. Inoltre, in

Tabella 3 vengono riportati, pr ogni latitudine, i valori medi calcolati come media di tutti i valori $F_{D,S}$ per quella latitudine, integrati dalla differenza percentuale caratterizzante ogni sistema di schermatura mobile rispetto al caso 'no shade'.

Dall'analisi degli andamenti mostrati nei grafici, emerge un trend costante, indipendentemente dalla latitudine: i valori $F_{D,S}$ sono risultati maggiori per il caso di assenza di schermatura (come era lecito attendersi, d'altronde) mentre per i casi caratterizzati dalla presenza di una schermatura mobile i maggiori valori si sono osservati per lo schermo 'light guiding' e a decrescere per lo schermo 'automated sun and

glare' e, in ultimo, per lo schermo 'manual glare'. In dettaglio, i valori medi del $F_{D,S}$, calcolati rispetto a tutti i valori trovati per tutte le latitudine sono: $F_{D,S} = 0.701$ per il caso 'no shade'; $F_{D,S} = 0.656$ per il caso 'light guiding' (riduzione media rispetto al caso 'no shade': -6.5%); $F_{D,S} = 0.611$ per il caso 'auto sun and glare' (riduzione media rispetto al caso 'no shade': -12.9%); $F_{D,S} = 0.565$ per il caso 'manual glare' (riduzione media rispetto al caso 'no shade': -19.7%).

Come eccezione ai trend sopra descritti, vale la pena segnalare come per la latitudine di 37.5° e per valori H_{dir}/H_{glob} superiori a 0.65 si osservi una intersezione fra le due curve relative allo schermo 'light guiding' e all'assenza di schermo, per cui i valori $F_{D,S}$ calcolati per lo schermo 'light guiding' risultano maggiori dei corrispondenti valori calcolati per il caso 'assenza di schermo'.

In ogni caso, dai risultati emerge come, coerentemente con quanto già evidenziato in precedenza, lo schermo 'manual glare' rappresenti la tecnologia più sfavorevole rispetto alla quantità di luce naturale ammessa in ambiente, espressa dal Daylight Supply Factor $F_{D,S}$, mentre lo schermo 'light guiding', che di fatto comprende sistemi di redirezionamento della luce, ammette in ambiente una quantità di luce naturale maggiore, a parità di effetto schermante.

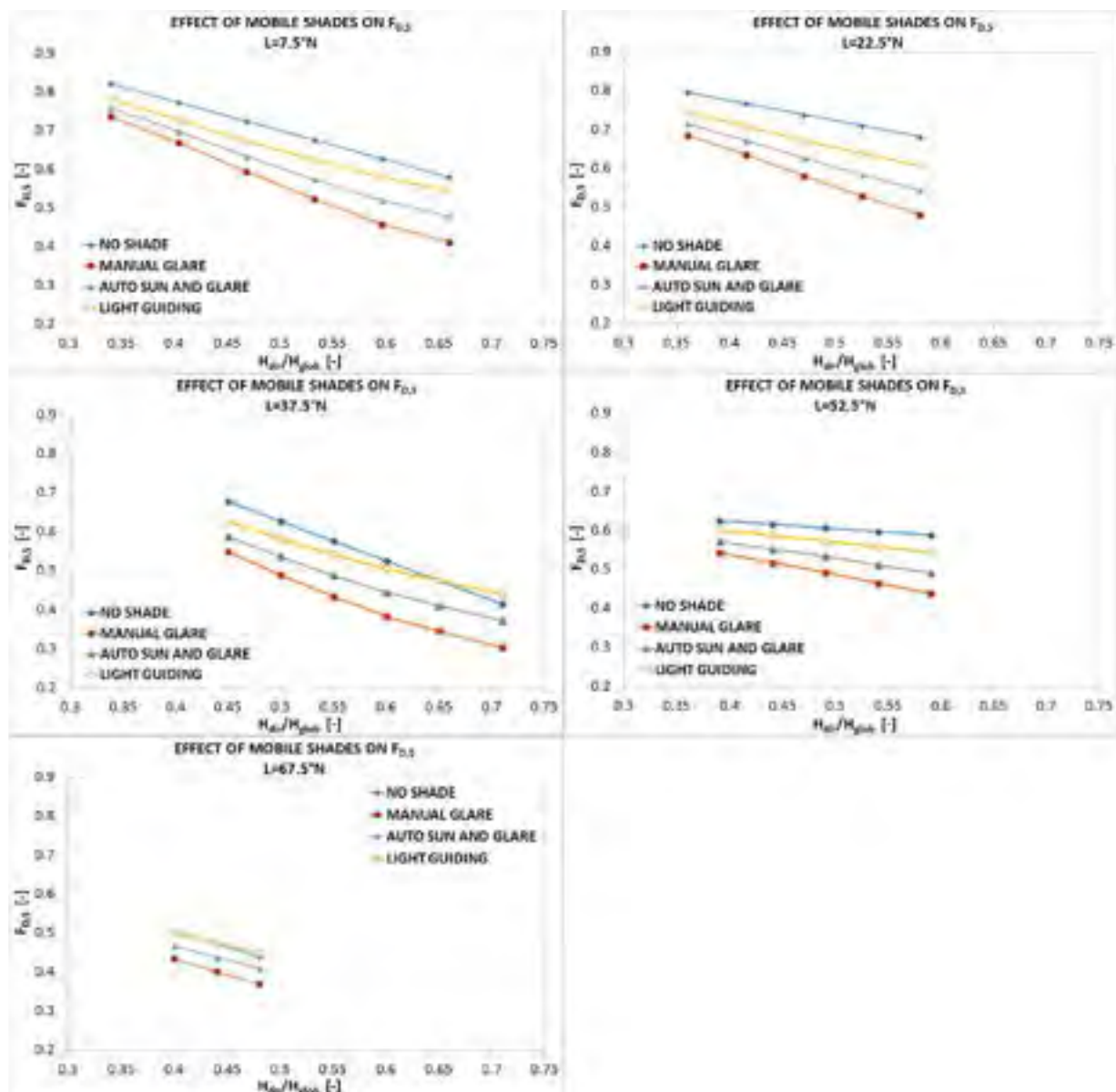


Figura 15 - Variazione dei valori $F_{D,S}$ per i diversi sistemi di schermatura mobile secondo la norma prEN 15193-1:2015.

Tabella 3 - Valori medi di $F_{D,S}$ calcolati come media dei valori $F_{D,S}$ per ogni latitudine, in funzione del sistema di schermatura mobile.

schermo mobile	L=7.5°		L=22.5°		L=37.5°		L=52.5°		L=67.5°	
	$F_{D,S,m}$ [-]	$\Delta\%$ (*)	$F_{D,S,m}$ [-]	$\Delta\%$ (*)	$F_{D,S,m}$ [-]	$\Delta\%$ (*)	$F_{D,S,m}$ [-]	$\Delta\%$ (*)	$F_{D,S,m}$ [-]	$\Delta\%$ (*)
no shade	0.701	0.0	0.739	0.0	0.550	0.0	0.607	0.0	0.472	0.0
manual glare	0.565	-19.4	0.582	-21.2	0.418	-24.0	0.492	-19.0	0.402	-14.8
auto sun and glare	0.611	-12.9	0.628	-14.9	0.474	-13.9	0.532	-12.2	0.438	-7.0
light guiding	0.656	-6.5	0.674	-8.8	0.529	-3.9	0.573	-5.6	0.475	0.7

(*) $\Delta\%$: la differenza percentuale è stata calcolata rispetto al caso 'no shade' (per ogni latitudine).

6.4 Variazione dei valori LENI in conseguenza della variazione dei valori $F_{D,S}$

Come ulteriore step di analisi, si è voluto procedere alla quantificazione dell'indice LENI per alcuni dei casi oggetto dell'analisi precedente sul Daylight Supply Factor $F_{D,S}$. Coerentemente con l'approccio adottato in precedenza, anche in questo caso l'obiettivo è stato duplice: da un lato valutare la variazione dei valori LENI in conseguenza della variazione dei fattori che influenzano il $F_{D,S}$, dall'altro confrontare i valori LENI che si ottengono adottando le due procedure contenute nella vecchia e nella nuova versione della norma EN 15193.

In questa fase di analisi, si è utilizzato un sotto-insieme del database di 1200 casi ottenuto nell'analisi precedente. In particolare il LENI è stato calcolato per l'ambiente ufficio tipo, assumendo le seguenti variabili:

- orientamento: Nord e Sud
- dimensione della superficie finestrata: tale da determinare un Daylight Factor D pari a 1.5%
- sistema di schermatura mobile: tutti i casi previsti dalla norma prEN 15193-1:2015, vale a dire 'assenza di schermatura', 'manual glare', 'automated sun and glare', 'light guiding'
- latitudine; l'ambiente è stato collocato in 2 diverse località europee scelte fra quelle proposte dalla norma, assumendone i relativi valori di 'luminous exposure': Atene ($L=37.9^\circ$, $H_{dir}/H_{glob}=0.39$) e Londra ($L=51.2^\circ$, $H_{dir}/H_{glob}=0.56$)
- sistema di controllo della luce; si sono scelti due diversi sistemi di controllo fra quelli proposti dalla nuova norma, ma che fossero presenti anche nella vecchia versione, al fine di permettere un confronto dei valori LENI calcolato con le due versioni: un sistema di controllo manuale (per il quale si è assunto un fattore $F_c = 1$) e un sistema di controllo con dimmerazione basata su un fotosensore ('photo-dimming', per il quale si è assunto un fattore $F_c = 0.9$).

In questa fase di analisi, si sono trascurate le potenze parassite per lo stand-by dei sistemi di controllo e quelle relative ai sistemi di illuminazione di emergenza, al fine di ridurre il numero di parametri influenzanti il LENI e studiarne pertanto la variabilità in funzione della variazione del Daylight Supply Factor $F_{D,S}$.

La Figura 16 mostra i risultati LENI che sono stati ottenuti. Il confronto fra i valori LENI calcolati secondo le due versioni dello standard può essere fatto in relazione al caso di assenza di schermature, visto che la presenza di elementi schermanti mobili non era implementata nella norma originale. I risultati del confronto sono leggibili nelle prime colonne delle figure (caratterizzate da un riempimento rigato). L'effetto del tipo di schermo mobile e dell'orientamento è invece leggibile nelle rimanenti colonne, caratterizzate da un riempimento pieno. Dall'analisi dei dati riportati in figura, si possono trarre le seguenti considerazioni:

- in relazione al confronto fra le due versioni dello standard (casi caratterizzati da assenza di schermi - 'no shade' - nel caso della nuova versione prEN15193-1:2015), si è riscontrato un risultato diverso per le due città analizzate (cfr. Tabella 4):
 - o nel caso di Londra, i valori LENI calcolati con il metodo della nuova norma sono risultati minori rispetto agli omologhi valori calcolati con la versione precedente, e questo per entrambi i sistemi

di controllo e per entrambi gli orientamenti considerati (-24.9% e -20.4% per l'orientamento Sud e Nord con il controllo manuale; -20.8% e -11.9% per l'orientamento Sud e Nord con il fotosensore)

- nel caso di Atene, i valori LENI calcolati con la nuova norma sono risultati minori rispetto agli omologhi valori calcolati con la versione precedente per il sistema di controllo manuale on-off (-21.0% e -12.9%, rispettivamente per l'orientamento Sud e Nord), mentre in presenza del fotosensore, i valori LENI calcolati con la nuova norma sono risultati minori per l'orientamento Sud (-7.5%), ma maggiori per l'orientamento Nord (+10.3%)
- il risparmio potenziale legato all'uso di un controllo con fotosensore rispetto ad un controllo manuale risulta minore se si utilizza la procedura di calcolo della nuova norma rispetto a quanto non si otterrebbe con la versione precedente della norma: la differenza percentuale passa dal -58.8% al -31.1% (orientamento S) e al -23.6% (orientamento N) per la città di Atene e dal -32.4% al -28.8% (orientamento S) e al -25.3% (orientamento N) per la città di Londra.
- in relazione ai diversi sistemi di schermatura mobile introdotti nella norma prEN 15193-1:2015, i valori LENI maggiori sono stati osservati in presenza dello schermo 'manual glare', mentre i valori più bassi per i casi caratterizzati dall'assenza di schermo (come è lecito attendersi); questi andamenti sono coerenti con le differenze relative già osservate fra diversi sistemi di schermatura nei valori di Daylight Supply Factor $F_{D,S}$. La Tabella 4 riporta i valori medi di LENI calcolati per ogni città e per ogni sistema di controllo (calcolati come media dei valori LENI ottenuti per i tre sistemi mobili di schermatura e per i due orientamenti). Rispetto al valore LENI calcolato con la versione precedente della norma in assenza di schermature, si osserva come i valori LENI siano minori, con l'eccezione, già evidenziata sopra, per la città di Atene in presenza del controllo con fotosensore (+17.5%).

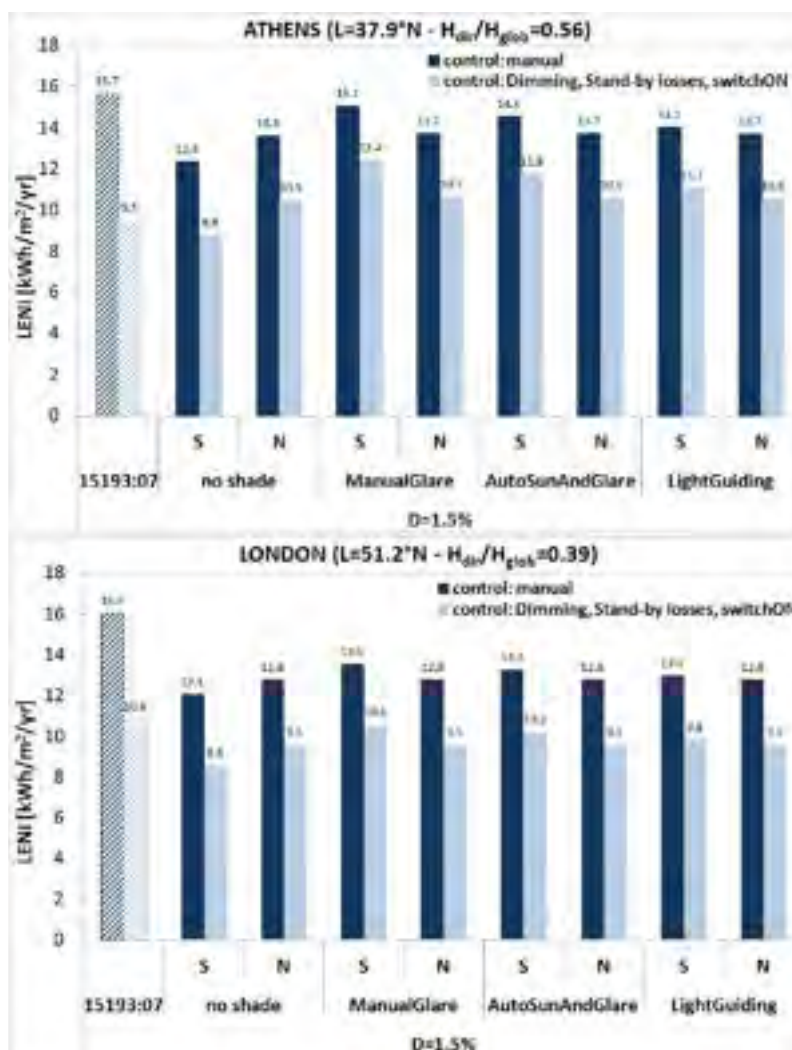


Figura 16 - Variazione dei valori LENI calcolati secondo le due norme EN 15193:2007 e 15193-1:2015 per due città europee: Atene e Londra.

Tabella 4 – Confronto fra i valori LENI calcolati con le due versioni dello standard EN15193 (la 2007 e la 2015) per due città (Atene e Londra), due orientamenti (N e S) e due sistemi di controllo (manuale e fotosensore).

	15193:07	15193-1:2015 'no shade'		LENI 15193-1:2015 'manual glare', 'auto sun and glare', 'light guiding'			
	LENI [kWh/m²/yr]	LENI [kWh/m²/yr]	$\Delta_1^{(*)}$ [%]	LENI _{medio} [kWh/m²/yr]	LENI _{minimo} [kWh/m²/yr]	LENI _{massimo} [kWh/m²/yr]	$\Delta_2^{(**)}$ [%]
Atene							
manuale_S	15.7	12.4	-21.0%	14.1	15.1	13.7	-9.7%
manuale_N		13.6	-12.9%				
fotosensore_S	9.5	8.8	-7.5%	11.2	12.4	10.6	+17.5%
fotosensore_N		10.5	+10.3%				
Londra							
manuale_S	16.0	12.1	-24.9%	13.0	13.5	12.8	-18.9%
manuale_N		12.8	-20.4%				
fotosensore_S	10.8	8.6	-20.8%	9.9	10.6	9.5	-9.0%
fotosensore_N		9.5	-11.9%				

(*) differenza calcolata rispetto al valore LENI ottenuto con la versione EN15193:07

(**) differenza calcolata fra la media dei valori LENI ottenuti con la nuova norma prEN15193-1:15 rispetto al al valore unico di LENI ottenuto con la versione EN15193:07.

Tabella 5 – numero di edifici e superficie totale corrispondente per diverse tipologie edilizie secondo i dati disponibili.

Tipologia edilizia	Numero di edifici	Area totale di pavimento [m ²]	Fonte
Residenziale	90000		Federcasa 2013 [29]
Scuole	52000	73.4 * 10 ⁶	CRESME 2014 [28]
Uffici	13700	23.6 * 10 ⁶	CRESME 2014 [28] RSE 2009/165 [27]
Strutture sanitarie	26082		RePublic_ZEB 2015 [30]
Hotel e ristoranti	25845	48.6 * 10 ⁶	RePublic_ZEB 2015 [30]

Sulla base di questi dati, per l'identificazione di edifici tipo nell'ambito di questo studio, si è scelto di considerare: l'edificio per uffici, la scuola, la residenza pubblica e l'ospedale. Quando possibile è stato delineato un edificio di riferimento, le cui principali caratteristiche tipologiche, funzionali ed architettoniche sono state dedotte da dati statistici desunti da studi di letteratura. Nel caso in cui non fossero presenti in letteratura dati statistici utili alla definizione di una tipologia edilizia di riferimento (ad esempio nel caso dell'ospedale), si è proceduto generalizzando le caratteristiche di uno specifico edificio esistente, ritenuto rappresentativo di un'ampia gamma di strutture sul territorio.

In generale sono state definite le seguenti caratteristiche dell'edificio, essenziali per il calcolo del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione:

- tipologiche
 - o forma dell'edificio
 - o volume
 - o numero di piani fuori terra
 - o tipo di contesto urbano (da cui consegue il grado di ostruzione esterna)
- funzionali
 - o definizione delle principali funzioni (attività) e relativa distribuzione percentuale
 - o profilo temporale di utilizzo dell'edificio
 - o illuminamento medio mantenuto
- architettoniche
 - o forma e dimensioni degli ambienti
 - o forma, posizione e dimensione delle superfici trasparenti
 - o fattori di riflessione luminosa delle superfici opache
- tecnologiche riferite al sistema di illuminazione naturale
 - o tipologia di vetro e corrispondente fattore di trasmissione e riflessione luminosa
 - o tipologia di sistema schermante.

Per ciascun edificio, nelle schede presenti nei paragrafi seguenti, sono state evidenziate in dettaglio le caratteristiche del piano tipo. Nel caso dell'edificio scolastico tipo, si è ritenuto significativo definire in dettaglio due piani di riferimento, in quanto tipicamente al piano terra vengono concentrate le funzioni amministrative (con uffici, archivio, biblioteca), mentre nei piani superiori vengono collocati gli ambienti ad uso didattico (aule e laboratori).

Un approfondimento specifico è stato sviluppato per la definizione delle caratteristiche dei sistemi di illuminazione artificiale. Su questo tema, in particolare per quanto riguarda la realtà italiana, i riferimenti in letteratura sono limitati e si è proceduto pertanto seguendo indicazioni dedotte da studi europei [31] [32] [33], dati ricavati da normative tecniche relative alla progettazione e valutazione dell'illuminazione artificiale [12] [24] e dati da cataloghi tecnici di produttori di sorgenti luminose, apparecchi illuminanti e sistemi di alimentazione. In particolare, per ogni ambiente del piano tipo degli edifici di riferimento sono state specificate le principali caratteristiche degli impianti di illuminazione:

- tipologia di impianto:
 - o modalità di installazione
 - o modalità di distribuzione del flusso luminoso

- caratteristiche dell'apparecchio di illuminazione
 - distribuzione fotometrica
 - rendimento ottico
- caratteristiche della sorgente di luce
 - tipologia di lampada
 - efficienza luminosa
 - indice di resa cromatica
 - temperatura di colore correlata
- caratteristiche del sistema di alimentazione
 - rendimento del sistema di alimentazione
- caratteristiche del sistema di controllo
 - strategia di controllo.

Sulla base dei requisiti di illuminamento medio mantenuto relativi ad ogni tipo di ambiente, della tipologia di impianto di illuminazione e delle caratteristiche geometriche e ottiche di ogni ambiente è stato determinato il fattore di utilizzazione del flusso luminoso (mediante simulazione numerica). Col fattore di utilizzazione si è calcolato il flusso luminoso totale necessario a garantire il requisito di illuminamento e la densità di potenza per ogni ambiente in funzione del rendimento ottico dell'apparecchio, dell'efficienza luminosa dalla sorgente e del rendimento del reattore di alimentazione. L'illuminamento medio mantenuto per ciascun ambiente è stato determinato a partire dai valori prescritti nella norma tecnica UNI EN 12464-1:2011 [12] per l'area del compito visivo (task), delle zone immediatamente circostanti (surround) e delle zone più lontane (background). Integrando l'approccio della UNI EN 12464-1:2011 con l'approccio riportato in [32], che introduce dei fattori di peso per gli illuminamenti di task, background e surround, si è calcolato un illuminamento medio mantenuto, relativo all'intero ambiente, usato poi come valore di riferimento per le simulazioni ai fini del calcolo del fattore di utilizzazione per i vari ambienti. La Tabella 6 descrive in dettaglio i valori di illuminamento medio mantenuto risultanti per alcuni ambienti degli edifici tipo.

Tabella 6 – Illuminamento medio mantenuto per alcuni ambienti significativi dei vari edifici tipo analizzati, secondo gli approcci riportati in [12] e in [32] per quanto riguarda la definizione dei pesi.

ambiente	E [lux]			Pesi W [-]			E _{medio} [lux]
	E _{task}	E _{surround}	E _{background}	W _{task}	W _{surround}	W _{background}	
Ufficio cellulare	500	300	100	0.6	0.3	0.1	400
Ufficio open-space	500	300	100	0.8	0.2	0	460
Sala riunioni	500	300	100	0.8	0.2	0	460
sala stampante/server	200	150	50	0.7	0.3	0	185
Aula scolastica	300	200	67	0.8	0.2	0	280
Laboratorio didattico	300	200	67	0.8	0.2	0	280
Biblioteca	500	200	67	0.3	0.6	0.1	277
Camera degenza	300	100	33	0.3	0.6	0.1	153
Sala d'attesa	200	150	50	0.8	0.2	0	190
Sala visita	500	300	100	0.6	0.3	0.1	400
Laboratorio analisi	500	300	100	0.8	0.2	0	460
Cucina	500	300	100	0.8	0.2	0	460
Camera da letto	300	200	67	0.2	0.6	0.2	193
Sala da pranzo	200	150	50	0.5	0.5	0	175
Bagni	200	150	50	0.7	0.3	0	185
Spazi di distribuzione	100	-(*)	-(*)	-	-	-	100

(*) ambienti in cui non è applicabile la distinzione fra 'task', 'surround' e 'background', in quanto l'intera area è, di fatto, sede del 'task'.

Nella definizione degli impianti di illuminazione degli edifici di riferimento si è scelto inoltre di considerare diverse situazioni impiantistiche (scenari), che si ritiene possano caratterizzare gli edifici esistenti in virtù degli interventi di retrofit degli impianti di illuminazione avvenuti in considerazione della crescente diffusione della tecnologia LED:

- scenario 1: Edifici con impianti tradizionali (utilizzano tecnologie tipiche della fine degli anni 1990 – inizio 2000)
- scenario 2: Edifici con prevalenza di impianti tradizionali, ma in cui siano stati realizzati parziali interventi di retrofit con le migliori tecnologie disponibili, ovvero con apparecchi a LED (80% tradizionali – 20% nuovi)
- scenario 3: Edifici in cui sussistano per metà impianti tradizionali e per metà impianti realizzati con le migliori tecnologie disponibili (apparecchi a LED)
- scenario 4: Edifici in cui siano stati realizzati interventi di retrofit complessivo degli impianti di illuminazione utilizzando soluzioni basati sulle migliori tecnologie disponibili (apparecchi a LED).

Per ogni scenario si è proceduto quindi a definire le densità di potenza installata per l'illuminazione funzionale di ogni ambiente, input necessario per il calcolo del fabbisogno di energia per l'illuminazione degli edifici.

I 4 scenari sopra delineati sono stati considerati, in toto o in parte, per l'edificio per uffici e per la scuola, essendo queste le tipologie di edifici pubblici per i quali risultano più diffusi interventi di retrofit sugli impianti di illuminazione. La Tabella 7 mostra in dettaglio quali scenari siano stati applicati per ciascuna tipologia di edificio.

Tabella 7 – Schema degli scenari di integrazione fra impianti di illuminazione tradizionali e a LED nei diversi edifici-tipo analizzati.

Edificio tipo	Scenario 1 100% tradizionali	Scenario 2 80% tradizionali 20% LED	Scenario 3 50% tradizionali 50% LED	Scenario 4 100% LED
Edificio per uffici	✓	✓	✓	✓
Scuola	✓		✓	✓
Residenza	✓			
Ospedale	✓			

Partendo dagli edifici così identificati, nell'ottica di testare il software di calcolo LENICALC ENEA v1 e in generale di validare il metodo di calcolo del LENI si prevedere di far variare alcune caratteristiche dei diversi edifici tipo in modo da verificare la sensibilità del metodo e la correttezza nel calcolo del software. A titolo di esempio verranno variate: latitudine e caratteristiche climatiche, orientamento; dimensioni delle aperture; fattore di trasmissione luminosa del vetro; tipologia e dimensioni di ostruzioni esterne; tipologia di schermature mobili; tipologia di sistema di controllo; etc.

Di seguito si riportano i dati relativi agli edifici di riferimento per:

- uffici
- scuole
- residenze
- ospedali.

7.1 Edificio per uffici

Per la definizione di un edificio per uffici campione, si trovano in letteratura alcuni studi che possono costituire un utile riferimento. Ad esempio, il Department of Energy degli Stati Uniti ha definito, in un abaco di 16 edifici di riferimento con varia destinazione d'uso, 3 tipologie di edifici per uffici (URL on-line: <http://energy.gov/eere/buildings/commercial-reference-buildings>):

- edificio per uffici di piccole dimensioni, ad 1 piano FT, con una superficie di pavimento pari a 1650 m²
- edificio per uffici di medie dimensioni, a 3 piani FT, con una superficie di pavimento totale pari a 16000 m² ca (superficie di pavimento per ogni piani: 5400 m² ca)
- edificio per uffici di medie dimensioni, a 12 piani FT, con una superficie di pavimento totale pari a 150000 m² ca (superficie di pavimento per ogni piani: 12500 m² ca).

Oltre a queste indicazioni di carattere generale, relative alle dimensioni di massima di superficie di pavimento e di numero di piani, ma che non forniscono indicazioni sul layout e sulle dimensioni e caratteristiche architettoniche dei singoli ambienti, si è fatto riferimento ad alcuni precedenti studi svolti per ENEA:

- 1) "analisi statistica sul parco edilizio non residenziale e sviluppo di modelli di calcolo semplificati" (a cura di Marco Citterio, Report RSE/2009/161) [24]
- 2) "metodologia per la determinazione delle caratteristiche strutturali ed impiantistiche di 'Edifici Tipo' del Parco Edilizio Nazionale ad uso ufficio e Valutazione del Potenziale di Risparmio energetico sulla base della fattibilità degli interventi di riqualificazione energetica" (a cura di Francesca Margiotta, Report RdS/2010/197) [34].

In entrambi i report, si fa riferimento in particolare ad un edificio per ufficio di medie dimensioni, che "rappresenta una tipologia di edificio che ha iniziato a imporsi a partire dagli anni '70, contraddistinto da una struttura in cemento armato alternata ad ampie superfici vetrate [24]". La pianta del piano-tipo dell'edificio, riportata in Figura 18, presenta un nucleo centrale con i servizi e l'accesso del blocco scale e ascensori, con gli spazi ad uso ufficio lungo tutto il perimetro dell'edificio. Risultano dunque degli uffici perimetrali aventi 4 diversi orientamenti. Le dimensioni del piano-tipo sono 30 m * 16 m, pari a 4800 m², un valore confrontabile con la dimensione dell'edificio per ufficio di media grandezza definito dal DOE.

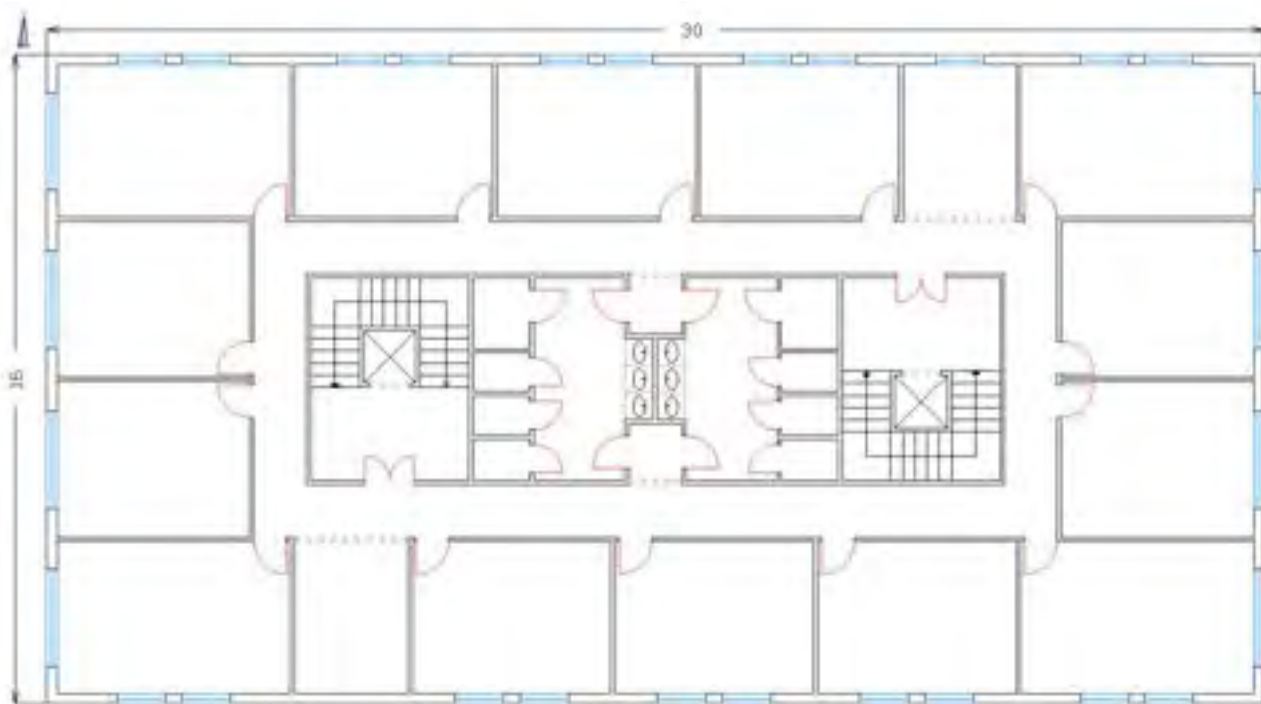


Figura 18 – Edificio per uffici tipo di medie dimensioni (superficie del piano tipo: 30 m * 16 m) definito in [24].

In questo studio il piano tipo dell'edificio per uffici di media dimensione, definito in precedenza, è stato parzialmente modificato per realizzare ambienti di diversa profondità e dimensione (uffici cellulari e uffici open-space), nell'ottica di includere un maggior numero di variabili per la validazione del software di calcolo del LENI. Per la definizione delle funzioni e delle relative superfici di riferimento si è fatto riferimento a studi svolti in ambito europeo [24].

Nelle schede seguenti sono riportati i dati assunti per la caratterizzazione dell'edificio, del piano tipo e delle soluzioni tecnologiche attinenti al calcolo del fabbisogno di energia per l'illuminazione (soluzioni relative al sistema di illuminazione naturale – vetri e schermi; e soluzioni relative all'impianto di illuminazione artificiale – potenze installate e soluzioni di controllo).

Per la descrizione delle caratteristiche degli impianti di illuminazione si sono distinte le soluzioni impiantistiche, e quindi le tipologie di apparecchi di illuminazione, per ambienti di lavoro/ristoro e per ambienti distributivi/bagni. Inoltre, per ciascun raggruppamento di ambienti vengono presentate le caratteristiche di apparecchi tradizionali (relativi ad edifici esistenti) e apparecchi a LED (potenzialmente presenti in edifici in cui siano stati realizzati interventi parziali o globali di retrofit).

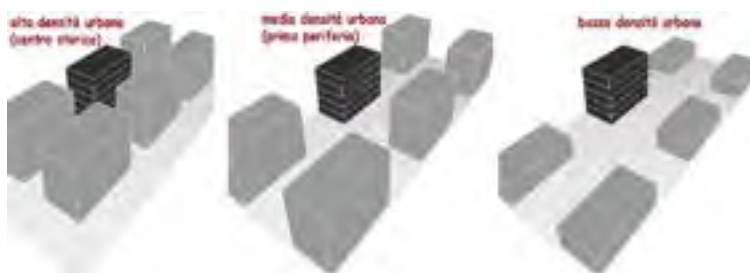
EDIFICIO PER UFFICI TIPO

La pianta del piano-tipo dell'edificio presenta un core centrale con i servizi e l'accesso del blocco scale e ascensori, con gli spazi ad ufficio tutto intorno. Risultano dunque degli uffici perimetrali aventi 4 diversi orientamenti. Le dimensioni del piano-tipo sono 34 m * 16 m, pari a 544 m².

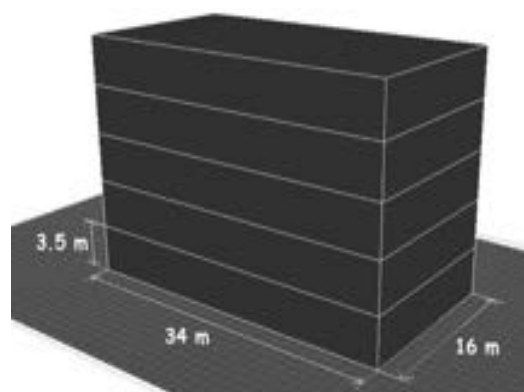
CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE

Numero di piani fuori terra: 5
Superficie in pianta di un piano: 544 m²
Superficie in pianta complessiva: 2176 m²
Altezza interpiano: 3.5 m
Altezza netta degli ambienti: 2.7 m

schema di inserimento dell'edificio in 3 contesti



schema volumetrico dell'edificio



CARATTERISTICHE FUNZIONALI

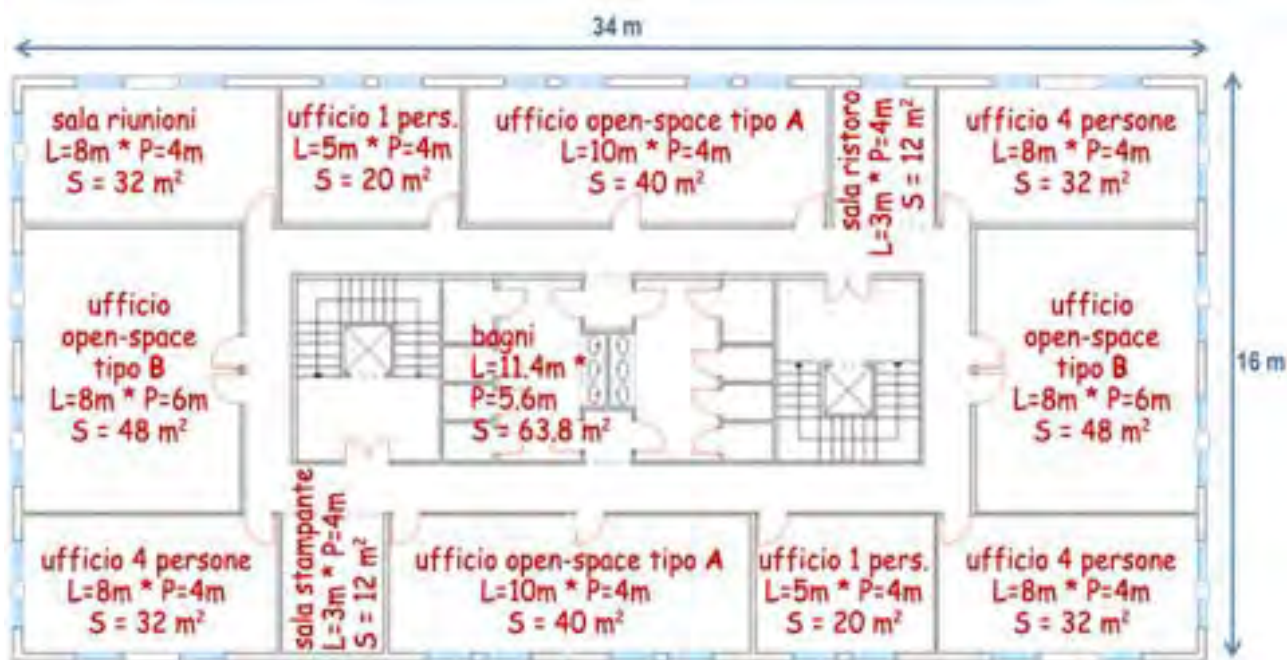
Tipi di ambienti, percentuale di superficie di pavimento occupata rispetto alla superficie totale di piano, requisito di illuminamento medio mantenuto secondo la norma UNI EN 12464-1:2011 [12] (E_{task} , $E_{surround}$, $E_{background}$) e ponderato in base ai pesi proposti in [32] (E_{medio}).

tipologia di ambiente	area rispetto al totale [%]	E_{task} [lx]	$E_{surround}$ [lx]	$E_{background}$ [lx]	E_{medio} [lx]
Uffici cellulari	25.0	500	300	100	400
Uffici open-space	32.4	500	300	100	460
Sala riunioni	5.9	500	300	100	460
Sala stampante/fotocopie/server	4.4	200	150	50	185
Reception/spazi di distribuzione	20.6	100 ^(*)	-	-	100
bagni comuni, guardaroba, docce	11.7	200	150	50	185

^(*) ambienti in cui non è applicabile la distinzione fra 'task', 'surround' e 'background', in quanto l'intera area è, di fatto, sede del 'task'.

Profilo di utilizzo: dalle 8:00 alle 17:00, tutti i giorni esclusi i weekend.

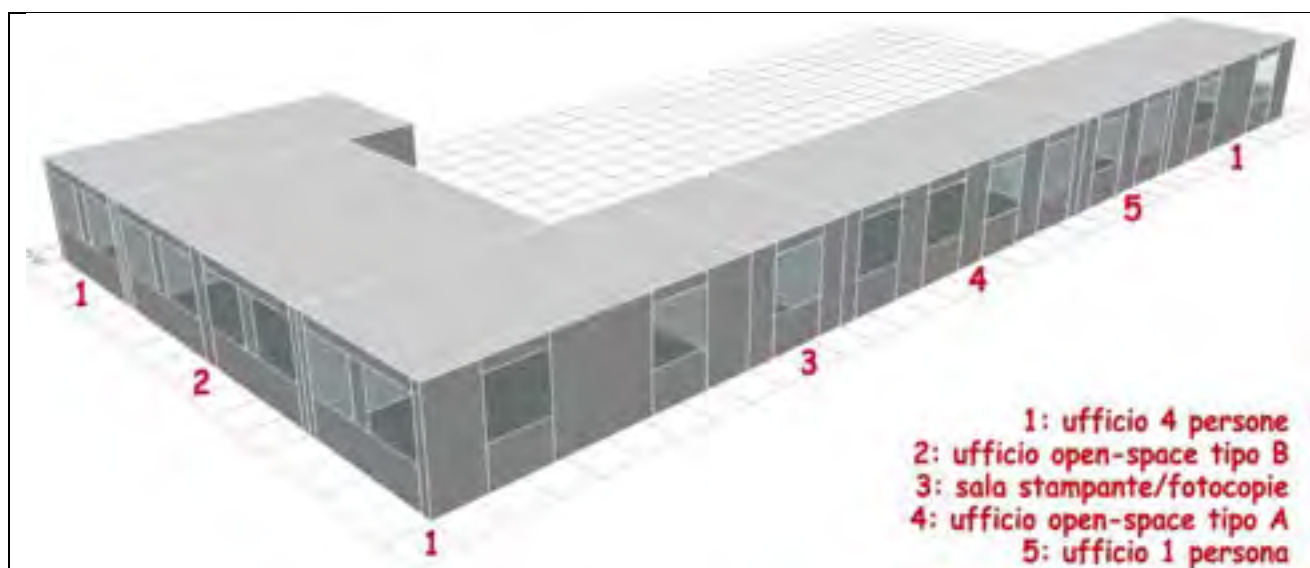
CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE DEL PIANO-TIPO



Dimensioni degli ambienti e delle relative superfici finestate.

ambiente	L_{room} [m]	P_{room} [m]	S_{room} [m ²]	% area	finestre #	L_w [m]	H_w [m]	$S_{w,tot}$ [m ²]	WWR [-]	WFR [-]
ufficio 1 persona (x2)	5	4	20	7.4	2	1.5	1.4	4.2	0.31	0.21
ufficio 4 persone (x3) (ambiente d'angolo)	4	8	32	17.6	2	1.5	1.4	8.4	0.25	0.26
ufficio open-space A (x2)	10	4	40	14.7	4	1.5	1.4	8.4	0.31	0.21
ufficio open-space B (x2)	8	6	48	17.6	4	1.5	1.4	8.4	0.39	0.18
sala riunioni (ambiente d'angolo)	4	8	32	5.9	2	1.5	1.4	8.4	0.25	0.26
sala stampante/fotocop.	3	4	12	2.2	1	1.5	1.4	2.1	0.26	0.18
sala ristoro	3	4	12	2.2	1	1.5	1.4	2.1	0.26	0.18
bagni comuni	11.4	5.6	63.8	11.7						
spazi distribuzione			112.2	20.6						

Legenda: L_{room} = larghezza dell'ambiente; P_{room} = profondità dell'ambiente; S_{room} = superficie dell'ambiente; % area = superficie dell'ambiente espresso come percentuale rispetto alla superficie totale del piano tipo; L_w = larghezza della finestra; P_{room} = profondità della finestra; $S_{w,tot}$ = superficie finestrata totale dell'ambiente; WWR = Window-to-Wall Ratio = area finestrata totale/area del muro (o dei muri) contenente le finestre; WFR = Window-to-Floor Ratio = area finestrata totale/area di pavimento dell'ambiente.



Schema degli ambienti ad uso ufficio inseriti nel piano-tipo e delle relative superfici finestate.

Fattori di riflessione luminosa di soffitto, pareti e pavimento: 70%, 50%, 20%, rispettivamente.

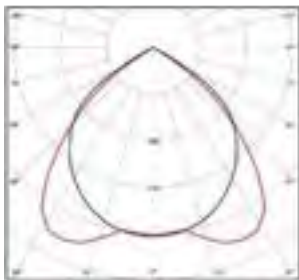
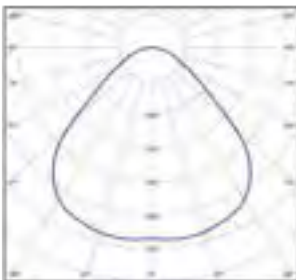
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE - SISTEMA DI ILLUMINAZIONE NATURALE

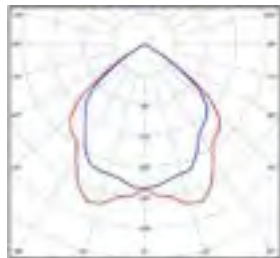
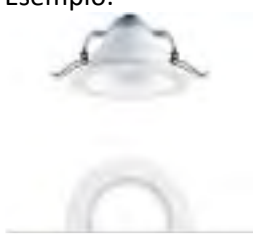
Componente trasparente:

vetrocamera chiaro-chiaro;
 fattore di trasmissione luminosa $TL = 0.70$
 frazione telaio: 0.30

Componente schermante:

l'edificio non è dotato di schermi fissi (quali aggetti, mensole verticali); ogni ambiente è invece dotato di un sistema di schermatura mobile a controllo manuale da parte dell'utenza (tipo tenda o veneziana).

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE																																																			
Installazione apparecchi: incassati o a plafone																																																			
Modalità di distribuzione della luce: DIRETTA																																																			
IMPIANTI TRADIZIONALI		IMPIANTI CON TECNOLOGIA A LED																																																	
Ambienti ufficio - sale riunioni - spazi ristoro e fotocopie																																																			
APPARECCHIO DI ILLUMINAZIONE																																																			
Indicatrice fotometrica	Esempio:	Indicatrice fotometrica	Esempio:																																																
																																																			
Rendimento luminoso: 75%		Rendimento luminoso: 75%																																																	
SORGENTE LUMINOSA																																																			
Fluorescente lineare T8 Efficienza luminosa : 75 lm/W Resa del colore: 80 TCC 4000 K		LED Efficienza luminosa: 148 lm/W Resa del colore: 80 TCC 4000 K																																																	
REATTORE																																																			
Convenzionale classe A2 Rendimento: 84.2%		Elettronico dimmerabile Rendimento: 90%																																																	
Efficienza del sistema: 47.36 lm/W		Efficienza del sistema: 100 lm/W																																																	
SISTEMA DI CONTROLLO																																																			
Manuale on/off		Manuale on/off + regolazione del flusso luminoso in base alla luce diurna																																																	
POTENZA COMPLESSIVA (P) E DENSITA' DI POTENZA (LPD)																																																			
<table><thead><tr><th></th><th>P [W]</th><th>LPD [W/m²]</th></tr></thead><tbody><tr><td>ufficio 1 persona (x2)</td><td>259</td><td>13.0</td></tr><tr><td>ufficio 4 persone (x3)</td><td>393</td><td>12.3</td></tr><tr><td>ufficio open-space A (x2)</td><td>557</td><td>13.9</td></tr><tr><td>ufficio open-space B (x2)</td><td>643</td><td>13.4</td></tr><tr><td>sala riunioni</td><td>452</td><td>14.1</td></tr><tr><td>sala stampante/fotoc.</td><td>69</td><td>5.8</td></tr><tr><td>sala ristoro</td><td>69</td><td>5.8</td></tr></tbody></table>			P [W]	LPD [W/m²]	ufficio 1 persona (x2)	259	13.0	ufficio 4 persone (x3)	393	12.3	ufficio open-space A (x2)	557	13.9	ufficio open-space B (x2)	643	13.4	sala riunioni	452	14.1	sala stampante/fotoc.	69	5.8	sala ristoro	69	5.8	<table><thead><tr><th></th><th>P [W]</th><th>LPD [W/m²]</th></tr></thead><tbody><tr><td>ufficio 1 persona (x2)</td><td>184</td><td>9.2</td></tr><tr><td>ufficio 4 persone (x3)</td><td>194</td><td>6.0</td></tr><tr><td>ufficio open-space A (x2)</td><td>275</td><td>6.9</td></tr><tr><td>ufficio open-space B (x2)</td><td>316</td><td>6.6</td></tr><tr><td>sala riunioni</td><td>223</td><td>7.0</td></tr><tr><td>sala stampante/fotoc.</td><td>35</td><td>2.9</td></tr><tr><td>sala ristoro</td><td>35</td><td>2.9</td></tr></tbody></table>			P [W]	LPD [W/m²]	ufficio 1 persona (x2)	184	9.2	ufficio 4 persone (x3)	194	6.0	ufficio open-space A (x2)	275	6.9	ufficio open-space B (x2)	316	6.6	sala riunioni	223	7.0	sala stampante/fotoc.	35	2.9	sala ristoro	35	2.9
	P [W]	LPD [W/m²]																																																	
ufficio 1 persona (x2)	259	13.0																																																	
ufficio 4 persone (x3)	393	12.3																																																	
ufficio open-space A (x2)	557	13.9																																																	
ufficio open-space B (x2)	643	13.4																																																	
sala riunioni	452	14.1																																																	
sala stampante/fotoc.	69	5.8																																																	
sala ristoro	69	5.8																																																	
	P [W]	LPD [W/m²]																																																	
ufficio 1 persona (x2)	184	9.2																																																	
ufficio 4 persone (x3)	194	6.0																																																	
ufficio open-space A (x2)	275	6.9																																																	
ufficio open-space B (x2)	316	6.6																																																	
sala riunioni	223	7.0																																																	
sala stampante/fotoc.	35	2.9																																																	
sala ristoro	35	2.9																																																	

Spazi di distribuzione – bagni																					
APPARECCHIO DI ILLUMINAZIONE																					
Indicatrice fotometrica 	Esempio: 	Indicatrice fotometrica 	Esempio: 																		
Rendimento luminoso: 41%		Rendimento luminoso: 53%																			
SORGENTE LUMINOSA																					
Fluorescente compatta Efficienza luminosa: 66 lm/W Resa del colore: 80 TCC 3000 K		LED Efficienza luminosa: 148 lm/W Resa del colore: 80 TCC 4000 K																			
REATTORE																					
Convenzionale classe A2 Rendimento: 84.2%		Elettronico dimmerabile Rendimento: 90%																			
Efficienza sistema: 22.78 lm/W		Efficienza sistema: 71 lm/W																			
SISTEMA DI CONTROLLO																					
Manuale on/off		Manuale on/off (spazi di distribuzione); On-off automatico con sensore di occupazione (bagni)																			
POTENZA ELETTRICA COMPLESSIVA (P) E DENSITA' DI POTENZA ELETTRICA (LPD)																					
<table><tr><td></td><td>P [W]</td><td>LPD [W/m²]</td></tr><tr><td>bagni comuni</td><td>1514</td><td>23.7</td></tr><tr><td>spazi distribuzione</td><td>1543</td><td>13.8</td></tr></table>			P [W]	LPD [W/m²]	bagni comuni	1514	23.7	spazi distribuzione	1543	13.8	<table><tr><td></td><td>P [W]</td><td>LPD [W/m²]</td></tr><tr><td>bagni comuni</td><td>621</td><td>9.7</td></tr><tr><td>spazi distribuzione</td><td>596</td><td>5.3</td></tr></table>			P [W]	LPD [W/m²]	bagni comuni	621	9.7	spazi distribuzione	596	5.3
	P [W]	LPD [W/m²]																			
bagni comuni	1514	23.7																			
spazi distribuzione	1543	13.8																			
	P [W]	LPD [W/m²]																			
bagni comuni	621	9.7																			
spazi distribuzione	596	5.3																			

SCENARI DI INTEGRAZIONE TRA IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE TRADIZIONALI E A LED
Scenario 1: si suppone che tutti gli impianti siano di tipo tradizionale (100% FLUO) Scenario 2: si suppone che siano stati realizzati interventi di retrofit sugli impianti di illuminazione degli spazi distributivi, mentre il resto sia di tipo tradizionale (20% LED – 80% FLUO) Scenario 3: si suppone che siano stati realizzati interventi di retrofit sugli impianti degli uffici, mantenendo i restanti ambienti con impianti tradizionali (50% LED – 50% FLUO) Scenario 4: corrisponde ad una situazione in cui tutti gli impianti siano stati sostituiti con impianti a LED (100% LED). Di seguito si riportano le densità di potenza elettrica (LPD) corrispondenti ai diversi ambienti, per i differenti scenari ipotizzati.

Ambiente	Scenario 1 FLUO 100% LPD [W/m ²]	Scenario 2 FLUO 80% LED 20% LPD LPD [W/m ²]	Scenario 3 FLUO 50% LED 50% LPD LPD [W/m ²]	Scenario 4 LED 100% LPD [W/m ²]
ufficio 1 persona	13.0	13.0	9.2	9.2
ufficio 4 persone	12.3	12.3	6.0	6.0
ufficio open-space A	13.9	13.9	6.9	6.9
ufficio open-space B	13.4	13.4	6.6	6.6
sala riunioni	14.1	14.1	14.1	7.0
sala stampante/fotoc.	5.8	5.8	5.8	2.9
sala ristoro	5.8	5.8	5.8	2.9
bagni comuni	23.7	23.7	23.7	9.7
spazi distribuzione	13.8	5.3	13.8	5.3
LPD media intero piano [W/m²]	14.8	12.5	10.6	6.7

7.2 Edificio scolastico

In relazione all'edificio scolastico, si trovano in letteratura alcuni studi che possono costituire dei riferimenti di partenza per la definizione di un edificio "tipo". In particolare, in questo senso si possono citare:

- uno studio preparato dal CRESME per ENEA, intitolato "Miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici pubblici – volume 1: lo studio" [28], che riporta una dettagliata analisi della situazione del patrimonio di edilizia scolastica di 4 regioni del Sud Italia
- un report ENEA, intitolato "Ricerca sistema elettrico - Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici), applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani" [35], che analizza le principali caratteristiche di 103 scuole dell'area torinese.

A differenza di quanto non si sia potuto riscontrare per l'edificio per uffici, per l'ufficio scolastico non viene definito in dettaglio il layout di una pianta da poter assumere come riferimento. Tuttavia, dagli studi sopra riportati si possono desumere una serie di informazioni utili: ad esempio come il numero di piani degli edifici scolastici sia nella maggioranza dei casi (53%) fra i 3 e i 5 piani FT), con una prevalenza di vetri doppi (64% dei casi) e di schermi costituiti da tapparelle, persiane e tende veneziane [28]. Lo studio Enea [35] invece specifica come la superficie complessiva degli istituti scolastici dell'area torinese sia principalmente compresa fra i 3000 e i 5000 m² (21% dei casi), seguita da edifici di oltre 11000 m² (15% dei casi).

In mancanza di un edificio tipo già in qualche modo standardizzato ai fini dei calcoli dei consumi energetici (per illuminazione, ma non solo), si è dunque guardato alle prescrizioni normative vigenti in Italia per la progettazione di edifici scolastici, nonché ad un manuale di progettazione architettonica:

- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 22 maggio 1967, n. 3151, "Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione nelle costruzioni edilizie" [36]
- Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975, "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica" [37].
- "Quaderni del manuale di progettazione edilizia - L'edilizia scolastica, universitaria e per la ricerca", edito dalla Hoepli [38].

Quest'analisi ha permesso definire sia alcune caratteristiche architettoniche dell'edificio (quali ad esempio il numero di piani FT – 3 - o l'altezza di ogni piano – 3.5 m di interpiano con 3 m di altezza netta degli ambienti – o ancora la dimensione tipo di un'aula – 7 m * 7 m – e le dimensioni delle superfici finestrate – 2.5 m * 1.5 m, 2 finestre per aula), sia le funzioni da inserire nei vari spazi al suo interno. In questo senso, è emerso come ci sia una distinzione netta fra il piano terra (1° piano FT) e gli altri 2 piani (2° e 3° piano FT): al piano terra vengono infatti principalmente concentrate le funzioni amministrative o di supporto alla didattica (comprendenti gli uffici, l'archivio, la sala docenti, la biblioteca), mentre nei piani soprastanti vengono collocati gli ambienti ad uso didattico (aule e laboratori).

L'edificio scolastico tipo è dimensionato per ospitare 500 studenti, divisi in 20 classi (25 studenti per classe). L'edificio è stato pertanto definito come un edificio a stecca, di 3 piani fuori terra, con pianta a doppia manica, sviluppata intorno ad un corridoio centrale, con due blocchi con servizi e scale e ascensori in posizione simmetrica. I vari ambienti ad uso didattico e amministrativo risultano dunque avere un doppio orientamento. Le dimensioni del piano-tipo sono 77 m * 17 m, pari a 1309 m².

Nelle schede seguenti sono riportati i dati assunti per la caratterizzazione dell'edificio, del piano tipo e delle soluzioni tecnologiche attinenti al calcolo del fabbisogno di energia per l'illuminazione (soluzioni relative al sistema di illuminazione naturale – vetri e schermi; e soluzioni relative all'impianto di illuminazione artificiale – potenze installate e soluzioni di controllo).

Anche nel caso dell'edificio scolastico, per la descrizione delle caratteristiche degli impianti di illuminazione si sono distinte le soluzioni impiantistiche, e quindi le tipologie di apparecchi di illuminazione, per ambienti didattici/uffici/biblioteca/archivi e per ambienti distributivi/bagni. Inoltre, per ciascun raggruppamento di ambienti vengono presentate le caratteristiche di apparecchi tradizionali (relativi ad edifici esistenti) e apparecchi a LED (potenzialmente presenti in edifici in cui siano stati realizzati interventi parziali o globali di retrofit).

EDIFICIO SCOLASTICO TIPO

L'edificio scolastico è un edificio a stecca, alto 3 piani FT. Le dimensioni in pianta sono di 77 m * 17 m, pari a 1309 m². Le aule e i laboratori sono concentrati nel 2° e nel 3° piano FT, mentre gli ambienti amministrativi sono collocati al piano terra (1° FT). Entrambe le tipologie di piano sono presentate nella scheda. Il piano-tipo è stato orientato con asse longitudinale in direzione Est-Ovest, per cui le aule scolastiche risultano esposte a Nord e a Sud.

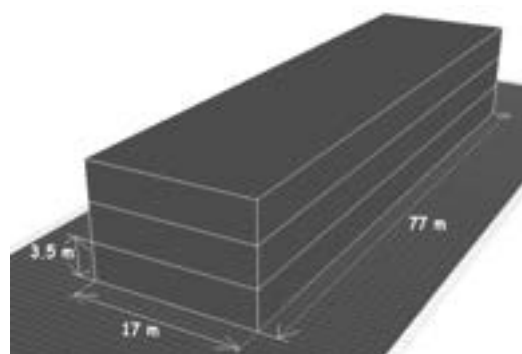
CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE

Numero di piani fuori terra: 3
Superficie in pianta di un piano: 1309 m²
Superficie in pianta complessiva: 3927 m²
Altezza interpiano: 3.5 m
Altezza netta degli ambienti: 3 m

schema di inserimento dell'edificio in 3 contesti



schema volumetrico dell'edificio



CARATTERISTICHE FUNZIONALI

Tipi di ambienti, percentuale di superficie di pavimento occupata rispetto alla superficie totale di piano e requisito di illuminamento medio mantenuto secondo la norma UNI EN 12464-1:2011 [12] (E_{task} , $E_{surround}$, $E_{background}$) e ponderato in base ai pesi proposti in [32] (E_{medio}).

Piano 1° FT

tipologia di ambiente	area rispetto al totale [%]	E_{task} [lx]	$E_{surround}$ [lx]	$E_{background}$ [lx]	E_{medio} [lx]
Aule-laboratorio VDT e lingue (tipo 1)	11.2	500	300	100	460
Aule-laboratorio per attività pratiche (tipo 2)	15.0	300	200	67	280
Uffici singoli	9.6	500	300	100	400
Uffici open-space	3.2	500	300	100	460
Sala docenti	3.7	300	200	67	280
Archivio	3.7	200	150	50	185
Biblioteca	11.2	500	200	67	277
Atrio/spazi di distribuzione	34.8	100	100	100	100
Bagni comuni, guardaroba, docce	7.5	200	150	50	185

Piano 2° e 3° FT

tipologia di ambiente	area rispetto al totale [%]	E_{task} [lx]	$E_{surround}$ [lx]	$E_{background}$ [lx]	E_{medio} [lx]
Aule	37.4	300	200	67	280
Aule-laboratorio VDT e lingue (tipo 1)	22.5	500	300	100	460
Aule-laboratorio per attività pratiche (tipo 2)	7.5	300	200	67	280
Spazi di distribuzione	25.1	100	100	100	100
Bagni comuni, guardaroba, docce	7.5	200	150	50	185

Intero edificio (1°-2°-3° FT)

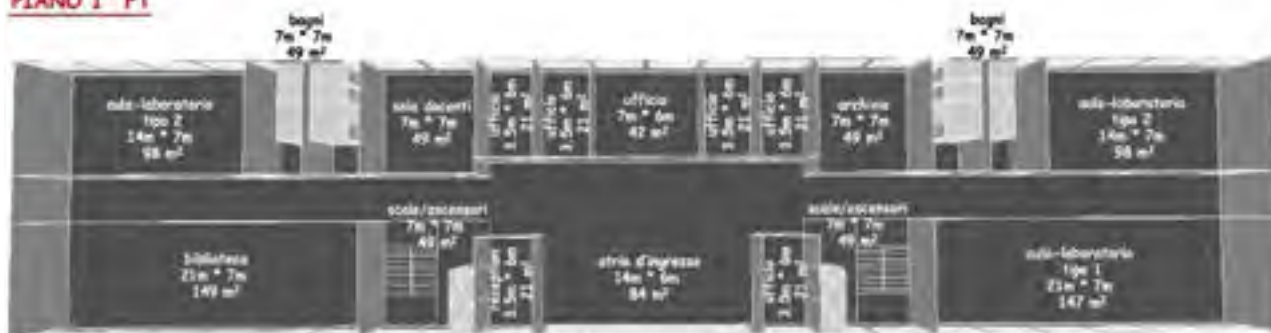
- aule	25.0%
- aule-laboratorio:	28.7%
- uffici/biblioteca/archivio	10.5%
- spazi di distribuzione:	28.3%
- bagni comuni:	7.5%.

Profilo di utilizzo: dalle 7:30 alle 16:30, tutti i giorni esclusi i weekend.

CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE DEL PIANO-TIPO

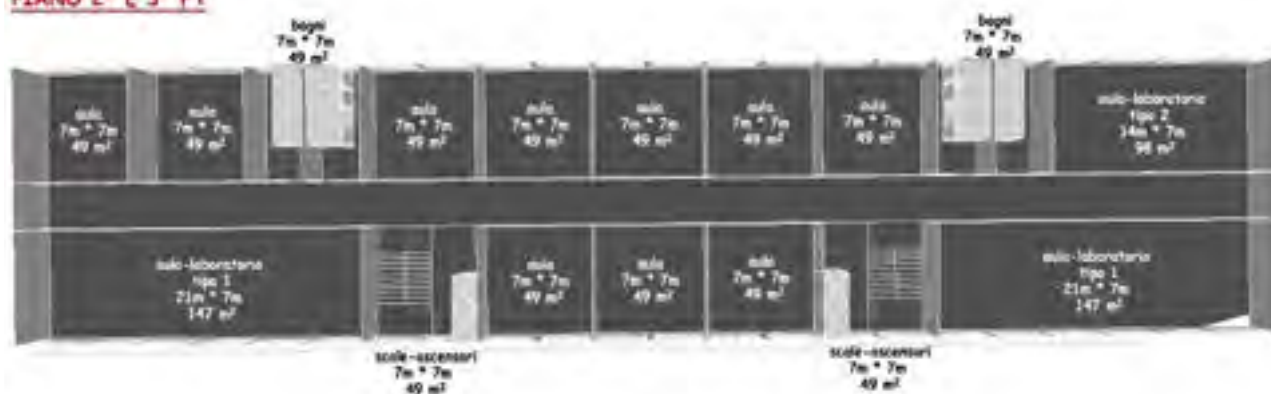
Piano primo fuori terra (funzioni principali: atrio, uffici amministrativi, biblioteca)

PIANO 1° FT



Piano 2° e 3° fuori terra (funzioni principali: aule e laboratori)

PIANO 2° E 3° FT



Dimensioni degli ambienti e delle relative superfici finestate.

Piano 1° FT

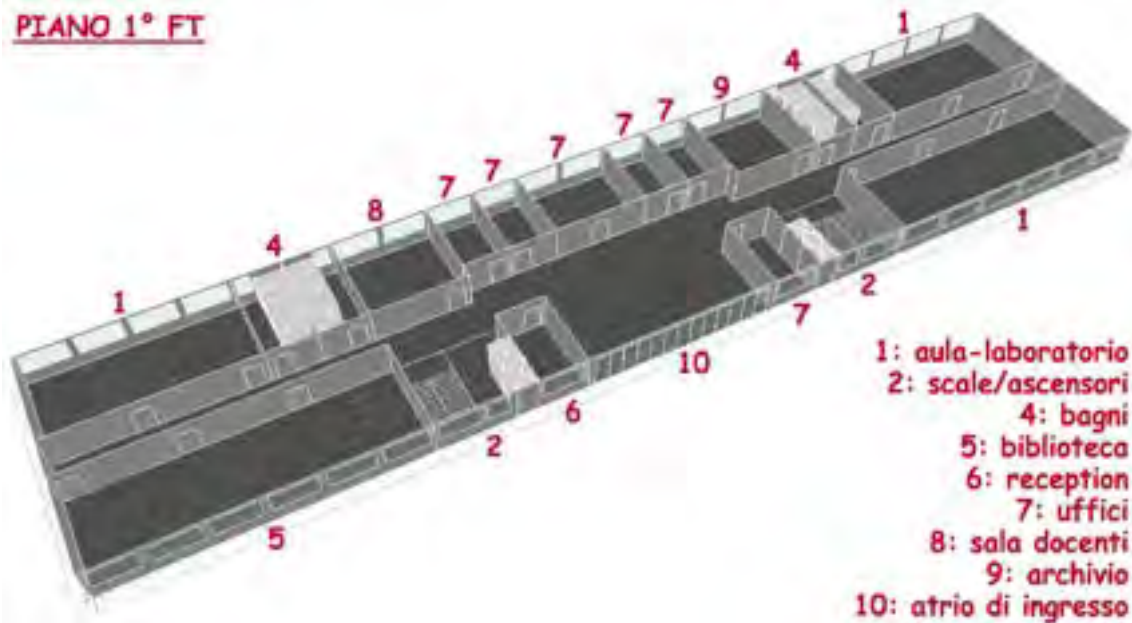
ambiente	L _{room} [m]	P _{room} [m]	S _{room} [m ²]	% area	finestre			S _{w,tot} [m ²]	WWR [-]	WFR [-]
					#	L _w [m]	H _w [m]			
Aule-laboratorio 1	21	7	147	11.2	2	3	1.6	9.6	0.15	0.07
Aule-laboratorio 2 (x2)	14	7	196	15.0	2	3	1.6	9.6	0.23	0.10
Uffici singoli (x6)	3.5	6	126	9.6	1	3	1.6	4.8	0.46	0.23
Ufficio open-space	7	6	42	3.2	2	3	1.6	9.6	0.46	0.23
Sala docenti	7	7	49	3.7	2	3	1.6	9.6	0.46	0.20
Archivio	7	7	49	3.7	2	3	1.6	9.6	0.46	0.20
Biblioteca	21	7	147	11.2	2	3	1.6	9.6	0.15	0.07
Atrio	14	6	84	6.4	13	1	1.6	20.8	0.50	0.25
Bagni comuni	7	7	98	7.5	2	3	1.6	9.6	0.46	0.20
Scale/ascensori	7	7	98	7.5	1	3	1.6	4.8	0.23	0.10
Corridoio	77	3	231	17.6						
	21	2	42	3.2						

Piano 2° e 3° FT

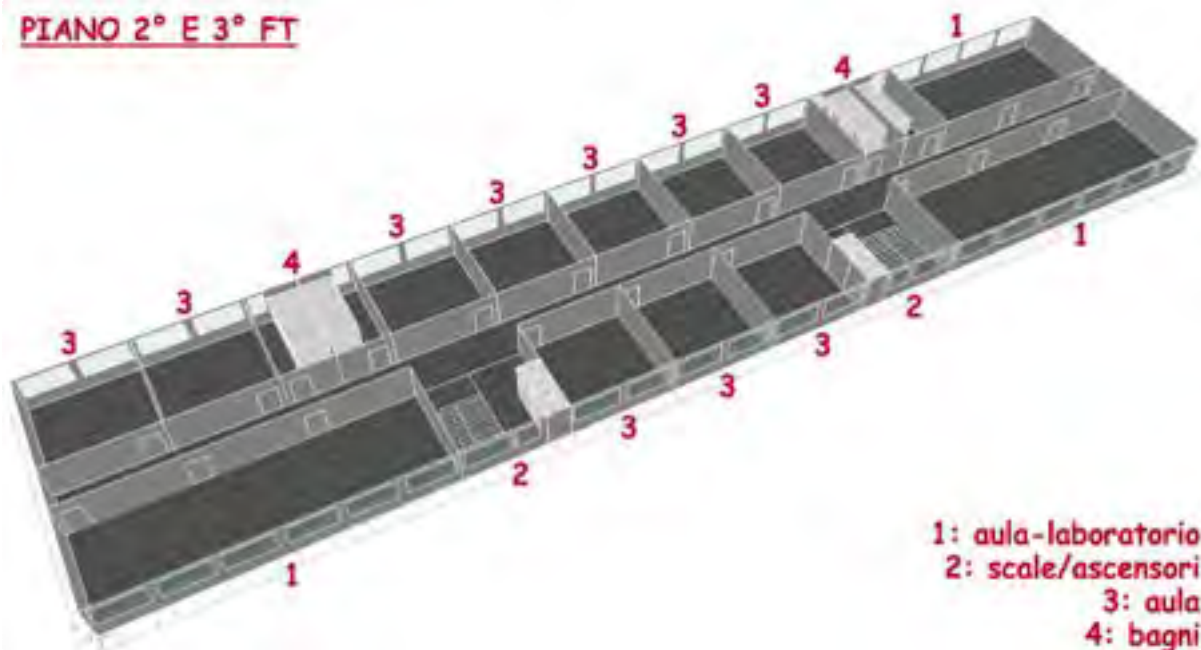
ambiente	L _{room} [m]	P _{room} [m]	S _{room} [m ²]	% area	finestre			S _{w,tot} [m ²]	WWR [-]	WFR [-]
					#	L _w [m]	H _w [m]			
Aule (x10)	7	7	490	37.4	2	3	1.6	9.6	0.46	0.20
Aule-laboratorio 1 (x2)	21	7	294	22.5	6	3	1.6	28.8	0.46	0.20
Aule-laboratorio 2	14	7	98	7.5	4	3	1.6	19.2	0.46	0.20
Bagni comuni	7	7	98	7.5	1	1	1.6	1.6	0.08	0.03
Scale/ascensori	7	7	98	7.5	1.5	3	1.6	7.2	0.34	0.15
Corridoio	77	3	231	17.6						

Legenda: L_{room} = larghezza dell'ambiente; P_{room} = profondità dell'ambiente; S_{room} = superficie dell'ambiente; % area = superficie dell'ambiente espresso come percentuale rispetto alla superficie totale del piano tipo; L_w = larghezza della finestra; P_{room} = profondità della finestra; S_{w,tot} = superficie finestrata totale dell'ambiente; WWR = Window-to-Wall Ratio = area finestrata totale/area del muro (o dei muri) contenente le finestre; WFR = Window-to-Floor Ratio = area finestrata totale/area di pavimento dell'ambiente.

PIANO 1° FT



PIANO 2° E 3° FT



Schema degli ambienti ad uso ufficio inseriti nel piano-tipo e delle relative superfici finestate.

Fattori di riflessione luminosa di soffitto, pareti e pavimento: 70%, 50%, 20%, rispettivamente.

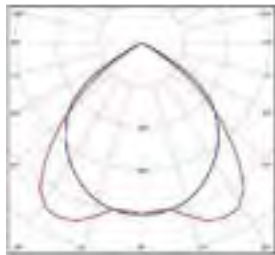
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE - SISTEMA DI ILLUMINAZIONE NATURALE

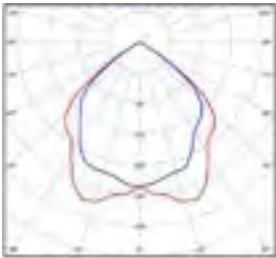
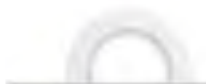
Componente trasparente:

vetrocamera chiaro-chiaro;
fattore di trasmissione luminosa $TL = 0.70$
frazione telaio: 0.30

Componente schermante:

l'edificio non è dotato di schermi fissi (quali aggetti, mensole verticali); ogni ambiente è invece dotato di un sistema di schermatura mobile a controllo manuale da parte dell'utenza (tipo tapparella o veneziana).

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE					
Installazione apparecchi: incassati o a plafone					
Modalità di distribuzione della luce: DIRETTA					
IMPIANTI TRADIZIONALI		IMPIANTI CON TECNOLOGIA A LED			
Aule e laboratori didattici – uffici – sala docenti – biblioteca - archivio					
APPARECCHIO DI ILLUMINAZIONE					
Indicatrice fotometrica	Esempi:	Indicatrice fotometrica	Esempio:		
					
Rendimento luminoso: 75%		Rendimento luminoso: 75%			
SORGENTE LUMINOSA					
Fluorescente lineare T8 Efficienza luminosa : 75 lm/W Resa del colore: 80 TCC 4000 K		LED Efficienza luminosa: 148 lm/W Resa del colore: 80 TCC 4000 K			
REATTORE					
Convenzionale classe A2 Rendimento: 84.2%		Elettronico dimmerabile Rendimento: 90%			
Efficienza del sistema: 47.36 lm/W		Efficienza del sistema: 100 lm/W			
SISTEMA DI CONTROLLO					
Manuale on/off		Manuale on/off + regolazione del flusso luminoso in base alla luce diurna (aule) Manuale on/auto off + regolazione del flusso in base alla luce diurna (uffici, sala docenti, biblioteca, archivio)			
POTENZA COMPLESSIVA (P) E DENSITA' DI POTENZA (LPD)					
<i>Piano 1° FT</i>		<i>Piano 1° FT</i>			
Ambiente	P [W]	LPD W/m²]	Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]
Aule-laboratorio 1	1851	12.6	Aule-laboratorio 1	1300	8.8
Aule-laboratorio 2 (x2)	828	8.4	Aule-laboratorio 2 (x2)	532	5.4
Uffici singoli (x6)	317	15.1	Uffici singoli (x6)	215	10.2
Ufficio open-space	584	13.9	Ufficio open-space	426	10.1
Sala docenti	430	8.8	Sala docenti	285	5.8
Archivio	285	5.8	Archivio	180	3.7
Biblioteca	1237	8.4	Biblioteca	774	5.3
<i>Piano 2° e 3° FT</i>		<i>Piano 2° e 3° FT</i>			
Ambiente	P [W]	LPD W/m²]	Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]
Aule (x10)	430	8.8	Aule (x10)	285	5.8
Aule-laboratorio 1 (x2)	1851	12.6	Aule-laboratorio 1 (x2)	1300	8.8
Aule-laboratorio 2	828	8.4	Aule-laboratorio 2	532	5.4

Spazi di distribuzione - bagni																											
APPARECCHIO DI ILLUMINAZIONE																											
Indicatrice fotometrica 	Esempio: 	Indicatrice fotometrica 	Esempio:  																								
Rendimento luminoso: 41%		Rendimento luminoso: 53%																									
SORGENTE LUMINOSA																											
Fluorescente compatta Efficienza luminosa: 66 lm/W Resa del colore: 80 TCC 3000 K		LED Efficienza luminosa: 148 lm/W Resa del colore: 80 TCC 4000 K																									
REATTORE																											
Convenzionale classe A2 Rendimento: 84.2%		Elettronico dimmerabile Rendimento: 90%																									
Efficienza sistema: 22.78 lm/W		Efficienza sistema: 71 lm/W																									
SISTEMA DI CONTROLLO																											
Manuale on/off		Manuale on/off (spazi di distribuzione); On-off automatico con sensore di occupazione (bagni)																									
POTENZA ELETTRICA COMPLESSIVA (P) E DENSITA' DI POTENZA ELETTRICA (LPD)																											
<i>Piano 1° FT</i> <table><tr><td>Ambiente</td><td>P [W]</td><td>LPD [W/m²]</td></tr><tr><td>Bagni comuni</td><td>1022</td><td>20.9</td></tr><tr><td>Scale/ascensori</td><td>340</td><td>6.9</td></tr><tr><td>Atrio/Corridoio</td><td>1263</td><td>4.6</td></tr></table>		Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]	Bagni comuni	1022	20.9	Scale/ascensori	340	6.9	Atrio/Corridoio	1263	4.6	<i>Piano 1° FT</i> <table><tr><td>Ambiente</td><td>P [W]</td><td>LPD [W/m²]</td></tr><tr><td>Bagni comuni</td><td>271</td><td>5.5</td></tr><tr><td>Scale/ascensori</td><td>119</td><td>2.4</td></tr><tr><td>Atrio/Corridoio</td><td>443</td><td>1.6</td></tr></table>		Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]	Bagni comuni	271	5.5	Scale/ascensori	119	2.4	Atrio/Corridoio	443	1.6
Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]																									
Bagni comuni	1022	20.9																									
Scale/ascensori	340	6.9																									
Atrio/Corridoio	1263	4.6																									
Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]																									
Bagni comuni	271	5.5																									
Scale/ascensori	119	2.4																									
Atrio/Corridoio	443	1.6																									
<i>Piano 2° e 3° FT</i> <table><tr><td>Ambiente</td><td>P [W]</td><td>LPD [W/m²]</td></tr><tr><td>Bagni comuni</td><td>1022</td><td>20.9</td></tr><tr><td>Scale/ascensori</td><td>340</td><td>6.9</td></tr><tr><td>Corridoio</td><td>1069</td><td>4.6</td></tr></table>		Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]	Bagni comuni	1022	20.9	Scale/ascensori	340	6.9	Corridoio	1069	4.6	<i>Piano 2° e 3° FT</i> <table><tr><td>Ambiente</td><td>P [W]</td><td>LPD [W/m²]</td></tr><tr><td>Bagni comuni</td><td>271</td><td>5.5</td></tr><tr><td>Scale/ascensori</td><td>119</td><td>2.4</td></tr><tr><td>Corridoio</td><td>375</td><td>1.6</td></tr></table>		Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]	Bagni comuni	271	5.5	Scale/ascensori	119	2.4	Corridoio	375	1.6
Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]																									
Bagni comuni	1022	20.9																									
Scale/ascensori	340	6.9																									
Corridoio	1069	4.6																									
Ambiente	P [W]	LPD [W/m²]																									
Bagni comuni	271	5.5																									
Scale/ascensori	119	2.4																									
Corridoio	375	1.6																									

SCENARI DI INTEGRAZIONE TRA IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE TRADIZIONALI E A LED

Scenario 1: si suppone che tutti gli impianti siano di tipo tradizionale (100% FLUO)

Scenario 3: si suppone che siano stati realizzati interventi di retrofit sugli impianti delle aule, mantenendo i restanti ambienti con impianti tradizionali (50% LED – 50% FLUO)

Scenario 4: corrisponde ad una situazione in cui tutti gli impianti siano stati sostituiti con impianti a LED (100% LED).

Di seguito si riportano le densità di potenza elettrica (LPD) corrispondenti ai diversi ambienti, per i differenti scenari ipotizzati.

Piano 1° FT

ambiente	Scenario 1 FLUO 100% LPD [W/m ²]	Scenario 3 FLUO 50% LPD [W/m ²]	LED 50% LPD [W/m ²]	Scenario 4 LED 100% LPD [W/m ²]
Aule-laboratorio 1	12.6		8.8	8.8
Aule-laboratorio 2 (x2)	8.4		5.4	5.4
Uffici singoli (x6)	15.1	15.1		10.2
Ufficio open-space	13.9	13.9		10.1
Sala docenti	8.8	8.8		5.8
Archivio	5.8	5.8		3.7
Biblioteca	8.4	8.4		5.3
Atrio	6.8	6.8		3.6
Bagni comuni	20.9	20.9		5.5
Scale/ascensori	6.9	6.9		2.4
Corridoio	4.6	4.6		1.6
LPD media intero piano [W/m²]	9.56		8.68	5.23

Piano 2° e 3° FT

ambiente	Scenario 1 FLUO 100% LPD [W/m ²]	Scenario 3 FLUO 50% LPD [W/m ²]	LED 50% LPD [W/m ²]	Scenario 4 LED 100% LPD [W/m ²]
Aule (x10)	8.8		5.8	5.8
Aule-laboratorio 1 (x2)	12.6		8.8	8.8
Aule-laboratorio 2	8.4		5.4	5.4
Bagni comuni	20.9	20.9		5.5
Scale/ascensori	6.9	6.9		2.4
Corridoio	4.6	4.6		1.6
LPD media intero piano [W/m²]	9.64		7.46	5.45

Intero edificio

LPD media intero edificio [W/m²]	9.62		7.87	5.37
--	-------------	--	-------------	-------------

7.3 Edificio residenziale

Illustrare l'ampia varietà di soluzioni tipologiche relative all'edilizia residenziale italiana dal dopoguerra ad oggi, necessiterebbe di una sistematica e approfondita ricerca per identificare soluzioni distributive e caratteristiche tecnologiche tipiche delle diverse zone del territorio nazionale.

Per limitare la gamma delle possibili soluzioni, sono state individuate alcune fonti che consentono di definire una base di partenza per la definizione di un edificio residenziale rappresentativo, almeno in parte, della vasta gamma di soluzioni tipologiche presenti a livello nazionale e regionale. In particolare si è fatto riferimento ai risultati del progetto TABULA (Typology Approach for BUiLding stock energy Assessment), finanziato dal programma europeo Intelligent Energy Europe [39]. Il progetto mira a creare una struttura armonizzata delle tipologie edilizie europee, con un particolare focus sugli edifici residenziali, al fine di rendere nota la prestazione energetica ed i potenziali di risparmio raggiungibili attraverso azioni di riqualificazione dell'involucro edilizio e degli impianti termici.

La classificazione della tipologia edilizia italiana del progetto Tabula è supportata da indicazioni ricavate a partire dai dati statistici. Alcune elaborazioni si riferiscono al territorio nazionale nel suo complesso, altre alla sola regione Piemonte, assunta come zona di riferimento per rappresentare l'area climatica definita "media", ipotizzata coincidente con la zona climatica E. Per ogni area climatica sono state individuati 8 periodi di costruzione (dagli inizi del 1900 ad oggi) [40].

Per ciascuna epoca di costruzione vengono identificate quattro classi di dimensione edilizia che si riferiscono a specifiche tipologie dimensionali:

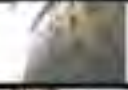
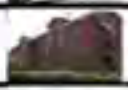
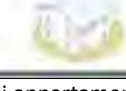
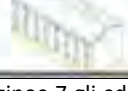
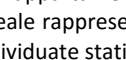
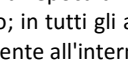
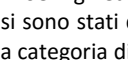
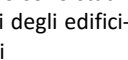
- casa monofamiliare, caratterizzata da un'unica unità immobiliare, su uno o due piani, di tipo isolato o confinante con un altro edificio
- casa a schiera, costituita da un'unica unità immobiliare, su uno o due piani, confinante con altre unità abitative
- edificio multifamiliare, edificio di ridotte dimensioni caratterizzato da un numero limitato di unità immobiliari (da 2 a 5 piani e fino a 20 appartamenti)
- blocco di appartamenti, edificio di grandi dimensioni caratterizzato da un numero elevato di unità immobiliari (più di 4 piani e più di 15 appartamenti).

L'insieme degli edifici-tipo definiti costituisce la "Matrice della Tipologia Edilizia", sviluppata per la zona climatica E e rappresentata in Figura 19.

Per ciascun edificio, di ciascuna zona climatica sono state definite le principali caratteristiche utili ai fini del calcolo della prestazione energetica relativa alla climatizzazione degli edifici. Non sono state invece definite caratteristiche quali la distribuzione funzionale degli ambienti, la loro forma e dimensione, che proprietà luminose dei componenti trasparenti e schermanti e le caratteristiche degli impianti di illuminazione artificiale con le corrispondenti potenze elettriche "tipo."

Sono state invece definite le caratteristiche dimensionali delle superfici vetrate, assunte tali da soddisfare il rapporto aeroilluminante (rapporto tra la superficie finestrata e la superficie di pavimento) non inferiore a 1/8. La superficie finestrata totale è stata inoltre suddivisa a seconda dell'orientamento:

- 0% a Nord, 40% a Sud, 30% a Est e Ovest (per le case monofamiliari e i blocchi di appartamenti).
- 40% a Nord e 60 % a Sud per le case a schiera e gli edifici multifamiliari (supponendo che gli edifici confinanti fossero collocati sui lati Est e Ovest degli edifici).

CLASSE DI DIMENSIONE EDILIZIA					
Area climatica media		CASE MONOFAMILIARI	CASE A SCHIERA	EDIFICI MULTIFAMILIARI	BLOCCHI DI APPARTAMENTI
CLASSE DI EPOCA DI COSTRUZIONE	1 Fino al 1900				
	2 1901-1920				
	3 1921-1945				
	4 1946-1960				
	5 1961-1975				
	6 1976-1990				
	7 1991-2005				
	8 Dopo il 2005				

Per gli edifici multifamigliari e i blocchi di appartamenti fino all'epoca di costruzione 7 gli edifici tipo sono stati individuati in base all'esperienza selezionando un edificio reale rappresentativo; in tutti gli altri casi sono stati definiti degli edifici-archetipo, ovvero un edificio virtuale con caratteristiche individuate statisticamente all'interno della categoria di edifici

Figura 19 - “Matrice della Tipologia Edilizia” italiana (area climatica media) con l’illustrazione degli edifici tipo [40].

Nell’ambito di questo studio, l’identificazione degli edifici di riferimento ha la duplice finalità di consentire una validazione del software di calcolo LENICALC ENEA V1 e in generale del metodo di calcolo della norma, oltre a quella di fornire indicazioni sull’indice di prestazione energetica per l’illuminazione di edifici di riferimento pubblici italiani.

In questo senso, per l’edilizia residenziale pubblica si prevede di utilizzare come edifici di riferimento i blocchi di appartamenti, identificati nel progetto TABULA e relativi alle classi di epoca storica 5 e 6 (1961-1975 e 1976-1990).

Partendo dai dati già presenti in TABULA viene ipotizzata una suddivisione del piano tipo in alloggi e quindi definito il numero e la tipologia di ambienti per ciascun alloggio.

Per quanto attiene le caratteristiche degli impianti di illuminazione, in assenza di dati statistici relativi al contesto italiano, si evidenziano i dati di densità di potenza riportati nel progetto di norma prEN 15193-1:2015 [10].

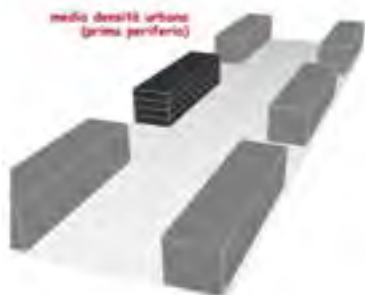
EDIFICIO RESIDENZIALE TIPO

L'edificio residenziale è un edificio a stecca, alto 5 piani FT di cui il piano terra ad uso servizi e i 4 successivi occupati da residenze. L'epoca di costruzione è tra il 1946 e il 1976. Le dimensioni lorde in pianta del piano tipo di alloggi sono di 44.2 m * 11.0 m, pari a 486 m². Nel piano tipo sono presenti 3 blocchi scala, ognuno dei quali da accesso a due alloggi per un totale di 24 alloggi. Ciascun alloggio presenta aperture vetrate verso Sud e Nord, mentre le due facciate sui fronti Est e Ovest sono considerate cieche.

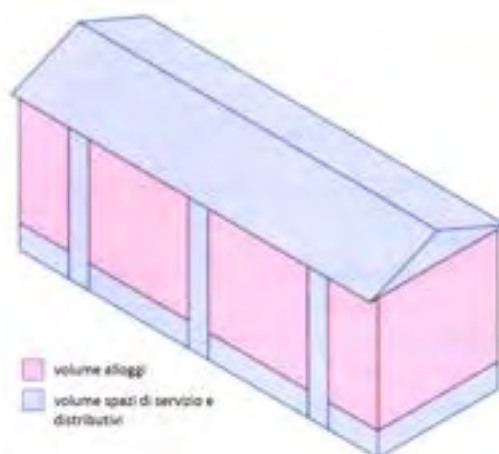
CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE

Numero di piani fuori terra: 4
Superficie lorda in pianta di un piano: 486 m²
Superficie lorda complessiva (piani alloggi): 1944 m²
Superficie netta singolo alloggio: 65 m²
Altezza interpiano: 3 m
Altezza netta degli ambienti: 2.7 m

Schema di inserimento dell'edificio nel contesto urbano



Schema volumetrico dell'edificio



CARATTERISTICHE FUNZIONALI

Tipi di ambienti, percentuale di superficie di pavimento occupata rispetto alla superficie totale di piano e requisito di illuminamento medio mantenuto secondo la norma UNI EN 12464-1:2011 [12] (E_{task} , $E_{surround}$, $E_{background}$) e ponderato in base ai pesi proposti in [32] (E_{medio}).

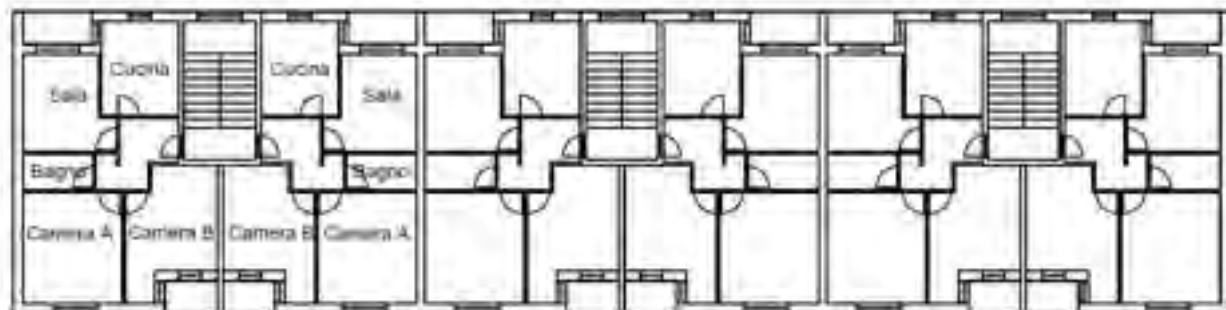
Piano tipo alloggi

tipologia di ambiente	area rispetto al totale [%]	E_{task} [lx]	$E_{surround}$ [lx]	$E_{background}$ [lx]	E_{medio} [lx]
Cucina	14.5	500	300	100	460
Soggiorno	14.5	200	150	50	175
Camere da letto A	20	300	200	67	193
Camera da letto B	19	300	200	67	193
Bagno	5.3	200	150	50	185
Disimpegno/ripostiglio	8	100 ^(*)	-	-	100
Balconi	8	-	-	-	-
Vano scala	10.7	150	-	-	150

^(*) ambienti in cui non è applicabile la distinzione fra 'task', 'surround' e 'background', in quanto l'intera area è, di fatto, sede del 'task'.

CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE DEL PIANO-TIPO

Piano tipo alloggi



Dimensioni degli ambienti e delle relative superfici finestrate.

Piano tipo alloggi

ambiente	L_{room} [m]	P_{room} [m]	S_{room} [m ²]	% area	finestre			$S_{w,tot}$ [m ²]	WWR [-]	WFR [-]
					#	L_w [m]	H_w [m]			
Cucina	3.0	3.6	10.8		1	0.7	1.4	0.98	0.22	0.24
					1	0.7	2.3	1.61		
Soggiorno	3.0	3.6	10.8		1	0.7	1.4	0.98	0.36	0.24
					1	0.7	2.3	1.61		
Camera A	3.6	4.0	14.4		1	1.4	1.4	1.96	0.17	0.14
Camera B	3.5	3.9	13.7		1	0.7	1.4	0.98	0.21	0.19
					1	0.7	2.3	1.61		
Bagno	1.5	2.5	3.8		-	-	-	-	-	-
Disimpegno			5.8		-	-	-	-	-	-
Balconi			5.7							

Legenda: L_{room} = larghezza dell'ambiente; P_{room} = profondità dell'ambiente; S_{room} = superficie dell'ambiente; % area = superficie dell'ambiente espresso come percentuale rispetto alla superficie totale del piano tipo; L_w = larghezza della finestra; P_{room} = profondità della finestra; $S_{w,tot}$ = superficie finestrata totale dell'ambiente; WWR = Window-to-Wall Ratio = area finestrata totale/area del muro (o dei muri) contenute le finestre; WFR = Window-to-Floor Ratio = area finestrata totale/area di pavimento dell'ambiente.

Fattori di riflessione luminosa di soffitto, pareti e pavimento: 70%, 50%, 20%, rispettivamente.

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE - SISTEMA DI ILLUMINAZIONE NATURALE

Componente trasparente:

- vetro singolo;
- fattore di trasmissione luminosa $TL = 0.90$
- frazione telaio: 0.30

Componente schermante:

l'edificio non è dotato di schermi fissi (quali aggetti, mensole verticali); ogni ambiente è invece dotato di un sistema di schermatura mobile a controllo manuale da parte dell'utenza (tipo tapparella).

La camera B, il soggiorno e la cucina hanno superfici vetrate schermate dalla loggia costituita dal balcone.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

In assenza di dati statistici significativi relativi alle caratteristiche degli impianti di illuminazione artificiale dell'edilizia residenziale pubblica italiana si ipotizza di assumere come valori di DENSITA' DI POTENZA quelli desumibili dal progetto di norma prEN 15193-1:2015 (Tabelle B.10 e B.11). In base ai dati forniti dalla norma vengono definite le densità di potenza per ciascuna tipologia di ambiente e di conseguenza calcolate le potenze installate per ciascun tipo di ambiente presente nel piano di alloggi tipo identificato per questo studio.

Piano tipo alloggi

Ambiente	Funzione	LPD [W/m ²]	Area [m ²]	P [W]
Cucina	Illuminazione generale	8.6	6	51.4
	Illuminazione piano di lavoro	45	1.4	63
	Illuminazione tavolo da pranzo	40	3	120
Soggiorno	Illuminazione generale	10	9.4	94
	Illuminazione di lettura	60	1	60
Camera A	Illuminazione generale	10	13.4	134
	Illuminazione comodini	30	1	30
Camera B	Illuminazione generale	10	11.2	112
	Illuminazione comodini	30	1	30
	Illuminazione scrivania	50	1.5	75
Bagno	Illuminazione generale	10	3	30
	Illuminazione specchio	70	0.8	56
Disimpegno	Illuminazione generale	20	5.8	116

7.4 Edificio ospedaliero

A differenza delle tipologie edilizie esaminate nelle sezioni precedenti (edificio per uffici, scolastico e residenziale), nel caso di una struttura ospedaliera si riscontra una sostanziale carenza in letteratura di potenziali edifici di riferimento. L'elevato numero di variabili in gioco, sia architettoniche, sia funzionali, del resto, rende difficoltosa la standardizzazione di un edificio "tipo".

Per questo motivo, si è proceduto "tipizzando" una struttura ospedaliera esistente, il cui layout del piano tipo è stato ritenuto rappresentativa di un'ampia gamma di strutture ospedaliere sul territorio. Rispetto al caso esistente, si è effettuata una modifica, relativa al numero di piani fuori terra: il numero di piani è stato assunto pari a 5, in conformità con quanto riportato nel già citato abaco di 16 edifici di riferimento con varia destinazione d'uso definito dal DOE (URL on-line: <http://energy.gov/eere/buildings/commercial-reference-buildings>).

L'ospedale tipo è configurato come un edificio caratterizzato da una manica a stecca, di profondità 18 m e lunghezza 68 m. Il piano-tipo, disposto con asse longitudinale Nord-Sud, è articolato secondo lo schema:

- un corridoio centrale, illuminato in sola luce artificiale essendo privo di affacci verso la luce naturale
- un'area degenza, che racchiude le camere dei pazienti e un soggiorno, esposta a Est
- un'area del personale medico-sanitario (sale-visita, uffici, medicheria, deposito), esposte a Ovest.

Le caratteristiche di questo layout sono state ritenute rappresentative di un'ampia gamma di strutture ospedaliere e pertanto è stato assunto come esempio-tipo.

Coerentemente con la scelta fatta, di utilizzare un edificio esistente come riferimento, nelle schede seguenti sono stati inseriti i dati reali dell'edificio, in relazione sia ai dati geometrici e fotometrici dei vari ambienti (in termini di dimensioni, proprietà di trasmissione e di riflessione luminosa delle superfici trasparenti e opache, frazione di area occupata dal telaio rispetto all'area finestrata etc.), sia alle caratteristiche degli impianti di illuminazione (impianti tradizionali a luce fluorescente). Inoltre, si è ritenuto opportuno non prevedere, a differenza degli altri edifici tipo, degli scenari di retrofitting e di integrazione con i sistemi tradizionali esistenti.

EDIFICIO OSPEDALIERO TIPO

L'ospedale tipo è configurato come un edificio caratterizzato da una manica a stecca, di profondità 18 m e lunghezza 68 m. Il piano-tipo, disposto con asse longitudinale Nord-Sud, è articolato secondo lo schema:

- un corridoio centrale, illuminato in sola luce artificiale essendo privo di affacci verso la luce naturale
- un'area degenza, che racchiude le camere dei pazienti e un soggiorno, esposta a Est
- un'area del personale medico-sanitario (sale-visita, uffici, medicheria, deposito), esposte a Ovest.

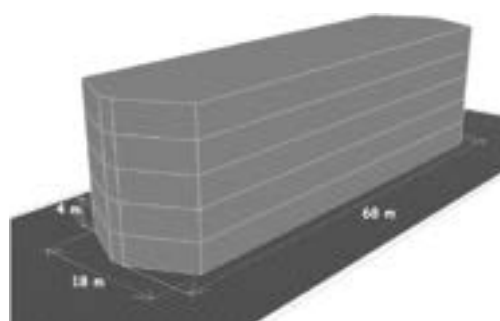
CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE

Numero di piani fuori terra: 5
Superficie in pianta di un piano: 1224 m²
Superficie in pianta complessiva: 6120 m²
Altezza interpiano: 4 m
Altezza netta degli ambienti: 2.7 m

schema di inserimento dell'edificio in 3 contesti



schema volumetrico dell'edificio



CARATTERISTICHE FUNZIONALI

Tipi di ambienti, percentuale di superficie di pavimento occupata rispetto alla superficie totale di piano e requisito di illuminamento medio mantenuto secondo la norma UNI EN 12464-1:2011 [12] (E_{task} , $E_{surround}$, $E_{background}$) e ponderato in base ai pesi proposti in [32] (E_{medio}).

tipologia di ambiente	area rispetto al totale [%]	E_{task} [lx]	$E_{surround}$ [lx]	$E_{background}$ [lx]	E_{medio} [lx]
Sale degenza	21.5	300	100	33	153
Soggiorno/sala pranzo comune	2.6	200	150	50	175
Sale visita	11.4	500	300	100	400
Sala d'attesa	8.2	200	150	50	190
Uffici	4.9	500	300	100	400
Laboratori	4.2	500	300	100	460
bagni comuni, docce	6.8	200	150	50	185
Corridoi	40.5	100 ^(*)	-	-	100
Scale/ascensori		150 ^(*)	-	-	150

^(*) ambienti in cui non è applicabile la distinzione fra 'task', 'surround' e 'background', in quanto l'intera area è, di fatto, sede del 'task'.

Profilo di utilizzo: dalle 0 alle 24, tutti i giorni dell'anno.

CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE DEL PIANO-TIPO



Dimensioni degli ambienti e delle relative superfici finestate.

ambiente	L [m]	P [m]	S _{room} [m ²]	% area	finestre #	L [m] * H[m]	S _{w,tot} [m ²]	WWR [-]	WFR [-]
camera degenza (x 11)	4.5	7	263.3	21.5	1 1	1.6*2.5 1.6*1.5	6.4	0.47	0.20
soggiorno/sala pranzo	4.5	7	31.5	2.6	2	1.9*2.5	9.5	0.70	0.30
sala d'attesa	25	4	100.0	8.2	8	1*1.55	12.4	0.17	0.12
sala-visita 1-2-3-4	3	7	84.0	6.9	2	1*1.55	3.1	0.34	0.15
sala visita 5	3.4	7	23.8	1.9	1	1*1.55	1.55	0.15	0.07
sala visita 6	4.5	7	31.5	2.6	3	1*1.55	4.65	0.34	0.15
ufficio medico	3	7	21.0	1.7	2	1*1.55	3.1	0.34	0.15
ufficio capo-sala	2.6	7	18.2	1.5	2	1*1.55	3.1	0.40	0.17
sala infermieri	3	7	21.0	1.7	2	1*1.55	3.1	0.34	0.15
laboratorio 1	4.3	7	30.1	2.5	2	1*1.55	3.1	0.24	0.10
laboratorio 2	3	7	21.0	1.7	2	1*1.55	3.1	0.34	0.15
bagni camere (x 11)	3	7	83.2	6.8					
spazi distribuzione			495.4	40.5					

Legenda: L_{room} = larghezza dell'ambiente; P_{room} = profondità dell'ambiente; S_{room} = superficie dell'ambiente; % area = superficie dell'ambiente espresso come percentuale rispetto alla superficie totale del piano tipo; L_w = larghezza della finestra; P_{room} = profondità della finestra; $S_{w,tot}$ = superficie finestrata totale dell'ambiente; WWR = Window-to-Wall Ratio = area finestrata totale/area del muro (o dei muri) contenente le finestre; WFR = Window-to-Floor Ratio = area finestrata totale/area di pavimento dell'ambiente.



Schema degli ambienti esposti a Est (camere degenza, soggiorno comune, blocco scale/ascensori) e delle relative superfici finestrate.

Fattori di riflessione luminosa di soffitto, pareti e pavimento:

70%, 45%, 35%, per le camere degenza e per il soggiorno/sala pranzo

70%, 45%, 25% per la sala infermieri e le sale visite

70%, 70%, 25% per le sale visita e gli uffici del medico e della capo-sala

70%, 45%, 25% per il corridoio

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE - SISTEMA DI ILLUMINAZIONE NATURALE

Componente trasparente:

vetrocamera chiaro-chiaro;

fattore di trasmissione luminosa $TL = 0.70$

frazione telaio: 0.30 per le porte-finestre

0.25 per le finestre.

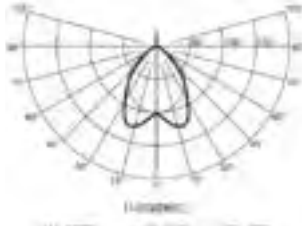
Componente schermante:

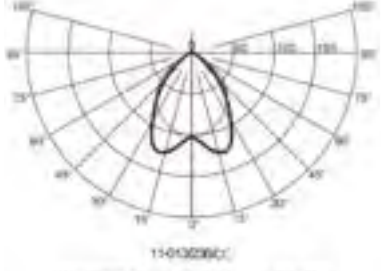
l'edificio non è dotato di schermi fissi (quali aggetti, mensole verticali); ogni ambiente è invece dotato di un sistema di schermatura mobile a controllo manuale da parte dell'utenza, in

particolare: tenda veneziana interna e tapparella esterna nella camere degenza (fronte Est);

tapparelle esterne nel soggiorno comune/sala da pranzo e negli ambienti del fronte Ovest (sala d'attesa, sale visita, uffici del personale medico sanitario).

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE
Installazione apparecchi: incassati o a plafone Modalità di distribuzione della luce: DIRETTA in tutti gli ambienti; DIRETTA/INDIRETTA nelle stanze degenza (sistema testa-letto)
IMPIANTI TRADIZIONALI

Camere degenza			
APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE			
Luce ambientale (diretta)		Sistema testa-letto (diretta letto + indir. ambientale)	
Indicatrice fotometrica	Immagine:	Indicatrice fotometrica	immagine:
			
Rendimento luminoso: 75%		Rendimento luminoso: 70%	
SORGENTI LUMINOSE			
Fluorescente lineare T8 Potenza: 2*55W Resa del colore: 80 TCC 4000 K		Fluorescente lineare T8 e T5 Potenza: 2*18W (luce diretta) + 2*39W (indiretta) Resa del colore: 80 TCC 4000 K	
REATTORE			
Convenzionale classe A2 Rendimento: 84.2%		Convenzionale classe A2 Rendimento: 84.2%	
Potenza complessiva assorbita dal sistema: 130.6 W		Potenza complessiva assorbita dal sistema: 135.4 W	
SISTEMA DI CONTROLLO			
Manuale on/off		Manuale on/off	
POTENZA COMPLESSIVA (P) E DENSITA' DI POTENZA (LPD) TOTALE			
Ambiente	P	LPD [W/m²]	
	[W]		
camera degenza (x 11)	309	25.4	

Ambienti ufficio - sale visita – laboratori - sale d'attesa – bagni	
APPARECCHIO DI ILLUMINAZIONE	
Indicatrice fotometrica	immagine:
	
Rendimento luminoso: 75%	

SORGENTE LUMINOSA		
Fluorescente lineare T8 Potenza: 2*55W Resa del colore: 80 TCC 4000 K		
REATTORE		
Convenzionale classe A2 Rendimento: 84.2%		
Potenza complessiva assorbita dal sistema: 130.6 W		
SISTEMA DI CONTROLLO		
Manuale on/off		
POTENZA COMPLESSIVA (P) E DENSITA' DI POTENZA (LPD)		
Ambiente	P [W]	LPD [W/m ²]
soggiorno/sala pranzo	392	14.2
sala d'attesa	1176	11.8
sale-visita 1-2-3-4	392	19.5
sala visita 5	392	17.1
sala visita 6	392	18.8
ufficio medico	392	19.5
ufficio capo-sala	261	14.8
sala infermieri	392	19.5
laboratorio 1	261	16.8
laboratorio 2	392	19.5
bagni	131	16.7
corridoio	2352	3.6

SCENARI DI INTEGRAZIONE TRA IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE TRADIZIONALI E A LED		
Scenario 1: si suppone che tutti gli impianti siano di tipo tradizionale (100% FLUO) Di seguito si riportano le densità di potenza elettrica (LPD) corrispondenti ai diversi ambienti.		
ambiente	Scenario 1 FLUO 100% LPD [W/m ²]	
camera degenza (x 11)	25.4	
soggiorno/sala pranzo	14.2	
sala d'attesa	11.8	
sale-visita 1-2-3-4	19.5	
sala visita 5	17.1	
sala visita 6	18.8	
ufficio medico	19.5	
ufficio capo-sala	22.2	
sala infermieri	19.5	
laboratorio 1	16.8	
laboratorio 2	19.5	
bagni camere (x 11)	16.7	LPD media intero piano [W/m ²] 10.6
corridoio	3.6	

8 Parametri da variare per la validazione del software di calcolo LENICALC_ENEA-v1 studio parametrico per il calcolo del LENI

Ai fini della validazione del software per il calcolo dell'indice di fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione negli edifici (LENICALC ENEA v1) e in generale della validazione del metodo di calcolo della norma prEN 15193:1 si prevede di ripetere il calcolo del LENI per gli edifici tipo, variando, nell'ottica di uno studio parametrico, alcuni dei parametri che caratterizzano il metodo di calcolo:

- PARAMETRI CLIMATICI
 - latitudine:
 - luminous exposure H_{dir}/H_{glob}
- PARAMETRI ARCHITETTONICI
 - orientamento
 - fattore di trasmissione luminosa del vetro
 - ostruzioni esterne e sistemi di schermatura fissi
 - sistemi di schermatura mobili secondo le opzioni previste dal prEN 15193-1:2015.

L'inserimento dei sopra descritti sistemi di schermatura fissi (o di edifici ostruenti) è pensato da attuarsi sia in compresenza con i sistemi di schermatura mobili, sia invece in loro assenza.
- PARAMETRI FUNZIONALI
 - Profilo di utilizzo
 - Attività e funzioni
- PARAMETRI LEGATI AI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE E DI CONTROLLO
 - Potenze relative ai consumi parassiti
 - sistemi di controllo dell'illuminazione secondo le opzioni previste dal prEN 15193-1:2015.

9 Conclusioni

Il presente rapporto tecnico ha analizzato i contenuti del progetto di norma europea prEN 15193-1:2015 "Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting. Part 1: Specifications", che è destinato a sostituire la precedente versione della norma, la EN 15193:2007. L'oggetto principale di entrambe le versioni della norma è la definizione dell'indice LENI (Lighting Energy Numeric Indicator), che quantifica il consumo annuale di energia elettrica per illuminazione artificiale di un edificio, in [kWh/m²anno]. L'aggiornamento del 2015 espande e modifica sostanzialmente i contenuti della precedente versione e gli elementi del metodo di calcolo del LENI. Entrambe le norme si collocano in un quadro di strumenti tecnici per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, definiti in ambito europeo (e quindi recepiti a livello nazionale dai vari Stati membri) attraverso le Direttive Europee 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici (EPBD) e dalla successiva revisione (2012/31/UE, EPBD recast).

In quest'ottica, lo studio è stato strutturato secondo 2 obiettivi principali:

1. evidenziare a livello concettuale i fattori che concorrono a determinare il consumo annuo di energia per illuminazione di un edificio e analizzare in dettaglio il metodo di calcolo definito nello standard per il calcolo di tale fabbisogno
2. definire una serie di edifici tipo da utilizzare, in una fase successiva della ricerca, come casi-studio da un lato per la validazione di un software, denominato LENICALC ENEA V1), sviluppato appositamente per il calcolo del LENI secondo la metodologia proposta dal prEN15193-1:2015, dall'altro per la definizione di alcuni valori di LENI di benchmark.

In relazione alla prima parte dello studio, oltre alla descrizione del metodo di calcolo del LENI proposto dal prEN15193-1:2015, si è proceduto ad effettuare una lettura critica delle variabili introdotte nella nuova versione della norma. In particolare, è stato compiuto uno studio di sensibilità su alcuni dei principali fattori di influenza che intervengono nel calcolo della quantità di luce naturale presente nei vari ambienti di un edificio, il Daylight Supply Factor, $F_{D,S}$: la latitudine (ampliata rispetto al range proposto nella norma originale), il clima (attraverso l'introduzione del fattore '*luminous exposure*', vale a dire il rapporto fra l'illuminamento diretto e quello globale caratteristici del sito, calcolati su scala annua), l'orientamento (una variabile non contemplata nella versione originale della norma), la presenza di elementi di schermatura mobile (anche in questo caso, un parametro assente nella versione originale della norma).

In relazione alla seconda parte dello studio, si è arrivati a definire 4 tipologie di edifici pubblici tipo da assumere come riferimento per le future attività di ricerca: l'edificio per uffici, l'edificio scolastico, l'edificio residenziale e l'edificio ospedaliero. L'approccio alla definizione degli edifici-tipo è stato differenziato in base alla tipologia di edificio: per quanto possibile, si è partiti da dati esistenti in letteratura (ad esempio, nel caso dell'edificio per uffici esiste già un edificio standard per i calcoli energetici), mentre nel caso dell'ospedale, considerando la carenza di modelli da assumere come riferimento e l'estrema variabilità di strutture, si è partiti da un edificio esistente, assunto come "tipo" in quanto rappresentativo di un certo numero di strutture esistenti sul territorio. In ogni caso, per ogni tipologia di edificio, sono state definite le funzioni, con i relativi requisiti di illuminazione secondo la norma EN 12464-1:2011, e sono stati delineati diversi scenari legati agli impianti di illuminazione e all'integrazione fra sistemi tradizionali (essenzialmente a luce fluorescente) e sistemi a LED, in relazione sia a interventi di parziale retrofitting (per cui rimane una compresenza di sistemi tradizionali e a LED), sia a edifici di nuova progettazione (illuminazione interamente a LED).

In conclusione, si possono evidenziare i seguenti aspetti:

- la nuova versione della norma, il prEN15193-1:2015, rappresenta un'evoluzione significativa rispetto alla versione precedente, dal momento che ha introdotto tutti i parametri che hanno un impatto significativo, anche alla luce di quanto dimostrato in studi scientifici condotti a livello internazionale, sulla quantità di luce naturale (daylight suppli factor $F_{D,S}$) e quindi sul consumo annuo di energia elettrica per illuminazione (LENI)
- il metodo di calcolo del LENI proposto dalla versione aggiornata della norma risulta piuttosto complesso e di non immediata applicazione per utenti che non siano esperti: la disponibilità di un software (LENICALC ENEA V1) che contenga il metodo di calcolo normativo appare dunque uno strumento utile per assistere il team di progettazione nel calcolo del fabbisogno di energia elettrica per illuminazione
- la definizione di alcune tipologie di edifici tipo permette di avere dei casi di riferimento utili per l'applicazione del metodo di calcolo e per la validazione del software LENICALC ENEA V1, nonché per la definizione di una serie di valori di benchmark.

Nel prosieguo dell'attività di ricerca, si prevede proprio di lavorare sulla validazione del software LENICALC ENEA V1 come strumento per il calcolo del LENI secondo quanto prescritto dal prEN 15193-1:2015, confrontando anche i risultati con i dati ottenuti, per le stesse configurazioni di edifici-tipo, attraverso programmi di simulazione dinamica.

10 Disseminazione

Gli studi svolti per il progetto di ricerca hanno reso possibile alcune attività di disseminazione in ambito didattico e scientifico.

In ambito didattico sono state svolte lezioni sul tema del fabbisogno energetico per l'illuminazione, e sulla norma EN 15193 in particolare, in corsi universitari e di formazione professionale:

- Corso di Sistemi per l'illuminazione e per il controllo del rumore; Politecnico di Torino, Laurea Magistrale in Energetica e Nucleare; Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica;
- Corso di Certificazione energetica degli edifici - presso Collegio dei Geometri di Torino

- Master in Lighting Design, organizzato dal dipartimento Architettura e Progetto dell'Università 'La Sapienza', Roma.

Sono state inoltre avviate tesi di laurea sul tema: "Illuminazione naturale e artificiale nel calcolo della prestazione energetica degli edifici" nell'ambito dei Corsi di Laurea Magistrale di Architettura.

Per quanto attiene l'attività di divulgazione scientifica la ricerca condotta sul tema del fabbisogno energetico per l'illuminazione ha dato origine ad alcune pubblicazioni presentate a Convegni internazionali e quindi pubblicate (o in corso di pubblicazione) su rivista:

- S. Cammarano, A. Pellegrino, V.R.M. Lo Verso, C. Aghemo, "Daylighting design for energy saving in a building global energy simulation context", *Energy Procedia* 78, 2016, pp. 364–369.
- C. Aghemo, L. Blaso, S. Fumagalli, V.R.M. Lo Verso, A. Pellegrino, "The new prEN 15193-1 to calculate the energy requirements for lighting in buildings: comparison to the previous standard and sensitivity analysis on the new influencing factors", *Proceedings della Conferenza Internazionale ATI 2016*, Torino, 14-16 settembre 2016 (e accettato per la pubblicazione su *Energy Procedia*).

11 Riferimenti bibliografici

1. IEA (International Energy Agency), "Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings", ANNEX 45 Report. ECBCS - Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Edited by Liisa Halonen, Eino Tetri & Pramod Bhusal, 2010.
2. IEA (International Energy Agency). Annex 45. "Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings". Espoo 2010. Edited by L. Halonen, E. Tetri & P. Bhusal. Available at: http://www.ecbcs.org/docs/ECBCS_Annex_45_Guidebook.pdf
3. US Department of Energy DOE, "2011 Buildings Energy Data Book", prepared for the Buildings Technologies Program Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, 2012.
4. Direttiva Europea 2005 32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 6 luglio 2005. Disponibile su: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32005L0032&from=IT>
5. Direttiva Europea 2009 125/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21/10/2009. Disponibile su: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&qid=1470993161902&from=EN>
6. Direttiva Europea 2010 30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 10/5/2010. Disponibile su: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0030&qid=1470993318966&from=EN>
7. Gillingham, K., Rapson, D. & Wagner, G., 2016. "The Rebound Effect and Energy Efficiency Policy". *Review of Environmental economics and policy*, Winter 2016, 10(1), pp.68–88.
8. <http://ecodesign-lightingsystems.eu/introduction>
9. EN 15193:2007. Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting. Brussels, 2007.
10. prEN 15193-1:2015, "Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications", 2015.
11. EN 15193:2007. Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting. Brussels, 2007
12. EN 12464-1:2011, "Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places", 2011.
13. V.R.M. Lo Verso, A. Pellegrino, F. Pellerey, "A multivariate non-linear regression model to predict the energy demand for lighting in rooms with different architectural features and lighting control systems", *Energy and Buildings* 76, 2014, pp. 151–163.
14. S. Cammarano, A. Pellegrino, V.R.M. Lo Verso, C. Aghemo, "Assessment of daylight in rooms with different architectural features", *Building Research & Information* 2015, Vol. 43, No. 2, pp. 222–237, <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2014.922359>.
15. C. F. Reinhart, J. Mardaljevic, and Z. Rogers, "Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design", *Leukos* 3 (2006), pp 7–31.
16. P. Heiselberg, H. Brohus, A. Hesselholt, H. Rasmussen, E. Seinre, S. Thomas, "Application of sensitivity analysis in design of sustainable buildings", *Renewable Energy* 2009, 34(9), pp. 2030-2036.

17. H. Shen, A. Tzempelikos, "Sensitivity analysis on daylighting and energy performance of perimeter offices with automated shading", *Building and Environment* 59, 2013, pp. 303-314.
18. EN 12193:2007, "Light and lighting - Sports lighting", 2007.
19. EN 1838:2013, "Lighting applications. Emergency lighting", 2013.
20. ENEA, "Ricerca sistema elettrico - Sistemi di integrazione della luce naturale e artificiale applicati a diverse tipologie edilizie. Rapporto sugli esiti di simulazioni numeriche e sperimentazioni in campo". A cura di C. Aghemo, A. Pellegrino, L. Blaso, V. Serra. Report RSE/2009/12. 2009
21. C. Aghemo, L. Blaso, A. Pellegrino, V. Serra. "Energy consumption for electric lighting in buildings : the European Standard EN 15193 and its application", 62° Convegno Nazionale ATI, 11-14 Settembre 2007, Salerno, Volume I, pp 145-150, 2007
22. M. Zinzi, A. Mangione. "The daylighting contribution in the electric lighting energy uses: EN standard and alternative method comparison". *Energy Procedia* 78, pp 2663 – 2668, 2015.
23. A. Staudt, J. de Boer, H. Erhorn, "Report on the application of CEN standard EN 15193". IEEE-CENSE, 2010. Disponibile su: <http://www.iee-cense.eu/Events-and-publications/Publications>
24. prCEN/TR 15193-2 v17th December 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 prEN 15193-1", 2015.
25. ENEA, "Ricerca sistema elettrico - Analisi statistica sul parco edilizio non residenziale e sviluppo di modelli di calcolo semplificati", a cura di M. Citterio, Report RSE/2009/161, 2009.
26. ENEA, "Ricerca sistema elettrico - Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto Caratterizzazione del parco immobiliare ad uso ufficio", Report RSE/2009/163, 2009.
27. ENEA, "Ricerca sistema elettrico - Indagine sui consumi degli edifici pubblici (direzionali e scuole) e potenzialità degli interventi di efficienza energetica", a cura di M. Citterio e G. Fasano, Report RSE/2009/163, 2009.
28. CRESME, "Miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici pubblici – volume 1: lo studio", preparato da CRESME Consulting nell'ambito del Servizio 'analisi e confronto fra le procedure di affidamento più innovative, anche a livello internazionale, di servizi finalizzati al miglioramento dell'efficienza energetica per alcune tipologie di edifici', svolto per l'Autorità di Gestione del Programma Operativo Interregionale Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico FESR 2007-2013, marzo 2011.
29. Federcasa; Abitazioni sociali. Motore di sviluppo – Fattore di coesione. Sintesi delle proposte Federcasa (2013)
30. L. Radulov, N. Kaloyanov, H. Petran, "D2.1. Report on the preliminary assessment of public building stock", RePublic_ZEB, November 2014, disponibile online: <http://www.republiczeb.org/filelibrary/WP2/D2-1Public-Building-Stock-final.pdf>.
31. P. Van Tichelen (VITO), "Preparatory study on lighting systems 'Lot 6'", P. Van Tichelen for the European Commission, implementing framework contract ENER/C3/2012-418 Lot 1.
32. P. Van Tichelen (VITO), "Preparatory study on lighting systems 'Lot 37' – Annexes", P. Van Tichelen for the European Commission, implementing framework contract ENER/C3/2012-418 Lot 1.
33. R. Kemm (VHK), "Average EU building heat load for HVAC equipment", final report, René Kemm (VHK) for the European Commission, August 2014.
34. ENEA, "Metodologia per la determinazione delle caratteristiche strutturali ed impiantistiche di 'Edifici Tipo' del Parco Edilizio Nazionale ad uso ufficio e Valutazione del Potenziale di Risparmio energetico sulla base della fattibilità degli interventi di riqualificazione energetica", a cura di F. Margiotta, Report RdS/2010/197, 2010.
35. ENEA, "Ricerca sistema elettrico - Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici), applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani", a cura di S.P. Corgnati, E. Fabrizio, F. Ariando, L. Rollino, Report RSE/2010/190, 2010.
36. Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 22 maggio 1967, n. 3151, "Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione nelle costruzioni edilizie", 1967.

37. Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975, "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica", pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale 2 febbraio 1976 n. 29.
38. Gottfried, "Quaderni del manuale di progettazione edilizia - L'edilizia scolastica, universitaria e per la ricerca", Hoepli, Milano, 2006.
39. <http://episcopo.eu/iee-project/tabula/>
40. V. Corrado, I. Ballarini, S.P. Corgnati, "National Scientific Report on the TABULA activities in Italy", Politecnico di Torino, Dipartimento Energia, May 2012