



Ricerca di Sistema elettrico

# Definizione di benchmark illuminotecnici basati sulla valutazione del LENI delle nove tipologie edilizie presenti nella UNI EN 15193-1:2017

L. Pompei, F. Salata, L. Fusilli, S. Grignaffini, F. Bisegna



Report RdS/PTR2021/026

DEFINIZIONE DI BENCHMARK ILLUMINOTECNICI BASATI SULLA VALUTAZIONE DEL LENI DELLE NOVE TIPOLOGIE EDILIZIE PRESENTI NELLA UNI EN 15193-1:2017

L. Pompei, F. Salata, L. Fusilli, S. Grignaffini, F. Bisegna

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 – III annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Local Energy District

Linea di attività: LA1.34 Benchmark per l'illuminazione funzionale degli ambienti/edifici soggetti a UNI EN 15193 e test di funzionalità di LENICALC

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Benchmark per l'illuminazione funzionale degli ambienti/edifici soggetti alla UNI EN 15193 e test di funzionalità del software LENICALC”*

Responsabile scientifico ENEA: Laura Blaso

Responsabile scientifico Sapienza Università di Roma: prof.re Fabio Bisegna

Si ringraziano gli studenti di Ingegneria della Sapienza, sia magistrali che triennali, che hanno contribuito allo sviluppo dello studio (in ordine alfabetico): Rebecca D'Onofrio, Giacomo Lattanzi, Francesco Marella, Fabrizio Morlacchi, Giovanna Mozzillo, Flaminia Orrea, Federica Notarfonso, Flavia Vespasiano, Giorgio Viglianese.

## Indice

SOMMARIO.....	4
1. INTRODUZIONE.....	5
2. STRUMENTI PER L'ANALISI: SOFTWARE LENICALC ED IDENTIFICAZIONI DEI PARAMETRI.....	7
2.1    LENICAL V.3 (LAST UPDATE 11/01/2021).....	7
2.2    PARAMETRI PRESI IN ESAME.....	7
3. METODOLOGIA DI LAVORO APPLICATA PER CIASCUN CASO STUDIO.....	11
3.1    DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO E DEI PARAMETRI.....	11
3.2    DESCRIZIONE DELL'ANALISI DEI RISULTATI.....	11
3.2.1    Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.....	11
3.2.2    Analisi di tutte le combinazioni effettuate.....	13
3.2.3    Analisi peculiare.....	13
4. IDENTIFICAZIONE DELLE 9 DESTINAZIONI D'USO.....	14
4.1    EDIFICI RESIDENZIALI.....	14
4.1.1    Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri.....	14
4.1.2    Risultati dell'edificio tipo "Edifici residenziali".....	18
4.2    UFFICIO.....	22
4.2.1    Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri.....	22
4.2.2    Risultati dell'edificio tipo "Ufficio".....	25
4.3    EDIFICI SCOLASTICI: LA SCUOLA D'INFANZIA E PRIMARIA.....	32
4.3.1    Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri.....	32
4.3.2    Risultati dell'edificio tipo "Scuola d'infanzia e primaria".....	36
4.4    STRUTTURE OSPEDALIERE: L'OSPEDALE.....	42
4.4.1    Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri.....	42
4.4.2    Risultati dell'edificio tipo "Strutture ospedaliere: l'Ospedale".....	50
4.5    STRUTTURE RICETTIVE: L'ALBERGO.....	57
4.5.1    Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri.....	57
4.5.2    Risultati dell'edificio tipo "Strutture ricettive: l'albergo".....	62
4.6    STRUTTURE DI RISTORAZIONE: IL RISTORANTE.....	68
4.6.1    Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri.....	68
4.6.2    Risultati dell'edificio tipo "Strutture di ristorazione: il ristorante".....	72
4.7    STRUTTURE SPORTIVE: LA PALESTRA.....	77
4.7.1    Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri.....	77
4.7.2    Risultati dell'edificio tipo "Strutture sportive: la palestra".....	82
4.8    SERVIZI PER LA VENDITA: IL CENTRO COMMERCIALE.....	86
4.8.1    Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri.....	86
4.8.2    Risultati dell'edificio tipo "Servizi per la vendita: il Centro commerciale".....	94
4.9    INDUSTRIE: INDUSTRIA TESSILE.....	100
4.9.1    Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri.....	100
4.9.2    Risultati dell'edificio tipo "Industrie: industria tessile".....	104
5. RISULTATI: REDAZIONE DELLA TABELLA DI BENCHMARK PER I 9 CASI STUDIO.....	109
6. CONCLUSIONI.....	111
7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	112
8. APPENDICE.....	115
9. ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	135
10. CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO.....	136

## Sommario

Il seguente lavoro è stato suddiviso in due parti: la prima ha coinvolto la caratterizzazione di nove destinazioni d'uso tipiche del panorama costruttivo italiano e la scelta di un set di parametri, sia geometrici che impiantistici, in modo tale da evidenziare il loro contributo sul LENI di ciascun edificio proposto; la seconda invece ha riguardato la definizione di benchmark dei consumi per l'illuminazione artificiale, grazie al cospicuo database di simulazioni (1920) creato nella prima fase della ricerca.

Nella prima fase della ricerca sono state identificate le caratteristiche geometriche e i requisiti di illuminazione delle nove destinazioni d'uso, elencate nella UNI EN 15193-1:2017, ma rappresentative degli edifici esistenti nel territorio italiano. Per definire i nove casi studio, sono state seguite e combinate due modalità di approccio; laddove vi era disponibilità di dati, sono stati raccolti quelli relativi alle caratteristiche italiane più comuni (superfici, volumi, finestre e così via); in mancanza di tali informazioni, il caso studio è stato elaborato in linea con gli standard minimi (superficie minima per ogni funzione, superficie minima vetrata e così via) imposti dal comparto legislativo italiano. Parallelamente, sono stati identificati una serie di parametri, per valutare la loro influenza sul LENI complessivo dei nove edifici tipizzati. Nello specifico, tali parametri riguardano l'involucro dell'edificio (finestra e schermatura), il tipo di sorgente luminosa scelta, i sistemi di controllo dell'illuminazione diurna e di occupazione. L'applicazione dei parametri scelti (e delle loro varianti) sulle nove destinazioni d'uso definite ha permesso la realizzazione di un database contenente 1920 simulazioni. Il software LENICALC è stato scelto come programma di simulazione sia per calcolare il LENI di ogni edificio tipo sia per stimare l'impatto dei parametri coinvolti nella riduzione dei consumi.

La seconda fase del lavoro ha coinvolto sia un'analisi dettagliata dell'impatto (sia singolo che sinergico) dei parametri scelti ed applicati ad ogni caso studio; sia la redazione dei valori di benchmark dell'illuminazione, proponendo una tabella riassuntiva del LENI ottenuto per ogni destinazione d'uso. Tali valori del LENI sono stati estratti dal database di 1920 simulazioni creato, cercando di dare un concreto contributo alla definizione di valori target dei fabbisogni di energia elettrica per l'illuminazione delle tipologie edilizie presenti nel nostro territorio.

## 1. Introduzione

L'interesse della comunità Europea nell'abbattere i consumi energetici (sia termici che elettrici) relativi al settore edilizio assume ancora oggi un ruolo dominante all'interno delle varie task-force internazionali. È noto, infatti, che il 15%-20% del consumo elettrico mondiale è imputabile all'illuminazione del parco immobiliare esistente. Molte linee guida e strumenti normativi sono stati emanati per contenere e ridurre tale richiesta energetica, tra cui la UNI EN 15193:2007 "Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogno energetico per l'illuminazione" [1] che stabilisce il metodo di calcolo per valutare l'energia necessaria per l'illuminazione artificiale degli edifici. L'indicatore energetico proposto dalla norma [1] è il LENI (Lighting Energy Numeric Indicator), che quantifica il consumo annuo di energia elettrica per l'illuminazione per superficie, espresso in kWh/ (m<sup>2</sup> anno). A seguito di revisioni ed integrazioni dello standard [1], si è giunti alla definizione della UNI EN 15193-1:2017 [2], la quale applica alcune sostanziali modifiche riguardanti la valutazione della disponibilità della luce diurna [3]. La principale variazione interessa la modalità di calcolo del Daylight Factor (DF), il quale ha un'influenza rilevante sul valore finale del LENI. Molti lavori in letteratura, infatti, hanno studiato il processo di valutazione e calcolo della disponibilità di luce diurna e come quantificarla in maniera corretta [4,5,6].

Tuttavia, pochi studi hanno applicato lo standard [2], i più noti [6,7,8] si sono focalizzati sul calcolo LENI e DF utilizzando DAYSIM e RADIANCE [7], mentre altri indagano le potenzialità dei controlli degli impianti di illuminazione proposti dalla normativa, per ottenere un maggiore risparmio energetico [8,9].

Inoltre, in letteratura vi è una grande diversità in termini di tipologia di software di calcolo utilizzati per la simulazione dell'illuminazione negli edifici; molto spesso, vengono utilizzati due diversi software combinati insieme per poter ottenere valutazioni sul consumo dell'illuminazione artificiale di un determinato ambiente [10]. Tuttavia, la maggior parte di questi software richiedono una rappresentazione troppo dettagliata del test ambientale e di tempi lunghi per i calcoli per ogni simulazione [10]. D'altro canto, lo stesso standard propone metodi di calcolo del LENI alquanto complessi, soprattutto per i non esperti del campo. Per ovviare queste problematiche, l'ENEA (Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile) ha sviluppato il software LENICALC, uno strumento di calcolo gratuito disponibile online [11], che converte la complessità dello standard in un programma di simulazione molto più facile ed immediato [12]. La semplicità di questo strumento è la possibilità di poter importare rappresentazioni 2D semplificate del modello e di poter guidare i progettisti nell'impostare i parametri adeguati alla valutazione del LENI [7].

Spostando l'attenzione sullo studio delle tipologie edilizie, la maggior parte delle valutazioni del comfort e dell'illuminazione indoor è stata effettuata solamente per alcune destinazioni d'uso, quali gli uffici, gli edifici residenziali e commerciali [10]. Risulta quindi importante estendere tali studi anche sulle altre destinazioni d'uso presenti nel territorio, legate alle strutture ricettive, ai servizi sanitari ed ai complessi sportivi. Tali edifici, inoltre, sono anche individuati dalla UNI EN 15193-1:2017, sottolineando il loro rilevante impatto sull'intero consumo di illuminazione dei contesti attuali urbani.

In questo quadro, il seguente lavoro ha l'obiettivo di identificare le caratteristiche geometriche e i requisiti di illuminazione delle nove destinazioni d'uso elencate nella UNI EN 15193-1:2017. Per definire i nove casi studio, sono state seguite e combinate due modalità di approccio; laddove vi era disponibilità di dati, sono stati raccolti quelli relativi alle caratteristiche italiane più comuni (superfici, volumi, finestre e così via); in mancanza di tali informazioni, il caso studio è stato elaborato in linea con gli standard minimi (superficie minima per ogni funzione, superficie minimi vetrata e così via) imposti dal comparto legislativo italiano.

Parallelamente, sono stati identificati una serie di parametri, per valutare la loro influenza sul LENI complessivo dei nove edifici tipizzati. Nello specifico, tali parametri riguardano l'involucro dell'edificio (finestra e schermatura), il tipo di sorgente luminosa scelta, i sistemi di controllo dell'illuminazione diurna e di occupazione. L'applicazione dei parametri scelti (e delle loro varianti) sulle nove destinazioni d'uso definite ha permesso la realizzazione di un database contenente 1920 simulazioni. Il software LENICALC [11] è stato scelto come programma di simulazione sia per calcolare il LENI di ogni edificio tipo sia per stimare l'impatto dei parametri coinvolti nella riduzione dei consumi. Grazie a questo cospicuo database ottenuto, è stato possibile effettuare due analisi fondamentali. La prima verte sull'investigazione attenta dell'impatto (sia

singolo che sinergico) dei parametri scelti ed applicati ad ogni caso studio. La seconda, invece, cerca di apportare un sostanziale contributo alla redazione dei valori di benchmark dell'illuminazione, proponendo una tabella riassuntiva del LENI ottenuto per ogni destinazione d'uso.

È noto, infatti, che la ricerca scientifica è ancora abbastanza lontana dall'elaborare un benchmark globale per l'illuminazione basato sullo standard [2], di conseguenza questo lavoro apporta un importante contributo in questa direzione. Il completo processo adottato per sviluppare questa ricerca è descritto nello schema della Introduzione .



Figura 1: Passaggi fondamentali applicati nella seguente ricerca.

In sintesi, il lavoro svolto nel seguente documento ha previsto i seguenti passi:

- a) La tipizzazione delle nove categorie d'uso elencate nella UNI EN 15193:1:2107;
- b) la definizione di sei parametri fondamentali (finestra, schermatura, tipologia di sorgente luminosa, sistemi di illuminazione di controllo e di rilevamento) e le loro corrispettive varianti;
- c) la creazione di un database di 1920 simulazioni distribuite in base alla destinazione d'uso;
- d) la definizione di benchmark illuminotecnici.

Infine, si ricorda che questa proposta di benchmark per l'illuminazione è riferita ad una singola zona climatica italiana (Zona D, Roma), in modo tale da analizzare l'impatto dei parametri scelti sull'indicatore LENI, escludendo la variazione della latitudine in questa valutazione preliminare. Di conseguenza, futuri sviluppi del presente lavoro potrebbero coinvolgere l'estensione del benchmark ottenuto prima a livello nazionale e poi a livello internazionale, per divenire uno strumento di riferimento del consumo dell'illuminazione artificiale del settore edilizio ad ogni livello territoriale.

## 2. Strumenti per l'analisi: software LENICALC ed identificazioni dei parametri

Il software LENICALC [11] è stato scelto come strumento di calcolo per la quantificazione del LENI di ciascun edificio tipo. Parallelamente, è stato essenziale definire un set di parametri, sia relativi all'involucro dell'edificio (finestra e schermatura) sia relativi ai sistemi impiantistici (sorgente luminosa, daylight responsive control system, control system e Costant illuminance factor). Come è stato detto nell'introduzione, questi sei parametri, insieme alle loro varianti, saranno coinvolti in modo tale da analizzare il loro impatto, più o meno evidente, sul LENI di ogni destinazione d'uso. Si rimanda ai rispettivi paragrafi 2.1 e 2.2 l'approfondimento sia del software LENICALC che la descrizione di ciascun parametro.

### 2.1 LENICAL V.3 (last update 11/01/2021)

Il software LENICALC V.3 [11] è stato sviluppato dall'ENEA per il calcolo dell'indicatore LENI in linea con il metodo denominato "comprensivo", esposto nella norma UNI EN 15193-1:2017 [2]. Parallelamente viene pubblicata anche in Italia la UNI/PdR 77:2020 [12] "Linee guida per il calcolo informatizzato per la determinazione del LENI secondo il metodo di calcolo completo della UNI EN 15193-1:2017" che aiuta l'utente ad interagire facilmente con LENICALC. Durante il suo sviluppo, sono stati condotti diversi test sperimentali per convalidare il suo processo di calcolo [13] e per confrontare LENICALC con il software di simulazione dinamica basato sul clima [14]. Pertanto, ogni versione del LENICALC è stata migliorata in linea con i risultati ottenuti attraverso tali studi [13,14,15] e secondo l'aggiornamento dello standard. È inoltre previsto un aggiornamento del software che tenga conto delle integrazioni del calcolo LENI previste dalla UNI EN 15193-1:2021 [16].

### 2.2 Parametri presi in esame

I parametri presi in esame per la definizione dei valori di benchmark caratteristici per l'Italia e specifici per ogni tipologia di edificio identificata dalla normativa UNI EN 15193-1:2017, sono divisi in due categorie: **parametri geometriche** (tipologia di finestra, schermatura) e **parametri impiantistiche** (sorgente luminosa, daylight responsive control system, control system e Costant illuminance factor). Inoltre, sono stati presi in considerazione anche altri due parametri, **orientamento e ostruzione**, che tuttavia non sono stati inclusi nella lista dei parametri generali in quanto non prevedono delle varianti da simulare. Poiché ogni edificio presenta infatti tutti e quattro gli orientamenti, ci si è limitati ad analizzare le differenze tra il LENI di singoli ambienti posti a Nord e Sud, non modificando quindi i valori totali di LENI dell'edificio ai fini del benchmark, ma aiutando a comprendere l'impatto degli orientamenti delle singole stanze. Per ciò che concerne l'ostruzione, parametro presente solo nelle tipologie di destinazione d'uso che per normativa non prevedono distanze consistenti tra edifici adiacenti, si è deciso di mettere in luce l'impatto dello stesso sul LENI di ogni piano dell'edificio, in quanto anche in questo caso i valori totali di LENI dell'edificio ai fini del benchmark non subiscono variazioni.

Il parametro legato alla **finestra** è funzione della destinazione d'uso presa in esame: per ognuno degli edifici tipo verrà sia effettuata una analisi di base con le dimensioni delle finestre a norma (la cui grandezza varia in base alla funzione dell'edificio) sia una analisi con dimensioni delle finestre maggiorate di una specifica percentuale che varia a seconda del caso studio. In generale, la normativa italiana impone una specifica area di superficie vetrata per ogni caso studio, definita da un indicatore, chiamato rapporto aero-illuminante (R.A.I.), atto a garantire i requisiti minimi di penetrazione della luce naturale e ricambi d'aria. La variazione di questo parametro sarà effettuata per ogni caso studio, aumentando la superficie vetrata, oppure cambiando la posizione di quest'ultima oppure utilizzando diverse tipologie di finestre e la loro posizione (copertura et). Questo è fatto in modo tale da aumentare la porzione di superficie interna dell'area di daylight ed investigarne i suoi benefici.

Per quanto riguarda la **schermatura**, la norma prevede tre varianti: Glare, Autoglare e lighting guides. Il primo gruppo rappresenta le tipologie di schermatura manuale più semplici; il secondo include sistemi automatici di protezione contro raggi solari e abbagliamento; il terzo invece prevede sistemi automatici con funzioni

aggiuntive e più performanti quali vetri o facciate riflettenti o veneziane che si muovono in funzione del sole. L'applicazione di queste tre tipologie di varianti di schermature proposte dalla normativa sarà guidata dalle caratteristiche di ciascun caso studio.

La scelta delle **sorgenti luminose** da coinvolgere in questo studio ha riguardato le sorgenti sia a fluorescenza che a LED. La tecnologia LED, ad oggi, è ben conosciuta in termini di energy saving e riduzione delle spese elettriche finali; molte iniziative di relamping sono state e si continuano ad effettuare sugli immobili presenti in tutto il mondo. Tuttavia, specialmente in Italia, questa fase di efficientamento tecnologico di tipo illuminotecnico non è stata ancora conclusa: molti edifici presentano ancora sistemi impiantistici obsoleti caratterizzati generalmente da sorgenti a fluorescenza. Da qui la scelta di simulare due tipi di sorgenti: quella a LED e quella a fluorescenza, in modo tale da includere nel database di simulazioni gli edifici che ancora sono caratterizzati dall'utilizzo di sorgenti a fluorescenza; ed allo stesso tempo di mostrare i benefici dell'adozione di soluzioni LED per tutte le destinazioni della normativa.

I due parametri legati ai **sistemi di controllo** (il control system and il daylight responsive control system) presentano numerose varianti nella normativa. Il **control system** prevede sei diverse possibilità in base al valore dato al Controls function factor per ogni sistema di controllo (Tabella 1).

Tabella 1: Control systems ed i corrispettivi valori di Controls function factors [2].

Sistemi di controllo	
<b>Sistema senza rilevamento automatico di presenza o assenza</b>	<b>F<sub>oc</sub></b>
1. Manual On/Off switch	1,00
2. Manual On/off switch + additional automatic sweeping extinction signal	0,95
<b>Sistema con rilevamento automatico di presenza e/o assenza</b>	-
3. Auto on/Dimmed	0,95
4. Auto on /auto off	0,90
5. Manual On/ Dimmed	0,90
6. Manual On /Auto off	0,80

Come è visibile dalla Tabella 1, alcuni sistemi di controllo presentano lo stesso F<sub>oc</sub> (anche se diversa modalità di funzionamento), per cui sono state raggruppate in una unica opzione le seguenti varianti:

- a) Manual On/off switch + additional automatic sweeping extinction signal e Auto on/Dimmed;
- b) Auto on /auto off e Manual On/ Dimmed.

Di conseguenza le varianti studiate del parametro "control system" sono 4 anziché 6; per chiarezza sono elencati nella Tabella 2.

Tabella 2: Control systems raggruppati secondo i rispettivi valori di Controls function factor.

Control systems	
<b>System without automatic presence or absence detection</b>	<b>F<sub>oc</sub></b>
1. Manual On/Off switch	1,00
2. Manual On/off switch + Additional automatic sweeping extinction signal + Auto Dimmed	0,95
<b>System with automatic presence and/or absence detection</b>	-
3. Auto on /auto off + Manual On/ Dimmed	0,90
4. Manual On /Auto off	0,80

Per quanto riguarda il **daylight responsive control systems**, lo standard [2] definisce otto sistemi di daylight responsive control systems, i quali sono elencati nella Tabella 3. È inoltre visibile il Correction factor for daylight responsive control F<sub>DC</sub>, per tenere conto dell'effetto di questo controllo su una specifica zona, in

funzione sia del livello medio di illuminamento da garantire che in base alla classificazione della disponibilità di daylight.

Tabella 3: Daylight responsive control systems ed i corrispettivi valori di FDC [2].

Controllo tipo	Tipo di sistema di controllo	Classificazione di disponibilità del daylight									
		Bassa			Media			Alta			
		$\bar{E}_m$									
		300 lx	500 lx	750 lx	300 lx	500 lx	750 lx	300 lx	500 lx	750 lx	
1. Manual		0,5	0,47	0,44	0,55	0,52	0,49	0,6	0,57	0,54	
Automatico	Switched	2. Automatic Switched On/Off	0,58	0,59	0,59	0,63	0,63	0,62	0,67	0,66	0,65
		3. Automatic Switched On/Off in stages	0,65	0,7	0,73	0,7	0,73	0,75	0,73	0,75	0,76
		4. Automatic Daylight Responsive off	0,65	0,7	0,73	0,7	0,73	0,75	0,73	0,75	0,76
		5. Automatic Dimmed Stand-by Losses Switch On	0,65	0,7	0,73	0,7	0,73	0,75	0,73	0,75	0,76
	Dimmerabile	6. Automatic Dimmed No Stand-by Losses Switch On	0,71	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,81	0,81	0,81
		7. Automatic Dimmed Stand-by Losses No Switch On	0,72	0,77	0,8	0,77	0,8	0,83	0,8	0,83	0,84
		8. Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	0,78	0,81	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89	0,89	0,89

Anche in questo caso, alcuni dei correction factor  $F_{DC}$  che caratterizzano le varianti di questo parametro, sono uguali tra loro, nello specifico sono quelli evidenziati in grigio nella Tabella 3. Di conseguenza sono stati raggruppati in un'unica soluzione:

- Automatic Switched On/Off in stages, Automatic Daylight Responsive off e Automatic Dimmed Stand-by Losses Switch On.

Infine, prove simulative precedentemente effettuate hanno dimostrato che le tre tipologie di controllo quali "Automatic Dimmed No Stand-by Losses Switch On", "Automatic Dimmed Stand-by Losses No Switch On" ed "Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On" (evidenziate in grigio scuro nella Tabella 3) apportano minimi cambiamenti sul LENI tali per cui si è deciso di analizzare in questo studio il sistema di controllo che non prevede lo Stand-by e nemmeno lo switch-on automatico ("Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On"). Di conseguenza le varianti studiate del parametro Daylight responsive control system sono 4 anziché 8, come è riportato in Tabella 4.

Tabella 4: Daylight-responsive control systems ottenuti.

Tipo di controllo		Tipo di sistema
Manual		1. Manual
Automatico	Switched	2. Automatic Switched On/Off
		3. Automatic Switched On/Off in stages, Automatic Daylight Responsive off e Automatic Dimmed Stand-by Losses Switch On.
	Dimmerabile	4. Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On

Il parametro “Constant illuminance control” regola la possibilità di controllare automaticamente e ridurre il flusso luminoso iniziale della sorgente per garantire costante nel tempo il valore di illuminamento medio mantenuto e ovviare al problema del decadimento della lampada. Questo parametro può essere gestito in due modi alternativi: considerando la presenza di dispositivi di illuminazione provvisti di un sistema interno di regolazione che permette una emissione costante del flusso luminoso nel tempo (denominato Constant Lumen output); prevedendo la presenza di un sensore che rileva i livelli di illuminamento presenti nell’area e regola automaticamente la sorgente così da avere un’illuminazione costante e pari a quella richiesta. Quest’ultimo fattore (denominato Constant illuminance factor - Fc) da norma modifica la valutazione di Fc, fattore di illuminazione costante. Se il Constant illuminance factor è disattivo allora Fc=1. Le due varianti sopracitate determinano valori uguali di LENI, giacchè in entrambi i casi l’obiettivo è quello di prevedere un flusso luminoso costante nel tempo; si è scelto di utilizzare nelle analisi il Constant illuminance factor, in quanto relativo al comportamento di sensori esterni alla sorgente invece che interni.

La Figura 2 mostra tutti i parametri coinvolti in questo parametro assieme alle loro variazioni.

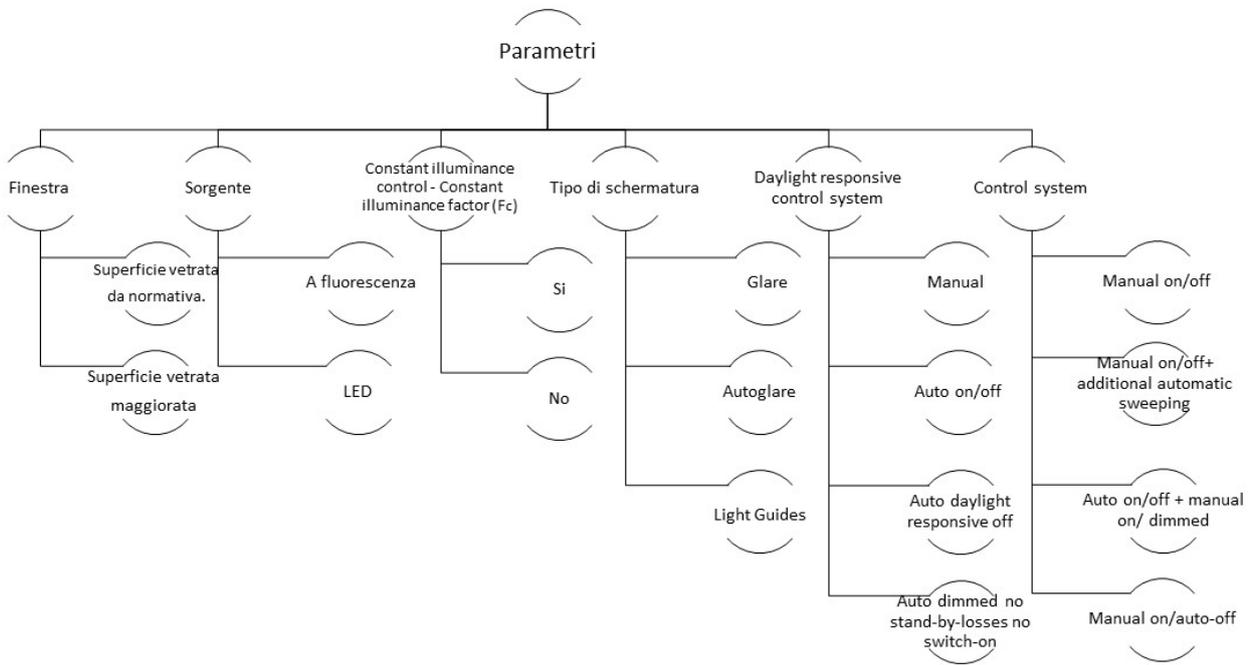


Figura 2: Grafico con i parametri e le loro varianti scelte per questo studio.

### 3. Metodologia di lavoro applicata per ciascun caso studio

Il seguente lavoro è stato strutturato in modo tale da presentare per ciascun caso studio (in totale nove) sia il processo di tipizzazione effettuato per determinare la destinazione d'uso in esame sia l'analisi dei risultati. La prima parte è perciò dedicato alla descrizione della costruzione dell'edificio tipo, costituito da volumetrie e geometrie determinate da ricerche sul contesto immobiliare italiano e parallelamente dal rispetto delle normative principali in ambito edilizio (sicurezza, salubrità e così via). In parallelo, si descriveranno anche i parametri coinvolti, i quali variano in base alle caratteristiche stesse dell'edificio tipo. Ogni caso studio sarà, di conseguenza, provvisto di un set di simulazioni coerenti con i parametri identificati (vedi paragrafo 3.1). La seconda parte invece riporta l'analisi dei risultati ottenuti che seguirà una metodologia chiara ed applicata a tutti i casi (vedi paragrafo 3.2).

#### 3.1 *Descrizione del caso studio e dei parametri*

La fase di ricerca e definizione del caso studio verrà sviscerata ed approfondita per ciascuna destinazione d'uso riportate nella normativa UNI EN 15193-1:2017 (paragrafi dal 4.1 al 4.9). La logica delle scelte compositive e distributive degli spazi del caso in esame ed il rispetto dei relativi requisiti minimi (sia illuminotecnici che architettonici) saranno delucidati all'interno della descrizione di ogni caso studio. Dopo aver presentato l'edificio tipo, i parametri in gioco scelti saranno mostrati e commentati; una volta definiti, sarà possibile stabilire il numero di simulazioni effettuate per il caso studio in esame.

#### 3.2 *Descrizione dell'analisi dei risultati*

L'analisi dei risultati di ciascun caso studio è stata condotta in maniera lineare e simile in modo tale da aiutare il lettore alla comprensione della lettura dei molteplici risultati ottenuti. La logica che ha guidato l'impostazione dell'analisi dei risultati è stata quella di presentare in primo luogo i macro-risultati, per avere un quadro generale dei valori del LENI per ogni caso studio. In seguito, vengono mostrati e commentati i risultati più specifici di ciascun caso studio, evidenziando gli aspetti peculiari di ciascuno di essi. Infine, singoli ambienti all'interno dello stesso caso studio sono stati confrontati tra loro ed analizzati per sviscerare l'influenza di alcuni parametri aggiuntivi, quali l'esposizione e l'ostruzione.

##### 3.2.1 *Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.*

Tale studio prevede l'analisi dei valori Minimi e Massimi del LENI dell'edificio per ogni parametro e la differenza percentuale tra questi due valori.

L'obiettivo di questa analisi preliminare è mostrare l'impatto di ogni parametro sul LENI totale dell'edificio, non tenendo in considerazione la combinazione e quindi i reciproci impatti con altri parametri. Di conseguenza, si è scelto di analizzare ogni volta la combinazione di parametri più semplice e far variare solo il parametro in esame. Si ricorda che i fattori in gioco sono i seguenti:

- **Tipologia di finestra** (dimensione da normativa e dimensione maggiorata<sup>1</sup>)
- **Tipo di sorgente** (Fluorescente e LED)
- **Daylight-responsive control systems** (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- **Control system** (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- **Constant Illuminance Control – Constant illuminance factor  $F_c$**  (presenza o assenza di questo sistema di regolazione)
- **Tipologia di schermatura** (Glare/Autoglare/Lighting-guides).

---

<sup>1</sup> Il parametro della finestra maggiorata varia in base al caso studio in esame: talvolta si avrà una semplice maggiorazione delle superfici vetrate, in altri casi si potrà avere una diversa distribuzione della stessa superficie vetrata (ad esempio su pareti contigue). La scelta è legata ai caratteri ed i vincoli geometrici del caso studio.

La lista di combinazioni è la seguente, nella quale viene evidenziato (in grassetto) di volta in volta il parametro analizzato singolarmente.

- **Tipologia di finestra**

VALORE MASSIMO: **Finestra a norma** / assenza del Constant illuminance factor /schermatura “Glare”/LED/ sistemi di controllo (daylight responsive control system e control system) manuali

VALORE MINIMO: **Finestra maggiore del valore soglia della norma** / assenza del Constant illuminance factor / schermatura “Glare”/LED/sistemi di controllo manuali

- **Tipologia di sorgente (LED e fluorescenza)**

VALORE MASSIMO: Finestra a norma/ assenza del Constant illuminance factor / schermatura “Glare”/ **Fluorescenza** / sistemi di controllo (daylight responsive control system e control system) manuali

VALORE MINIMO: Finestra a norma / assenza del Constant illuminance factor / schermatura “Glare”/ **LED**/ sistemi di controllo (daylight responsive control system e control system) manuali

- **Daylight-responsive control systems**

VALORE MASSIMO: Finestra a norma/ assenza del Constant illuminance factor / schermatura “Glare”/ LED / **sistema di controllo del daylight “Manual”/ “control system”** manuale

VALORE MINIMO: Finestra a norma/ assenza del Constant illuminance factor / schermatura “Glare”/ LED/ **sistemi di controllo del daylight “Auto dimmed no stand-by-losses no switch-on”/ “control system”** manuale

- **Control system**

VALORE MASSIMO: Finestra a norma/ assenza del Constant illuminance factor / schermatura “Glare”/ LED / “daylight responsive control system” manuale/ **control system Manual on/off switch**

VALORE MINIMO: Finestra a norma/ assenza del Constant illuminance factor / schermatura “Glare”/ LED/ “daylight responsive control system” manuale/ **control system Manual on/auto-off**

- **Constant Illuminance Control - Constant illuminance factor  $F_c$**

VALORE MASSIMO: Finestra a norma/ **presenza del Constant illuminance factor** / schermatura “Glare”/ LED/ sistemi di controllo (daylight responsive control system e control system) manuali

VALORE MINIMO: Finestra a norma/ **assenza del Constant illuminance factor** / schermatura “Glare”/ LED/ sistemi di controllo (daylight responsive control system e control system) manuali

- **Tipologia di schermatura (Glare/Autoglare/Lighting-guides).**

Evidenziare i valori di massimo e minimo tra le combinazioni di seguito riportate:

- Finestra a norma/ assenza del Constant illuminance factor / **schermatura “Glare”** / sistemi di controllo (daylight responsive control system e control system) manuali
- Finestra a norma/ assenza del Constant illuminance factor / **schermatura “Autoglare”** / sistemi di controllo (daylight responsive control system e control system) manuali
- Finestra a norma/ assenza del Constant illuminance factor / **schermatura “lighting-guides”** / sistemi di controllo (daylight responsive control system e control system) manuali

### 3.2.2 Analisi di tutte le combinazioni effettuate

Questa analisi prevede la valutazione di tutte le combinazioni simulate, mettendo in luce sia il subLENI di ogni piano (laddove è stato calcolato) che il LENI totale dell'edificio. Ricordiamo che le simulazioni variano di caso in caso, partendo da un minimo di 128 ad un massimo di 384 combinazioni.

È stato scelto di effettuare quattro diverse analisi sull'intera mole di risultati ottenuti, focalizzando l'attenzione sull'impatto dei parametri singoli e variati simultaneamente. Per maggior chiarezza, ciascuno studio condotto sui risultati è spiegato brevemente di seguito:

- Studio sulle coppie di combinazioni che, tenendo fissi di volta in volta gli altri parametri, corrispondono rispettivamente alle condizioni dei sistemi di controllo manuali e più evoluti;
- Studio dei risultati di un set di simulazioni (le prime 16) relative alla combinazione base, avente come parametri la superficie vetrata in linea con i minimi stabiliti da regolamenti e/o normative, sorgente fluorescente, non attivazione del Constant illuminance factor, schermatura di tipo Glare, sistemi di controllo manuali;
- Studio dell'impatto di tutti i parametri, esclusi i sistemi di controllo, che saranno mantenuti manuali;
- Studio dell'impatto della variazione simultanea di due parametri scelti.

### 3.2.3 Analisi peculiare

Questo tipo di analisi verte ad investigare il singolo ambiente in relazione ai due parametri menzionati nei paragrafi precedenti, quali l'orientamento e l'ostruzione<sup>2</sup>. Per quanto riguarda l'orientamento, verranno identificate due stanze con caratteristiche geometriche simili e stessi requisiti illuminotecnici, poste rispettivamente a Nord e a Sud. La combinazione principale scelta per effettuare questo confronto è quella caratterizzata da seguenti parametri: la finestra con superficie vetrata in linea con i minimi imposti da normativa per ogni caso studio, combinata con assenza del Constant illuminance factor, sorgenti LED, schermatura di tipo Glare e sistemi controllo manuali. Laddove è stato possibile, è stata anche analizzata la stessa combinazione ma con il parametro della finestratura maggiorato.

Infine, l'ostruzione verrà approfondita tramite il confronto di due ambienti collocati su piani differenti, laddove l'edificio in esame presenti più livelli ed abbia edifici confinanti entro un raggio di distanza contenuto (al di sotto di 15 metri). Anche per questo scopo, la combinazione scelta è quella composta da finestra a norma, assenza del Constant illuminance factor, sorgenti LED e sempre sistemi di controllo manuali.

---

<sup>2</sup> Si ricorda che questo tipo di analisi è stato svolto laddove è stato possibile individuare ambienti congrui ed adatti per lo studio dell'orientamento e laddove il parametro dell'ostruzione è stato incluso.

## 4. Identificazione delle 9 destinazioni d’uso

La normativa UNI EN 15193-1:2017 propone ed analizza nove destinazioni d’uso, come riportato nella Tabella 5. È stato necessario quindi definire i nove corrispettivi edifici tipo (edificio non reale ma realistico per ogni destinazione d’uso), le cui specifiche caratteristiche geometriche e funzionali verranno elaborate sia in funzione dei requisiti normativi sia sulla base di caratteristiche architettoniche tipiche del contesto edilizio italiano. Questo studio coinvolgerà dunque sia un approfondimento delle normative vigenti di vario genere (sicurezza, illuminazione, funzione d’uso) sia un’analisi delle caratteristiche dimensionali, geometriche e strutturali tipo del panorama italiano.

Tabella 5: Le nove destinazioni d’uso presenti nella norma [2].

Destinazioni d’uso
Edifici residenziali
Uffici
Edifici di istruzione (primaria, secondaria e così via)
Strutture ospedaliere
Strutture alberghiere
Ristoranti
Strutture per ambienti sportivi
Centri commerciali
Industrie

Una volta inquadrare le nove destinazioni d’uso esposte nella normativa UNI EN 15193-1:2017 si è potuto affrontarle singolarmente, definendone un caso tipo ed elaborando un set di combinazioni specifico, in base ai parametri presi in esame. I paragrafi seguenti illustrano quanto appena esposto, applicando la metodologia di lavoro precedentemente descritta (Paragrafo 3). Inoltre, tutti i casi studio in esame hanno la stessa località in corrispondenza delle coordinate geografiche di Roma (Latitudine: 41,53°; Longitudine: 12,30°), in modo tale da poter quantificare l’impatto dei parametri scelti sul LENI. La variazione della località verrà considerata nei prossimi sviluppi della ricerca, in modo tale da estendere la tabella dei valori di benchmark per l’illuminazione al contesto internazionale.

### 4.1 Edifici residenziali

Il panorama italiano relativamente agli edifici residenziali è molto vasto, tenendo conto delle varie tipologie abitative, dei diversi anni di costruzione e materiali impiegati. Alcuni censimenti sono stati fatti sia in termini quantitativi [17] che in termini di analisi costruttive. Lo sforzo di monitorare tali strutture è quello di gestire e promuovere opere di riqualificazione sia energetica che strutturale, tenendo conto della varietà di tali immobili sul suolo italiano.

#### 4.1.1 Descrizione dell’edificio tipo e dei parametri

Per definire il caso studio del residenziale, sia la banca dati dell’ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) che la consultazione di specifici report [17], si sono rilevati fonti essenziali e primarie. Prima di tutto, si è voluto analizzare quale tipologia abitativa fosse più diffusa in Italia e si è visto che:

*“le famiglie residenti in Italia vivono prevalentemente in appartamento (54.9%), mentre quelle che abitano in ville, villini o casali unifamiliari o plurifamiliari (con accessi indipendenti) rappresentano il 38.1%.” Per cui la tipologia di abitazione dell’appartamento riguarda l’85% delle famiglie residenti nei centri delle aree metropolitane, mentre è circa il 68% delle famiglie ad aver scelto questa stessa tipologia abitativa nei comuni della cintura metropolitana e in quelli con oltre 50.000 abitanti. Infine, è da sottolineare che oltre il 75% delle famiglie risiede in immobili costruiti prima del 1990, mentre circa il 17% in quelli precedenti al 1950” [17].*

Una volta stabilito che la tipologia abitativa più diffusa è quella dell’appartamento, le ricerche si sono indirizzate verso la definizione delle metrature e della distribuzione interna. Secondo le informazioni riportate nel censimento del 2014 ISTAT [17], il 73.2% delle abitazioni occupate ha almeno una cucina (75.5% nel 2001), e la quasi totalità delle abitazioni occupate dispone di almeno un gabinetto (99.9%) e/o di un

impianto doccia/vasca da bagno (99.4%). Il nucleo familiare medio è di tre persone. Per quanto riguarda la metratura, quasi 5 milioni di abitazioni hanno una superficie di circa 70 m<sup>2</sup>.

Inoltre, grazie al censimento effettuato dall' ISTAT [17] è stato possibile definire i piani della palazzina tipo, composta da 4 piani fuori terra (circa 3 milioni di edifici residenziali in Italia presenta tre piani fuori terra e circa 2 milioni hanno quattro piani e più). Tutti i livelli, compreso il piano terra, sono uguali tra loro e sono caratterizzati da due abitazioni speculari, con altezza di interpiano pari a 2.70 m. Ogni appartamento presenta la seguente distribuzione degli spazi:

- Salone: 29.4 m<sup>2</sup>;
- Cucina: 12 m<sup>2</sup>;
- Disimpegno: 1,5 m<sup>2</sup>;
- Bagno: 4.5 m<sup>2</sup>;
- Camera da letto doppia: 12 m<sup>2</sup>;
- Camera da letto singola: 14 m<sup>2</sup>.

Di seguito è riportata la planimetria del piano tipo con le metrature e la corrispondente distribuzione interna (Figura 3). Il rettangolo rosso tratteggiato evidenzia l'appartamento tipo di 70 m<sup>2</sup>.

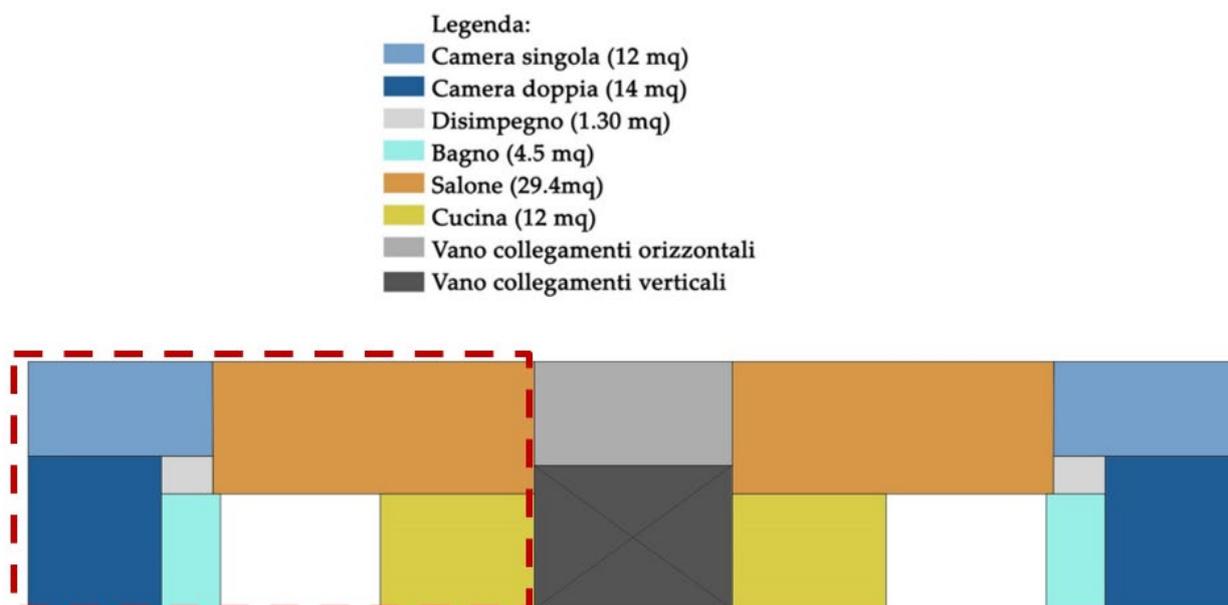


Figura 3: Legenda e planimetria schematica del piano tipo dell'appartamento.

Le dimensioni delle finestre devono seguire dei valori normativi atti a definire un ambiente salubre e salutare, dove non ci siano problemi come il ristagno di umidità, l'insufficiente ricambio di aria, la formazione di muffe, il deterioramento delle strutture e delle pareti, la variazione negativa dell'isolamento termo-acustico. Il Decreto Ministeriale del 5 luglio 1975 [18], riferimento normativo a livello nazionale, definisce che il rapporto aeroilluminante (R.A.I.), rapporto fra la superficie delle finestre di una stanza e la superficie totale calpestabile, debba essere minimo pari ad un 1/8. In Tabella 6 sono visibili alcune caratteristiche fondamentali di ogni stanza.

Tabella 6: Caratteristiche geometriche della finestratura.

R.A.I. = 1/8						Legenda
	Cucina	Salone	Camera singola	Camera doppia	Bagno	R.A.I.: rapporto aereo-illuminante
S <sub>tot</sub>	12,00	29.40	12.00	14.00	4.50	S <sub>tot</sub> : superficie totale
S <sub>v</sub>	1.50	3.70	1.50	1.80	0.60	S <sub>v</sub> : superficie vetrata
H	1.40	2.20	1.40	1.40	1.40	H: altezza
L <sub>min</sub>	1.07	1.67	1.07	1.25	0.40	L <sub>min</sub> : larghezza minima
L	1.20	1.80	1.20	1.40	0.60	L: larghezza

Per quanto riguarda l’illuminazione artificiale, essendo un edificio residenziale non esistono direttive e/o normative sull’illuminamento minimo da garantire per ogni ambiente. Per cui si è deciso di adottare un livello di illuminamento minimo di 100 lux per la zona notte (camera doppia e singola e disimpegno) e un valore di 200 lux per la sala, la cucina ed il bagno. È evidente che ai fini dello studio è prevista una progettazione dell’illuminazione artificiale basilare, prevedendo l’utilizzo di lampade a soffitto, utili a garantire l’illuminamento poc’anzi citato senza tenere conto di altri tipi di punti luce, tipici del settore residenziale (applique, bajour etc.).

Di seguito sono elencati i parametri considerati per le simulazioni del caso studio in esame:

- Tipologia di finestra (dimensione da normativa e dimensione maggiorata)
- Tipo di sorgente (Fluorescente e LED)
- Daylight-responsive control systems (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- Control system (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- Tipologia di Schermatura (Glare, Autoglare)

Come è stato già detto precedentemente, la superficie vetrata è stata calcolata in base alle indicazioni riportate nella normativa [18], ovvero 1/8 della superficie calpestabile. La condizione di finestra maggiorata in questo caso studio è stata definita solamente per lo spazio dedicato alla sala, poiché per le altre zone dell’appartamento non risulta essere verosimile trovare finestre con superfici vetrate eccedenti i valori imposti da normativa. Per cui, volendo sempre analizzare edifici congruenti con la realtà del parco immobiliare nazionale, la Tabella 7 riporta i valori della finestra maggiorata che diviene circa 1/4 della superficie complessiva della stanza del soggiorno (in modo tale da vedere l’impatto della superficie vetrata come parametro all’interno dell’analisi proposta).

Tabella 7: Caratteristiche geometriche del parametro-finestra variato.

RAI 1/4		Legenda
	Salone	R.A.I.: rapporto aereo-illuminante
S <sub>tot</sub>	29.40	S <sub>tot</sub> : superficie totale
S <sub>v</sub>	7.92	S <sub>v</sub> : superficie vetrata
H	3.60	H: altezza
L	2.20	L: larghezza

Le restanti superfici vetrate delle altre zone seguiranno il rapporto R.A.I. di 1/8 come riportato nella Tabella 6. Per quanto riguarda le due tipologie di sorgente artificiale, fluorescente e LED, nella Tabella 8 sono mostrate le principali caratteristiche dei diversi modelli usati per ciascuna zona.

Tabella 8: Caratteristiche delle sorgenti impiegate.

Sorgenti a fluorescenza		
Zone dell'appartamento	Flusso luminoso (lm)	Potenza (W)
Salone, Cucina	7654	118
Disimpegno	448	8.60
Camere da letto	2600	61
Bagno	1050	18
Sorgenti a LED		
Zone dell'appartamento	Flusso luminoso (lm)	Potenza (W)
Salone	7997	71
Disimpegno	850	11
Cucina, Camere da letto, Bagno	1900	15

La scelta dei parametri in gioco è strettamente connessa con la tipologia esaminata. In questo caso, non si è ritenuto opportuno l'inclusione della variabile del Constant Illuminance Control,  $F_c$  (presenza o assenza di questo sistema di regolazione), poiché è molto raro trovarlo nelle abitazioni private. Per quanto riguarda le schermature, identificate dalla norma UNI EN 15193-1:2017 [2], sono state scelte le seguenti: "Glare protection" ed "Autoglare protection", ritenendo le "Light guides" troppo avanzate per il caso in esame. Le simulazioni effettuate in totale sono 128, considerando i parametri valutati e le combinazioni tra queste ultime. Il grafico rappresentato in Figura 4 mostra lo schema delle combinazioni.

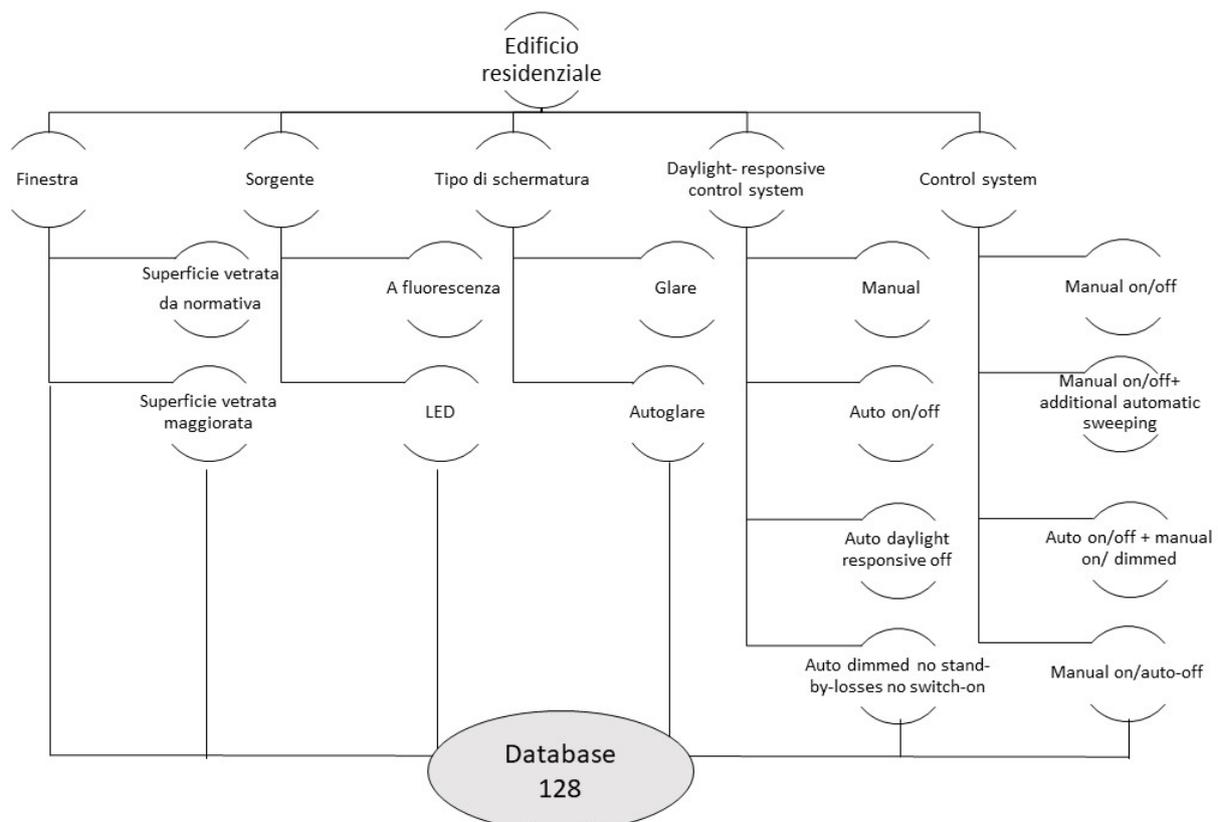


Figura 4: Grafico dello schema delle combinazioni del caso studio residenziale.

4.1.2 Risultati dell'edificio tipo "Edifici residenziali"

In generale, i risultati ottenuti mettono in luce il ruolo fondamentale della sorgente ed il suo impatto sul valore finale del LENI. L'utilizzo della sorgente LED permette una riduzione del LENI oltre il 45%, rispetto alla sorgente a fluorescenza. I sistemi di controllo più sofisticati dell'occupazione garantiscono un buon decremento (oltre il 25%); i sistemi di controllo del Daylight responsive invece hanno un impatto meno evidente (al di sotto del 10%). I parametri della schermatura e della finestra hanno poca influenza in questo caso (al di sotto del 1%), dovuto in parte ai vincoli progettuali del caso studio in esame. Infine, analizzando il fattore dell'ostruzione, è possibile affermare che il suo peso nella determinazione del LENI sia poco significativo, in relazione alla destinazione d'uso del residenziale.

I. Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.

La Tabella 9 mostra i valori Minimi e Massimi del LENI dell'edificio per ciascun parametro in esame, come descritto nel paragrafo "Metodologia di lavoro applicata per ciascun caso studio". La Tabella 9 presenta il parametro di cui si studia la variazione, la combinazione di parametri specifica presa in esame, i valori minimi e massimi di LENI ottenuti confrontando tutte le alternative possibili di ogni parametro e le alternative con cui sono stati ottenuti questi valori.

Tabella 9: Risultati in relazione alla variazione di un parametro.

Parametro	Condizione		Valore		Δ%
	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
Finestra	Norma	Maggiorata	15.45	15.39	0.39
Schermatura	Glare	Autoglare	15.45	15.35	0.65
Sorgente	Fluorescente	LED	15.45	8.30	46.28
Daylight-responsive control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	15.45	14.21	8.03
Control system	Manual on/off switch	Manual on/auto off	15.45	11.38	26.34

Analizzando la Tabella 9, si evince che il valore massimo di LENI (15.45 kWh/m<sup>2</sup> anno) è invariato per tutti parametri, poiché rappresenta la condizione più semplice identificata come combinazione base per ognuno dei parametri. La comparazione del valore massimo del LENI ottenuto per l'ufficio è confrontata con il valore minimo calcolato per ogni variabile in gioco, mostrando quale di esse ha un maggior impatto sul LENI sia positivo che negativo.

Di conseguenza, il parametro che mostra avere più peso in termini di LENI è la sorgente: il passaggio da lampada a fluorescenza a LED produce una riduzione del LENI del 46.28%. In coda ad essa, troviamo il parametro dell'control system che ottiene un decremento del LENI pari al 26.4%, seguito dal Daylight responsive Control System che conta per l'8.03%. Si evince che in termini di sistemi di controllo, i sensori relativi all'occupazione hanno un impatto maggiore rispetto al controllo della luce naturale, risultato che è in linea anche con l'effettiva occupazione da parte degli utenti degli spazi durante l'arco della giornata. Infine, la schermatura e la finestra si attestano su decrementi molto bassi, rispettivamente del 0.65% e del 0.39%. È evidente che il parametro della finestra non ha molto impatto sulla riduzione del LENI poiché la sua geometria, e quindi superficie, è vincolata dalle limitazioni del caso studio in esame.

## II. Analisi di tutte le combinazioni effettuate

In Tabella 10 sono presentate le coppie di combinazioni che tenendo fisse di volta in volta gli altri parametri corrispondono rispettivamente alla condizione di “control system” più semplice (1/1) e a quella più evoluta (4/4). La prima condizione (1/1) prevede:

- Daylight responsive system: Manual
- Control system: Manual on/off switch

La seconda condizione (4/4) invece prevede:

- Daylight responsive system: Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On
- Control system: Manual on/auto off

Tabella 10: Risultati delle coppie di simulazioni analizzate<sup>3</sup>.

Parametri in gioco		Daylight responsive control system/ Control system	LENI totale kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ (%) <sup>3</sup>
Glare	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo.	1/1	15.45	32.49
		4/4	10.43	
	Finestra R.A.I. 1/8, LED.	1/1	8.30	31.20
		4/4	5.71	
Autoglare	Finestra maggiorata, Fluo.	1/1	15.39	32.68
		4/4	10.36	
	Finestra maggiorata, LED.	1/1	8.26	31.36
		4/4	5.67	
Autoglare	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo.	1/1	15.35	32.83
		4/4	10.31	
	Finestra R.A.I. 1/8, LED.	1/1	8.26	31.48
		4/4	5.66	
Autoglare	Finestra maggiorata, Fluo.	1/1	15.28	32.98
		4/4	10.24	
Autoglare	Finestra maggiorata, LED.	1/1	8.24	32.65
		4/4	5.55	

La variazione dei sistemi di controllo, da quelli manuali (1/1) a quelli più evoluti tecnologicamente (4/4) ottiene una riduzione del LENI che si attesta in un intervallo compreso tra 30.62% ed il 32.98%. Nel dettaglio, si evince che tutte le combinazioni aventi la sorgente a fluorescenza mostrano una differenza percentuale leggermente maggiore rispetto alla stessa combinazione avente come il sorgente il LED. Ciò è dovuto al fatto che il LED di per sé permette una riduzione elevata del LENI e quindi l’impatto dei sistemi di controllo, sia dei sensori di occupazione che del Daylight responsive control, sono in qualche modo meno evidenti. Non a caso, il valore maggiore di differenza percentuale è ottenuto dalla combinazione avente finestra maggiorata e sorgente a fluorescenza.

Sempre dalla Tabella 10 si evince che il LENI maggiore è ottenuto dalla combinazione finestra con R.A.I. 1/8, schermatura di tipo Glare, sorgenti a fluorescenza, e sistemi di controllo manuali (15.45 kWh/(m<sup>2</sup> anno)) contro i 5.62 kWh/ (m<sup>2</sup> anno) della combinazione avente finestre maggiorata, schermatura di tipo Autoglare, sorgente LED e sistemi di controllo avanzati. Si raggiunge quindi uno scarto tra i due valori del LENI pari al 63.62%, come è mostrato nella Tabella 11. È interessante notare che la variazione di tutti i parametri in gioco (finestra, schermatura, sorgente e controlli) permette una riduzione del LENI (63.62 %) maggiore della sola variazione della sorgente (46.28%), Tabella 11.

Tabella 11: Impatto della variazione di un parametro (sorgente) e di tutti i parametri

Parametro	Δ%
Finestra, Sorgente, schermatura, sistemi di controllo (da 1/1 a 4/4)	63.62%
Sorgente	46.28%

Come è già stato affermato, l’influenza più marcata sul LENI è data dalla sorgente LED; tuttavia, è importante evidenziare l’ulteriore guadagno dato dall’uso sinergico di tutti i parametri (Tabella 11).

La Tabella 9 riporta il decremento del LENI man mano che si passa da sistemi di controllo (sia per il daylight responsive control system che per il control system) meno performanti a più performanti (vedi righe evidenziate in blu nella Tabella 13). Gli altri parametri in gioco, ovvero finestra a norma, sorgente a fluorescenza, schermatura di tipo di Glare restano sempre fissi.

I sistemi di controllo sono espressi con la nomenclatura riportata nella Tabella 12 e nel seguente ordine: daylight control/control system.

Tabella 12: Nomenclatura del daylight control e control system.

Daylight-responsive control system	Nomenclatura	Control system	Nomenclatura
Manual	1	Manual	1
Automatic Switched on/off	2	Manual on/off + additional aut. Signal and Auto on/ Dimmed	2
Automatic Daylight Responsive off	3	Auto on/off and Manual on/Dimmed	3
Automatic Dimmed No stand-by Losses No switch on	4	Manual on/Auto off	4

Tabella 13: Risultati di un intero set di combinazioni.

Parametro	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
1/1	15.45
1/2	14.45
1/3	13.42
1/4	11.38
2/1	15.12
2/2	14.14
2/3	13.18
2/4	11.14
3/1	14.81
3/2	13.85
3/3	12.86
3/4	10.81
4/1	14.21
4/2	13.30
4/3	12.34
4/4	10.43

Dopo aver sviscerato l’andamento del LENI in relazione al variare dei sistemi di controllo, è stata effettuata un’altra analisi avente lo scopo di capire l’influenza degli altri parametri (tranne quelle relative ai sistemi di controllo che vengono mantenuti fissi) sul LENI.

Nella Tabella 14 sono riportate otto combinazioni aventi come parametro fisso i sistemi di controllo (in questo caso Manual/Manual on/off ovvero 1/1), e variate invece i restanti fattori in esame.

Tabella 14: Sistemi di controllo fissi e variati gli altri parametri.

Parametri in esame		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
Finestra R.A.I. 1/8 e Fluo	Glare	15.45
	Autoglare	15.35
Finestra R.A.I. 1/8 e LED	Glare	8.30
	Autoglare	8.26
Finestra maggiorata e Fluo	Glare	15.39
	Autoglare	15.28
Finestra maggiorata e LED	Glare	8.26
	Autoglare	8.10

Si evince che il valore massimo (15.45 kWh/(m<sup>2</sup> anno)) è ottenuto dalla combinazione base in grigio scuro (finestra a norma, sorgente a fluorescenza e schermatura Glare), invece il valore minimo (8.10 kWh/(m<sup>2</sup> anno)) dalla combinazione (evidenziata in grigio chiaro) avente finestratura maggiorata, sorgenti LED e schermature del tipo "Autoglare".

Inoltre, si nota che l'impatto del parametro della schermatura è più evidente, in termini decimali, nelle combinazioni aventi finestra maggiorata (R.A.I. 1/4), sia per la combinazione avente come sorgente quella a fluorescenza (15.39 vs 15.28 kWh/(m<sup>2</sup>anno)) che il LED (8.26 vs 8.10 kWh/(m<sup>2</sup>anno)).

Tenendo a mente la Tabella 14, sono state svolte altre analisi con l'obiettivo di mettere in evidenza l'impatto di due parametri variati simultaneamente, mantenendo le restanti variabili fisse (Tabella 15).

Le variazioni a coppia dei parametri sono le seguenti:

- Variazione della tipologia di sorgente e schermatura
- Variazione della tipologia di schermatura e della finestra
- Variazione della tipologia di sorgente e della finestra

Ciascuna di queste combinazioni viene confrontata con la combinazione invariata che risulta essere quella caratterizzata da finestra a norma (R.A.I. 1/8), sorgente a fluorescenza e schermatura tipo Glare.

Tabella 15: Confronti a coppie di parametri

LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ%	Parametri analizzati a coppie
15.45	-	-
8.26	46.54	Sorgente e schermatura
15.28	1.10	Schermatura e finestra
8.10	47.57	Sorgente e finestra

Le coppie Sorgente/finestra e Sorgente/schermatura ottengono i più alti decrementi del LENI, rispettivamente di 47.57% e 46.54%. In coda si trova la coppia composta dalla schermatura e dalla finestra che apporta raggiunge solamente un 1.10%. Si evince che il fattore trainante in termini di abbattimento del LENI sia il passaggio dalla sorgente a fluorescenza a quella LED; lavorando solamente sui parametri della superficie vetrata e sulla tipologia della schermatura non garantisce risparmi elevati di energia, ma dovrebbe essere abbinata inevitabilmente ad interventi di efficientamento della sorgente luminosa.

Queste considerazioni sono valide ed applicabili ai risultati delle restanti combinazioni riportate nelle tabelle dell'Appendice (riportate nel paragrafo CASO STUDIO: Residenziale) con l'unica differenza che variando per ciascuna tabella la combinazione dei sistemi di controllo, si assiste ad una complessiva riduzione del LENI.

### III. Analisi peculiare

Questo tipo di analisi ha l'obiettivo di mostrare come varia il LENI (ovvero il subLENI) di una specifica stanza in relazione al suo orientamento ed anche alla variazione della superficie vetrata della finestra. L'ambiente scelto è il soggiorno, per il quale è stata simulata ed applicata la variazione del parametro della finestra. Inoltre, è l'unico locale che permette il doppio affaccio (sia a Sud che a Nord), contraddistinguendolo dalle altre stanze che non hanno questo tipo di esposizione.

Le combinazioni scelte prevedono come parametri fissi la sorgente (Fluorescente), la schermatura a veneziana (Glare), e il sistema di controllo manuale; la variazione viene effettuata solamente per il parametro della finestratura (Tabella 16).

Tabella 16: Impatto dell'orientamento su alcune stanze tipo.

Parametro	Stanza Nord (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Stanza Sud (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ% <sup>3</sup>
Finestra R.A.I. 1/8	22.53	22.37	0.71
Finestra R.A.I. 1/4	22.46	22.29	0.76

In questo caso studio, la riduzione del LENI in relazione al parametro della superficie vetrata per l'ambiente tipo selezionato è molto ridotta e si attesta al di sotto del 1%. Viceversa, la finestra avente maggiore superficie vetrata (R.A.I. del 1/4) ottiene valori di LENI minori soprattutto per quanto concerne la stanza posta a Sud.

È stato analizzato anche l'impatto del parametro ostruzione identificando due ambienti destinati alla zona notte (camera doppia), appartenenti una al piano terra ed una all'ultimo piano (Tabella 17). Si nota come la presenza dell'ostruzione, che diminuisce con l'aumentare dei piani, determini una riduzione del LENI del 0.4%, tra i due piani presi in esame.

Tabella 17: Impatto dell'ostruzione su alcune stanze tipo.

Parametri scelti	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ% <sup>3</sup>
Finestra a norma, LED, Glare, sistemi di controllo manuali	5.36	5.34	0.4

## 4.2 Ufficio

La destinazione d'uso di tipo ufficio è stata ampiamente studiata ed analizzata, soprattutto nel quadro di riqualificazione energetica e strutturale. In Italia, tali strutture differiscono specialmente per anno di costruzione e molto spesso sono edifici caratterizzati anche da vincoli storici/artistici, soprattutto quelli situati nei centri storici di città d'arte. Essendo comunque una destinazione d'uso tra le più diffuse sul territorio italiano, questo studio si inserisce in questo ambito e potrebbe essere spunto per analisi future.

### 4.2.1 Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri

La definizione dell'edificio tipologico avente destinazione d'uso l'ufficio ha richiesto la consultazione di diversi documenti e normative al fine di definirne i caratteri principali. Anche per l'ufficio è stato consultato il documento STREPIN 13/11/2015 [19], soprattutto per quanto concerne le dimensioni caratterizzanti l'attuale patrimonio immobiliare italiano.

Nel documento è riportato che in Italia ci sono 65.000 edifici adibiti esclusivamente o prevalentemente ad uffici, per una superficie totale di 56,7 ml. di m<sup>2</sup> ed una volumetria pari a quasi 200 ml. di m<sup>3</sup>. La quota maggiore di edifici è riconducibile a complessi di piccole dimensioni: infatti circa il 50% non supera i 350 m<sup>2</sup>. Per quanto riguarda gli edifici di grandi dimensioni (oltre 5.000 m<sup>2</sup>), che sono circa 1.200, sono concentrati nelle regioni Settentrionali d'Italia e rappresentano il 32% delle volumetrie e delle superfici (circa 62 milioni di m<sup>3</sup>) [19].

Partendo da questi dati, si è ipotizzato che un complesso ad uso ufficio potesse avere tre piani con una superficie di 290 m<sup>2</sup> per piano. L'altezza di interpiano minima per edifici a uso pubblico è stabilita dal TU

SICUREZZA 81/2008 [4] ed è compresa tra 2.70 e 3.00 m. Di conseguenza è stata scelta un'altezza di interpiano superiore alla minima, ovvero di 3.5 m.

Una volta determinata la superficie e l'ingombro dell'edificio, si è passati allo studio della distribuzione interna, che sarà ripetuto per ogni piano. Di conseguenza, il piano tipo elaborato comprende molti ambienti caratterizzati da diverse metrature, aventi lo scopo di descrivere al meglio le ipotetiche funzioni/mansioni all'interno di un ufficio. La variazione è in termini sia di superficie che del numero di persone che può contenere quella specifica stanza. Sempre il TU SICUREZZA 81/2008 [20] stabilisce che l'area minima per addetto in uno spazio di lavoro è compresa tra i 5 e gli 8 m<sup>2</sup>. Si è preso un valore medio di 6 m<sup>2</sup>. Partendo da queste considerazioni, è stato possibile definire le aree di ciascun ambiente tipo, riportate nella Tabella 18:

Tabella 18: Distribuzione degli spazi del piano tipo.

Numero di persone per singolo ambiente	m <sup>2</sup>	Destinazione d'uso	Quantità di ambienti nel Piano Tipo
2	14.50	Ufficio	4
2	15.75	Ufficio	1
8	48.00	Ufficio	1
Variabile (>6)	37.30	Sala conferenze comune	1
-	42.70	Corridoio	1
-	9.60	Locale servizi	1

Per quanto concerne il calcolo della superficie vetrata, è stato adottato il valore di 1/10 dell'area totale calpestabile dell'ambiente, come da riportato sempre nel documento della sicurezza [20]. Il calcolo delle sorgenti necessarie per garantire un adeguato livello di illuminamento è stato effettuato sulla base dei requisiti espressi dalla norma UNI EN 12464-1 [21], secondo cui negli ambienti per uffici e sala conferenza l'illuminamento medio mantenuto è compreso tra 300-500 lx; perciò, è stato scelto il valore di 500 lx. Infine, nei bagni e spazi comuni è stato adattato il valore medio di 200 lx. La Figura 5 rappresenta la planimetria del piano tipo ad uso ufficio, correlata di legenda generale.

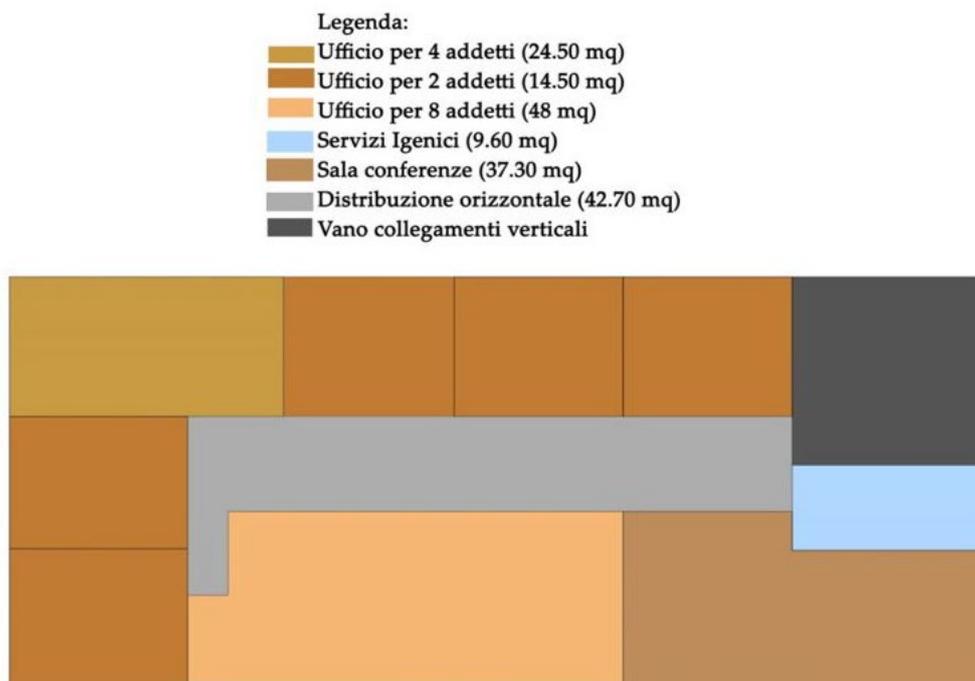


Figura 5: Legenda e planimetria schematica del piano tipo dell'ufficio.

Nuovamente vengono riportate i parametri considerati per il caso studio dell'ufficio:

- Tipologia di finestra (dimensione da normativa e dimensione maggiorata)
- Tipo di sorgente (Fluorescente e LED)
- Daylight-responsive control systems (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- Control system (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- Constant Illuminance Control, Fcc (presenza o assenza di questo sistema di regolazione)
- Tipologia di schermatura (Glare, Autoglare, light guides)

Come è stato già anticipato precedentemente, la superficie vetrata è stata calcolata in base alle indicazioni riportate nella normativa [20], ovvero 1/10 delle superficie calpestabile. La condizione di finestra maggiorata è stata definita come il doppio del rapporto aereo-illuminante stabilito dalla norma [20], utilizzando perciò il valore di 1/5 della superficie complessiva della stanza (Tabella 19).

Tabella 19: Caratteristiche geometriche della variabile della finestratura.

Numero addetti	Superficie stanza (m <sup>2</sup> )	R.A.I. 1/10			R.A.I. 1/5		
		Altezza finestra (m)	Larghezza finestra (m)	Area finestra (mq)	Altezza (m)	Larghezza (m)	Area finestra (mq)
2	14.5	1.5	1.1	1.65	1.5	2.2	3.3
2	15.75	1.5	1.1	1.65	1.5	2.2	3.3
4	24.5	1.5	1.65	2.5	1.5	3.3	4.95
8	48	1.5	9.6	14.4	1.5	6.4	9.6
Sala Conferenze	37.3	1.5	7.5	11.2	1.5	5	7.5

Per quanto riguarda le due tipologie di sorgente artificiale, fluorescente e LED, nella Tabella 20 sono mostrate le principali caratteristiche dei due modelli usati nell’analisi.

Tabella 20: Caratteristiche delle sorgenti impiegate.

Tipo	Flusso luminoso (lm)	Potenza (W)
Fluorescente	4800	100
LED	11149	101

Essendo la destinazione d’uso ufficio molto comune nell’attuale settore immobiliare italiano e considerando alcune recenti strutture, specialmente nel Nord Italia, sono state prese in esame le seguenti tipologie di schermature: veneziane semplici, schermature con sistemi automatici di ombreggiamento e sistemi di ombreggiamento e regolazione più avanzati (Light guides), rispettivamente identificate dalla norma UNI EN 15193-1:2017 [2] come “Glare protection”, “Autoglare protection”, “Light guides”. Anche per questo caso studio, potrebbe risultare molto interessante studiare l’impatto di queste tre diversi sistemi di schermature sul LENI dell’edificio. Le simulazioni effettuate in totale sono 384, considerando tutti i parametri in esame e le combinazioni tra questi ultimi. Il grafico rappresentato in Figura 6 mostra lo schema delle combinazioni.

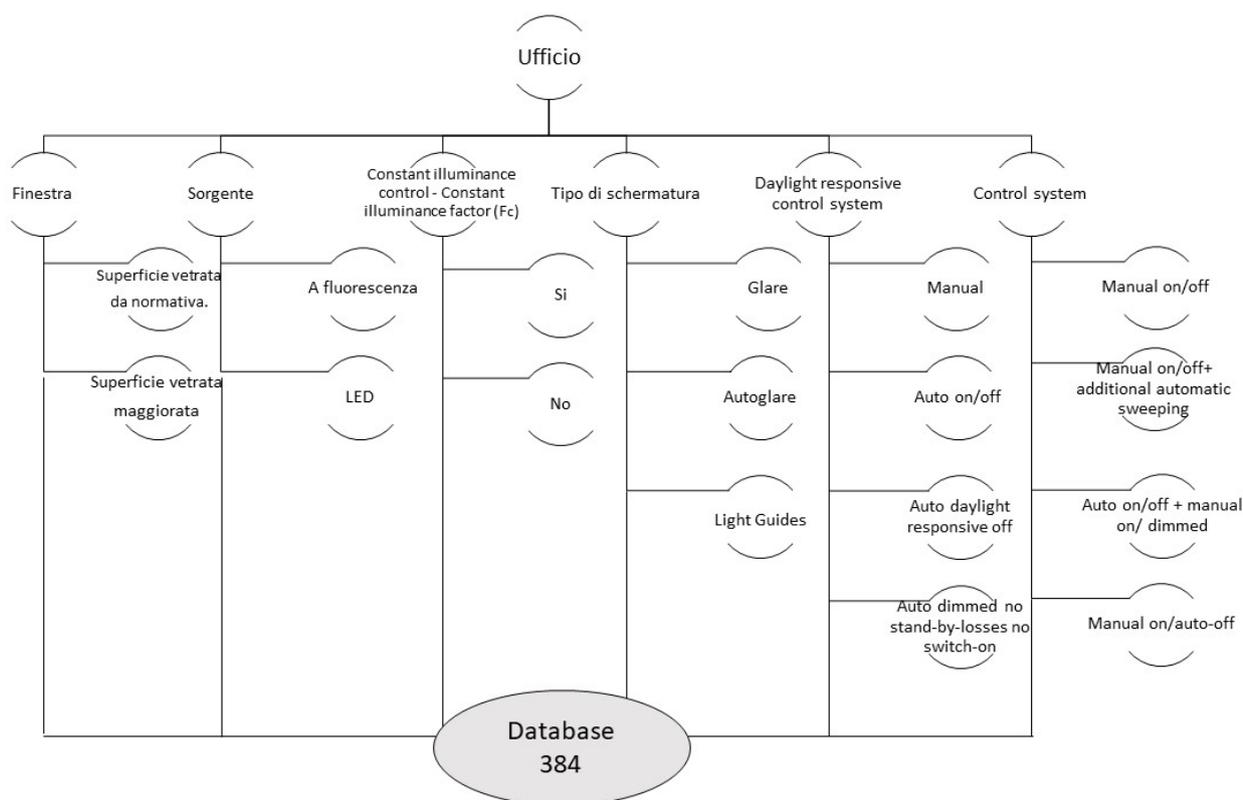


Figura 6: Grafico dello schema delle combinazioni.

#### 4.2.2 Risultati dell'edificio tipo "Ufficio"

In generale, la variabile che risulta ottenere un grande peso all'interno del calcolo del LENI è la sorgente (con valori attorno al 70%), seguita dai sistemi di controllo della presenza degli utenti. Una discreta influenza è ottenuta sia dai sistemi di controllo della luce naturale che dall'attivazione del Constant illuminance factor. Gli ultimi due parametri, schermatura e superficie vetrata si trovano in coda, mostrando impatti al di sotto del 3%. Come già evidenziato per i pregressi casi studio, l'uso sapiente e combinato di più strategie (sorgente efficiente, sistemi di controllo e gestione degli utenti e della luce naturale et) permettono un decremento del LENI ancora più evidente (al di sopra del 80%). Infine, i risultati dell'analisi, quali l'orientamento e l'ostruzione, hanno dimostrato di avere un peso contenuto (al di sotto del 10%), che tuttavia non deve essere trascurato.

##### I. Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.

La Tabella 21 presenta il parametro di cui si studia la variazione, la combinazione dei parametri presa in esame, i valori minimi e massimi di LENI ottenuti confrontando tutte le alternative possibili di ogni parametro e le alternative con cui sono stati ottenuti questi valori.

Tabella 21: Risultati in relazione alla variazione di un parametro.

Parametro	Condizione		Valore		Δ%
	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
F <sub>c</sub>	Assente	Presente	55.39	47.24	14.71
Finestra	Norma	Maggiorata	55.39	54.20	2.15
Schermatura	Glare	Lighting guides	55.39	55.12	0.49
Sorgente	Fluorescente	LED	55.39	17.36	68.66
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	55.39	46.84	15.44
Control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	55.39	42.51	23.25

Anche in questo caso il valore massimo di LENI (55.4 kWh/(m<sup>2</sup> anno)) coincide per tutti i parametri, in quanto rappresenta la condizione più semplice identificata come combinazione base per ognuno dei fattori analizzati. La comparazione del valore massimo del LENI ottenuto per l'ufficio è confrontata con il valore minimo calcolato per ogni parametro in gioco, mostrando quale di essi ha un maggior impatto sul LENI, sia positivo che negativo.

Partendo da questo presupposto, è chiaro che la variazione di sorgente ha l'impatto maggiore sul LENI del 68.66%. Gli altri parametri si attestano su valori inferiori e simili tra loro: l'Control system ottiene una riduzione del LENI pari al 23.25%, seguito dal Daylight responsive Control System che conta per il 15.44%, ed infine si ha la presenza del sistema di regolazione del Constant illuminance factor con il 14.71%. Anche in questo caso studio, l'utilizzo del più avanzato sistema di Daylight responsive risulta essere meno efficace rispetto ai sensori dell'occupazione dell'ambiente, ma allo stesso tempo ha un impatto, seppur lievemente maggiore, rispetto alla presenza del F<sub>c</sub>.

In fondo alla classifica si trovano la modifica delle finestrate (R.A.I. da 1/10 a 1/5) e l'utilizzo di sistemi sofisticati di ombreggiamento e regolazione della luce (Light guides) rispetto alle semplici veneziane (Glare), aventi rispettivamente il 2.15% e lo 0.42%. Si evidenzia che in questo caso studio il valore minimo del LENI ottenuto per l'analisi del parametro della finestrate è stato logicamente ottenuto dall'opzione Light guides.

## II. Analisi di tutte le combinazioni effettuate

In Tabella 22 sono presentate le coppie di combinazioni che tenendo fisse di volta in volta gli altri parametri corrispondono rispettivamente alla condizione dei sistemi di controllo/regolazione più semplice (1/1) e a quelli più evoluti (4/4)<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Si ricorda che la combinazione dei sistemi 1/1 è la seguente: Manual/ Manual on/off switch; quella 4/4 è composta da: Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On/ Manual on/auto off.

Tabella 22: Risultati di coppie di combinazioni.

Parametri in gioco		Daylight responsive control system/ Control system <sup>6</sup>	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ (%) <sup>1</sup>
Glare	Finestra R.A.I. 1/10, Fluo, Fc assente	1/1 4/4	55.39 35.86	35.26
	Finestra R.A.I. 1/10, Fluo, Fc presente	1/1 4/4	47.24 30.72	34.97
	Finestra R.A.I. 1/10, LED, Fc assente	1/1 4/4	17.36 11.28	35.02
	Finestra R.A.I. 1/10, LED, Fc presente	1/1 1/4	14.73 9.54	35.23
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, Fc assente	1/1 4/4	54.20 34.40	36.53
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, Fc presente	1/1 4/4	46.21 29.48	36.20
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, Fc assente	1/1 4/4	17.16 10.92	36.36
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, Fc presente	1/1 4/4	14.47 9.24	36.14
Autoglare	Finestra R.A.I. 1/10, Fluo, Fc assente	1/1 4/4	55.25 35.65	35.48
	Finestra R.A.I. 1/10, Fluo, Fc presente	1/1 4/4	47.07 30.49	35.22
	Finestra R.A.I. 1/10, LED, Fc assente	1/1 4/4	17.31 11.21	35.24
	Finestra R.A.I. 1/10, LED, Fc presente	1/1 4/4	14.70 9.49	35.44
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, Fc assente	1/1 4/4	53.90 34.00	36.92
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, Fc presente	1/1 4/4	45.92 29.08	36.67
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, Fc assente	1/1 4/4	17.07 10.80	36.73
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, Fc presente	1/1 4/4	14.40 9.14	36.53
Light guides	Finestra R.A.I. 1/10, Fluo, Fc assente	1/1	55.12	35.67
	Finestra R.A.I. 1/10, Fluo, Fc presente	1/1 4/4	46.96 30.72	34.58
	Finestra R.A.I. 1/10, LED, Fc assente	1/1 4/4	17.27 11.15	35.44
	Finestra R.A.I. 1/10, LED, Fc presente	1/1 4/4	14.66 9.44	35.61
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, Fc assente	1/1 4/4	53.65 33.65	37.28
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, Fc presente	1/1 4/4	45.71 28.79	37.02
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, Fc assente	1/1 4/4	16.99 10.68	37.14
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, Fc presente	1/1 4/4	14.32 9.04	36.87

I risultati della Tabella 22 mostrano che la presenza di sistemi di controllo più evoluti permette una riduzione del LENI che si attesta fra 35.26 % ed il 37.28 %. Tale differenza è dovuta principalmente dai sistemi di controllo ed anche dall'influenza più o meno sensibile degli altri parametri. Come ci si attendeva, in presenza

di un sistema di schermatura molto sofisticata (Light guide) la percentuale di risparmio è leggermente maggiore rispetto a quella ottenuta dagli altri due sistemi di schermatura; infatti, essa registra anche il valore maggiore di decremento del LENI (37.28 %). Per quanto riguarda la presenza ed assenza del Constant illuminance factor, si evince una differenza in termini di riduzione del LENI tra le due combinazioni per tutte le tipologie di schermature scelte.

Infine, analizzando il parametro della finestra è chiaro che la finestra maggiorata (R.A.I. 1/5) mostra il suo contributo in termini di impatto sul decremento del LENI, apportando una sua sensibile diminuzione rispetto alla combinazione avente la superficie vetrata con R.A.I. di 1/10.

Inoltre, la combinazione che prevede l'utilizzo di finestra maggiorata (R.A.I. 1/5), F<sub>C</sub> attivo, sorgente LED, schermatura di tipo Autoglare e i sistemi di controllo più avanzati ottiene un LENI totale di 9.04 kWh/(m<sup>2</sup> anno) contro i 55.39 kWh/(m<sup>2</sup>anno) della combinazione più semplice (finestra a norma, sorgente fluorescente, schermatura di tipo Glare e sistemi di controllo più semplici). Quindi si raggiunge una riduzione del LENI sostanziale, pari al 83.7% (Tabella 23).

Tabella 23: Impatto della variazione di un parametro (sorgente) e di tutti i parametri.

Parametro	Δ%
Finestra, Sorgente, F <sub>C</sub> , schermatura, sistemi di controllo (si varia da 1/1 a 4/4)	83.70
Sorgente	68.66

Chiaramente l'impatto più sostanziale in questa variazione è dato dall'uso della sorgente LED rispetto alla fluorescente, come anche mostrato in Tabella 23. Tuttavia, è interessante notare come la combinazione con tutte le altre variabili determini un effetto sinergico positivo, incrementando la percentuale di risparmio da 68.66% a 83.70%.

La Tabella 24 evidenzia il decremento del LENI man mano che si passa da sistemi di controllo (sia per il daylight responsive control system che per l'control system) meno performanti a più performanti (vedi righe evidenziate in blu nella Tabella 24). I parametri che subiscono la variazione sono i sistemi di controllo, mentre restano fissi la finestra a norma, la sorgente a fluorescenza, l'assenza del F<sub>C</sub> e la schermatura di tipo Glare.

Tabella 24 : Risultati di un intero set di combinazioni<sup>4</sup>

Parametri <sup>4</sup>	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
1/1	55.39
1/2	52.17
1/3	48.95
1/4	42.51
2/1	52.21
2/2	49.16
2/3	46.12
2/4	40.03
3/1	48.74
3/2	46.40
3/3	43.65
4/1	46.84
4/2	44.09
4/3	41.35
4/4	35.86

Di seguito viene esposto un altro tipo di analisi sui parametri in gioco, ovvero considerare il loro impatto sul LENI globale ad esclusione dei sistemi di controllo. La Tabella 25 riporta quindi le 16 combinazioni aventi come parametri fissi i sistemi di controllo (in questo caso Manual/Manual on/off ovvero 1/1), e variati invece i fattori restanti. La Tabella 25 mostra l'andamento dei valori del LENI, variando i parametri della finestratura, sorgente, presenza o assenza del constant illuminance factor e schermatura ma tenendo fisso il tipo di sistema di controllo, in questo caso Manual/Manual on/off (1/1).

Si evince che il valore massimo è ottenuto dalla combinazione base in grigio scuro (finestra a norma, sorgente a fluorescenza, FC assente e schermatura Glare) ottenendo 55.39 kWh/(m<sup>2</sup> anno), invece il valore minimo di 14.32 kWh/(m<sup>2</sup> anno) dalla combinazione (evidenziata in grigio chiaro) avente finestratura con diverse disposizioni, sorgenti LED, presenza del constant illuminance factor e schermature del tipo "Autoglare".

Inoltre, si nota che l'impatto del parametro della schermatura è più evidente, in termini decimali, nelle combinazioni con le sorgenti LED e la finestratura maggiorata (R.A.I. 1/5).

<sup>4</sup> I sistemi di controllo sono espressi nel seguente ordine: Daylight responsive control system/control system; ricordando che i sistemi del Daylight responsive control system sono: Manual (1), Automatic Switched on/off (2), Automatic Daylight Responsive off (3), Automatic Dimmed No stand-by Losses No switch on (4); quelli relativi al control system sono: Manual (1), Manual on/off + additional aut. Signal and Auto on/ Dimmed (2), Auto on/off and Manual on/Dimmed (3), Manual on/Auto off (4). La descrizione della nomenclatura è esposta anche in formato tabellare in Tabella 8.

Tabella 25: Sistemi di controllo fissi variando gli altri parametri.

Parametri in esame			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
Finestra 1/10 e Fluor.	R.A.I.	F <sub>c</sub> assente	Glare	55.39
			Autoglare	55.25
			Light guides	55,12
	F <sub>c</sub> presente	Glare	47.24	
		Autoglare	47.07	
		Light guides	46.96	
Finestra 1/10 e LED	R.A.I.	F <sub>c</sub> assente	Glare	17.36
			Autoglare	17.31
			Light guides	17.27
	F <sub>c</sub> presente	Glare	14.73	
		Autoglare	14.70	
		Light guides	14.66	
Finestra R.A.I. 1/5 e Fluor.	F <sub>c</sub> assente	Glare	54.20	
		Autoglare	53.90	
		Light guides	53.65	
	F <sub>c</sub> presente	Glare	46.21	
		Autoglare	45.92	
		Light guides	45.71	
Finestra R.A.I. 1/5 e LED	F <sub>c</sub> assente	Glare	17.16	
		Autoglare	17.07	
		Light guides	16.99	
	F <sub>c</sub> presente	Glare	14.47	
		Autoglare	14.40	
		Light guides	14.32	

Anche in questo caso studio sono state effettuate altre analisi sui risultati esposti nella Tabella 25, evidenziando l’impatto di due parametri variati simultaneamente, mantenendo i restanti fissi (Tabella 26).

Le variazioni a coppia di variabili sono le seguenti:

- Variazione della tipologia di schermatura e la presenza/assenza del F<sub>c</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e la presenza/assenza del F<sub>c</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e schermatura;
- Variazione della tipologia di schermatura e della finestra;
- Variazione della tipologia di finestra e la presenza/assenza del F<sub>c</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e della finestra.

Ciascuna di queste combinazioni viene confrontata con la combinazione invariata che risulta essere quella caratterizzata da finestra a norma, sorgente a fluorescenza, assenza di F<sub>c</sub>, schermatura tipo Glare.

Infine, per quanto riguarda il parametro della schermatura, è stata presa in esame il Lighting guides, essendo quella leggermente più performante rispetto ad Autoglare.

Tabella 26: Analisi della variazione di coppie di parametri.

LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ%	Parametri analizzati a coppie
55.39	-	-
46.96	15.22	F <sub>C</sub> e schermatura
14.73	73.41	Sorgente e F <sub>C</sub>
14.66	73.53	Sorgente e schermatura
53.65	3.14	Schermatura e finestra
46.21	16.57	F <sub>C</sub> e finestra
17.16	69.02	Sorgente e finestra

Le differenze percentuali riportate in Tabella 26 mostrano che le variazioni delle coppie che registrano alti decrementi del LENI sono la coppia Sorgente/Schermatura (73.53%), quella della Sorgente/ F<sub>C</sub> (73.41%) e quella della Sorgente/Finestra (69.02%). Si evince che il denominatore comune di queste coppie sia sicuramente il passaggio dalla sorgente a fluorescenza a quella Led che, come è già stato discusso nel paragrafo “Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio”, riesce ad ottenere decrementi alti del LENI. L’accoppiamento del parametro sorgente con la presenza del costant illuminance factor e con l’utilizzo di schermature di tipo Light guides, permette ulteriormente un decremento del LENI. La coppia, invece, Sorgente/finestra ottiene un decremento del LENI leggermente minore, ma sempre attestandosi su valori poco inferiori del 70%.

Le coppie di F<sub>C</sub>/schermatura e F<sub>C</sub>/finestra registrano rispettivamente valori del 15.22% e 16.57%, mostrando come, agendo anche solo sugli elementi vetrati e sulla tipologia delle schermature in combinazione con la presenza del costant illuminance factor, si possono ottenere discreta riduzione del LENI. Infine, la coppia che registra un decremento minore rispetto alle altre è quella dello Schermatura /Finestra (3.14%).

In Appendice (paragrafo Caso STUDIO: Ufficio) sono mostrati tutti i risultati di tutte le 384 combinazioni, per le quali valgono le stesse considerazioni.

### III. Analisi peculiare

Questo tipo di analisi ha l’obiettivo di mostrare come varia il LENI di una specifica stanza in relazione al suo orientamento ed alla presenza della schermatura. Le stanze sono due uffici posti al secondo ed ultimo piano avente stessi requisiti illuminotecnici e caratteristiche geometriche simili, ricordano che la superficie vetrata è stata rapportata alla superficie utile dell’ambiente secondo il rapporto aero-illuminante (R.A.I.). imposto da normativa. Le combinazioni scelte prevedono come parametri fissi la sorgente (LED), la schermatura a veneziana, l’assenza del Costant illuminance factor (F<sub>C</sub>) e il sistema di controllo manuale; la variazione viene effettuata solamente per il parametro della finestratura (Tabella 27).

Tabella 27: Impatto dell’orientamento sul LENI.

Parametro	Stanza Nord (subLENI) kWh/m <sup>2</sup> anno	Stanza Sud (subLENI) kWh/m <sup>2</sup> anno	Δ% <sup>4</sup>
Finestra R.A.I. 1/10	20.97	19.95	5%
Finestra R.A.I. 1/5	19.87	18.05	9%

In questo caso studio, la riduzione del LENI in relazione al parametro della superficie vetrata per l’ambiente tipo selezionato si attesta al di sotto del 10%. Come è stato già precedentemente evidenziato, la finestra avente maggiore superficie vetrata (R.A.I. del 1/5) produce valori di LENI minori soprattutto per quanto concerne la stanza posta a Sud.

Infine, per analizzare l’impatto del parametro ostruzione sono stati identificati due ambienti di tipo ufficio con capienza massima di due persone, appartenenti una al piano terra ed una all’ultimo piano (Tabella 28).

Si nota come la presenza dell'ostruzione, che diminuisce con l'aumentare dei piani, determini una riduzione del LENI del 5.75%, tra i due piani presi in esame. Tale variazione dipende logicamente dal numero di piani di cui è composto un edificio: maggiori piani corrispondono ad una più visibile influenza del fattore ostruzione sul valore del LENI.

Tabella 28: Impatto dell'ostruzione sul LENI.

Parametri scelti	Piano terra (subLENI) kWh/m <sup>2</sup> anno	Ultimo piano (subLENI) kWh/m <sup>2</sup> anno	Δ% <sup>5</sup>
Finestra a norma, LED, Glare, F <sub>c</sub> assente, sistemi di controllo manuali	23.27	21.93	5.75%

### 4.3 Edifici scolastici: la Scuola d'infanzia e primaria

L'ambiente scolastico è sempre stato oggetto di grande interesse sia dal punto di vista progettuale che impiantistico dovendo svolgere attività sia pubbliche che private di rilievo per la comunità. Ad oggi, molte manovre finanziarie sono state attuate per poter riqualificare gli edifici scolastici esistenti, soprattutto quelli che versano in condizioni gravi, sia dal punto di vista strutturale che impiantistico e quindi energetico [22].

#### 4.3.1 Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri

Per la realizzazione dell'edificio tipologico con destinazione d'uso "Scuola" si è deciso di realizzare un complesso scolastico comprendente sia la scuola dell'infanzia che la scuola primaria. Questa scelta è avvalorata da quanto riportato nel DM 18 dicembre del 1975 secondo cui "dal punto di vista didattico e logistico è opportuno prevedere, laddove possibile, edifici contigui per scuole materne ed elementari" [23]. L'edificio tipo è stato ideato consultando tre principali fonti: il documento Strepin 13/11/2015 [19], che ha permesso l'identificazione delle dimensioni medie dei complessi scolastici in Italia in termini di superficie coperta e/o totale; il Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975 [23] e il Decreto del Presidente della Repubblica del 1/12/56 [24], che stabiliscono le linee guida per il dimensionamento dei singoli ambienti, la tipologia di ambienti presenti all'interno dell'edificio, il numero minimo di aule presenti in relazione al livello del ciclo di studi, le condizioni di illuminazione e del colore, i rapporti aero-illuminanti.

Per ciò che concerne le dimensioni totali del complesso, ci si è attestati su un valore di circa 2000 m<sup>2</sup>, in ottemperanza con quanto riportato nel documento Strepin secondo cui la quota maggiore di edifici scolastici in Italia (39%) ha dimensione compresa tra 1.000 e 3.000 m<sup>2</sup>, con una superficie media di 1.819 m<sup>2</sup>.

In aggiunta, poiché il DM 18 dicembre 1975 [23] stabilisce che l'area edificata deve essere al massimo pari ad 1/3 dell'area totale disponibile per la struttura, si è scelto di articolare l'edificio su due piani, così da poter alloggiare un numero congruo di aule. Lo stesso DM [23], infatti, pone dei limiti sul numero delle aule, partendo da un minimo di 3 ad un massimo di 9 per la scuola dell'infanzia, e da un minimo di 5 ad un massimo di 25 per la scuola primaria (Tabella 29). Vengono inoltre identificate nel decreto le categorie di ambienti previste per i due livelli scolastici:

- Per la scuola materna: spazi per attività ordinate, libere, pratiche, mensa, assistenza.
- Per la scuola elementare: spazi per la didattica, attività collettive, attività complementari, educazione fisica e direzione didattica.

Sulla base di queste caratteristiche, la suddivisione degli ambienti è la seguente:

Tabella 29: Definizione delle zone per la struttura di appartenenza.

	PRIMARIA		INFANZIA		IN COMUNE
10	Aule	6	Aule	1	Palestra
1	Laboratorio	1	Laboratorio	1	Spogliatoio
2	Bagni	2	Bagni	1	Presidenza
1	Mensa	1	Mensa	1	Segreteria
1	Aula attività extra-curricolari			1	Cucina
1	Aula docenti			1	Bagno docenti

Nelle aule, sia dell'infanzia che primarie, il rapporto di superficie per alunno è costante, pari a 1,8 m<sup>2</sup>/alunno. Sulla base di quanto riportato nel decreto [23], che stabilisce i metri minimi di ogni tipologia di ambiente per ogni alunno, si è ottenuto il dimensionamento degli ambienti come riportati in Tabella 30.

Tabella 30: Metratura delle zone.

Ambiente	Area (m <sup>2</sup> )	Ambiente	Area (m <sup>2</sup> )
Aule infanzia	54	Aula docenti	43
Aule primaria	45	Mensa infanzia	72
Laboratorio infanzia	72	Mensa primaria	140
Laboratorio primaria	120	Cucina	40
Aula extra curriculare	100	Presidenza	15
Bagni infanzia	40	Segreteria	12
Bagni primaria	58	Spogliatoio	29
Bagno docenti	6	Palestra	300

Per ciò che concerne la distribuzione degli ambienti nei due livelli stabiliti, al piano terra sono state posizionate le strutture dedicate alla scuola dell'infanzia, insieme alla mensa della scuola primaria, la cucina, la presidenza, la segreteria, lo spogliatoio e la palestra. Al primo piano le zone rimanenti appartenenti alla scuola primaria e ai servizi comuni. Questa scelta è stata fatta in relazione a quanto previsto nel decreto [24] secondo cui la scuola materna deve essere posizionata al pian terreno. In relazione alle norme sulla altezza minima interpiano, si prevede che l'altezza di ogni piano di 3,5 m per gli ambienti scolastici e 5 m per la palestra.

L'edificio in totale ha un ingombro di 1061 m<sup>2</sup> per il piano terra, esclusi i 300 m<sup>2</sup> della palestra, e 1039 m<sup>2</sup> del primo piano (Figura 7).

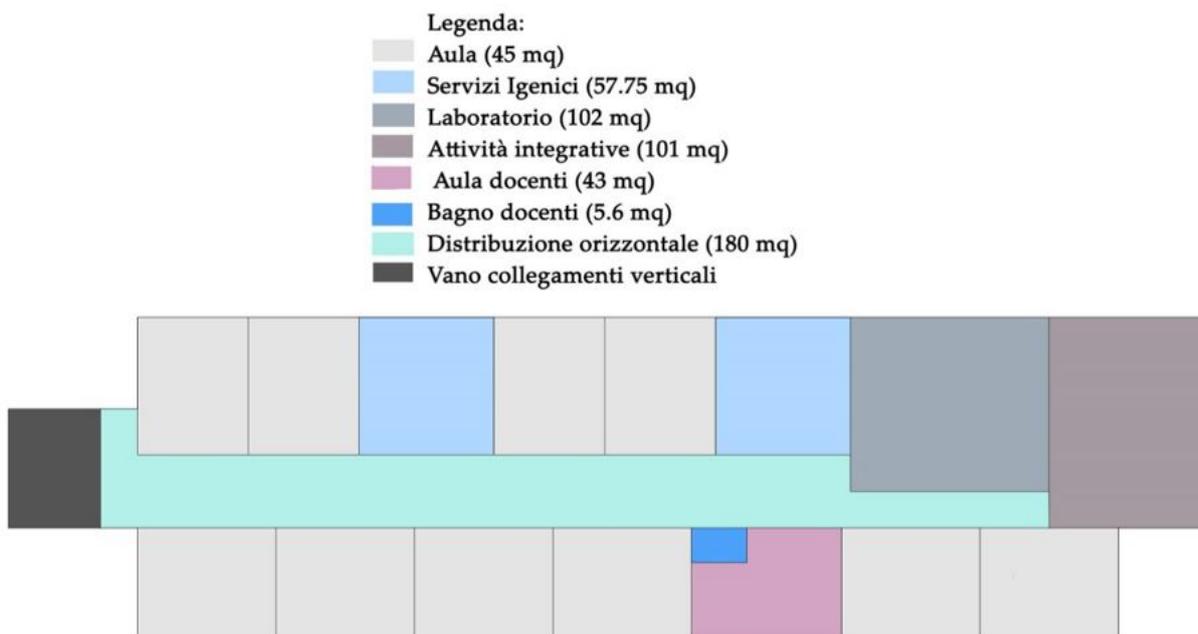


Figura 7: Legenda e planimetria schematica del piano tipo (primaria).

La normativa riferisce che il fattore di luce diurna per il calcolo della disponibilità di luce diurna nei vari ambienti rispetti i seguenti limiti:

- Ambienti ad uso didattico: 3%
- Palestre, refettori: 2%
- Uffici, spazi per la distribuzione, scale, servizi igienici: 1%

Per soddisfare questi criteri relativi all'illuminazione, in ottemperanza al decreto del 1/12/56 secondo cui "il rapporto tra la superficie vetrata e la superficie del pavimento dell'aula deve essere compreso tra 1/5 e 1/7", si è scelto di utilizzare il fattore di 1/6. Nella palestra è stata invece adottata la soluzione della finestra a nastro posizionata nella parte alta del muro, localizzata su due dei quattro lati.

Per quanto riguarda i requisiti relativi all'illuminazione artificiale, si richiede la prevalenza della componente diretta su quella diffusa. Il calcolo delle sorgenti necessarie per garantire un adeguato livello di illuminamento è stato effettuato sulla base dei requisiti espressi dalla norma 18 dicembre 1975, secondo cui negli ambienti didattici e negli uffici il livello minimo di illuminamento è 300 lx, nei laboratori e cucina è 500 lx, bagni e spazi comuni 200 lx.

Riguardo alla scelta dei parametri considerati per le simulazioni, viene riportato di seguito quali sono stati inclusi:

- Tipologia di finestra (dimensione da normativa e dimensione maggiorata<sup>5</sup>)
- Tipo di sorgente (Fluorescente e LED)
- Daylight-responsive control systems (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- Control system (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- Constant Illuminance Control,  $F_{cc}$  (presenza o assenza di questo sistema di regolazione)
- Tipologia di schermatura (Glare, Autoglare)

Nella Tabella 31 sono riportate le dimensioni delle finestre a norma dei vari ambienti. Come descritto nel paragrafo precedente, per determinare l'area della superficie vetrata si è scelto di utilizzare il valore di 1/5

<sup>5</sup> In questo caso in realtà si prevede di distribuire la stessa metratura in due pareti contigue per verificare se vi fossero differenze nella disponibilità di luce diurna in ambiente.

della superficie totale della stanza. La condizione di finestra maggiorata in questo caso studio non è stata espressa in termini di aumento della superficie vetrata in quanto già il rapporto aero-illuminante da normativa comporta la presenza di una cospicua area finestrata che determina una area chiamata  $A_D$  ("Area di Daylight" all'interno della quale viene calcolato il parametro di luce naturale  $D_{ca,j}$ ) quasi equivalente all'intera superficie dell'ambiente. Di conseguenza la variazione dell'elemento finestra è stata in questo caso interpretata come redistribuzione della superficie vetrata su due pareti con esposizioni adiacenti, laddove possibile.

Tabella 31: Dimensioni delle finestre per gli ambienti.

Tipo di ambiente	Larghezza (m)	Altezza (m)	Area (m <sup>2</sup> )
Aule infanzia	4.5	2	9
Aule Primaria	3.75	2	7.5
Presidenza	1.25	2	2.5
Segreteria	1	2	2
Laboratorio infanzia e mensa	6	2	12
Mensa primaria	11.6	2	23.2
Cucina	3.3	2	6.6
Laboratorio primaria e	8.3	2	16.6

Per quanto riguarda le due tipologie di sorgente artificiale, fluorescente e LED, in Tabella 32 sono mostrate le principali caratteristiche dei due modelli usati nell'analisi.

Tabella 32: Caratteristiche delle sorgenti individuate

Tipo	Flusso luminoso (lm)	Potenza (W)
Fluorescente	4800	100
LED	4093	37

Per la destinazione d'uso scuola, in seguito ad approfondimenti e ricerche, si è verificato che le tipologie di schermatura più frequenti in Italia sono la veneziana semplice o le tende in tessuto. Queste due tipologie vengono identificate nella norma UNI EN 15193-1:2017 come "Glare protection". In aggiunta a questa tipologia di protezione classica si è scelto di verificare anche quale fosse l'impatto del LENI in caso di presenza di sistemi automatici di ombreggiamento, definiti nella norma come "Autoglare protection". Si è esclusa dall'analisi di questo caso studio la presenza dei sistemi definiti "Light guides".

Considerando tutti i parametri presi in esame e le combinazioni tra loro, sono state effettuate in tutto 256 simulazioni. Il grafico rappresentato in Figura 8 mostra lo schema delle combinazioni.

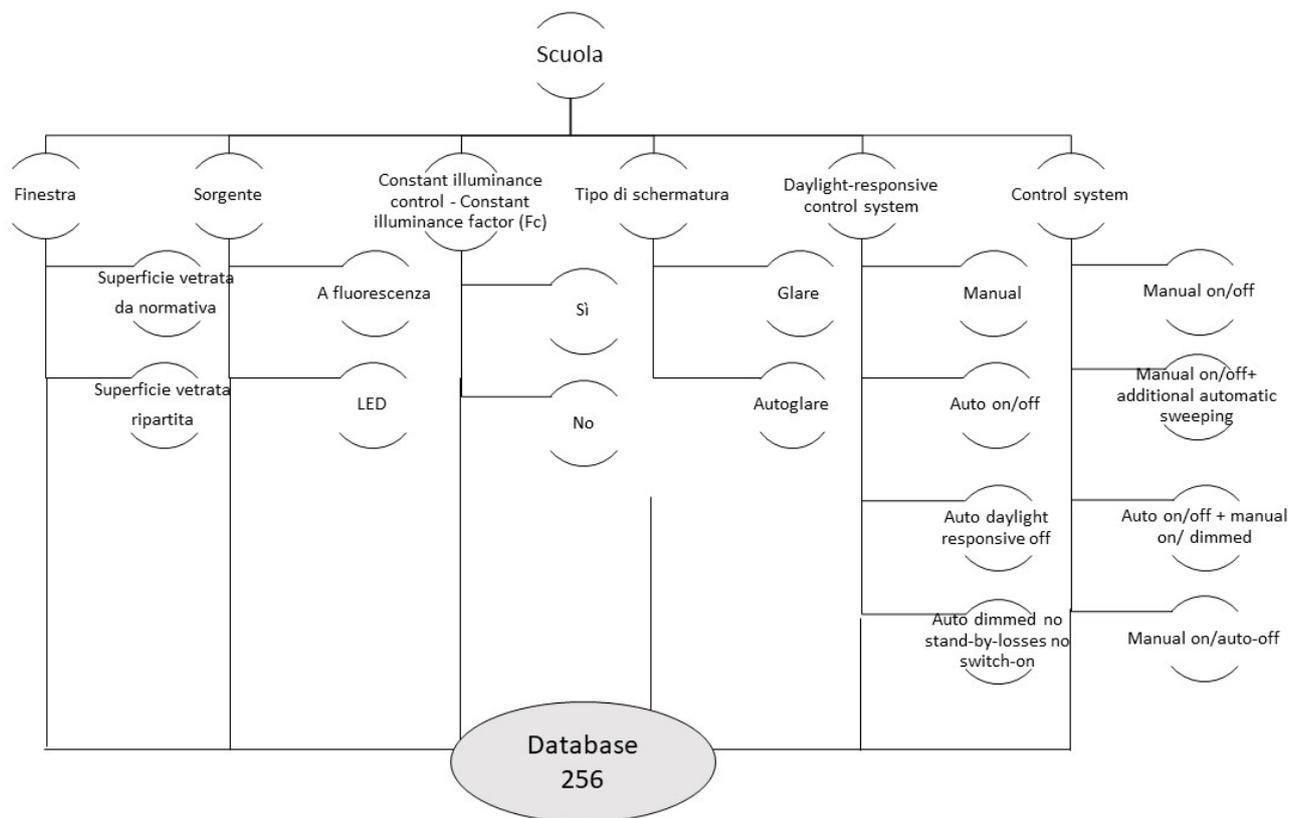


Figura 8: Grafico dello schema delle combinazioni della scuola.

#### 4.3.2 Risultati dell’edificio tipo “Scuola d’infanzia e primaria”

Come è stato già citato nel paragrafo della metodologia, la sezione dei risultati è suddivisa in diverse sezioni che hanno lo scopo di analizzare i risultati in termini generali e poi in termini più dettagliati, sia dell’edificio complessivo sia della singola stanza. In generale, la tipologia della sorgente (LED oppure a fluorescenza) determina un elevato risparmio energetico (62.60%), rispetto agli altri parametri, considerati singolarmente. Tuttavia, se la presenza della sorgente LED è accompagnata da una efficace combinazione di sistemi di controllo del daylight e dell’occupazione e da sistemi di schermatura avanzati, si assiste ad un ulteriore riduzione del LENI (79.6%). Il parametro che invece dimostra una poco influenza nel calcolo del LENI è quello dell’ostruzione, con valori del 5%.

##### I. Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.

In Tabella 33 sono mostrati i valori Minimi e Massimi del LENI dell’edificio per ciascun parametro in esame, evidenziando la combinazione di parametri analizzata, i risultati di LENI ottenuti confrontando tutte le alternative possibili di ogni parametro e le alternative con cui sono stati ottenuti questi valori.

Tabella 33: Risultati in relazione alla variazione di un parametro.

Parametro	Condizione		Valore		Δ%
	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
F <sub>c</sub>	Assente	Presente	32.87	26.53	19.29
Finestra	Norma	Maggiorata	32.87	31.77	3.37
Schermatura	Glare	Autoglare	32.87	32.46	1.24
Sorgente	Fluorescente	LED	32.87	12.30	62.60
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	32.87	28.01	14.79
Control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	32.87	25.32	22.96

Dalla Tabella 33 si può notare che il valore massimo di LENI coincide per tutte le combinazioni, in quanto rappresenta la condizione più semplice identificata come combinazione base per ognuno dei parametri. Viceversa, dal confronto tra il valore massimo di LENI e il minimo di ogni parametro ottenute confrontandone tutte le alternative, è possibile evincere quale sia il parametro che fra tutte determina una riduzione maggiore di LENI rispetto alla condizione base.

Dunque, la variazione più sostanziosa del LENI è quella dovuta al parametro della sorgente (62.60%). Gli altri parametri si attestano su valori pressoché simili e molto inferiori: il Control system (22.96 %), seguito dalla presenza del sistema di regolazione del Constant Illuminance Control (19.29%), che sopperisce al decadimento delle sorgenti, ed infine il Daylight responsive Control System (14.79 %). È interessante notare come tra i due diversi sistemi di controllo, l'utilizzo del più avanzato sistema di Daylight responsive control system risulta meno efficace rispetto ai sensori dell'occupazione dell'ambiente.

In coda con rispettivamente il 3.37% e l'1.24% si trovano la modifica delle finestrate (disposizione su due lati invece che su uno solo) e l'utilizzo di sistemi sofisticati di ombreggiamento (Autoglare) rispetto alle semplici veneziane (Glare).

## II. Analisi di tutte le combinazioni effettuate

In Tabella 34 sono presentate le coppie di combinazioni che, tenendo fisse di volta in volta gli altri parametri, corrispondono rispettivamente alla condizione dei sistemi di controllo e regolazione, sia della luce naturale che dell'occupazione, più semplice (1/1) fino a quelli più evoluti (4/4)<sup>5</sup>.

Tabella 34: Risultati di coppie di combinazioni.

Parametri in gioco	Daylight responsive control system/ Control system <sup>6</sup>	Piano terra (subLENI)	Palestra (subLENI)	Primo Piano (subLENI)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> a nno)	Δ (%) <sup>3</sup>	
Glare	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	32.18 24.55	34.95 24.72	32.97 20.50	32.87 22.81	30.61
	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	24.14 18.39	29.70 21.02	28.03 18.05	26.53 18.57	29.99
	Finestra a norma, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	12.07 8.99	13.00 9.19	12.32 7.76	12.30 8.48	31.03
	Finestra a norma, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	9.11 6.86	11.05 7.81	10.48 6.61	9.95 6.87	30.94
	Finestra ripartita, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	31.75 23.45	32.59 21.17	32.62 20.62	32.23 21.93	31.96
	Finestra ripartita Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	24.03 17.67	27.70 18.00	27.81 17.59	26.13 17.68	32.36
	Finestra ripartita, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	11.94 8.84	12.08 7.81	12.42 7.85	12.17 8.28	31.94
	Finestra ripartita, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	9.06 6.93	10.27 6.64	10.57 6.50	9.87 6.71	32.04
Autoglare	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	31.79 24.04	34.76 24.44	32.48 21.20	32.46 22.86	29.59
	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	23.84 17.99	29.55 20.78	28.03 17.46	26.38 18.11	31.35
	Finestra a norma, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	11.92 8.81	12.93 9.09	12.13 7.64	12.14 8.34	31.32
	Finestra a norma, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	9.00 6.70	10.99 7.72	10.32 6.38	9.82 6.69	31.91
	Finestra ripartita, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	31.35 22.84	32.38 20.86	32.22 19.98	31.86 21.35	32.99
	Finestra ripartita, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	23.71 17.79	27.52 17.73	27.42 17.04	25.80 17.46	32.34
	Finestra ripartita, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	11.77 8.63	12.00 7.68	12.27 7.64	12.02 8.08	32.76
	Finestra ripartita, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	8.94 6.77	10.20 6.53	10.44 6.69	9.75 6.71	31.23

I risultati della Tabella 34 mostrano che la presenza di sistemi di controllo più evoluti permette una riduzione del LENI che si attesta fra il 29 e il 33%. Tale differenza è dovuta all'accoppiamento tra questi due parametri e gli altri che influiscono più o meno sensibilmente sui primi. In generale, in presenza di un sistema di schermatura Autoglare la percentuale di risparmio energetico è leggermente superiore rispetto ai casi con sistema di schermatura Glare; la presenza o assenza del costant illuminance factor ha una sua certa influenza, come anche esposto nella Tabella 32; il valore inferiore di risparmio energetico si ottiene nelle combinazioni

in cui si ha la finestra a norma e la sorgente fluorescente (29.59%). Viceversa, con l'introduzione della finestra ripartita su due lati e la sorgente LED si riesce a ottenere una differenza di LENI tra i due tipi di sistemi di controllo che si attesta sul 30%. In sostanza la combinazione che prevede l'utilizzo di finestra ripartita su due lati, F<sub>c</sub> attivo, sorgente LED, schermatura di tipo Autoglare e i sistemi di controllo più avanzati ottiene un LENI totale di 6.71 kWh/(m<sup>2</sup>anno) contro i 32.87 kWh/(m<sup>2</sup>anno) della combinazione più semplice (finestra a norma, sorgente fluorescente, schermatura di tipo Glare e sistemi di controllo più semplici). Quindi si raggiunge una riduzione del LENI sostanziale, pari al 79.6 % (Tabella 35).

Tabella 35: Impatto della variazione di un parametro (sorgente) e di tutti i parametri.

Parametro	Δ%
Finestra, Sorgente, F <sub>c</sub> , schermatura, sistemi di controllo (da 1/1 a 4/4)	79.6
Sorgente	62.60

Chiaramente l'impatto più sostanziale in questa variazione è dato dall'uso della sorgente LED rispetto alla fluorescente, come anche mostrato in Tabella 35 (riduzione del 63% circa). Tuttavia, è interessante notare come la combinazione con tutte le altre parametri determini un effetto sinergico positivo, incrementando la percentuale di risparmio da 63% al 79.6%.

Anche in questo caso, la Tabella 36 è utile per mostrare il decremento del LENI man mano che si passa da sistemi di controllo meno performanti a più quelli più evoluti (vedi righe evidenziate in blu). La variazione è solamente relativa ai parametri sono i sistemi di controllo mentre restano fissi gli altri: la finestra a norma, la sorgente a fluorescenza, l'assenza del F<sub>c</sub> e la schermatura di tipo di Glare.

Tabella 36: Risultati di un intero set di combinazioni.

Parametri <sup>6</sup>	Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
1/1	32.18	34.95	32.97	32.87
1/2	30.27	33.11	30.48	30.72
1/3	28.46	31.27	28.56	28.86
1/4	25.36	27.59	24.63	25.32
2/1	30.51	33.59	30.64	30.95
2/2	29.44	31.89	28.75	29.45
2/3	28.12	30.05	23.91	26.53
2/4	26.55	26.52	22.97	24.99
3/1	29.15	32.32	28.81	29.40
3/2	28.2	30.62	27.07	28.01
3/3	27.16	28.91	25.28	26.56
3/4	25.45	25.51	21.61	23.79
4/1	28.03	31.32	27.03	28.01
4/2	27.16	29.67	25.32	26.68
4/3	26.29	28.02	23.68	25.37
4/4	24.55	24.72	20.5	22.81

Inoltre, è interessante notare quanto i valori del LENI del piano terra e del piano primo siano molto vicini tra loro (ad es. 32.18 vs 32.97 kWh/(m<sup>2</sup>anno)), poiché presentano ambienti con attività e requisiti illuminotecnici simili. Al contrario, l'ambiente della palestra registra valori leggermente più alti (ad es. 34.95 kWh/(m<sup>2</sup>anno)) soprattutto a causa del suo volume considerevole da dover illuminare adeguatamente.

Lo studio dell’impatto degli altri parametri, tenendo fissi i sistemi di controllo, è esposto nella Tabella 37, dove sono riportate 16 combinazioni aventi come parametro fisso i sistemi di controllo (in questo caso Manual/Manual on/off ovvero 1/1), e variati invece i restanti parametri.

Tabella 37: Sistemi di controllo fissi e variazione di tutti gli altri parametri in analisi.

Parametri in esame			Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> a nno)	Palestra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	LENI totale kWh/(m <sup>2</sup> a nno)	
Finestra norma Fluo	a	F <sub>c</sub> assente	Glare	32.18	34.95	32.97	32.87
			Autog.	31.79	34.76	32.48	32.46
	e	F <sub>c</sub> presente	Glare	24.14	29.70	28.03	26.53
			Autog.	23.84	29.55	28.03	26.38
Finestra norma LED	a	F <sub>c</sub> assente	Glare	12.07	13	12.32	12.30
			Autog.	11.92	12.93	12.13	12.14
	e	F <sub>c</sub> presente	Glare	9.11	11.05	10.48	9.95
			Autog.	9.00	10.99	10.32	9.82
Finestra ripartita Fluo	e	F <sub>c</sub> assente	Glare	31.75	32.59	32.62	32.23
			Autog.	31.35	32.38	32.22	31.86
		F <sub>c</sub> presente	Glare	24.03	27.7	27.81	26.13
			Autog.	23.71	27.52	27.42	25.80
Finestra ripartita LED	e	F <sub>c</sub> assente	Glare	11.94	12.08	12.42	12.17
			Autog.	11.77	12	12.27	12.02
		F <sub>c</sub> presente	Glare	9.06	10.27	10.57	9.87
			Autog.	8.94	10.20	10.44	9.75

La Tabella 37 mostra l’andamento dei valori del LENI, variando i parametri di finestratura, sorgente, presenza o assenza del constant illuminance factor ma tenendo fisso il tipo di sistema di controllo, in questo caso Manual/Manual on/off (1/1).

Si evince che il valore massimo è ottenuto dalla combinazione base in grigio scuro (finestra a norma. sorgente a fluorescenza, F<sub>c</sub> assente e schermatura Glare), invece il valore minimo dalla combinazione (evidenziata in grigio chiaro) avente finestratura con diverse disposizioni, sorgenti LED, presenza del constant illuminance factor e schermature del tipo “Autoglare”.

Sono state fatte ulteriori analisi sui valori riportati nella Tabella 37. Si è voluto mettere in evidenza l’impatto di due parametri variati simultaneamente, mantenendo gli altri fissi (Tabella 38). Le variazioni a coppia di parametri sono le seguenti:

- Variazione della tipologia di schermatura e la presenza/assenza del F<sub>c</sub>
- Variazione della tipologia di sorgente e la presenza/assenza del F<sub>c</sub>
- Variazione della tipologia di sorgente e schermatura
- Variazione della tipologia di schermatura e della finestra
- Variazione della tipologia di finestra e la presenza/assenza del F<sub>c</sub>
- Variazione della tipologia di sorgente e della finestra

Ciascuna di queste combinazioni viene confrontata con la combinazione invariata che risulta essere quella caratterizzata da finestra a norma, sorgente a fluorescenza, assenza di F<sub>c</sub>, schermatura tipo Glare.

Tabella 38: Variazione di tutti i parametri tranne i sistemi di controllo.

Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI totale kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ% del LENI	Parametri analizzate coppie
32.18	34.95	32.97	32.87	-	-
23.84	29.55	28.03	26.38	19.75	F <sub>C</sub> e schermatura
9.11	11.05	10.48	9.95	69.73	Sorgente e F <sub>C</sub>
9.00	10.99	10.32	9.82	70.11	Sorgente e schermatura
31.35	32.38	32.22	31.86	2.40	Schermatura e finestra
24.03	27.7	27.81	26.13	20.50	F <sub>C</sub> e finestra
11.94	12.08	12.42	12.17	63	Sorgente e finestra

Le differenze percentuali riportate in Tabella 38 mostrano che le variazioni delle coppie che registrano alti decrementi del LENI sono la coppia Sorgente/Schermatura (70.11%), quella della Sorgente/ FC (69.73%) e quella della Sorgente/Finestra (63%). Si evince che il denominatore comune di queste coppie sia sicuramente il passaggio dalla sorgente a fluorescenza a quella Led che, come è già stato discusso nel paragrafo dell'analisi generali dei dati, riesce ad ottenere decrementi alti del LENI. L'accoppiamento del parametro sorgente con la presenza del costant illuminance factor e con l'utilizzo di schermature di tipo Autoglare permette ulteriormente un decremento del LENI. La coppia, invece, Sorgente/finestra ottiene un decremento del LENI leggermente minore. ma sempre attestandosi su valori superiori al 60%. Le coppie di FC/schermatura e FC/finestra registrano rispettivamente valori del 19.75% e 20.50%, mostrando come, agendo anche solo sugli elementi vetrati e sulla tipologia delle schermature in combinazione con la presenza del costant illuminance factor, si possono ottenere discreta riduzione del LENI. Infine, la coppia che registra un decremento minore rispetto alle altre è quella dello Schermatura /Finestra. Questo andamento si deduce dalle caratteristiche del caso studio in esame. Infatti, la variazione della superficie vetrata in questo caso è stata limitata dalla composizione degli spazi ad uso scolastico, come è stato precedentemente esposto nel paragrafo della descrizione del caso studio. Verosimilmente, se si avesse avuto maggior libertà nella configurazione degli spazi architettonici e di conseguenza delle superficie vetrate, la coppia dei parametri finestra/schermatura, avrebbe ottenuto un decremento del LENI sicuramente maggiore. Si rimanda il lettore alla visione dell'Appendice (paragrafo CASO STUDIO: Scuola), nella quale sono mostrati tutti i risultati delle 256 simulazioni effettuate sul caso studio della scuola.

### III. Analisi peculiare

Le stanze scelte per mostrare l'impatto dell'orientamento sono due aule della primaria poste al piano primo avente stessi requisiti illuminotecnici e caratteristiche geometriche simili, ricordano che la superficie vetrata è stata rapportata alla superficie utile dell'ambiente secondo il rapporto aero-illuminante (R.A.I.). imposto da normativa. Le combinazioni scelte prevedono come parametri fisse la sorgente (LED), la schermatura a veneziana, l'assenza del Costant illuminance factor (F<sub>C</sub>) e il sistema di controllo manuale; la variazione viene effettuata solamente per il parametro della finestatura (Tabella 39).

Tabella 39: Impatto dell'orientamento sul LENI.

Parametro	Stanza Nord (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Stanza Sud (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ% <sup>4</sup>
Finestra a norma	19.66	12.72	35
Finestra ripartita	18.68	14.62	22

La riduzione del 35% del LENI per la combinazione avente la finestra a norma dimostra quanto l'esposizione Sud della stanza abbia un notevole beneficio rispetto a quella posta a Nord, come d'altronde ci si aspettava. Per quanto riguarda la variazione della finestratura, si nota come la differenza tra i due LENI sia minore rispetto alla combinazione con la finestratura classica, mettendo in evidenza il vantaggio di avere una finestra collocata su due pareti dell'ambiente e sfruttando dunque le due diverse esposizioni.

Infine, per analizzare l'impatto del parametro ostruzione, sono stati identificati due ambienti con destinazione d'uso di didattica frontale, appartenenti una al piano terra ed una al primo piano (Tabella 40). Si nota come la presenza dell'ostruzione, che diminuisce con l'aumentare dei piani, determini una riduzione del LENI del 3%, tra i due piani presi in esame. Quindi si evince che la variazione del piano non influisce in maniera significativa sul calcolo del LENI.

Tabella 40: Impatto dell'ostruzione sul LENI.

Parametri scelti	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ% <sup>5</sup>
Finestra a norma, LED, Glare, F <sub>c</sub> assente, sistemi di controllo manuali	12.41	11.76	5

#### 4.4 Strutture ospedaliere: l'Ospedale

Le strutture ospedaliere svolgono una funzione per la società di elevata rilevanza e sono un perno funzionale indispensabile per ogni tipo di agglomerato urbano. La situazione di pandemia da COVID-19 ha indubbiamente evidenziato lo stato in cui versano molte strutture presenti in Italia, richiamando i governi e le autorità competenti ad aumentare incentivi e programmi di riqualificazione di questi complessi. In questo quadro, la valutazione della spesa energetica per l'illuminazione e le corrispondenti strategie di attuazione divengono uno strumento assai utile per poter sostenere le attività di gestione e riqualificazione delle strutture ospedaliere.

##### 4.4.1 Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri

La realizzazione del caso studio relativo alle strutture ospedaliere, di cui esaminato l'ospedale, ha richiesto un'approfondita ricerca bibliografica, in termini di tipologia presente in Italia e di semplificazione della distribuzione delle varie funzioni e quindi ambienti presenti. Il tema delle strutture ospedaliere è stato per molti anni discusso ed analizzato, essendo un complesso funzionale articolato attorno a diversi aspetti: salubrità dell'ambiente, sicurezza, prestazioni impiantistiche (sia luminose che di condizionamento), presenza di servizi medici molto diversi tra loro e distribuzione spaziale legata alle diverse funzioni. Non a caso, ultimamente è stato oggetto di ricerche da architetti di fama internazionale, quali Renzo Piano, il quale in collaborazione con il dott. Umberto Veronesi ha stilato una serie di principi per la corretta progettazione di strutture ospedaliere [25].

In Italia, diverse tipologie di strutture ospedaliere sono presenti nel territorio, principalmente di due tipi: a pianta a crociera, molto comune prima del 1600 e a padiglione, ampiamente sfruttato fino ai primi del '900. Il sistema a padiglione è stato successivamente declinato in altre diverse forme, tra cui il monoblocco ed il poliblocco. Questa trasformazione è stata principalmente sviluppata come risposta alle critiche rivolte al sistema a padiglione, quali l'elevata richiesta di suolo disponibile e quindi elevate richieste di costo sia costruttive che gestionali. Le soluzioni di poliblocco e monoblocco si sviluppano quindi in altezza, seguendo

il principio dell'ospedale come fabbrica della salute [26]. Il primo inserito in contesti urbani medio-piccoli ed il secondo in contesti urbani di grandi dimensioni [26]. Ad oggi, le ultime evoluzioni di tali strutture vedono la nascita della tipologia a raggiera e a piastra, impiegate soprattutto negli ultimi decenni in Italia.

In luce a quanto appena esposto, è stata scelta la tipologia a piastra caratterizzata da quattro macroaree di diversa destinazione d'uso, in relazione alle attività sanitarie. I piani totali fuori terra sono cinque in accordo con il DCG 20 luglio 1939 [27] che stabilisce l'altezza massima per gli edifici ad uso sanitario di sette piani. Le aree funzionali incluse nel caso studio sono le seguenti:

- Area servizi di accoglienza, accettazione ed informazione;
- Area servizi di diagnosi e cura;
- Area degenza (camere di circa 25 m<sup>2</sup>);
- Area materno- infantile;
- Area day-hospital;
- Area operatoria (20 sale con servizi di sterilizzazione, terapia intensiva etc.);
- Area di servizi di emergenza- pronto soccorso;
- Area servizi generali (farmacia, spogliatoio, guardaroba roba, lavanderia etc.).

Queste sono le aree più comuni presenti nelle strutture ospedaliere di media grandezza. Per poter definire la quota parte degli spazi di ciascuna area si è scelto di seguire le linee guida presenti nel decreto legislativo [28] che prescrive le seguenti raccomandazioni:

- Sviluppare una planimetria orizzontale, corpi di fabbrica di ridotta profondità, affaccio verso l'esterno delle camere per la degenza per poter sfruttare illuminazione ed aereazione naturale, razionalità dei trasporti orizzontali, flessibilità nelle distribuzioni delle attività.

Infine, è stata anche suggerita una proporzione percentuale per ottenere una corretta distribuzione delle macro-funzioni all'interno della struttura ospedaliera:

- 35% reparti degenza;
- 45% reparti di diagnosi e cura;
- 20 % di servizi generali.

L'altezza di interpiano è stabilita a 3 metri per tutti i piani tranne il piano terra che invece è stabilita a 4 m. Le aree di distribuzione orizzontale (corridoio) devono avere una larghezza minima di 2.4 metri. La distribuzione generale dei piani prevede quindi: per il piano terra pronto soccorso, locali visita ed analisi/diagnostica; per il primo piano degenza e zona materno-infantile; il secondo ed il terzo piano sono addetti principalmente alla degenza ed ai locali visita; infine, il quarto piano è dedicato alle sale operatorie, sale degenza intensive ad isolamento (Tabella 41). La Tabella 41 mostra tutte le funzioni distribuite nei vari piani, riportando quante unità (ovvero stanze) di ogni funzione sono presenti in ciascun piano.

Tabella 41: Distribuzione delle funzioni principali per i vari piani .

Piano terra	n°	Primo piano	n°	Secondo e terzo piano	n°	Quarto piano	n°
Ingresso/hall	1	Camera degenze (4 letti)	8	Degenza (2 letti)	18	Camere degenza isolamento	5
Uffici	8	Bagni camere degenza	8	Bagni per sale degenza	18	Area di controllo UTI	1
Edicola	1	Camere degenze (2 letti)	2	Soggiorno pazienti	1	Zona filtro	1
Deposito pulizia	1	Bagni camera degenza (per 2)	2	Locale visita/studio medico	6	Spogliatoio operatori	2

La Tabella 42 riporta invece la superficie media identificata per ogni zona, seguendo le fonti precedentemente utilizzate [26,27,28]. Si rimanda alla planimetria (Figura 9) la dislocazione puntuale di ogni ambiente (ad esempio nel secondo piano si avranno 20 camere per degenza di due persone).

Tabella 42: Metri quadri medi per ogni tipologia di ambiente presente nel piano indicato .

<b>Piano terra</b>	<b>n°</b>	<b>Primo piano</b>	<b>n°</b>	<b>Secondo e terzo piano</b>	<b>n°</b>	<b>Quarto piano</b>	<b>n°</b>
Ingresso/hall	1	Camera degenze (4 letti)	8	Degenza (2 letti)	18	Camere degenza isolamento	5
Uffici	8	Bagni camere degenza	8	Bagni per sale degenza	18	Area di controllo UTI	1
Edicola	1	Camere degenze (2 letti)	2	Soggiorno pazienti	1	Zona filtro	1
Deposito pulizia	1	Bagni camera degenza (per 2)	2	Locale visita/studio medico	6	Spogliatoio operatori	2
Bar	1	Relax-pranzo operatori	1	Relax operatori	1	Stanza relax operatori	1
Magazzino bar	1	Spazio lavoro infermieri	1	Spazio lavoro infermieri	1	Deposito strumentario vario	2
Servizi visitatori	1	Locali visita/studi medici	2	Sala caposala	1	Sala medici	1
Farmacia	1	Archivio	1	Sala attesa pazienti	1	Locale endoscopia	1
Degenza day hospital e pronto soccorso	3	Segreteria	1	Deposito strumentario vario	1	Camera iperbarica	1
Archivio pronto soccorso	1	Accettazione	1	Servizi sanitari visitatori	1	Centro antiveleni	1
Segreteria	1	Deposito strumentazioni	1	Medicheria	1	Spogliatoio visitatori	1
Accettazione	1	Sala post-partum	1	Corridoio	1	Sala anestesia/risveglio	3
Servizi pronto soccorso	1	Sala parto	2	-	-	Sala operatoria	3
HALL pronto soccorso	1	Sala travaglio	2	-	-	Ambiente sterilizzazione	3
Locali sorveglianza	1	Locali spogliatoio personale	3	-	-	Ambiente zona operandi/operati	1
Spogliatoi personale	2	Sala neonati	1	-	-	Sala caposala	2
Locale interventi pronto soccorso	1	Locale sterilizzazione materiale	1	-	-	Accesso pazienti	1
Laboratorio analisi	10	Locale preparazione pazienti	1	-	-	Attesa portantini	1

<b>Piano terra</b>	<b>n°</b>	<b>Primo piano</b>	<b>n°</b>	<b>Secondo e terzo piano</b>	<b>n°</b>	<b>Quarto piano</b>	<b>n°</b>
Ambulatorio	2	Servizi sanitari per visitatori/medici	5	-	-	Corridoio ingresso operatori	1
Locale visita/studi medici	16	Corridoio	1	-	-	Corridoio sale pazienti	1
Sala lavoro infermieri	1	-	-	-	-	Corridoio sale operatori	1
Sala relax personale sanitario	1	-	-	-	-	Corridoio generale	1
Servizio mortuario	1	-	-	-	-	Corridoio ingresso UTI	1
Deposito strumenti/attrezzature	2	-	-	-	-	-	-
Locale sterilizzazione materiale	1	-	-	-	-	-	-
Corridoio generale	1	-	-	-	-	-	-
Corridoio pronto soccorso	1	-	-	-	-	-	-

L'intera struttura dell'ospedale è di 7500 m<sup>2</sup>, ogni piano è di circa 1200 m<sup>2</sup> tranne il piano terra che misura circa 2700 m<sup>2</sup>.

Per quanto riguarda il R.A.I. le tabelle di seguito riportate (Tabella 43, Tabella 44, Tabella 45, Tabella 46) mostrano il rapporto aereo-illuminante stabilito da normativa di 1/8 e la dimensione corrispettiva delle finestre. Gli ambienti dei corridoi non sono stati inclusi in questi studio, ma laddove è stato possibile sono state inserite delle aperture ma non saranno oggetto di analisi.

Tabella 43: Caratteristiche delle aperture vetrate al piano terra.

Destinazione d'uso	R.A.I. 1/8 edificio tipo	
	Altezza (m)	Larghezza (m)
HALL	3	16
Ufficio	1.5	1.6
Deposito pulizia	1	1.4
Bar	1.5	12
Servizi visitatori	2	2
Farmacia	1.5	2.5
Degenza day hospital	2.1	5
Archivio pronto soccorso	1.5	1.8
Servizi igienici generali	1.1	1
HALL pronto soccorso	3	9
Locali sorveglianza	1.5	2.8
Spogliatoi P.S.	1	1.9
Servizi igienici generali	1	1.2
servizio mortuario	1.5	4.5
Laboratorio analisi tipo 1	1.5	1.2
Laboratorio analisi tipo 2	1.5	1.5

Tabella 44: Caratteristiche delle aperture vetrate al primo piano.

Destinazione d'uso	R.A.I. 1/8 edificio tipo	
	Altezza (m)	Larghezza (m)
Camera degenze (4 letti)	1.5	3
Camere degenze (2 letti)	1.5	1.8
Segreteria	1.5	1.2
Spazio Archivio	1.5	0.7
Deposito strumentario	1.5	1.2
Sala post-partum	1.5	1.5
Bagni camere	1	1

Tabella 45: Caratteristiche delle aperture vetrate al secondo e terzo piano

Destinazione d'uso	R.A.I. 1/8 edificio tipo	
	Altezza (m)	Larghezza (m)
Degenza (2 letti)	1.5	1.8
Soggiorno pazienti	1.5	2.4
Locale visita 1	1.5	2
Locale visita 2	1.5	1.6
Servizi igienici pazienti	1.5	1.2

Tabella 46: Caratteristiche delle aperture vetrate al quarto piano.

Destinazione d'uso	R.A.I. 1/8 edificio tipo	
	Altezza (m)	Larghezza (m)
Camere degenza isolamento	1.5	4.2
Stanza relax operatori	1.5	1.8
Deposito strumenti	1.5	1.8
Sala medici	1.5	1.5
Locale endoscopia	1.5	1.5
Camera iperbarica	1.5	1.5
Centro antiveleni	1.5	1.8

Come precedentemente accennato, la Figura 9 riporta la planimetria del piano tipo di degenza con tutte le funzioni presenti. Il piano degenza è localizzato sia sul piano secondo che sul piano terzo.

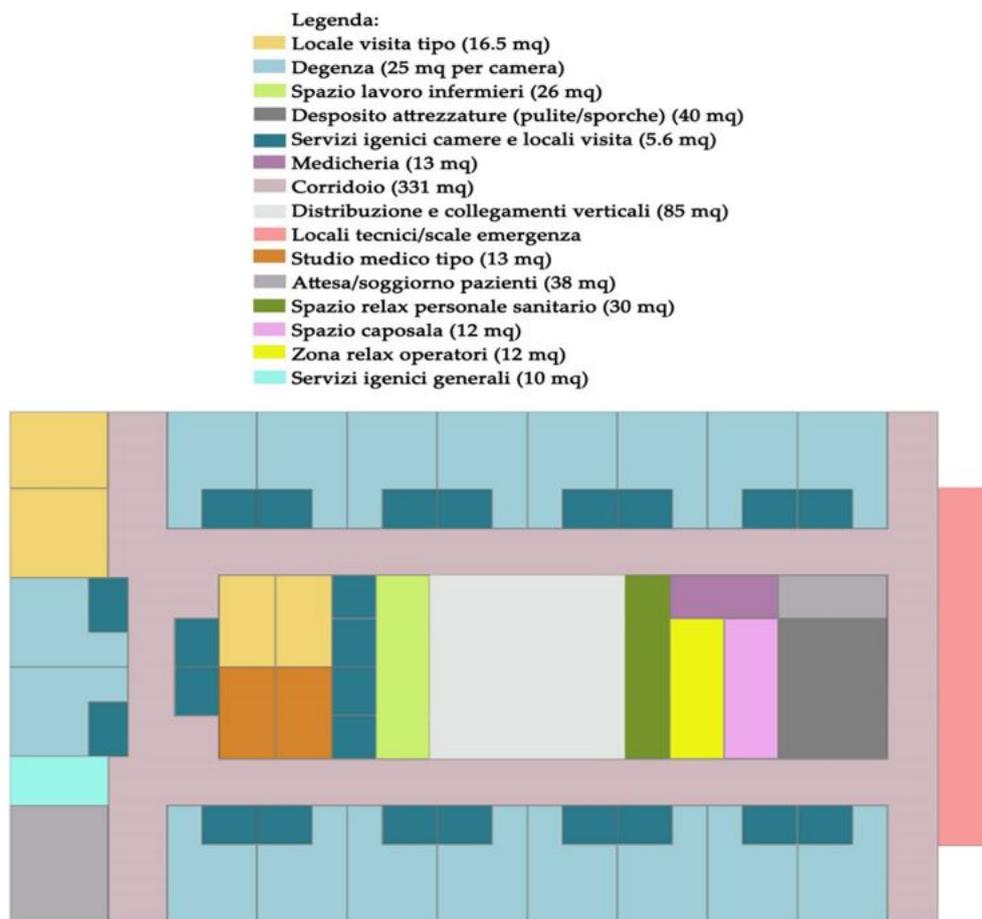


Figura 9: Legenda e planimetria schematica del piano degenza tipo dell'ospedale.

I parametri considerati per le simulazioni sono le seguenti:

- Tipologia di finestra (dimensione da normativa e dimensione maggiorata)
- Tipo di sorgente (Fluorescente e LED)
- Daylight-responsive control systems (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- Control system (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- Constant Illuminance Control,  $F_c$  (presenza o assenza di questo sistema di regolazione)
- Tipologia di schermatura (Glare, Autoglare)

Per quanto riguarda lo studio inerente alla superficie vetrata, è stato scelto il valore 1/5 della superficie totale della stanza, garantendo da un lato l'aumento della superficie ma allo stesso tempo proponendo un caso applicativo vicino al reale. Nelle strutture ospedaliere, come è stato precedentemente accennato, è importante garantire l'apporto della luce naturale sia in termini di ventilazione naturale che di comfort per i pazienti ma sempre all'interno di confini ben definiti, stabiliti dagli ambienti stessi come, ad esempio, le camere di degenza. Ai fini di rendere l'elaborato più scorrevole al lettore, la Tabella 47 riporta solamente quegli ambienti dove sono state modificate sia la larghezza che l'altezza della finestra. Questi ambienti sono caratterizzati da grandi aree e si trovano esclusivamente al piano terra (Tabella 41).

In tutti gli altri ambienti è stata mantenuta fissa l'altezza dell'apertura, definita nelle tabelle esposte precedentemente (Tabella 43, Tabella 44, Tabella 45, Tabella 46) ed è stata variata solamente la larghezza in modo tale da soddisfare il requisito stabilito di 1/5 della superficie calpestabile.

Tabella 47: Caratteristiche geometriche delle finestre per alcuni ambienti del piano terra.

Destinazione d'uso	R.A.I. 1/5 edificio tipo	
	Altezza (m)	Larghezza (m)
Ingresso	4	19
Bar	2.5	12
Servizi visitatori	2	3.2
Degenza day hospital	3.2	5

È noto che le strutture ospedaliere richiedano livelli di illuminamento molto alti, soprattutto per alcune zone specifiche quali le sale operatorie, travaglio e sala parto, come la norma ben sottolinea [21]. Essendo molti gli ambienti presenti nei cinque piani che compongono il caso studio dell'ospedale, nella Tabella 48 sono riassunti i livelli di illuminamento medio minimi da rispettare per ciascuna funzione.

Tabella 48: Livelli minimi di illuminamento medio per ciascuna attività.

Tipo di ambiente	Livelli di illuminamento medio (lux)
Camere degenza di vario tipo (normali e ad isolamento), studio medico, zone di collegamento orizzontali speciali	300
Laboratorio analisi, locale visita, ufficio, segreteria, ambulatorio, servizio mortuario	500
Servizi sanitari, zone relax (bar), zona attesa, depositi strumenti vari, spogliatoi, ingresso	200
Corridoio generale	100
Locali intervento pronto soccorso, sala operatoria, sala parto, sala ingessature	1000

Per quanto riguarda le due tipologie di sorgente artificiale, fluorescente e LED, nella Tabella 49 sono mostrate le principali caratteristiche dei due modelli usati nell'analisi.

Tabella 49: Caratteristiche delle sorgenti individuate.

Tipo	Flusso luminoso (lm)	Potenza (W)
Fluorescente	5200	58.00
LED	5700	40.00

Anche per questo caso studio, non si è ritenuto opportuno includere nell'analisi il sistema di ombreggiatura definito dalla norma UNI EN 15193-1:2017 "lighting guides." Infatti, questa tipologia di schermatura è eccessivamente performante da poter essere applicata alle strutture ospedaliere di media dimensione. Le restanti due opzioni di schermatura presenti nello standard (Glare ed Autoglare) sono state considerate per la verifica del loro impatto sul LENI ritenendo quest'ultime maggiormente identificative dei reali sistemi di ombreggiamento delle strutture medico/ospedaliere presenti in Italia.

Considerando tutti i parametri in esame e le combinazioni tra questi sono state effettuate in tutto 256 simulazioni. Il grafico rappresentato in Figura 10 mostra lo schema delle combinazioni elaborato per il caso studio dell'ospedale.

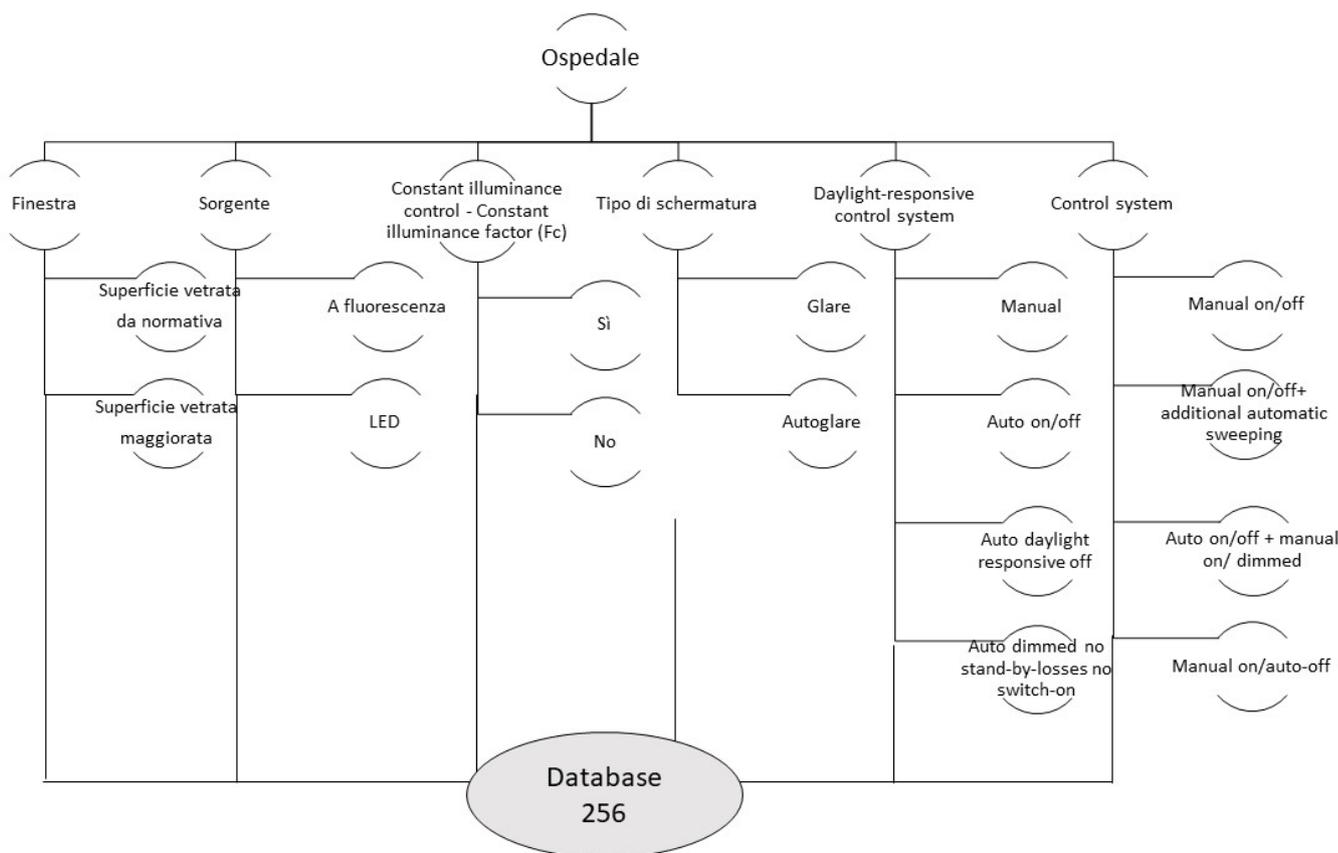


Figura 10: Schema delle 256 combinazioni effettuate per la struttura ospedaliera.

#### 4.4.2 Risultati dell'edificio tipo "Strutture ospedaliere: l'Ospedale"

In generale, il LENI calcolato per la struttura ospedaliera proposta mostra un decremento maggiore imputabile alla sostituzione delle sorgenti a fluorescenza con quelle a LED. La presenza del constant illuminance factor apporta tagli dei consumi attorno al 15%. Al contrario, i sistemi di controllo sia dell'occupazione che del daylight hanno impatti minori (al di sotto del 6%). Questo fatto è in linea con le funzioni dell'edificio che prevede un'occupazione di utenti per la maggior parte degli ambienti costante, non modulabile nell'arco della giornata (stanze di degenza, pronto soccorso, ambulatori e così via). I parametri della finestra e della schermatura si trovano in coda con valori molto bassi (al di sotto del 1%).

##### I. Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.

In Tabella 50 sono mostrati i valori Minimi e Massimi del LENI dell'edificio calcolati per ciascun parametro in gioco ed il suo impatto rispetto alla combinazione base scelta.

Tabella 50: Risultati in relazione alla variazione di un parametro.

Parametro	Condizione		Valore		Δ%
	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
F <sub>c</sub>	Assente	Presente	46.56	39.65	14.84
Finestra	Norma	Maggiorata	46.56	46.29	0.58
Schermatura	Glare	Autoglare	46.56	46.37	0.41
Sorgente	Fluorescente	LED	46.56	26.85	42.33
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	46.56	44.58	4.25
Control system	Manual on/off switch	Manul off on/auto	46.56	43.79	5.95

Dalla Tabella 50 si evince quanto il passaggio dall'utilizzo delle sorgenti a fluorescenza a quelle LED sia di grande impatto, determinando un abbattimento del LENI del 42.33%. Di seguito, si trova il parametro del constant illuminance factor che apporta discrete riduzioni, circa il 15%. In questo caso studio, entrambi i tipi di controllo, dell'occupazione e del daylight, mostrano un'influenza assai ridotta, al di sotto del 6%. Questo fatto è collegato alla natura delle esigenze funzionali del complesso ospedaliero che vede prevede un'elevata e quasi costante presenza di utenti (camere di degenza, pronto soccorso e così via), quindi un'occupazione poco variabile durante l'arco della giornata. Per quanto riguarda il daylight responsive control system, il suo impatto è leggermente minore rispetto al sistema di controllo dell'occupazione; tuttavia, quel 5% di decremento del LENI è legato alla presenza di superfici vetrate rilevanti in alcuni ambienti come l'ingresso, ma comunque delimitata per la maggior parte degli altri spazi (camere degenza, sale mediche etc.). Infine, il parametro che si trova in coda è la schermatura, la quale evidenzia decrementi del LENI globale minimi, al di sotto del 1%.

## II. Analisi di tutte le combinazioni effettuate

In Tabella 51 sono presentate le coppie di combinazioni che, tenendo fisse di volta in volta gli altri parametri, corrispondono rispettivamente alla condizione di "control system" più semplice (1/1) e a quella più evoluta (4/4)<sup>6</sup>.

Tabella 51: Risultati di coppie di combinazioni.

Parametri in gioco		Daylight responsive control system/ Control system <sup>6</sup>	Piano terra (subLEN I)	Primo piano (subLENI)	Secondo/terzo piano (subLEN)	Quarto piano (subLEN I)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	$\Delta$ (%) <sup>3</sup>
Glare	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1	49.50	44.34	41.04	53.13	46.56	9.97
		4/4	42.44	40.97	37.71	50.09	41.92	
	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1	42.12	38.02	34.89	45.16	39.65	9.91
		4/4	36.36	35.06	31.93	42.46	35.72	
	Finestra a norma, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1	30.41	27.44	23.32	31.03	27.77	9.58
		4/4	26.12	25.79	21.43	29.54	25.11	
	Finestra a norma, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1	25.99	23.05	19.58	26.38	23.48	8.35
		4/4	22.57	22.36	18.12	25.12	21.52	
Finestra magg., Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1	49.12	44.18	40.77	53.00	46.29	10.05	
	4/4	42.32	40.30	37.44	49.82	41.64		
Finestra magg., Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1	42.08	37.55	34.65	45.05	39.47	9.07	
	4/4	37.36	34.90	31.66	41.96	35.89		
Finestra magg., LED, F <sub>c</sub> assente	1/1	30.11	27.35	23.14	30.97	27.58	9.72	
	4/4	25.87	25.68	21.22	29.26	24.90		
Finestra magg., LED, F <sub>c</sub> presente	1/1	29.93	27.35	23.14	30.97	24.00	11.58	
	4/4	21.97	21.83	18.04	25.27	21.22		
Autoglare	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1	49.25	44.15	40.90	52.96	46.37	10.24
		4/4	42.06	40.66	37.48	49.81	41.62	
	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1	41.94	37.85	34.77	45.01	39.50	10.18
		4/4	36.07	34.80	31.74	42.27	35.48	
	Finestra a norma, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1	30.27	27.36	23.24	30.99	27.68	9.83
		4/4	25.90	25.67	21.27	29.47	24.96	
	Finestra a norma, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1	25.87	22.99	19.55	26.34	23.38	8.51
		4/4	22.39	22.24	18.00	25.06	21.39	
Finestra magg., Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1	48.80	43.95	40.62	52.80	46.06	10.33	
	4/4	41.89	39.95	37.19	49.51	41.30		
Finestra magg., Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1	41.82	37.36	34.52	44.88	39.28	9.37	
	4/4	36.99	34.60	31.46	41.69	35.60		
Finestra magg., LED, F <sub>c</sub> assente	1/1	29.93	27.25	23.04	30.93	27.46	10.01	
	4/4	25.61	25.53	21.05	29.19	24.71		
Finestra magg., LED, F <sub>c</sub> presente	1/1	26.13	23.17	20.51	26.31	23.90	11.88	
	4/4	21.75	21.70	17.89	25.21	21.06		

Il delta percentuale delle combinazioni riportate in Tabella 51 varia da un massimo del 12% a un minimo del 8.35%. La combinazione che mostra il valore massimo di decremento vede la presenza del LED, della finestra maggiorata, del F<sub>c</sub> e della schermatura Autoglare (11.88%); al contrario, il valore minore è ottenuto dalla

combinazione con sorgente LED, schermatura Glare e la presenza del  $F_c$ . In generale, il passaggio dai sistemi di controllo manuali verso sistemi di controllo più sofisticati (da 1.1 a 4.4) determina un decremento medio attorno al 10%. Tale decremento del LENI è meno considerevole rispetto ad altri casi studio esaminati, ma è una diretta conseguenza delle funzioni della struttura e le esigenze dell'utenza. La Tabella 52 mostra quanto la variazione di un solo parametro quale la sorgente non riesce a raggiungere i benefici apportati dalla variazione di tutti i parametri in gioco. Infatti, nel primo caso si registra una riduzione del LENI del 42.33%; nel secondo caso invece si ottiene il 55% grazie alla sinergia positiva determinata dagli altri parametri presi in esame.

Tabella 52: Impatto della variazione di un parametro (sorgente) e di tutti i parametri.

Parametro	$\Delta$ (%)
Finestra, Sorgente, $F_c$ , schermatura, sistemi di controllo (da 1/1 a 4/4)	55
Sorgente	42.33

La Tabella 53 evidenzia, invece, la variazione del LENI tenendo fissi tutti i parametri tranne quelli dei sistemi di controllo, sia dell'occupazione che del daylight.

Tabella 53: Risultati di un intero set di combinazioni.

Parametro <sup>7</sup>	Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Secondo/terzo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Quarto piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
1/1	49.50	44.34	41.04	53.13	46.56
1/2	48.03	44.00	40.59	52.73	45.77
1/3	46.71	43.66	40.13	51.68	44.92
1/4	44.57	42.97	39.36	51.69	43.79
2/1	48.72	43.72	40.47	52.60	45.92
2/2	47.28	43.42	40.02	52.21	45.14
2/3	45.98	42.51	39.57	51.16	44.22
2/4	43.88	42.34	38.81	51.19	43.19
3/1	47.99	43.11	39.91	52.09	45.30
3/2	46.57	42.84	39.47	51.71	44.54
3/3	45.28	41.88	39.07	50.67	43.62
3/4	43.21	41.78	38.27	50.70	42.61
4/1	47.12	42.32	39.36	51.46	44.58
4/2	45.72	41.98	38.89	51.08	43.81
4/3	44.45	41.10	38.45	50.05	42.90
4/4	42.44	40.97	37.71	50.09	41.92

I risultati di un intero set di combinazioni (come evidenziato anche in blu in Tabella 53), laddove sono variate solamente i sistemi di controllo, mostrano la persistente diminuzione del LENI per ogni coppia di sistema di controllo. Si passa quindi da valori del 46.56 kWh/(m<sup>2</sup>anno), per i sistemi di controllo manuali, a 42.90 kWh/(m<sup>2</sup>anno), grazie all'accoppiamento di sistemi sofisticati. Analizzando nel dettaglio ciascun livello della struttura ospedaliera, il piano quarto, avente le sale operatorie, è il più energivoro seguito dal piano terra. I piani di degenza invece sono pressoché simili, ricordando che il piano primo presenta anche ambienti per il

parto, perciò, raggiunge valori del LENI leggermente superiori (44.34 kWh/(m<sup>2</sup>anno), rispetto ai piani di degenza classici (secondo e terzo piano, 41.04 kWh/(m<sup>2</sup>anno).

In Tabella 54 sono riportati i risultati relativi alla variazione di tutti i parametri tranne quelli dei sistemi di controllo che sono tenuti fissi. Il minore decremento del LENI è ottenuto dalla variazione della tipologia di finestra, seguito dalla presenza del constant illuminance factor, e poi dalla sorgente/finestra. Grazie alla grafica della Tabella 54, si possono vedere con chiarezza gli impatti determinati dai parametri in analisi; inoltre, si può notare che anche qui il valore massimo ottenuto dalle simulazioni è di 46.56 kWh/(m<sup>2</sup> anno).

Tabella 54: Sistemi di controllo fissi e variazione degli altri parametri in esame.

Parametri in esame			Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno )	Secondo/terzo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno )	Quarto piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> a nno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> a nno)
Finestra a norma e Fluo	F <sub>C</sub> assente	Glare	49.50	44.34	41.04	53.13	46.56
		Autog.	49.25	44.15	40.90	52.96	46.37
	F <sub>C</sub> presente	Glare	42.12	38.02	34.89	45.16	39.65
		Autog.	41.94	37.85	34.77	45.01	39.50
Finestra a norma e LED	F <sub>C</sub> assente	Glare	30.41	27.44	23.32	31.03	27.77
		Autog.	30.27	27.36	23.24	30.99	27.68
	F <sub>C</sub> presente	Glare	25.99	23.05	19.58	26.38	23.48
		Autog.	25.87	22.99	19.55	26.34	23.38
Finestra magg. Fluo	F <sub>C</sub> assente	Glare	49.12	44.18	40.77	53.00	46.29
		Autog.	48.80	43.95	40.62	52.80	46.06
	F <sub>C</sub> presente	Glare	42.08	37.55	34.65	45.05	39.47
		Autog.	41.82	37.36	34.52	44.88	39.28
Finestra magg. LED	F <sub>C</sub> assente	Glare	30.11	27.35	23.14	30.97	27.58
		Autog.	29.93	27.25	23.04	30.93	27.46
	F <sub>C</sub> presente	Glare	26.29	23.25	20.60	26.35	24.00
		Autog.	26.13	23.17	20.51	26.31	23.90

Come è già stato fatto per gli altri edifici tipo fin ad ora esaminati, sono state fatte ulteriori analisi sui valori riportati nella Tabella 54, con l'obiettivo di mettere in luce l'impatto di due parametri variati simultaneamente, mantenendo i restanti fissi (Tabella 55). Le variazioni a coppia dei parametri sono riportati come segue:

- Variazione della tipologia di schermatura e la presenza/assenza del F<sub>C</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e la presenza/assenza del F<sub>C</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e schermatura;
- Variazione della tipologia di schermatura e della finestra;
- Variazione della tipologia di finestra e la presenza/assenza del F<sub>C</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e della finestra.

Ciascuna di queste combinazioni viene confrontata con la combinazione invariata che risulta essere quella caratterizzata da finestra a norma, sorgente a fluorescenza, assenza di F<sub>C</sub> e schermatura tipo Glare.

Tabella 55: Analisi a coppia dei parametri scelti.

Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Secondo/terzo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Quarto piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ%	Parametri analizzati a coppie
49.50	44.34	41.04	53.13	46.56	-	-
41.94	37.85	34.77	45.01	39.50	15.16	F <sub>C</sub> e schermatura
25.99	23.05	19.58	26.38	23.48	49.57	Sorgente e F <sub>C</sub>
25.87	22.99	19.55	26.34	23.38	49.79	Sorgente e schermatura
48.80	43.95	40.62	52.80	46.06	1.07	Schermatura e finestra
42.08	37.55	34.65	45.05	39.47	15.23	F <sub>C</sub> e finestra
30.11	27.35	23.14	30.97	27.58	40.76	Sorgente e finestra

Le coppie che registrano consistenti riduzioni del LENI sono le seguenti: Sorgenti/Schermatura (49.79%), Sorgente/ F<sub>C</sub> (49.57%), Sorgente/Finestra (40.76%). Ovviamente il parametro fondamentale per queste coppie citate è la tipologia di sorgente che combinata con la variazione di un altro parametro (schermatura, F<sub>C</sub> oppure finestra) determina un ulteriore abbattimento dei consumi elettrici. Le coppie, invece, che apportano decrementi del LENI al di sotto del 16% sono F<sub>C</sub>/finestra (15.23%), F<sub>C</sub> e schermatura (15.16%). In coda si trova la coppia Schermatura/Finestra (1% circa), essendo una combinazione di parametri poco impattati per questo caso studio. Di conseguenza, quest'ultimi parametri sarebbe meglio combinarli con altri aventi influenza maggiore sulla riduzione del LENI.

I restanti risultati mostrati in Appendice (paragrafo CASO STUDIO: Ospedale) mostrano tutti i risultati ottenuti per le 256 simulazioni effettuate per la struttura ospedaliera dell'ospedale, per quali sono valide le stesse considerazioni e commenti. Si ricorda inoltre che tale mole di dati è stata essenziale per definire il valore medio di LENI per il benchmark finale esposto nel paragrafo "Risultati: redazione della tabella di benchmark per i nove casi studio".

### III. Analisi per stanza

Questo tipo di analisi ha l'obiettivo di mostrare la variazione del LENI di una specifica stanza in relazione al suo orientamento. Gli ambienti selezionati sono due stanze di degenza poste al primo piano aventi stessi requisiti illuminotecnici e caratteristiche geometriche simili, ricordano che la superficie vetrata è stata rapportata alla superficie utile dell'ambiente secondo il rapporto aero-illuminante (R.A.I.) di 1/8.

Le combinazioni scelte prevedono come variabili fisse la sorgente (LED), la schermatura a veneziana, l'assenza del Costant illuminance factor (F<sub>C</sub>) e il sistema di controllo manuale (Tabella 56).

Tabella 56: Impatto dell'orientamento.

Parametro	Stanza Nord (subLENI)	Stanza Sud (subLENI)	Δ% <sup>4</sup>
Finestra con R.A.I. 1/8	25.2	25.08	0.48%

La riduzione del LENI rispetto all'orientamento è al di sotto del 0.5%, ricordando che si tratta di aperture avente superficie vetrata 1/8 della superficie calpestabile. Non si ottengono decrementi elevati poiché la geometria dell'ambiente stesso non permette modifiche consistenti. Non è riportato il confronto con la combinazione con la superficie vetrata maggiorata poiché le discrepanze tra le due stanze è quasi impercettibile. Il parametro dell'ostruzione non è stato verificato poiché il caso in esame, generalmente, è

situato in aree urbane aventi consistenti distanze dagli edifici confinanti, rendendo quindi l'impatto dell'ostruzione nullo.

## 4.5 Strutture ricettive: l'albergo

L'Italia è stata sempre contraddistinta da un forte flusso di turisti grazie alle sue ineguagliabili bellezze artistico-architettoniche e paesaggistiche, divenendo nel 2019 il terzo paese più visitato al mondo con 94 milioni di visitatori secondo l'ENIT (Agenzia Nazionale del Turismo) [29]. A livello economico, il settore turistico genera più del 5% del PIL nazionale (il 13% considerando anche il PIL generato indirettamente) e coinvolge il 6% dell'occupazione [30]. Patendo da queste premesse, l'analisi delle strutture turistiche, come suggerito dalla UNI EN 15193-1: 2017, assume un ruolo chiave vista la grande importanza che tali complessi edilizi ricoprono attualmente nel nostro territorio.

### 4.5.1 Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri

Le strutture ricettive in Italia sono di vario genere e presentano diversi servizi e proprio in base ad essi è possibile classificare e poter definire la struttura dell'albergo. Per albergo, quindi, si intende un esercizio ricettivo aperto al pubblico, a gestione unitaria, che fornisce alloggio ed altri servizi accessori. Gli alberghi sprovvisti di servizio ristorante (che forniscono soltanto alloggio e prima colazione) assumono anche la denominazione di "meublè". I requisiti minimi che una struttura deve possedere per ricevere l'appellativo di albergo sono i seguenti:

- capacità ricettiva non inferiore a sette stanze;
- un bagno privato riservato per ogni camera, con misure e caratteristiche che dipendono dalla tipologia di albergo (nel caso in cui vi siano camere non dotate di servizi privati, vi dovrà essere un locale bagno completo ogni otto posti letto o frazione);
- un lavabo con acqua corrente calda e fredda, uno specchio ed una presa di corrente in ogni camera sprovvista di locale bagno privato; un locale adibito ad uso comune (che potrebbe coincidere con la sala colazione o ristorazione o essere aggiuntivo, a discrezione dell'albergatore);
- impianti tecnologici adeguati e di un numero di addetti, qualificati per permetterne il corretto funzionamento, proporzionato alla dimensione della struttura.

Deve inoltre essere garantita la conformità della struttura alle normative vigenti in materia urbanistica e di edilizia, di sicurezza degli impianti, di rispetto ambientale, di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori e di superamento delle barriere architettoniche per favorire l'ospitalità delle persone diversamente abili [31,32].

Facendo quindi riferimento ai dati Istat [33], in Italia la maggior parte degli alberghi presenta meno di 25 camere (si tratta quindi di strutture di piccola taglia, in numero pari a 17520 secondo i dati aggiornati al 2020), seguiti ad una certa distanza dalle strutture aventi dalle 25 alle 99 camere (13235 unità).

In aggiunta, si deve individuare anche la classe di appartenenza dell'albergo. Dall'analisi dei dati raccolti, tratti in particolare da una statistica pubblicata dal Sole 24 Ore e da Reag advisory group, oltre che ovviamente dalle statistiche Istat, si è stabilito di concentrarsi sulle strutture alberghiere a 3 stelle che rappresentano in assoluto la maggioranza delle strutture esistenti. I dati confermano infatti che L'Italia ancora non sfrutti appieno le sue risorse al livello turistico; ad oggi si è ancora ben lontani dagli standard internazionali ed ancora in difficoltà a rispondere alla domanda turistica estera, che tende a prediligere strutture turistiche superiori alle 4 stelle.

Di conseguenza, la tipologia scelta per identificare la struttura alberghiera tipo in Italia è quella dotata di tre stelle, poiché il 46% delle strutture alberghiere gode di questa classifica (le strutture a 5 stelle sono soltanto 571, pari all'incirca all'1,8%) [34].

Una volta stabilita la tipologia di struttura alberghiera (struttura con 25 camere e tre stelle), si è potuto dimensionare gli ambienti interni tramite l'utilizzo sempre di regolamenti e normative vigenti [33,34]. Per tali strutture deve essere assolutamente prevista:

- una sala ad uso comune di superficie complessiva non inferiore a 4.4 m<sup>2</sup> per ognuna delle prime dieci unità abitative, a 1.1 m<sup>2</sup> per ognuna delle ulteriori unità abitative fino alla ventesima e a 0.55 m<sup>2</sup> per ogni unità abitativa oltre la ventesima;
- un servizio lavanderia che restituisca i capi entro 24h ed un servizio di accoglienza a cura del personale, con possibilità di lasciare i bagagli in una zona adibita a tale funzione.

- un servizio bar, in un locale destinato soltanto a questa funzione o nei locali comuni, per alcune ore al giorno (12h o più).

Infine, è consigliato prevedere una sala apposita per la distribuzione del servizio della colazione, elemento che è stato considerato nella definizione del caso studio.

Per quanto riguarda le camere da letto ed i servizi igienici degli ospiti, sono state applicate le superfici minime stabilite da normativa [35]:

- 8 m<sup>2</sup> per la stanza singola e 14 m<sup>2</sup> per la doppia;
- per le camere a più di due letti la superficie minima è risultante dalle misure stabilite per le camere a due letti aumentate, per ogni letto in più, di un numero di metri quadri pari alla differenza di cubatura e superficie tra singola e la doppia;
- la dimensione dei bagni in camera deve essere pari almeno a 3 m<sup>2</sup>.

Devono inoltre essere presenti anche i bagni di cortesia, oltre agli spogliatoi ed ai servizi igienici ad uso esclusivo del personale.

A questo punto, è possibile distribuire tutti gli ambienti comuni con le aree di servizio al piano terra, le aree notte invece su tre livelli (piano primo, secondo e terzo). Il piano delle camere degli ospiti contiene nove camere di cui: quattro singole, quattro doppie ed una camera familiare da 26 m<sup>2</sup>. L'altezza di interpiano del piano terra è stata stabilita di 3.5 m, quella invece dei piani contenenti le camere degli ospiti di 2.7 m. La superficie totale del complesso alberghiero proposto è di 980 m<sup>2</sup>. La Tabella 57 riporta l'elenco degli ambienti distribuiti per ogni piano e la superficie definita per ciascuna funzione.

Tabella 57: Distribuzione degli ambienti nei diversi piani.

<b>PIANO TERRA</b>		
<b>Tipo di ambiente</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>N° di ambienti</b>
Ingresso/hall	31.2	1
Sala colazione	50	1
Sala comune	49.14	1
Bar	13	1
Servizi sanitari ospiti	10	2
Direzione	12	1
Cucina di servizio	12.8	1
Zone stoccaggio	10.24	1
Lavanderia	16.8	1
Spogliatoi	5	4
Collegamenti orizzontali	35	-
Collegamenti verticali	20	-
<b>PIANO TIPO (zona notte)</b>		
Camera singola	11.2	4
Camera doppia	17.3	4
Camera familiare	29	1
Collegamenti orizzontali	30	-
Collegamenti verticali	20	-

Per maggior chiarezza, la Figura 11 mostra la legenda e la planimetria del piano terra, dove si trovano tutti gli ambienti ad uso comune della clientela.



Figura 11: Legenda e planimetria del piano terra della struttura alberghiera.

Fondamentale per una corretta progettazione dal punto di vista del comfort interno di un locale è il rispetto del valore del R.A.I. (rapporto aereo-illuminante) che è stabilito da normativa pari ad  $1/8$  della superficie dell'ambiente di riferimento [18]. Sono state quindi dimensionate le aperture in modo tale da garantire il valore minimo prefissato, utilizzando la tipologia delle finestre a nastro negli ambienti di medie dimensioni e comuni, quali le sale comuni/colazione, la hall e le zone di servizio. Le camere degli ospiti invece prevedono aperture vetrate standard (Tabella 58).

Tabella 58: Caratteristiche geometriche delle superficie vetrate (R.A.I.  $1/8$ ).

PIANO TERRA	Larghezza (m)	Altezza (m)
Hall	3.9	1
Sala colazione	4.2	1.5
Sala comune	4.1	1.5
Bar	1.65	1
Zone stoccaggio	1.3	1
Lavanderia	2.1	1
Spogliatoi	0.65	1
Camera singola	1	1
Camera doppia	1.2	1.5
Camera familiare	2.3	1.5

Per quanto riguarda l'illuminazione artificiale, la normativa [21] stabilisce anche per questi caso studio i livelli minimi dell'illuminamento medio atto a garantire il corretto svolgimento dell'attività peculiari di ogni ambiente. Di conseguenza, la Tabella 59 riporta gli illuminamenti medi scelti per ciascuna zona ed essenziali per la definizione delle sorgenti luminose artificiali.

Tabella 59: Livelli di illuminamento medio scelti per ciascun ambiente.

Ambiente	Illuminamento medio (lux)
Hall, sala colazione, bar, lavanderia	300
Sala comune, direzione, cucina di servizio	500
Zone stoccaggio, bagni, spogliatoi, Camera singola, doppia, familiare	200
Collegamenti orizzontali	150

L'elenco dei parametri in gioco del caso studio dell'albergo è esposto di seguito:

- Tipologia di finestra (dimensione da normativa e dimensione maggiorata)
- Tipo di sorgente (Fluorescente e LED)
- Daylight-responsive control systems (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- Control system (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- Constant Illuminance Control, Fcc (presenza o assenza di questo sistema di regolazione)
- Tipologia di schermatura (Glare, Autoglare)

Per questo caso studio, la condizione di superficie vetrata maggiorata è stata effettuata aumentando il R.A.I. ad un 1/5, in maniera tale da favorire un maggiore ingresso della luce naturale nelle ore diurne (Tabella 60).

Tabella 60: Caratteristiche geometriche delle superficie vetrate avente R.A.I. di 1/5.

PIANO TERRA	Larghezza (m)	Altezza (m)
Hall	4.2	1.5
Sala colazione	6.7	1.5
Sala comune	6.6	1.5
Bar	2.6	1
Zone stoccaggio	2.1	1
Lavanderia	3.4	1.5
Spogliatoi	2	1
Camera singola	1.1	1.5
Camera doppia	2.3	1.5
Camera familiare	3.8	1.5

La Tabella 61 riporta le caratteristiche principali delle sorgenti scelte, sia a fluorescenza che a LED. Si evince che si è cercato di variare le sorgenti in base sia all'attività che deve essere svolta all'interno dell'ambiente sia in base ai valori di illuminamento richiesti.

Tabella 61: Caratteristiche delle sorgenti scelte per ogni ambiente

Sorgenti a fluorescenza		
Ambiente	Flusso luminoso (lm)	Potenza (W)
Hall, sala colazione, sala comune	16590	244
Bar, cucina di servizio, direzione, lavanderia	9061	188
Zona stoccaggio	4649	63
Servizi igienici/spogliatoi	4872	117
Camera singola	5391	98
Camera doppia, familiare	6796	141
Servizio bagno in camera	3828	64
Collegamenti orizzontali	2080	58
Sorgenti LED		
Hall, sala colazione, sala comune	12819	145
Direzione	15136	209
Cucina di servizio, bar	16400	135.7
Zona stoccaggio, lavanderia	10498	36
Servizi igienici/spogliatoi	5101	35
Camera singola	5730	43
Camera doppia, familiare	14400	158
Servizio bagno in camera	3000	28
Collegamenti orizzontali	2000	28

Dopo un'attenta analisi delle attività e delle attuali tecnologie presenti nelle strutture alberghiere, si è ritenuto di non applicare i sistemi di controllo più avanzati del controllo della luce naturale all'interno delle camere, lasciando solamente una regolazione di tipo manuale. Non è sembrato utile, infatti, simulare i sistemi di controllo più avanzati (auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on) poiché non applicabili a questa tipologia di ambiente, laddove ha più senso testare i sistemi di controllo relativi all'occupazione. Detto ciò, nelle camere resterà invariato il Daylight-responsive control system manuale, variando solamente il control system. Questa modifica è applicata solamente per le camere dell'albergo, gli altri ambienti disposti nel piano terra saranno oggetto di analisi per tutti sistemi di controllo, sia del daylight che dell'occupazione.

Infine, per quanto concerne la tipologia della schermatura, si è deciso di prendere in considerazione i due tipi di ombreggiamento più comuni ovvero quella classica persiana o veneziana (Glare) e quella avente persiane motorizzate automatiche (Autoglare), in grado di gestire e mitigare il flusso di luce naturale disponibile. Le simulazioni effettuate in totale per il caso studio dell'albergo sono quindi 256, come è rappresentato nello schema della Figura 12.

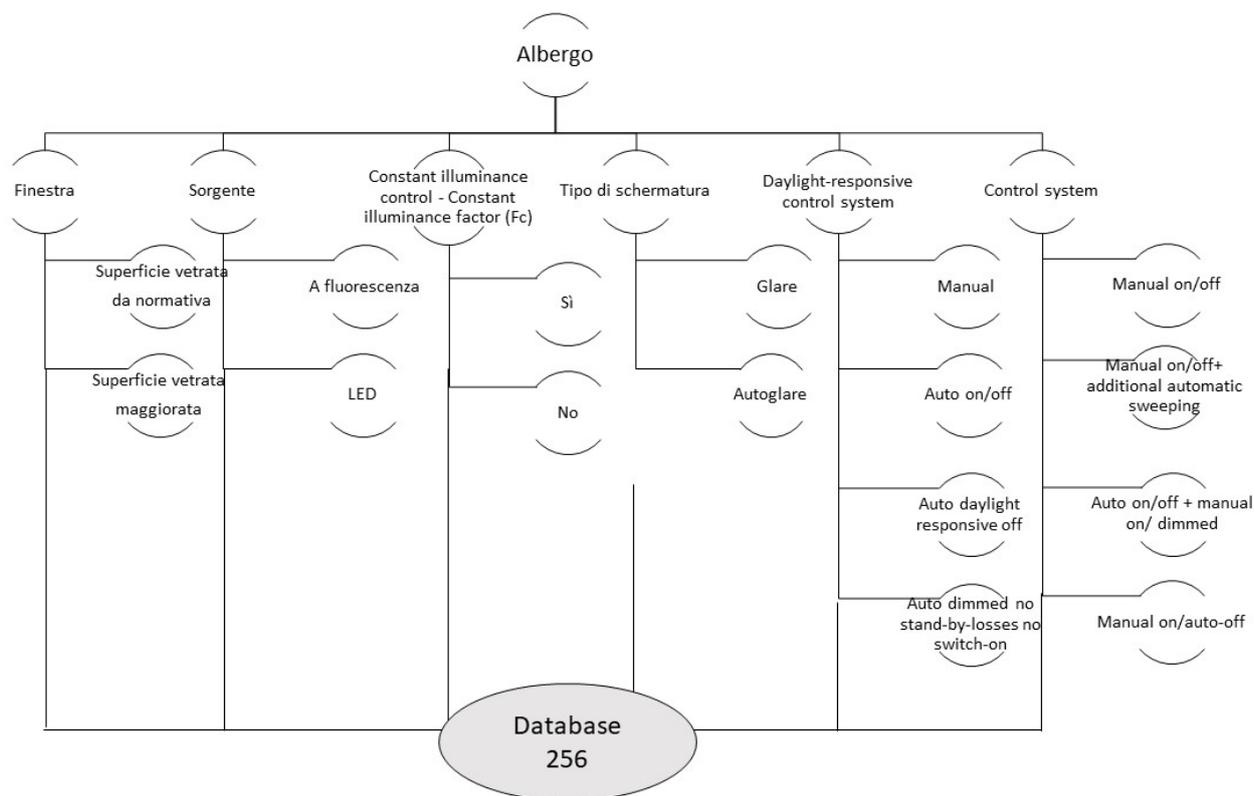


Figura 12: Grafico delle simulazioni effettuate per il caso studio dell'albergo.

#### 4.5.2 Risultati dell'edificio tipo "Strutture ricettive: l'albergo"

In sintesi, i parametri che mostrano un forte impatto sul LENI dell'albergo sono la sorgente ed il sistema di controllo dell'occupazione. Il primo garantisce tagli energetici del 45% ed il secondo del 26%. La presenza del sensore  $F_c$  discreti vantaggi, apportando una riduzione del LENI del 15%. I parametri relativi al sistema di regolazione del daylight, la tipologia di schermatura e la superficie vetrata non riescono ad ottenere consistenti vantaggi, non riuscendo a superare il 6% di contributo sul LENI.

##### I. Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.

In Tabella 62 sono riportati i valori Minimi e Massimi del LENI dell'edificio per ciascun parametro in esame, mostrando la condizione in cui il parametro è variato. I risultati del LENI sono poi confrontati per mostrare la differenza in termini percentuali del massimo e del minimo ottenuto per quella combinazione al variare di quel parametro in analisi.

Tabella 62: Valori Massimi e minimi del LENI per il caso studio albergo.

Parametro	Condizione		Valore		Δ%
	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
F <sub>c</sub>	Assente	Presente	45.18	38.41	14.98
Finestra	Norma	Maggiorata	45.18	44.46	1.59
Schermatura	Glare	Autoglare	45.18	45.01	0.38
Sorgente	Fluorescente	LED	45.18	24.62	45.51
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	45.18	42.77	5.33
Control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	45.18	33.56	25.72

Analizzando i risultati nel dettaglio (Tabella 62), l'applicazione delle sorgenti LED apporta rilevanti tagli al LENI, passando da 45.18 kWh/(m<sup>2</sup>anno) a 24.62 kWh/(m<sup>2</sup>anno), una riduzione del 45.5 % che risulta essere quella di più impatto. L'attivazione del sensore F<sub>c</sub> ottiene un decremento del LENI circa del 15%, come avvenuto in quasi tutti i casi studio. Per quanto riguarda i sistemi di controllo, si ricorda che per un ambiente specifico (le camere d'albergo) è stato mantenuto fisso il sistema di controllo del daylight manuale, poiché gli altri sistemi sono alquanto lontani dall'essere applicati in questa destinazione d'uso. Questo fatto ha sicuramente diminuito l'influenza dei sistemi di controllo del daylight (5.33%), favorendo una maggior predominanza dei sistemi di regolazione dell'occupazione (25.72%). Inoltre, proprio l'utilizzo stesso di alcuni ambienti dell'albergo e quindi il loro affollamento, subisce molte variazioni giornaliere, evidenziando quindi i vantaggi dell'utilizzo di sistemi di controllo e gestione degli utenti. L'aumento della superficie vetrata si attesta su valori bassi del 1.60%, mettendo in luce quanto non sia del tutto sufficiente lavorare solamente con questo parametro. In coda si trova il parametro della schermatura che mostra un'effettiva influenza sull'abbattimento del LENI al di sotto del 1%.

## II. Analisi di tutte le combinazioni effettuate

In Tabella 63 sono presentate le coppie di combinazioni che, tenendo fissi di volta in volta gli altri parametri, corrispondono rispettivamente alla condizione dei sistemi di controllo e regolazione, sia della luce naturale che dell'occupazione, più semplice (1/1) fino a quelli più evoluti (4/4)<sup>6</sup>.

Tabella 63: Risultati delle combinazioni analizzate a coppie.

Parametri in gioco		Daylight responsive control system/control system <sup>6</sup>	Piano terra (subLENI)	Piano Primo (subLENI)	Piano secondo-terzo (subLENI)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ (%) <sup>3</sup>
Glare	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	61.88 47.12	39.81 26.23	37.19 24.16	45.18 31.50	30.28
	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	52.60 40.05	33.83 22.29	31.61 20.53	38.41 26.78	30.28
	Finestra R.A.I. 1/8, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	36.36 27.90	20.05 13.31	19.40 12.71	24.62 17.40	29.33
	Finestra R.A.I. 1/8, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	30.91 23.72	17.05 11.32	16.49 10.81	20.93 14.79	29.34
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	61.42 46.33	39.00 25.60	36.33 23.56	44.46 30.85	30.61
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	52.21 39.38	33.15 21.76	30.88 20.02	37.79 26.22	30.62
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	36.12 27.48	19.64 13.00	18.95 12.41	24.24 17.05	29.6
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	36.12 23.36	19.64 11.05	18.95 10.55	20.61 14.49	29.69
Autoglar e	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	61.88 47.12	39.63 26.09	36.91 23.91	45.01 31.36	30.33
	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	52.60 40.05	33.68 22.18	31.37 20.32	38.26 26.65	30.35
	Finestra R.A.I. 1/8, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	36.36 27.90	19.97 13.25	19.27 12.60	24.54 17.33	29.38
	Finestra R.A.I. 1/8, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	30.91 23.72	16.98 11.26	16.38 10.71	20.86 14.73	29.39
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	61.42 46.33	38.74 25.39	36.02 23.29	44.25 30.67	30.69
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	52.21 39.38	32.97 21.58	30.62 19.80	37.62 26.07	30.70
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	36.12 27.48	19.52 12.90	18.81 12.28	24.15 16.97	29.73
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	30.70 23.36	16.59 10.96	15.99 10.44	20.53 14.43	29.71

La riduzione del LENI, che si evince dalla Tabella 63, è compresa nell'intervallo che va dal 29.33% al 30.70%; si nota che il valore maggiore del 30.70% è ottenuto dalla coppia di combinazioni che presenta sorgenti LED, finestra con R.A.I. 1/5, attivazione del sensore F<sub>c</sub> e schermatura di tipo Autoglar e. Sicuramente tutti i parametri giocano un ruolo, che sia più o meno grande, nel decremento del LENI. È anche corretto osservare che un considerevole apporto è dato anche dall'utilizzo di sistemi di controllo (soprattutto dell'occupazione) più evoluti (ovvero 4/4). La Tabella 64 mette in luce l'effettivo comportamento sinergico di tutti i parametri in gioco grazie ai quali si raggiungono decrementi del 68%, rispetto al 45.5% della sola variazione del parametro della sorgente.

Tabella 64: Impatto di un singolo parametro vs tutti i parametri.

Parametro	$\Delta\%$
Finestra, Sorgente, $F_c$ , schermatura, sistemi di controllo (da 1/1 a 4/4)	68.00
Sorgente	45.51

La Tabella 65 riporta un intero set di combinazioni (16 in totale), mostrando il passaggio da sistemi di controllo manuali (1/1) fino a quelli più evoluti (1/4). La combinazione qui esposta è quella che presenta: sorgenti a fluorescenza, schermatura Glare, finestra con R.A.I. 1/8 e  $F_c$  non attivo. I risultati in blu evidenziano ad esempio quanto varia il LENI in relazione ai diversi sistemi di controllo dell'occupazione (da 1 a 4), mantenendo fisso i sistemi di controllo manuale del daylight.

Tabella 65: Risultati del LENI di un set di combinazioni variando solo i sistemi di controllo.

Parametri <sup>7</sup>	Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano secondo/terzo subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
1/1	61.88	39.81	37.19	45.18
1/2	59.47	36.55	34.14	42.28
1/3	57.05	33.30	31.09	39.37
1/4	52.22	26.80	25.00	33.56
2/1	59.80	39.59	36.89	44.37
2/2	57.44	36.35	33.86	41.49
2/3	55.08	33.11	30.83	38.61
2/4	50.36	26.63	24.77	32.86
3/1	57.88	39.40	36.63	43.63
3/2	55.56	36.17	33.62	40.78
3/3	53.25	32.94	30.60	37.92
3/4	48.62	26.49	24.58	32.21
4/1	56.16	39.05	36.07	42.77
4/2	53.90	35.84	33.09	39.96
4/3	51.64	32.64	30.11	37.14
4/4	47.12	26.23	24.16	31.50

Analizzando nel dettaglio, i risultati per ciascun piano, si evince che il piano terra è il più energivoro poiché presenta differenti attività ed ambienti molto grandi. Il piano primo ed il piano secondo/terzo si attestano su valori al di sotto di 40 kWh/(m<sup>2</sup>anno); la loro differenza è principalmente dovuta al fattore dell'ostruzione che verrà descritto nel paragrafo seguente, denominato "Analisi peculiare".

Anche per questo caso studio, si è condotta un'analisi volta ad evidenziare il peso di tutti i parametri tranne quelli relativi ai sistemi di regolazione e controllo (Tabella 66).

Tabella 66: Risultati derivanti dall’impatto di tutti i parametri tranne i sistemi di controllo.

Parametri in esame			Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> a nno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano secondo/ter zo subLENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> a nno)
Finestra R.A.I. 1/8 e Fluo	F <sub>C</sub> assente	Glare	61.88	39.81	37.19	45.18
		Autog.	61.88	39.63	36.91	45.01
	F <sub>C</sub> presente	Glare	52.60	33.83	31.61	38.41
		Autog.	52.60	33.68	31.37	38.26
Finestra R.A.I. 1/8 e LED	F <sub>C</sub> assente	Glare	36.36	20.05	19.40	24.62
		Autog.	36.36	19.97	19.27	24.54
	F <sub>C</sub> presente	Glare	30.91	17.05	16.49	20.93
		Autog.	30.91	16.98	16.38	20.86
Finestra R.A.I. 1/5 e Fluo	F <sub>C</sub> assente	Glare	61.42	39.00	36.33	44.46
		Autog.	61.42	38.74	36.02	44.25
	F <sub>C</sub> presente	Glare	52.21	33.15	30.88	37.79
		Autog.	52.21	32.97	30.62	37.62
Finestra R.A.I. 1/5 e LED	F <sub>C</sub> assente	Glare	36.12	19.64	18.95	24.24
		Autog.	36.12	19.52	18.81	24.15
	F <sub>C</sub> presente	Glare	30.70	16.69	16.11	20.61
		Autog.	30.70	16.59	15.99	20.53

La Tabella 66 mostra l’andamento dei valori del LENI, variando i parametri della finestratura, sorgente, presenza o assenza del costant illuminance factor e schermatura ma tenendo fisso il tipo di sistema di controllo, in questo caso Manual/Manual on/off (1/1). In grigio scuro sono evidenziati sia i valori massimi di LENI di ciascun piano che quello totale (45.18 kWh/ (m<sup>2</sup> anno)); in grigio chiaro invece i valori minimi, che si aggirano tra i 30.70 kWh/(m2anno) ed i 20.53 kWh/(m2anno).

Il parametro della schermatura sembra non avere impatto sui valori del LENI del piano terra e questo fatto è dovuto principalmente all’angolo di ostruzione che è molto alto e quindi non riesce a fare emergere sensibilmente l’apporto positivo, seppure minimo (valori globali al di sotto del 0.4% come riportato in Tabella 62), della schermatura Autoglare.

Sono state fatte ulteriori analisi sui valori riportati nella Tabella 66, ovvero si è investigato l’impatto della variazione simultanea di due parametri variati scelti, mantenendo i rimanenti fissi (Tabella 67).

Le variazioni a coppia di parametri sono le seguenti:

- Variazione della tipologia di schermatura e la presenza/assenza del F<sub>C</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e la presenza/assenza del F<sub>C</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e schermatura;
- Variazione della tipologia di schermatura e della finestra;
- Variazione della tipologia di finestra e la presenza/assenza del F<sub>C</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e della finestra.

Ciascuna di queste combinazioni viene confrontata con la combinazione invariata che risulta essere quella caratterizzata da finestra con R.A.I. 1/8, sorgente a fluorescenza, assenza di F<sub>C</sub>, schermatura tipo Glare.

Tabella 67: Analisi dei parametri a coppie.

Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano secondo/terzo subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ% del LENI	Parametri analizzate coppie
61.88	39.81	37.19	45.18	-	-
52.60	33.68	31.37	38.26	15.32	Schermatura e F <sub>c</sub>
30.91	17.05	16.49	20.93	53.67	Sorgente e F <sub>c</sub>
30.91	16.98	16.38	20.86	53.83	Schermatura e sorgente
61.42	38.74	36.02	44.25	2.06	Schermatura e finestra
52.21	33.15	30.88	37.79	16.36	Finestra e F <sub>c</sub>
36.12	19.64	18.95	24.24	46.35	Finestra e sorgente

Le coppie che mostrano avere un significativo apporto alla riduzione del LENI totale sono quelle aventi come parametro la sorgente in un range compreso tra il 45% ed il 55%. L'abbinamento sorgente e schermatura ottiene percentuali alte del 53.83, seguito da quello sorgente ed F<sub>c</sub>. La coppia sorgente e finestra sembra essere la meno efficace comparandola con quest'ultime. Di seguito si trovano le coppie relative al F<sub>c</sub> combinato con finestra e schermatura, presentando valori rispettivamente del 16.36% e 15.32%. infine, la coppia schermatura/finestra si attesta su decrementi del LENI molto più bassi, al di sotto del 5%.

Si rimanda all'Appendice (paragrafo CASO STUDIO: Hotel) la visione dei restanti risultati ottenuti dalle 256 simulazioni.

### III. Analisi peculiare

Per l'orientamento purtroppo il caso studio proposto non presenta ambienti simili, per geometria e volumetria, distribuiti sugli affacci Nord e Sud. Invece, per quanto riguarda il paramento dell'ostruzione è stato possibile confrontare i valori del LENI del piano primo e del piano secondo che mostrano la stessa distribuzione e caratterizzazione degli ambienti sia dal punto di vista geometrico che illuminotecnico. L'unico valore appunto che varia è l'angolo di ostruzione determinato dagli edifici confinanti, che sarà maggiore per piano primo rispetto al piano terzo. L'impatto di tale parametro è sempre al di sotto del 5% come già accaduto per altri casi studio (Tabella 68).

Tabella 68: Impatto del parametro dell'ostruzione.

Parametri scelti	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo secondo/terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ% <sup>5</sup>
Finestra R.A.I. 1/8, LED, Glare, F <sub>c</sub> assente, sistemi di controllo manuali	20.05	19.04	3

#### 4.6 Strutture di ristorazione: il ristorante

Secondo recenti studi [36], la ristorazione italiana è al terzo posto nel quadro Europeo, preceduta solamente dal Regno Unito e dalla Spagna. Inoltre, essa assume il 35.70% del totale dei consumi alimentari. Nell’arco dell’ultimo decennio (2008 – 2018), la variazione della domanda nel mercato della ristorazione in Europa è stata positiva per oltre 27 miliardi di euro, con variazione di paese in paese. Nel nostro caso, l’Italia ha visto una variazione cumulata di 4,9 miliardi di euro, a differenza di altre nazioni che invece sono andate in negativo.

##### 4.6.1 Descrizione dell’edificio tipo e dei parametri

Le imprese ricettive ad oggi attive, secondo gli archivi delle Camere di Commercio italiane, sono circa 336.137, appartenenti al codice di attività 56 [37] con il quale vengono classificati i servizi di ristorazione. Nel dettaglio, il Lazio è secondo in termini di presenza di imprese del settore con una quota sul totale pari al 11,2%, preceduto dalla Lombardia (15,2%) e seguito dalla Campania (9.7%).

Il settore della ristorazione coinvolge diverse tipologie di imprese che si differenziano in base all’offerta che presentano al cliente (Figura 13).

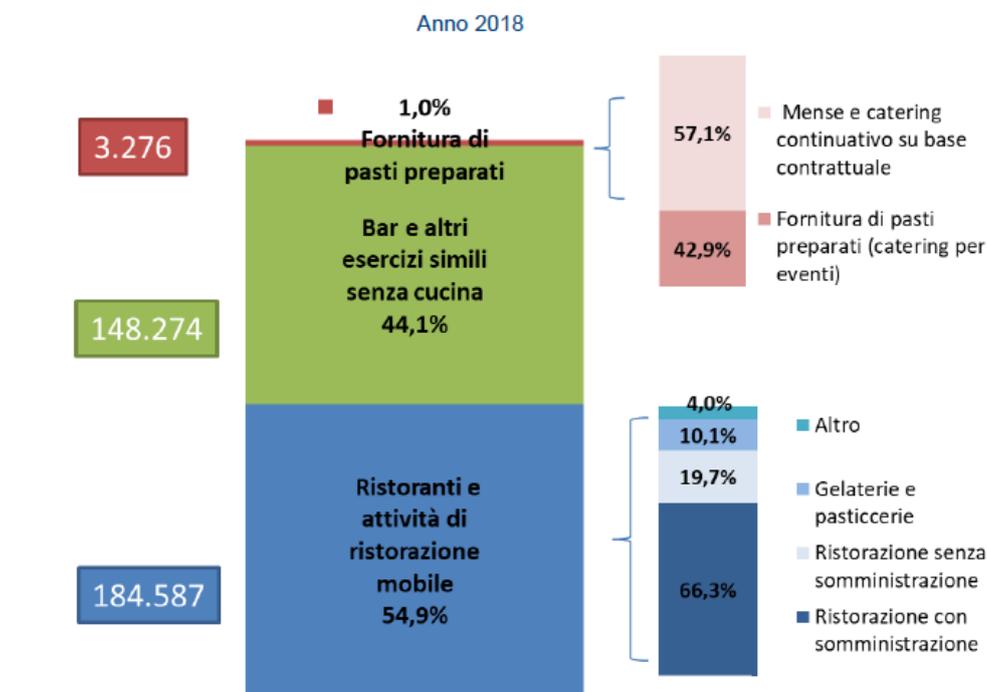


Figura 13: Segmentazione delle imprese all’anno 2018 [36].

Come è mostrato Figura 13, la tipologia di impresa più diffusa in Italia è quella dei ristoranti/attività di ristorazione mobile (54.9%), seguita dagli esercizi dei bar e simili senza cucina (44.1%) e dalla fornitura di pasti pronti (1.0%). Inoltre, si evince che all’interno del settore dei “ristoranti”, quelli con somministrazione rappresentano il 66.3% del totale.

Di conseguenza, per poter definire il caso studio più rappresentativo del panorama italiano della ristorazione si è scelta la tipologia del ristorante con sala per la consumazione.

Se da un lato è stato possibile recuperare i dati sul quadro generale della ristorazione in Italia, non si può dire lo stesso per le informazioni più dettagliate sulla categoria dei ristoranti con somministrazione: vi è una mancanza in letteratura di censimenti od analisi simili. Non avendo a disposizione una descrizione delle attuali caratteristiche dei ristoranti italiani, si è deciso di definire il caso studio del ristorante seguendo i regolamenti e le normative vigenti. Lo scopo è quello di schematizzare una struttura ricettiva corretta dal punto di vista del quadro normativo italiano, laddove l’elemento cardine della sua progettazione è il numero

di coperti. Una volta definita la capienza, le superfici degli altri ambienti possono essere calcolate in seconda battuta poiché dipendono in buona parte dal numero di coperti che si intende servire.

Il numero di coperti stabilito è di quello di 100, cercando di ipotizzare una sala di ristorazione con media capienza. Per l'ingombro dei coperti, occorre considerare le dimensioni standard di sedie, tavoli e il passaggio tra questi ultimi, ottenendo una superficie minima di 1.2 m<sup>2</sup> per posto a sedere. La superficie ottimale del ristorante si calcola quindi in base all'ingombro minimo definito ed aggiungendo un coefficiente di ottimizzazione, ovvero incrementandola del 33%, come suggerito da diversi manuali. Gli altri elementi dimensionali sono stabiliti dalle normative quali regolamenti di igiene locali o della ALS, quali l'altezza interna del locale non minore di 2.7 m e cubatura minima di 25 m<sup>3</sup>. Si è scelta un'altezza di 3 m.

La zona della cucina deve ottemperare diverse mansioni/funzioni [38], di cui le principali sono: angolo cottura, preparazione pietanze ed impiattamento, lavaggio e stoccaggio stoviglie, angolo pizzeria, area detergenti e dispensa.

Inoltre, l'HACCP [39] stabilisce che la superficie minima di una cucina deve essere di 25 m<sup>2</sup> per soddisfare 50 coperti; per ogni coperto in più la norma suggerisce di aumentare proporzionalmente l'area complessiva di 0.50 m<sup>2</sup>. In questo modo è stato possibile definire l'area totale della zona della cucina in linea con i 100 coperti stabiliti. Per quanto riguarda i bagni rivolti alla sola clientela, le norme HACCP prevedono:

- un bagno fino a 30 coperti;
- due bagni da 31 a 80 coperti;
- tre bagni da 81 a 150 coperti.

In base a questa classificazione sono stati inseriti tre bagni sia per i servizi uomo che donna e sono stati inclusi anche i servizi igienici per persone affette da disabilità psicomotorie. Gli spogliatoi invece vengono dimensionato generalmente considerando 1.5 m<sup>2</sup> per ogni addetto al servizio, ipotizzando almeno dieci addetti di cui cinque uomini e cinque donne. Si avranno quindi rispettivamente due ambienti, sia maschile che femminile, contenenti i servizi igienici e di spogliatoio. La Tabella 69 riporta i diversi ambienti definiti per il caso studio con le corrispettive metrature; si è pensato di distribuire tutti gli ambienti in un unico piano.

Tabella 69: Caratteristiche geometriche degli ambienti del ristorante.

Tipo di ambiente	Area (m <sup>2</sup> )	N° di ambienti
Ingresso/zona d'attesa	20	1
Bar	15	1
Sala ristorante	195	1
Servizi sanitari ospiti (wc)	2.5	6
Angolo Cottura	15	1
Preparazione Pietanze e Impiattamento	5	1
Lavaggio e Stoccaggio Stoviglie	10	1
Angolo Pizzeria	15	1
Area Detergenti	5	1
Dispensa	10	1
Spogliatoio	5	4
Magazzino	10	1
Stoccaggio rifiuti	5	1
Collegamenti orizzontali	18	-

La distribuzione degli ambienti progettati è visibile nella planimetria della Figura 14; complessivamente il ristorante proposto ha una superficie di circa 380 m<sup>2</sup>.

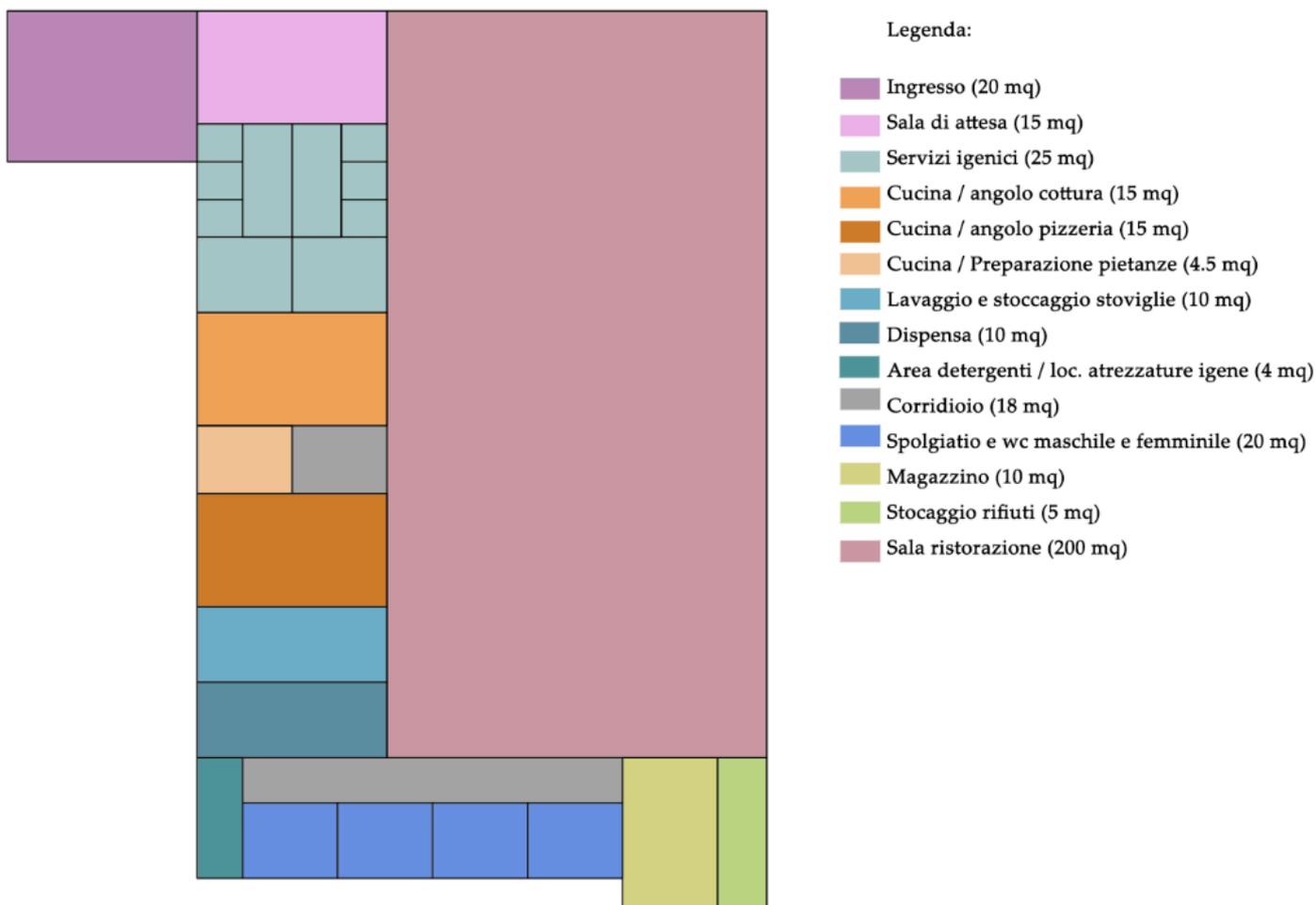


Figura 14: Legenda e planimetria del ristorante proposto.

Secondo i regolamenti di igiene locali o della ALS, l’illuminazione naturale diretta deve essere garantita con una superficie vetrata pari ad un 1/10 della superficie di calpestio del locale. Gli ambienti che quindi sono stati provvisti di aperture sono tutte le zone della cucina, la sala della ristorazione, l’ingresso e alcuni servizi igienici, laddove è stato possibile (Tabella 70). La sala ristorante presenta finestre a nastro sul lato lungo, il quale risulta essere molto adatto avendo a disposizione e l’intera superficie della parete.

Tabella 70 : Caratteristiche delle finestre applicate alle zone.

Tipo di ambiente	Altezza	Larghezza
Ingresso/zona d’attesa	1	2
Bar	1	1.5
Sala ristorante	1.5	13
Servizi sanitari ospiti	1	0.5
Angolo Cottura	1	1.5
Preparazione Pietanze e Impiattamento	1	0.5
Lavaggio e Stoccaggio Stoviglie	1	1
Angolo Pizzeria	1	1.5
Area Detergenti	1	0.5
Dispensa	1	1
Spogliatoi	1	0.5
Magazzino	1	1
Stoccaggio rifiuti	1	0.5

Per quanto riguarda l'illuminazione artificiale, la normativa [21] è stata indispensabile per poter definire il target di illuminamento medio da garantire per ogni ambiente, come è riportato nella Tabella 71.

Tabella 71: Illuminamento medio per ogni ambiente.

Tipo di ambiente	Illuminamento medio (lux)
Ingresso, zona d'attesa, bar	300
Sala ristorazione, angolo cottura, preparazione pietanze ed impiattamento, lavaggio e stoccaggio stoviglie, angolo pizzeria.	500
Dispensa, corridoi, magazzino, stoccaggio	100
Servizi igienici, spogliatoio, area detergenti	200

È stato possibile definire anche per questo caso studio l'elenco dei parametri in gioco:

- Tipologia di finestra (dimensione da normativa e dimensione maggiorata)
- Tipo di sorgente (Fluorescente e LED)
- Daylight-responsive control systems (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- Control system (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- Tipologia di schermatura (Glare, Autoglare)

Partendo dal primo parametro della finestra, la variazione è stata effettuata decidendo di aumentare il R.A.I. ad un 1/5 della superficie calpestabile (Tabella 72), come è stato già fatto per alcuni casi studio precedentemente illustrati. Alcuni ambienti presentano porte finestre (ingresso, bar, magazzino, sala ristorante) sia per ottenere la superficie vetrata richiesta sia per inserire questa tipologia di apertura che si trovano in molti ristoranti che hanno anche una zona esterna di pertinenza (e.s. giardino).

Tabella 72: Caratteristiche geometriche delle finestre per ogni ambiente avente R.A.I. 1/5.

Tipo di ambiente	Altezza	Larghezza
Ingresso/zona d'attesa	2.2	1.8
Bar	2.2	1.4
Sala ristorante	2.2	17.7
Servizi sanitari ospiti	1	1
Angolo Cottura	1.5	2
Preparazione Pietanze e Impiattamento	1	1
Lavaggio e Stoccaggio Stoviglie	1.25	1.6
Angolo Pizzeria	1.5	2
Area Detergenti	1	1
Dispensa	1.25	1.6
Spogliatoio	1	1
Magazzino	2.2	0.9
Stoccaggio rifiuti	1	1

Sulla base dei livelli di illuminamento medio richiesti per ogni ambiente riportati nella Tabella 71, è stato possibile scegliere le sorgenti adatte sia di tipo fluorescente che LED (Tabella 73).

Tabella 73: Caratteristiche delle sorgenti LED e a fluorescenza usate nel caso studio.

Ambiente	Sorgenti a fluorescenza		LED	
	Flusso luminoso (lm)	Potenza (W)	Flusso luminoso (lm)	Potenza (W)
Angolo bar, zona d’attesa	5583 lm	294 W	6400 lm	51.4 W
Sala ristorante	18990 lm	244 W	12900 lm	95.9 W
Angolo cottura preparazione e impiattamento, lavaggio e stoccaggio stoviglie, angolo pizzeria, area detergenti, dispensa	2861 lm	64 W	3400 lm	44 W
Spogliatoio, servizi igienici, magazzino, stoccaggio	1846 lm	61.2 W	1584 lm	18 W

Infine, per quanto riguarda la schermatura, si è pensato includere nell’analisi la tipologia Autoglare, oltre al sistema di ombreggiamento di tipo Glare. Anche per questo caso studio, non si è ritenuto adatta la schermatura Lighting guides in quanto troppo sofisticata per la destinazione d’uso in valutazione. Considerando i parametri scelti e descritti poc’anzi, la Figura 15 mostra le combinazioni effettuate per la destinazione d’uso del ristorante.

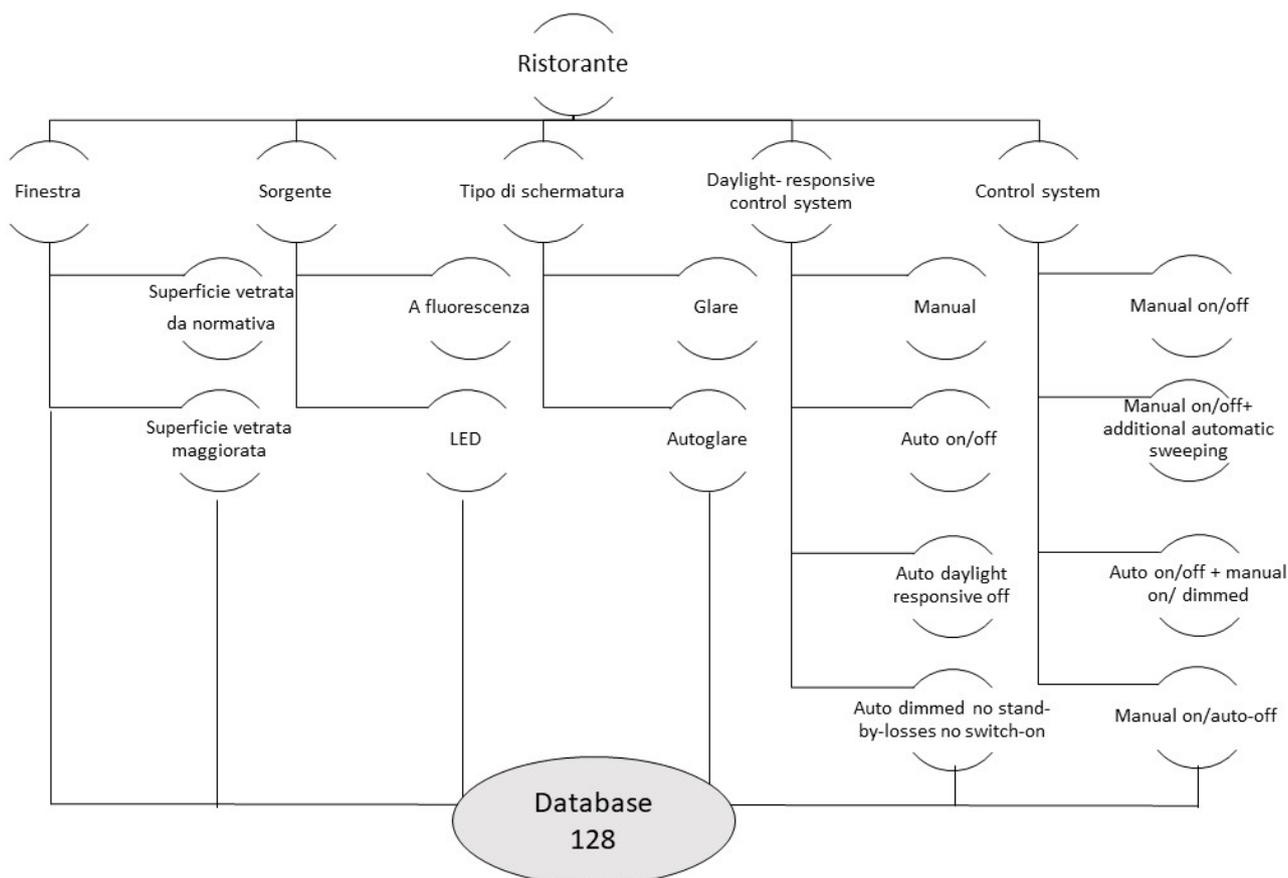


Figura 15: Grafico dello schema delle combinazioni per il caso studio del ristorante.

4.6.2 Risultati dell’edificio tipo “Strutture di ristorazione: il ristorante”

In generale, il LENI del caso studio del ristorante mostra un notevole decremento al variare del tipo di sorgente, passando da 33.31 kWh/(m²anno) a 19.04 kWh/(m²anno). I sistemi di controllo, sia della penetrazione della luce naturale che del rilevamento delle persone, apportano contributi che si attestano al

di sotto del 7%. In coda si trovano gli ultimi due parametri inclusi in questa analisi, ovvero la finestra e la schermatura, che non riescono ad avere un impatto positivo maggiore del 1%.

#### I. Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.

Anche per questa destinazione d'uso, è stato deciso di mostrare l'impatto singolo di ogni parametro, facendo variare un parametro alla volta. I risultati ottenuti evidenziano sia i valori massimi e minimi che la loro differenza percentuale (Tabella 74).

Tabella 74: Valori Massimi e minimi del LENI per il caso studio del ristorante.

Parametro	Condizione		Valore		Δ%
	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
Finestra	Norma	Maggiorata	33.31	33.10	0.63
Schermatura	Glare	Autoglare	33.31	33.24	0.21
Sorgente	Fluorescente	LED	33.31	19.04	42.84
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	33.31	32.41	2.70
Control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	33.31	31.11	6.60

Dalla Tabella 74 si evince che il valore massimo del LENI si attesta sui 33.31 kWh/(m<sup>2</sup>anno), invece il minimo sui 19.04 kWh/(m<sup>2</sup>anno). Il parametro della sorgente ha sempre un ruolo dominante in termini di riduzione del LENI oltre il 40% (42.84%), seguito dai sistemi di controllo. Il sistema di controllo relativo all'occupazione ha un impatto maggiore (6.60%) rispetto ai sistemi di daylight-responsive control systems (2,70%). Anche se entrambi, comunque, non ottengono grandi decrementi del LENI, a causa della natura stessa del ristorante, laddove, ad esempio, mostra un'elevata presenza dei clienti durante tutta la giornata. In coda si trovano i due parametri legati all'involucro, ovvero la finestra (0.63%) e la schermatura (0.21%), i quali evidenziano deboli riduzioni del LENI al di sotto del 1%.

#### II. Analisi di tutte le combinazioni effettuate

La prima analisi effettuata sulle 128 combinazioni simulate intende mostrare i risultati di coppie di combinazioni aventi come sistemi di controllo e regolazione, sia della luce naturale che dell'occupazione, quelli più semplici (1/1) e quelli più evoluti (4/4)5. Come è mostrato nella Tabella 75, verranno variati di volta in volta anche gli altri parametri in gioco (schermatura, finestra, tipo di sorgente).

Tabella 75: Risultati delle combinazioni analizzate a coppie.

Parametri in gioco		Daylight responsive control system/ Control system <sup>6</sup>	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ (%) <sup>3</sup>
Glare	Finestra R.A.I. 1/10, Fluo.	1/1 4/4	33.31 30.26	9.16
	Finestra R.A.I. 1/10, LED.	1/1 4/4	19.04 17.33	8.89
	Finestra maggiorata, Fluo.	1/1 4/4	33.10 30.03	9.27
	Finestra maggiorata, LED.	1/1 4/4	18.91 17.20	9.04
Autoglare	Finestra R.A.I. 1/10, Fluo.	1/1 4/4	33.24 30.15	9.30
	Finestra R.A.I. 1/10, LED.	1/1 4/4	19.00 17.27	9.11
	Finestra maggiorata, Fluo.	1/1 4/4	32.99 29.87	9.46
	Finestra maggiorata, LED.	1/1 4/4	18.86 17.11	9.28

I risultati della Tabella 75 mostrano che la presenza di sistemi di controllo più evoluti permette una riduzione del LENI che si attesta fra il 9.46% ed l'8.86%. Tale differenza è dovuta sia all'accoppiamento tra questi due parametri (i sistemi di controllo) e gli altri che influiscono più o meno sensibilmente sui primi.

Si nota che in presenza della schermatura Autoglare, la percentuale di risparmio energetico è leggermente superiore rispetto ai casi con sistema di schermatura Glare; il valore inferiore di risparmio energetico si ottiene nelle combinazioni in cui si ha la finestra maggiorata e la sorgente fluorescente (9.46%). Viceversa, con l'introduzione della finestra maggiorata (R.A.I. 1/10) e la sorgente LED si riesce a ottenere una differenza di LENI tra i due tipi di sistemi di controllo superiore al 9%, valido per entrambi i tipi di schermatura. Inoltre, la combinazione che prevede l'utilizzo la finestra maggiorata, la sorgente LED, la schermatura Autoglare ed i sistemi di controllo più avanzati (4/4) ottiene un LENI totale di 17.11 kWh/(m<sup>2</sup> anno) contro i 33.31 kWh/(m<sup>2</sup>anno) della combinazione più semplice (finestra a norma, sorgente fluorescente, schermatura di tipo Glare e sistemi di controllo più semplici). Quindi si raggiunge una riduzione globale del LENI, pari al 49 % (Tabella 76). Questa riduzione del LENI (49%), dovuta alla variazione di tutti i parametri in gioco, risulta essere più efficace della sola variazione della sorgente artificiale luminosa (42.84%), come mostrato in Tabella 76.

Tabella 76: Impatto di un singolo parametro vs tutti i parametri.

Parametro	Δ%
Finestra, Sorgente, schermatura, sistemi di controllo (da 1/1 a 4/4)	49.00
Sorgente	42.84

La Tabella 77 riporta un intero set di combinazioni (16 in totale), in modo tale da mostrare l'andamento del LENI al solo variare dei sistemi di controllo, di volta in volta combinati tra loro. Si evince un decremento costante e continuo, soprattutto in corrispondenza di ogni gruppo di quattro combinazioni (evidenziate in blu).

Tabella 77: Risultati del LENI di un set di combinazioni variando solo i sistemi di controllo.

Parametri <sup>7</sup>	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
1/1	33.31
1/2	32.71
1/3	32.21
1/4	31.11
2/1	33.00
2/2	32.45
2/3	31.91
2/4	30.81
3/1	32.7
3/2	32.16
3/3	31.61
3/4	30.53
4/1	32.41
4/2	31.87
4/3	31.34
4/4	30.26

Dopo avere analizzato nel dettaglio l'impatto dei sistemi di controllo sul LENI, si è pensato di effettuare uno studio variando tutti i parametri tranne i sistemi di regolazione, che rimangono fissi (manuali). La Tabella 78 mostra i risultati, evidenziando in grigio scuro il valore massimo (33.31 kWh/(m<sup>2</sup>anno) ed in grigio chiaro il minimo (18.86 kWh/(m<sup>2</sup>anno)). Si nota inoltre il variare del LENI cambiando il tipo di schermatura, di sorgente e la dimensione della finestra.

Tabella 78: Sistemi di controllo fissi e variati gli altri parametri.

Parametri in esame		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
Finestra R.A.I. 1/10 e Fluo	Glare	33.31
	Autoglare	33.24
Finestra R.A.I. 1/10 e LED	Glare	19.04
	Autoglare	19.00
Finestra maggiorata e Fluo	Glare	33.10
	Autoglare	32.99
Finestra maggiorata e LED	Glare	18.91
	Autoglare	18.86

Tenendo a mente la Tabella 78, sono state svolte altre analisi con l'obiettivo di mettere in evidenza l'impatto di due parametri variati simultaneamente, mantenendo le restanti variabili fisse (Tabella 79).

Le variazioni a coppia dei parametri sono le seguenti:

- Variazione della tipologia di sorgente e schermatura
- Variazione della tipologia di schermatura e della finestra
- Variazione della tipologia di sorgente e della finestra

Ciascuna di queste combinazioni viene confrontata con la combinazione invariata che risulta essere quella caratterizzata da finestra a norma (R.A.I. 1/10), sorgente a fluorescenza e schermatura tipo Glare.

Tabella 79: Confronti a coppie di parametri.

LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ%	Parametri analizzati a coppie
33.31	-	-
19.00	42.96	Sorgente e schermatura
32.99	0.96	Schermatura e finestra
18.86	43.38	Sorgente e finestra

La variazione simultanea di due parametri in gioco apporta chiari benefici in termini di riduzione dei consumi come mostrato dalle coppie sorgente/finestra (43.38%) e sorgente/schermatura (42.96%), le quali sono quali equivalenti grazie alla presenza del parametro della sorgente luminosa. La coppia schermatura/finestra, invece, ottiene decrementi del LENI molto ridotti (0.96%), evidenziando che la sorgente svolge un ruolo molto importante in questo caso studio. Si pensi infatti alle richieste di illuminamento medio che devono essere garantire all'interno della sala della ristorazione.

I risultati delle 128 simulazioni sono visibili nell'Appendice (paragrafo CASO STUDIO: Ristorante); come è stato già fatto per i casi studio precedenti, le simulazioni effettuate sono state indispensabili per definire il valore medio del LENI della struttura del ristorante, riportata nella Tabella 116 del benchmark dell'illuminazione.

Vista la quasi unicità di ciascun ambiente proposto per il ristorante, non è stato possibile effettuare il confronto tra due ambienti simili con orientamenti diversi (riferimento alla Figura 14). Non è stato incluso nemmeno l'ostruzione poiché si è analizzato solamente un piano unico; perciò, non si sarebbe potuta effettuare l'analisi dell'impatto di tale parametro nei diversi livelli dell'edificio.

## 4.7 Strutture sportive: la palestra

A differenza delle strutture pubbliche, le strutture private quali i centri sportivi hanno, in qualche modo, maggiore libertà in termini di distribuzione degli spazi e delle attività. Ad oggi, le strutture sportive possono assumere caratteristiche molto diverse tra loro, includendo una grande vastità di discipline. Di conseguenza, per poter definire il caso studio, le scelte effettuate durante la fase di definizione del caso studio sono state ponderate con l'obiettivo di riprodurre un complesso sportivo avente le discipline sportive più comuni e consuete nel panorama italiano.

### 4.7.1 Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri

Il complesso sportivo proposto comprende una palestra provvista di piscina coperta ed altre tre grandi sale, dedicate sia agli allenamenti a corpo libero (quali pilates, danza, arti marziali e così via) sia alle sessioni sportive con attrezzi (comunemente chiamate sale dei pesi). La ricerca sul panorama italiano inerente ai centri sportivi non è stata facilitata da chiari ed univoci documenti di censimento degli impianti sportivi presenti sul nostro territorio. È evidente un grande gap in termini di censimento e controllo di tali strutture, le quali per la maggior parte sono di natura privata. Di conseguenza, la definizione del caso studio è stata guidata dalla caratterizzazione dei singoli ambienti interni seguendo gli standard imposti dalle normative vigenti [40].

Partendo dalla sala della piscina, la scelta delle sue dimensioni, guidata dalle linee guida [41], è caratterizzata quindi da una lunghezza di 25 m ed una larghezza di 14 m, da sei corsie (2.3 m a corsia) ed un bordo vasca avente larghezza non inferiore a 1.50 metri e superficie complessiva non inferiore al 50% di quella della vasca. L'affluenza della sala della piscina è calcolata in base al numero delle persone che possono trovarsi contemporaneamente in una corsia e dalla presenza di allenatori/istruttori. La

Tabella 80 riporta le caratteristiche geometriche e l'affollamento calcolato in luce ai riferimenti normativi.

Tabella 80: Caratteristiche geometriche e l'affollamento medio.

Area piscina	Larghezza bordo vasca	Persone per corsia	Allenatori totali	Affollamento totale
350 m <sup>2</sup>	2 m	4	3	30

Gli spogliatoi ed i servizi igienici devono essere desunti in relazione all'affluenza della sala della piscina, secondo la regolamentazione [41].

Nel dettaglio, per quanto riguarda i bagni, la normativa stabilisce che da 21 a 40 persone si dovranno inserire due wc, due lavelli e tre docce, ma trattandosi di servizi adibiti alla zona piscina, verranno inserite in totale cinque docce. Gli spogliatoi devono avere una dimensione minima di 1.2 m<sup>2</sup>/persona, mantenendo la distinzione di tre tipologie di servizi: per gli adulti (uomo/donna) e per i bambini.

Oltre ai servizi dedicati per la sala della piscina, sono stati inseriti altri spogliatoi (provvisi di tre docce, e due bagni) di uso esclusivo per la clientela della sala pesi e corpo libero, sempre seguendo la distinzione di maschile e femminile.

Il dimensionamento delle sale degli allenamenti (sia a corpo libero che con attrezzi) è stato effettuato in base all'affollamento previsto, considerando una superficie minima di 10 m<sup>2</sup> incrementata di 4 m<sup>2</sup> per ogni utilizzatore contemporaneo dell'ambiente superiore al primo.

Infine, la struttura deve prevedere anche un ambiente dedicato per l'infermeria, per eventuali infortuni e/o problemi di salute del personale e dei clienti.

Una volta descritte le caratteristiche dei singoli ambienti è stato possibile distribuirle su due piani seguendo questa disposizione: al piano terra si avranno le funzioni della piscina, gli spogliatoi ad essa riservati, la zona di ingresso, l'infermeria, la sala degli attrezzi e i servizi igienici per quest'ultima. Il piano primo invece presenta due sale, una sala box ed una per allenamenti a corpo liberi, spogliatoio e servizi igienici dedicati. L'interpiano di altezza non inferiore a 3 metri per tutti gli ambienti, tranne per la palestra che avrà un'altezza pari a 7 metri. La Tabella 81 mostra tutte le funzioni e le corrispondenti metrature del centro sportivo proposto.

Tabella 81: Tipologia di ambiente e metratura del centro sportivo in esame.

Ambiente tipo	Area (m <sup>2</sup> )	Numero ambienti totali
Piscina	322	1
Spogliatoio/bagni/docce donne	49	1
Spogliatoio/bagni/docce uomo	49	1
Spogliatoio/bagni/docce bambino	49	1
Spogliatoio/bagni/docce donne	14.5	2
Spogliatoio/bagni/docce uomo	14.5	2
Infermeria	15.6	1
Ingresso	12.6	1
Sala attrezzi	103	1
Sala box	91	1
Sala corpo libero	83	1
Locale attrezzature	15	1

In totale il complesso è di circa 1140 mq, di cui 875 mq al piano terra e 265 mq per il piano primo. Per quanto riguarda il R.A.I. (rapporto aereo-illuminante), la regolamentazione impone il valore di 1/8 rispetto alla superficie calpestabile [18]. Per la sala della piscina e le sale di allenamento vario sono state scelte le finestre a nastro. Gli altri ambienti presentano, invece, aperture standard. La Tabella 82 riporta le caratteristiche di ciascuna e l'area complessiva vetrata minima per ogni ambiente.

Tabella 82: Caratteristiche delle finestre per ciascun ambiente del piano terra.

PIANO TERRA	R.A.I. 1/5 (m <sup>2</sup> )	h (m)	L (m)
Sala piscina	104.4	2	17.4*
Reception/ingresso	2.5	1	2.52
Spogliatoi donne	9.8	1.5	6.5
Spogliatoi uomini	9.8	3	3.2
Spogliatoi bambini	9.8	1.5	6.5
Servizi donne	2.9	1	2.9
Servizi uomini	2.9	1	2.9
Infermeria	3.1	1	3.1
Sala pesi Sud	9.5	1.5	6.3
Sala pesi Nord	11	1.5	7.3
PIANO PRIMO	R.A.I. 1/5 (m <sup>2</sup> )	h (m)	L (m)
Servizi donna	2.9	1	2.9
Servizi uomo	2.9	1	2.9
Deposito attrezzature varie	3	1	3
Sala corpo libero	16.60	1.5	11
Sala box	18.2	1.5	12.10

\* tre finestre a nastro distribuiti su tre orientamenti (N/S/O).

L'immagine riportata nella Figura 16 mostra la planimetria del piano terra e la distribuzione degli ambienti con la relativa metratura.

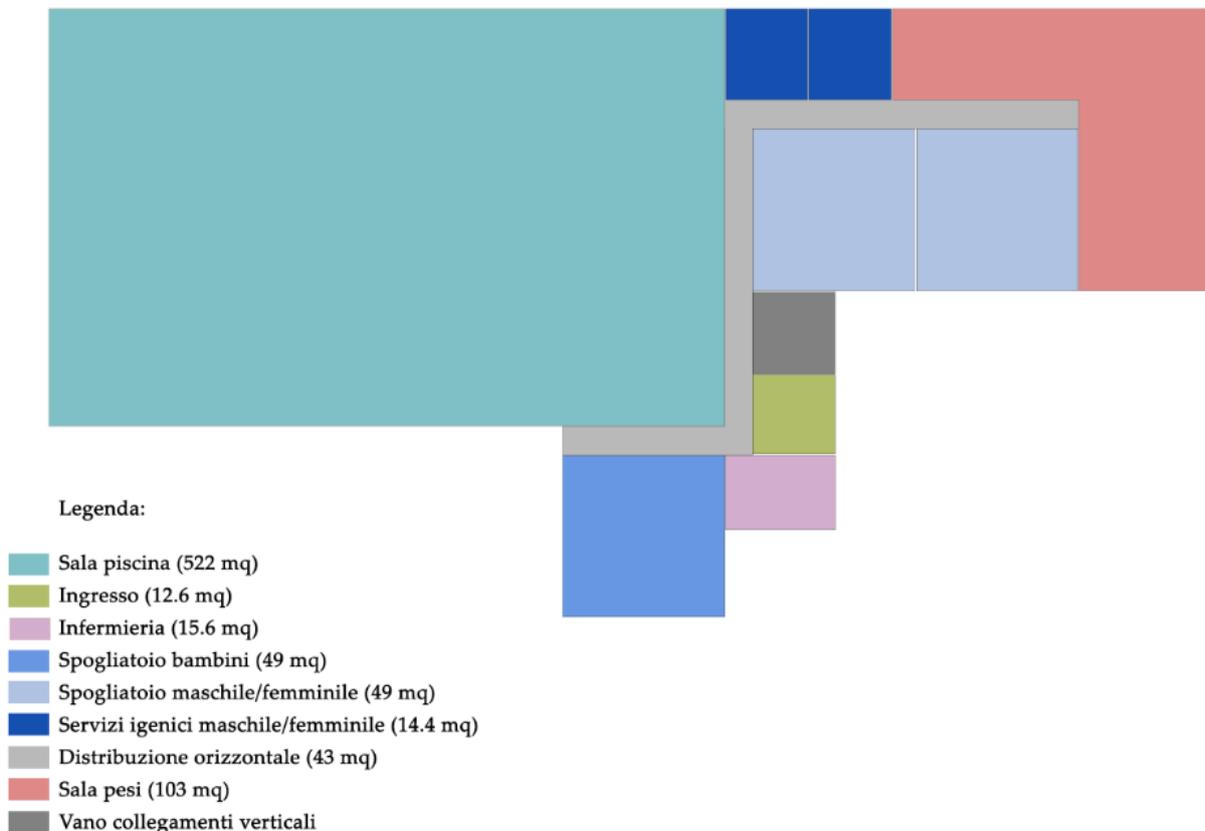


Figura 16: Legenda e planimetria del piano terra del complesso sportivo.

I parametri considerati per le simulazioni sono le seguenti:

- Tipologia di finestra (dimensione da normativa e dimensione maggiorata)
- Tipo di sorgente (Fluorescente e LED)
- Daylight-responsive control systems (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- Control system (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- Constant Illuminance Control,  $F_c$  (presenza o assenza di questo sistema di regolazione)
- Tipologia di schermatura (Glare, Autoglare)

Per quanto riguarda il parametro della finestra, anche per questo caso studio, si è scelto un valore di soglia di 1/5 della superficie totale della stanza, per analizzarne al meglio il suo impatto sul LENI (Tabella 83). La geometria e i vincoli progettuali del complesso sportivo hanno permesso di poter aumentare la superficie vetrata in tutti gli ambienti, ricordando che per la sala della piscina e degli allenamenti sono state inserite sempre le finestre a nastro, come già detto precedentemente.

Tabella 83 : Superficie vetrata avente R.A.I. di 1/5.

PIANO TERRA	Rai 1/8 (m <sup>2</sup> )	h (m)	L (m)
Sala piscina	65.25	1.5	14.5 *
Reception/ingresso	1.575	1	1.5
Spogliatoi donne	6.125	1.5	4
Spogliatoi uomini	6.125	2	3
Spogliatoi bambini	6.125	1.5	4
Servizi donne	1.8	1	0.8
Servizi uomini	1.8	1	0.8
Infermeria	1.95	1	0.95
Sala pesi Sud	5.945	1.5	4
Sala pesi Nord	6.9	1.5	4.6
PIANO PRIMO	R.A.I. 1/5 (m <sup>2</sup> )	h (m)	L (m)
Servizi donna	2.9	1	2.9
Servizi uomo	2.9	1	2.9
Deposito attrezzature varie	3	1	3
Sala corpo libero	16.60	1.5	11
Sala box	18.2	1.5	12.10

\* tre finestre a nastro distribuiti su tre orientamenti (N/S/O).

Per quanto riguarda le sorgenti artificiali, sono state identificate diverse tipologie di lampade per poter soddisfare i requisiti minimi di illuminamento previsti dalla normativa [21]. La Tabella 84 riporta i valori di illuminamento medi mantenuti per ciascun tipo di ambiente.

Tabella 84: Illuminamento medio per ambiente.

Ambiente	Illuminamento medio (lux)
Piscina, infermeria	500
Ingresso, sala box, sala pesi	300
Servizi spogliatoio, bagni, docce	200
Corridoio, locale attrezzature	150

Le sorgenti utilizzate principalmente per gli ambienti energivori sono riportate nelle tabelle qui riportate (Tabella 85 e Tabella 86). Per gli ambienti secondari come corridoio, bagni e servizi sono state inserite lampade con flusso compreso tra i 900 e 2000 lumen e una potenza compresa tra i 16 ed i 24 Watt, sia per fluorescenza che per LED.

Tabella 85: Caratteristiche delle principali sorgenti scelte per ogni zona (Fluorescenza).

Ambiente	Fluorescenza (flusso luminoso, potenza)
Piscina	8733 lm, 167 W
Infermeria, sala pesi	3036 lm, 48 W
Sala box e corpo libero	2731 lm, 38 W
Ingresso, spogliatoi/bagni	850 lm, 16 W

Tabella 86: Caratteristiche delle principali sorgenti scelte per ogni zona (LED).

Ambiente	LED (flusso luminoso, potenza)
Piscina	15066 lm, 124.9 W
Sala pesi	4763 lm, 33 W
Sala box e corpo libero	2855 lm, 24 W
Infermeria	1739 lm, 18 W
Ingresso	1135 lm, 9.6 W
Spogliatoi/bagni	2855 lm, 24 W

Infine, per la destinazione d’uso del complesso sportivo, in seguito a ricerche, si è verificato che le tipologie di schermatura più in uso nel panorama italiano sono le tende in tessuto, identificata come “Glare protection” dalla norma UNI EN 15193-1:2017. Tuttavia, edifici di nuova costruzione potrebbero includere sistemi di ombreggiamento automatici (“auto Glare protection”) e per verificare anche quale fosse il loro impatto sul calcolo del LENI, sono stati inclusi come parametro. Si è esclusa dall’analisi di questo caso studio la presenza dei sistemi “lighting guides”.

Considerando tutte le parametri prese in esame e le combinazioni tra queste, sono state effettuate 256 simulazioni. Il grafico rappresentato in Figura 17 mostra lo schema delle combinazioni

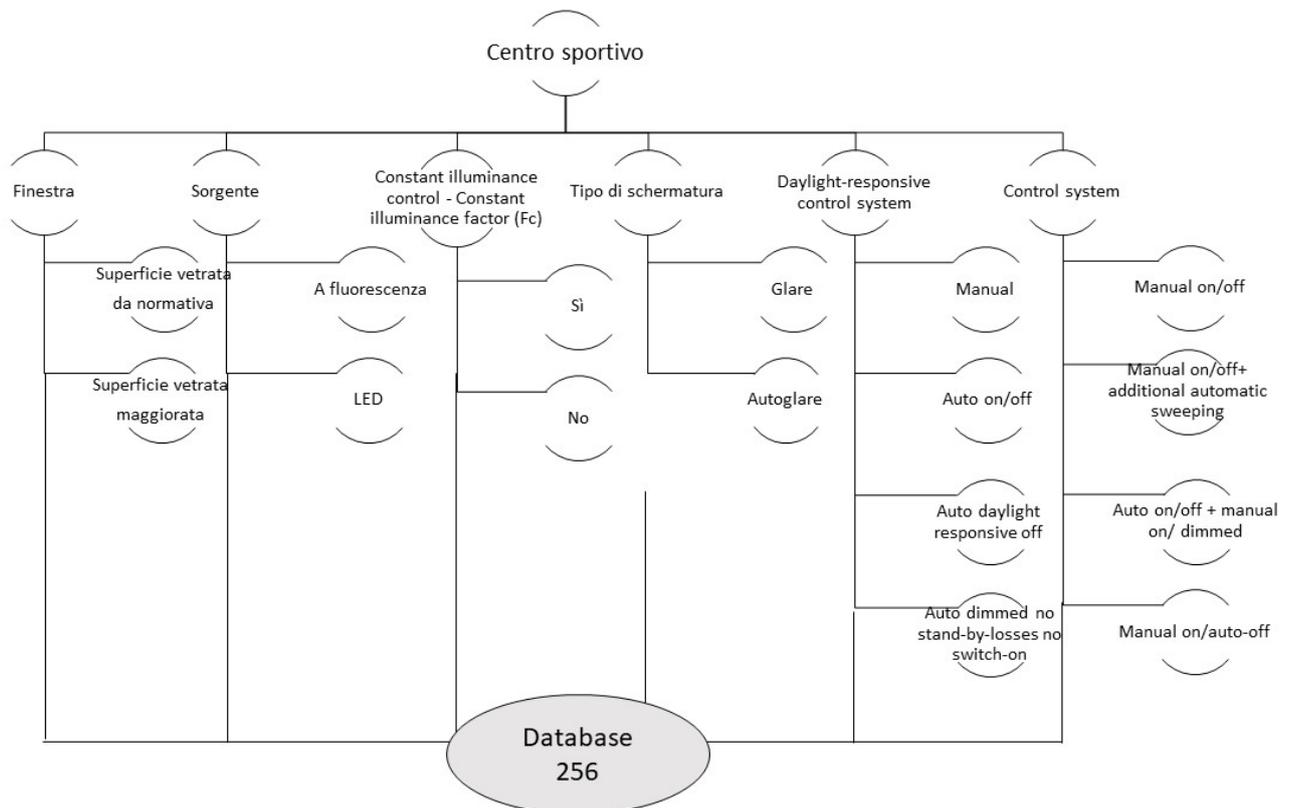


Figura 17: Grafico delle simulazioni svolte per il centro sportivo.

4.7.2 Risultati dell'edificio tipo "Strutture sportive: la palestra"

In generale, i risultati ottenuti dalle 256 simulazioni effettuate mettono in luce l'impatto positivo della sostituzione delle sorgenti da fluorescenza a LED, apportando una riduzione del LENI oltre il 60%. Sia il sistema di regolazione del flusso delle sorgenti, il Constant Illuminance Control, che i sistemi di controllo dell'occupazione contribuiscono discretamente al decremento del LENI, al di sotto del 15%. Infine, i parametri della finestra, del daylight control e della schermatura hanno impatti meno evidenti (al di sotto del 10%) rispetto agli altri parametri in gioco.

I. Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.

In Tabella 87 sono mostrati i valori Minimi e Massimi del LENI dell'edificio per ciascun parametro; il parametro di cui si studia la sua variazione è esposto nella prima colonna della Tabella 87 seguita dalla combinazione di parametri specifica presa in esame ed infine i valori minimi e massimi di LENI ottenuti confrontando tutte le alternative possibili di ogni parametro.

Tabella 87: Risultati in relazione alla variazione di un parametro.

Parametro	Condizione		Valore		Δ%
	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
F <sub>c</sub>	Assente	Presente	40.35	34.29	15.02
Finestra	Norma	Maggiorata	40.35	39.67	1.69
Schermatura	Glare	Autoglare	40.35	40.19	0.40
Sorgente	Fluorescente	LED	40.35	15.10	62.58
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	40.35	39.47	9.64
Control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	40.35	36.46	2.18

Il valore di LENI massimo è lo stesso per tutte le combinazioni in quanto rappresenta la condizione più semplice identificata come combinazione base per ognuno dei parametri. I valori minimi invece riportati in Tabella 5 mettono in luce la diminuzione effettiva del LENI paragonata con la condizione base. Si evince che il parametro avente maggior impatto è sempre quello della sorgente, apportando una riduzione del LENI del 62.58 %. Di seguito, troviamo l'influenza del sistema di regolazione del Constant Illuminance Control che ottiene il 15.02%, seguito dal Daylight control system (9.64%). In questo caso, i sistemi di regolazione dell'occupazione ottengono un decremento abbastanza inferiore (2.18%), più vicino in termini quantitativi, al parametro della finestra (1.69%).

Questo fatto è legato alla natura del complesso in esame che presenta molti ambienti, quali la piscina, le sale di allenamento e gli stessi spogliatoi/docce, quasi sempre occupati dagli utenti durante l'arco della giornata. Si pensi, infatti, agli orari serrati dei turni per ogni allenamento e di conseguenza l'utilizzo dei servizi sia prima che dopo l'allenamento.

Per questo motivo il control system, a differenza di altri edifici analizzati, risultata essere meno impattante rispetto ai sistemi di controllo della luce naturale che invece si attestano su valori tipici del 10%.

In coda si trova la variazione della tipologia della schermatura con il 0.40%, passando dall'utilizzo di sistemi sofisticati di ombreggiamento (Autoglare) rispetto alle semplici veneziane (Glare).

II. Analisi di tutte le combinazioni effettuate

In Tabella 88 sono presentate le coppie di combinazioni che, tenendo fisse di volta in volta gli altri parametri corrispondono rispettivamente alla condizione di sistemi di controllo più semplice (1/1) e a quella più avanzati (4/4)<sup>5</sup>.

Tabella 88: Risultati di coppie di combinazioni.

Parametri in gioco		Daylight responsive control system/ Control system <sup>6</sup>	Piano terra (subLENI)	Primo Piano (subLENI)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ (%) <sup>3</sup>
Glare	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1	45.59	23.20	40.35	11.72
		4/4	40.43	19.87	35.62	
	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1	38.75	19.72	34.29	11.72
		4/4	34.37	16.89	30.27	
	Finestra R.A.I. 1/8, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1	17.02	8.80	15.10	13.05
		4/4	14.91	7.32	13.13	
	Finestra R.A.I. 1/8, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1	14.47	7.48	12.84	13.08
		4/4	12.67	6.22	11.16	
Autoglarie	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1	44.78	22.97	39.67	11.77
		4/4	39.71	19.59	35.00	
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1	38.06	19.52	33.72	11.80
		4/4	33.75	16.65	29.75	
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1	16.87	8.68	14.95	13.3
		4/4	14.72	7.18	12.95	
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1	14.34	7.38	12.71	13.38
		4/4	12.51	6.10	11.01	
Autoglarie	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1	45.45	22.99	40.19	12.02
		4/4	40.21	19.48	35.36	
	Finestra R.A.I. 1/8, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1	38.63	19.54	34.16	12.00
		4/4	34.18	16.56	30.06	
	Finestra R.A.I. 1/8, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1	16.93	8.72	15.01	13.46
		4/4	14.76	7.16	12.99	
	Finestra R.A.I. 1/8, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1	14.39	7.41	12.76	13.48
		4/4	12.55	6.09	11.04	
Autoglarie	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1	44.65	22.75	39.52	12.07
		4/4	39.51	19.21	34.75	
	Finestra R.A.I. 1/5, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1	37.95	19.34	33.59	12.06
		4/4	33.58	16.33	29.54	
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1	16.76	8.59	14.84	13.81
		4/4	14.55	7.02	12.79	
	Finestra R.A.I. 1/5, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1	14.24	7.30	12.62	13.87
		4/4	12.37	5.97	10.87	

I risultati della Tabella 88 mostrano che la presenza di sistemi di controllo più performanti apporta una riduzione del LENI che si attesta fra il 11% e il 14%. Tale differenza è dovuta all'accoppiamento tra questi tipi di sistemi di regolazione e gli altri che influiscono più o meno sensibilmente sui primi. In generale in presenza

di un sistema di schermatura Autoglare la percentuale di risparmio energetico è leggermente superiore rispetto ai casi con sistema di schermatura Glare; la presenza o assenza del costant illuminance factor comporta una differenza tra le due combinazioni; il valore inferiore di risparmio energetico si ottiene nelle combinazioni in cui si ha la finestra con R.A.I. 1/8 e la sorgente fluorescente (11.72%). Viceversa, aumentando la superficie vetrata e combinandola con la sorgente LED si riesce a ottenere una differenza di LENI tra i due tipi di sistemi di controllo che si attesta sul 14% circa.

Inoltre, la differenza tra i valori del LENI totale della combinazione più semplice (finestra R.A.I. 1/8, sorgente fluorescente, schermatura di tipo Glare e sistemi di controllo più semplici) e della combinazione più performante (finestra maggiorata,  $F_c$  attivo, sorgente LED, schermatura di tipo Autoglare e i sistemi di controllo più avanzati) riesce ad ottenere un abbattimento del LENI pari al 73% (Tabella 89). È chiaro che l'impatto più consistente in questa variazione è dato dall'uso della sorgente LED rispetto alla fluorescente, come anche mostrato in Tabella 89 (riduzione del 63% circa). Tuttavia, è interessante notare come la combinazione con tutte gli altri parametri determini un effetto globale positivo, incrementando la percentuale di risparmio da 63% al 73 %.

Tabella 89: Impatto della variazione di un parametro (sorgente) e di tutti i parametri.

Parametro	$\Delta\%$
Finestra, Sorgente, $F_c$ , schermatura, sistemi di controllo (da 1/1 a 4/4)	73
Sorgente	62.58

La Tabella 90 mostra il decremento del LENI facendo variare solamente i sistemi di controllo e mantenendo fissi tutti i parametri (finestra a norma. sorgente a fluorescenza. assenza del  $F_c$  e schermatura di tipo di Glare). In blu è evidenziato il passaggio da sistemi di controllo (sia per l'control system che per il daylight responsive control system) meno performanti a più performanti.

Tabella 90: Risultati di un intero set di combinazioni.

Parametri <sup>7</sup>	Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
1/1	45.59	23.2	40.35
1/2	45.37	22.98	40.13
1/3	45.15	22.75	39.91
1/4	44.72	22.29	39.47
2/1	44.03	22.41	38.97
2/2	43.82	22.19	38.76
2/3	43.6	21.79	38.5
2/4	43.17	21.52	38.1
3/1	42.59	21.65	37.69
3/2	42.38	21.43	37.47
3/3	42.16	21.21	37.26
3/4	41.74	20.77	36.83
4/1	41.27	20.71	36.46
4/2	41.06	20.5	36.25
4/3	41.74	20.77	36.83
4/4	40.43	19.87	35.62

Analizzando nel dettaglio i valori dei piani, Il piano terra registra alti valori di subLENI, 45.59 kWh/(m<sup>2</sup>anno), rispetto al piano primo che ottiene valori quasi dimezzati (ad esempio 23.20 kWh/(m<sup>2</sup>anno)). Questo fatto è

dovuto dalla presenza dell'ambiente della piscina al piano terra, la quale pesa in maniera significativa in termini energetici.

Nella Tabella 91 sono riportate 16 combinazioni aventi come parametro fisso i sistemi di controllo (in questo caso Manual/Manual on/off ovvero 1/1), e variate invece le restanti parametri, in modo tale da evidenziare la loro influenza, senza considerare l'apporto dei sistemi di controllo.

Tabella 91. Sistemi di controllo fissi e variate gli altri parametri.

Parametri in esame			Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> a nno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> a nno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> a nno)
Finestra R.A.I. 1/8 e Fluo	F <sub>c</sub>	Glare	45.59	23.20	40.35
	assente	Autog.	45.45	22.99	40.19
	F <sub>c</sub>	Glare	38.75	19.72	34.29
	presente	Autog.	38.63	19.54	34.16
Finestra R.A.I. 1/8 e LED	F <sub>c</sub>	Glare	17.02	8.80	15.10
	assente	Autog.	16.93	8.72	15.01
	F <sub>c</sub>	Glare	14.47	7.48	12.84
	presente	Autog.	14.39	7.41	12.76
Finestra R.A.I. 1/5 e Fluo	F <sub>c</sub>	Glare	44.78	22.97	39.67
	assente	Autog.	44.65	22.75	39.52
	F <sub>c</sub>	Glare	38.06	19.52	33.72
	presente	Autog.	37.95	19.34	33.59
Finestra R.A.I. 1/5 e LED	F <sub>c</sub>	Glare	16.87	8.68	14.95
	assente	Autog.	16.76	8.59	14.84
	F <sub>c</sub>	Glare	14.34	7.38	12.71
	presente	Autog.	14.24	7.30	12.62

La Tabella 91 mostra l'andamento dei valori del LENI, variando i parametri di finestratura, sorgente, presenza o assenza del "costant illuminance factor" ma tenendo fisso il tipo di sistema di controllo, in questo caso Manual/Manual on/off (1/1).

Il valore massimo è di 40.35 kWh/(m<sup>2</sup>anno), ottenuto dalla combinazione base in grigio scuro (finestra a norma, sorgente a fluorescenza, F<sub>c</sub> assente e schermatura Glare), invece il valore minimo è di 12.62 kWh/(m<sup>2</sup>anno), raggiunto dalla combinazione (evidenziata in grigio chiaro) avente finestratura con diverse disposizioni, sorgenti LED, presenza del "costant illuminance factor" e schermature del tipo "Autoglare"

Anche per questo caso è stato investigato l'impatto di due parametri variati simultaneamente, mantenendo le restanti parametri fisse (Tabella 92). Le variazioni a coppia di parametri sono le seguenti:

- Variazione della tipologia di schermatura e la presenza/assenza del F<sub>c</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e la presenza/assenza del F<sub>c</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e schermatura;
- Variazione della tipologia di schermatura e della finestra;
- Variazione della tipologia di finestra e la presenza/assenza del F<sub>c</sub>;
- Variazione della tipologia di sorgente e della finestra.

Ciascuna di queste combinazioni viene confrontata con la combinazione invariata che risulta essere quella caratterizzata da finestra a norma, sorgente a fluorescenza, assenza di  $F_c$ , schermatura tipo Glare.

Tabella 92: Analisi de risultati al variare di copie di parametri.

Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	$\Delta\%$	Parametri analizzate coppie
45.59	23.20	40.35	-	-
38.63	19.54	34.16	15.34	$F_c$ e schermatura
14.47	7.48	12.84	68.18	Sorgente e $F_c$
14.39	7.41	12.76	68.38	Sorgente e schermatura
44.65	22.75	39.52	2.06	Schermatura e finestra
38.06	19.52	33.72	16.43	$F_c$ e finestra
16.87	8.68	14.95	62.95	Sorgente e finestra

Le variazioni di coppia che registrano un alto decremento sono principalmente tre: sorgente/schermatura (68.38%), sorgente/  $F_c$  (68.18%) e sorgente/finestra (62.95%). È chiaro che tutte hanno in comune il parametro della sorgente che già singolarmente apporta un decremento consistente del LENI (vedi Tabella 82). Inoltre, tutte le coppie raggiungono differenze percentuali al di sopra del 60% come accaduto anche per altri casi studio.

Le coppie di  $F_c$ /finestra e  $F_c$ /schermatura registrano rispettivamente valori del 16.43% e 15.34%, dimostrano che lavorando solo sugli elementi vetrati e sulla tipologia delle schermature in combinazione con la presenza del costant illuminance factor, si possono ottenere discrete riduzioni del LENI.

Infine, la coppia che registra un decremento minore rispetto alle altre è quella dello schermatura /Finestra (2.06%). Di conseguenza, questi due parametri potrebbero avere un'efficacia maggiore se combinati con almeno un altro parametro, in modo tale da apportare tagli più consistenti ai consumi elettrici dell'edificio analizzato.

In Appendice (paragrafo CASO STUDIO: Palestra) si trovano i risultati di tutte le 256 simulazioni effettuate per il caso studio del centro sportivo. Le considerazioni sviscerate in questo paragrafo sono valide per tutti i valori riportati nell'Appendice del caso in esame, solamente si nota un complessivo decremento del LENI.

Infine, non è stato possibile effettuare, per questo caso studio, l'analisi peculiare relativa ai due ulteriori fattori, quali l'orientamento e l'ostruzione. Il primo fattore non è stato analizzato in quanto è dovuto non il caso studio non presenta ambienti con geometrie e caratteristiche simili esposti rispettivamente solamente a Nord oppure a Sud. Inoltre, dopo approfondite ricerche, si è constatato che solitamente i centri sportivi di media dimensione non hanno edifici confinanti tali da ottenere un angolo di ostruzione considerevole.

#### 4.8 Servizi per la vendita: il Centro commerciale

Tra gli edifici più energivori del settore terziario sono presenti i centri commerciali. Il Centro commerciale viene definito dal Dlg. n.114/98 all'articolo 4 lettera g [42] come una struttura di vendita composta da più esercizi commerciali, i quali usufruiscono di servizi e/o spazi comuni. Nel territorio italiano vi è una forte presenza di tali strutture, soprattutto nei pressi di città metropolitane; di conseguenza, risulta interessante poter analizzare tale destinazione d'uso applicata al contesto nazionale.

##### 4.8.1 Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri

Il parametro essenziale che ha guidato la definizione del caso studio del centro commerciale sul suolo nazionale è la “superficie utile di vendita” (Gross Leasable Area-GLA), intesa come l’area calpestabile direttamente usata ai fini commerciali. Si precisa che tale area include tutte le aree che producono reddito di locazione, quindi la superficie di vendita, i locali per le lavorazioni, per le scorte e per l’attività amministrativa. Non sono inclusi gli spazi comuni tra più esercizi e gestiti collettivamente, come, per esempio, i parcheggi e la galleria commerciale. Rappresenta circa il 70 – 90% della superficie totale di un centro commerciale. Il Consiglio Nazionale dei Centri Commerciali (CNCC) distingue i centri commerciali in:

- centri di vicinato, con GLA fino a 5000 m<sup>2</sup>;
- piccoli centri commerciali, con GLA comprese tra 5000 e 20000 m<sup>2</sup>;
- medi centri commerciali, con GLA comprese tra 20000 e 40000 m<sup>2</sup>;
- grandi centri commerciali, con GLA comprese tra 40000 e 80000 m<sup>2</sup>;
- centri commerciali regionali, con GLA oltre gli 80000 m<sup>2</sup>.

In base a questa divisione, dopo un’attenta ricerca sui principali centri commerciali in Italia, si è constatato che quelli più diffusi, sia in termini di presenza sul territorio che di GLA totale, sono quelli di media/piccola dimensione. Non essendoci dei documenti rappresentativi e sintetici relativamente alle caratteristiche dei centri commerciali di taglia media, si è svolta un’indagine volta a recuperare i dati essenziali di tali strutture. Per ogni regione è stato scelto un centro commerciale avente GLA medio/piccola e riportate le caratteristiche principali: nome, anno di inaugurazione/ampliamento, GLA, numero di punti vendita totali, ancora alimentare, numero dei punti vendita per categoria merceologica (abbigliamento, casalinghi, elettronica, ecc..), numero di posti auto e numero di piani (Tabella 93).

Tabella 93: Dati principali raccolti sui centri commerciali di media taglia presenti in Italia.

Nome	Luogo	GLA	N° vendita	Abbigliamento, calzature	Cultura	Alimentare	Elettronica	Casalinghi	Animali	Salute e bellezza	Posti auto	Piani
Torri d'Europa	Friuli-Venezia Giulia	35000	60	14	7	8	5	2	0	13	1600	3
Sedici pini	Lazio	23600	62	30	3	5	3	5	1	8	1800	2
Centro luna	Liguria	15075	38	8	4	3	4	0	0	5	1000	1
Curno	Lombardia	39113	85	27	7	24	6	1	0	11	2000	1
Il nuovo borgo	Piemonte	17000	49	15	6	8	4	3	0	9	1500	1
Il parco	Toscana	20000	30	6	2	2	2	2	0	4	1500	1
Thiene	Veneto	14770	40	12	6	5	2	2	0	8	1370	1
Il castello	Emilia-Romagna	38500	89	37	9	12	4	5	0	12	2200	1
Città delle stelle	Marche	30635	43	16	7	8	3	1	0	2	2200	2
Le porte di Napoli	Campania	26553	82	40	11	8	4	5	0	9	2650	1
Millennium center	Trentino	7800	41	14	6	4	5	1	0	4	900	3
Centro d'Abruzzo	Abruzzo	20000	48	22	4	5	4	2	0	5	1730	1
Katane'	Sicilia	14940	65	35	6	7	5	2	1	11	1320	3
Emisfero	Umbria	13800	24	11	2	1	1	1	0	6	1700	1
Tanit	Sardegna	22000	40	13	1	2	1	2	0	8	1400	2
Heraclea	Basilicata	17000	50	17	4	2	1	3	0	6	900	1
Due mari	Calabria	35000	110	53	8	14	5	7	1	13	3000	3
Cavallino	Puglia	18430	30	10	3	2	1	1	0	7	1700	1
Centro del Molise	Molise	17402	33	11	3	1	4	0	0	4	1025	2
Les halles d'aoste	Valle d'Aosta	9400	34	4	2	6	0	1	0	7	2000	2

Queste informazioni sono state utili, in particolar modo, per conoscere quanti e quali negozi debbano essere presenti nel centro commerciale. Dalla GLA e dal numero di punti vendita totali dei centri commerciali si è creata una correlazione (1),(2),(3) grazie alla quale è possibile definire la dimensione del centro commerciale:

$$\text{GLA}/\text{n}^{\circ} \text{ punti vendita}_{\text{media}} = 435,5 \text{ m}^2/\text{negozi}$$

(1)

$$\text{N}^{\circ} \text{ punti vendita}_{\text{caso studio}} = 64$$

(2)

$$\text{GLA}_{\text{caso studio}} = \text{GLA}/\text{n}^{\circ} \text{ punti vendita}_{\text{media}} * \text{n}^{\circ} \text{ punti vendita}_{\text{caso studio}} = 27874 \text{ m}^2$$

(3)

Con una GLA di 27874 m<sup>2</sup> il centro commerciale ricade nella categoria di centro di medie dimensioni. Per individuare il numero totale di negozi per categoria presenti nel complesso, è stato seguito un procedimento analogo, in modo tale da calcolare la distribuzione (in termini percentuali) di ciascuna tipologia di punto vendita (Tabella 94). I punti vendita analizzati per il caso studio sono 63 poiché si è escluso da questo tipo di valutazione l'esercizio di vendita dell'ipermercato.

Tabella 94: Studio della distribuzione dei punti vendita nei centri commerciali italiani.

Categoria	Totale 20 centri commerciali	%	Negozi del centro commerciale in esame
Abbigliamento, calzature	395	39	24
Cultura e regali	101	10	6
Alimentari	127	12	8
Elettronica	64	6	4
Casalinghi	46	5	3
Animali	3	0	0
Salute e bellezza	152	15	10
Extra	91	9	6
In allestimento	38	4	2
<b>Totale</b>	<b>1017</b>	<b>100</b>	<b>63</b>

In Tabella 94, la prima colonna rappresenta la categoria merceologica del negozio, la seconda rappresenta la somma dei punti vendita di tutti i centri commerciali per ogni categoria, la terza colonna è la percentuale sul totale (1017 punti vendita) per ogni categoria, la quarta colonna corrisponde al numero di negozi per categoria per il centro commerciale in esame.

Analizzando nel dettaglio le dimensioni dei negozi, si è notato che alcune categorie merceologiche tipicamente non superano i 100 m<sup>2</sup> di GLA mentre alcune hanno una superficie maggiore di 1000 m<sup>2</sup>, ne consegue che alcune categorie avranno un impatto maggiore sul consumo energetico complessivo del centro commerciale. In questo caso verranno usate come riferimento le dimensioni medie per tipologia di negozio in modo tale da distribuire in maniera coerente tutti i punti vendita indispensabili, come riportato nella Tabella 95.

Tabella 95: Distribuzione e superficie di ciascun punto vendita del centro commerciale proposto.

<b>Categoria</b>	<b>GLA media (del singolo negozio) (m<sup>2</sup>)</b>	<b>N° di negozi</b>
Abbigliamento (media dimensione)	1200	6
Abbigliamento	200	17
Calzature (media dimensione)	475	3
Elettrodomestici	2250	1
Ipermercato	7000	1
Cosmesi e salute	100	6
Cura della persona	150	4
Cultura e regali	130	4
Animali	350	1
Telefonia	50	4
Gioielleria	75	3
Casalinghi	450	3
Alimentare da bancone	80	3
Alimentare con tavoli	350	3
Sala giochi	1500	1
Piccoli servizi	37.5	4
<b>Totale</b>	<b>14397.50</b>	<b>64.00</b>

I negozi di abbigliamento e calzature di medie dimensioni (riportati in Tabella 95) sono quelli caratterizzati da una superficie maggiore di 400 m<sup>2</sup> e che fungono da “ancore attrattive”. Le “ancore” attirano la maggior parte del flusso di clienti in un centro commerciale a beneficio di tutti i negozi presenti. Una corretta distribuzione di questi negozi garantisce un flusso uniforme in tutto il centro. Le ancore sono sei di abbigliamento, tre di calzature, un grande ipermercato, il negozio di elettronica e di elettrodomestici, la sala giochi e il “food court”, ovvero la zona in cui sono concentrati la maggior parte dei ristoranti. Con la nuova distribuzione dei negozi si è ottenuta una GLA totale di 28060 m<sup>2</sup>, distribuita su due livelli, ovvero piano terra e piano primo, aventi altezza di interpiano pari a 3.00 m.

Ipotizzando che il centro commerciale venga costruito nel Lazio (si ricorda che la zona climatica D e la località della città di Roma sono state scelte per tutti i casi studio), la Legge Regionale n. 33/1999 [43], all’articolo 19 espone i seguenti criteri per il calcolo del numero dei parcheggi sia per gli esercizi di vicinato, che per le medie strutture di vendita e che per le grandi strutture di vendita.

- Per gli esercizi di vicinato, (con superficie di vendita minore di 250 m<sup>2</sup>) la superficie di parcheggio è dimensionata nella misura minima di 0,50 m<sup>2</sup> per ogni metro quadro di superficie di vendita.
- Per le medie strutture di vendita, (con superficie di vendita superiore a 250 m<sup>2</sup> ed inferiore a 2500 m<sup>2</sup>) la superficie di parcheggio è dimensionata nella misura minima di 1 m<sup>2</sup> per ogni metro quadro di superficie di vendita.
- Per le grandi strutture di vendita (con superficie di vendita superiore a 2500 m<sup>2</sup>) la superficie di parcheggio è dimensionata nella misura minima di 2 m<sup>2</sup> per ogni metro quadro di superficie di vendita. Sono previsti ulteriori parcheggi, nella misura minima di 1 m<sup>2</sup> per ogni metro quadro di ulteriori spazi utili coperti aperti al pubblico, destinati ad altre attività connesse, riservando una quota di tale area alle operazioni di carico e scarico delle merci ed agli spazi per i disabili.

Definito il centro commerciale come un insieme di strutture di vendita, il dimensionamento del parcheggio è stato eseguito considerando i negozi come strutture di vendita a sé stanti. Il calcolo è espresso nell’ equazione 4.

$$\text{Superficie}_{\text{parcheggio}} = 0.5 * \text{Superficie}_p + 1 * \text{Superficie}_m + 2 * \text{Superficie}_g + 1 * \text{Superficie}_t \approx 4100 \text{ m}^2$$

(4)

Dove con Superficie  $p$  si indica la superficie totale dei negozi con GLA inferiore a 250 m<sup>2</sup>; con Superficie  $m$  la superficie totale dei negozi con GLA superiore a 250 m<sup>2</sup> e inferiore a 2500 m<sup>2</sup>; con Superficie  $g$  la superficie dei negozi con GLA superiore a 2500 m<sup>2</sup> (di fatto il solo ipermercato) e con Superficie  $t$  la superficie totale delle zone di transito e di collegamento tra i vari negozi, ovvero la galleria.

Il numero di posti si ottiene considerando la dimensione del singolo posto auto che, dalla legge regionale [43], risulta essere pari a 20 m<sup>2</sup>. Per cui si avranno in totale 2050 posti ripartiti in questo modo:

- 2000 posti auto comuni
- 40 posti auto per disabili (uno ogni 50 posti auto comuni)
- 10 postazioni per le colonnine di ricarica dei veicoli elettrici (uno ogni 200 posti auto comuni)

Il parcheggio è ubicato in parte al piano interrato dell'edificio, e la restante parte è stata progettata all'esterno del complesso.

Il piano interrato copre una superficie di 20500 m<sup>2</sup>, ne consegue che esattamente la metà dei posti auto si trova nel parcheggio interrato e l'altra metà nel parcheggio esterno. Infine, l'altezza di interpiano del parcheggio interrato è stata scelta di 2.50 m sapendo che per normativa [18] l'altezza minima è di 2.00 m.

Per quanto riguarda l'illuminazione naturale, è noto che essa gioca un ruolo molto importante nei centri commerciali, soprattutto nelle zone di transito (gallerie). Tutti gli spazi atti ai collegamenti sia verticali che orizzontali sono solitamente caratterizzati dalla presenza di vetrate di varie forme che permettono l'ingresso della luce. Di conseguenza, in questo caso studio la variabile della finestra è sostituita da un altro parametro: un atrio avente copertura vetrata. Questo elemento vetrato è posto sulla copertura solitamente in corrispondenza delle zone di transito/passaggio, dove si affacciano tutte le vetrine dei negozi. Le finestre standard sono state inserite solo alcuni ambienti specifici quali ristoranti e bar, ma essendo solo l'8% dell'intera superficie dell'involucro del complesso, non saranno considerate nell'analisi.

Nel dettaglio, sono stati inseriti 7 lucernai sulla copertura per una superficie vetrata totale di circa 3000 m<sup>2</sup>: sei di questi sono in corrispondenza di un interpiano pari a tutta l'altezza del complesso (Figura 17), così che la luce naturale possa investire sia il piano primo che il piano terra. Solamente un lucernaio non è a tutta altezza e quindi svolge la sua funzione unicamente per il piano primo. Questa scelta è stata condizionata anche dalla diversa dimensione dei punti vendita: si pensi alle dimensioni consistenti dell'ipermercato localizzato al piano terra (Figura 17).

Riassumendo, la distribuzione puntuale dei locali al piano terra è visibile nella Figura 17 (si ricorda che l'area dei negozi riportata è una superficie media); al primo piano sono presenti altri elementi attrattori quali il negozio di elettronica e la sala giochi con il bowling ed i restanti punti vendita elencati nella Tabella 95.

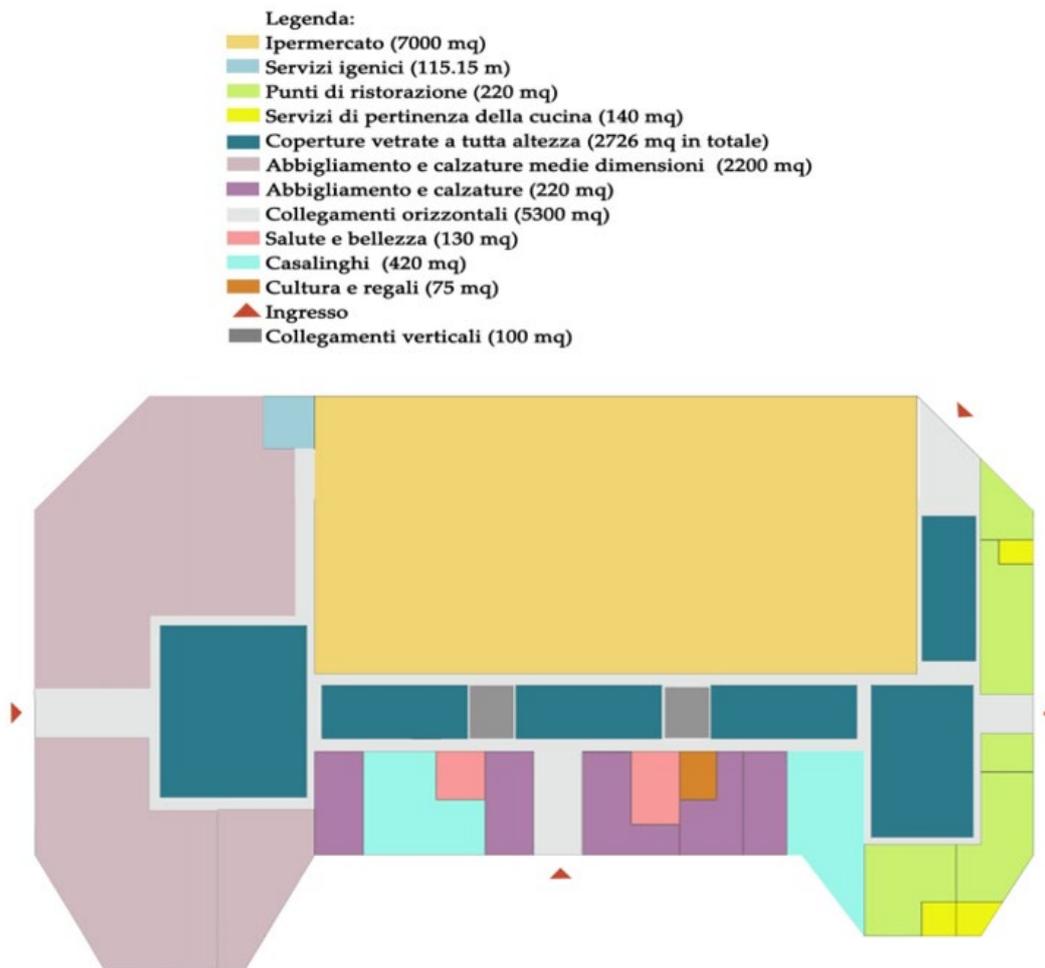


Figura 18: Planimetria del piano terra del centro commerciale tipo con legenda.

I parametri considerate per le simulazioni sono i seguenti:

- Area della superficie vetrata appartenente agli atrii (lucernai)
- Tipo di sorgente (Fluorescente e LED)
- Daylight-responsive control systems (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- Control system (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- Constant Illuminance Control, Fc (presenza o assenza di questo sistema di regolazione)

Per quanto riguarda la variazione del parametro della superficie vetrata, si ricorda che gli atrii inseriti nel complesso sono 7 per una superficie totale di circa 3200 m<sup>2</sup>. La variazione è stata effettuata aumentando l'area vetrata degli atrii presenti del 25% (è stata applicata una maggiorazione uniforme del 25% per ciascun atrio). Non si è potuto effettuare una maggiorazione ulteriore a causa dei vincoli geometrici del complesso stesso.

Passando al parametro della sorgente, la normativa UNI 12264-1 [21] stabilisce, anche per queste tipologie di ambienti, i livelli minimi di illuminamento medio. Tuttavia, alcuni valori sono stati aumentati in linea con i reali livelli di illuminamento riscontrabili nei centri commerciali. Questo fatto coinvolge soprattutto le zone di transito, le gallerie, che dispongono di valori molto più alti essendo zone dove si affacciano la maggior parte delle vetrine dei punti vendita (Tabella 96).

Tabella 96: Valori di illuminamento medio della normativa [21] e quelli del caso studio.

Zona	$E_m$ suggerito dalla UNI 12264-1 (lux)	$E_m$ scelto (lux)
Galleria	100	500
Scale mobili	100	150
Bagni	200	200
Magazzini	10	200
Zone di vendita	300	750
Cucina	500	500
Ristorante		500
Parcheggio	75	100
Rampe di ingresso	300	300
Sala giochi	300	300

Una volta stabiliti i valori di illuminamento, è stato possibile definire il numero di sorgenti necessarie per ogni ambiente.

Nel dettaglio, sono stati scelti tre apparecchi LED a seconda della tipologia di negozio in cui sono installati: per i negozi di piccole e medie dimensioni la scelta è ricaduta su un faretto che con un fascio di luce ristretto, in grado di evidenziare i particolari della merce esposta, tipico dei negozi di abbigliamento. Nell'ipermercato e nei negozi di grandi dimensioni, anche in base a dei sopralluoghi, si è voluto optare per le attuali strisce LED che illuminano l'intera lunghezza dei corridoi dei reparti in modo efficiente. In galleria e nel parcheggio, data l'ampia varietà di soluzioni di design e ipotizzando che il centro commerciale abbia eseguito un relamping, si è scelto il tubo sostitutivo a LED.

Nelle simulazioni con luci a fluorescenza si sono utilizzate solamente due tipologie di apparecchi, le lampade tubolari per gli spazi di grandi e medie dimensioni e le lampade compatte per gli ambienti più ridotti (Tabella 97).

Tabella 97: Caratteristiche delle sorgenti adottate.

Tipologia di sorgente	Potenza	Flusso nominale
Fluorescenza	36 W	3350 lm
Fluorescenza	26 W	1800 lm
LED	26 W	3900 lm
LED	36 W	5050 lm
LED	16 W	2000 lm

Si è deciso di non coinvolgere il parametro della schermatura in modo tale da analizzare principalmente l'impatto della superficie vetrata dell'atrio coperto, ricordando che sono le uniche fonti di luce naturale all'interno del complesso.

Di conseguenza, le simulazioni totali effettuate, in base ai parametri scelti e poc'anzi descritti per il caso studio del centro commerciale, sono 128, come è riportato nella Figura 19.

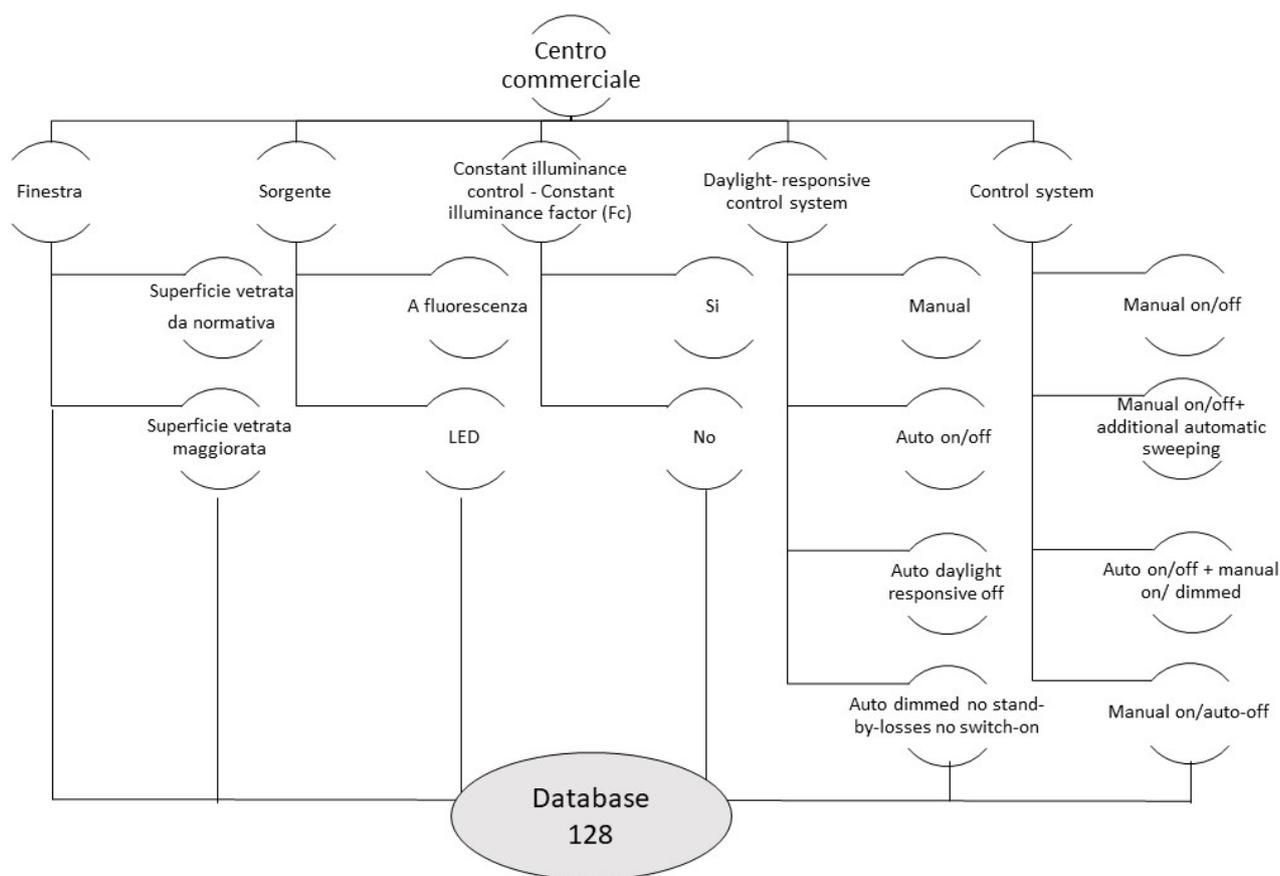


Figura 19: Grafico delle combinazioni effettuate per il caso studio del centro commerciale.

4.8.2 Risultati dell’edificio tipo “Servizi per la vendita: il Centro commerciale”

In generale, il parametro della sorgente ottiene un grande margine di abbattimento del LENI che si attesta sul 41%, passando dall’utilizzo di sorgenti a fluorescenza alla tipologia LED. La presenza del sensore di regolazione  $F_c$  permette un ulteriore guadagno del 15% annuale, dato da non trascurare visto la complessità del caso studio in esame. Al contrario, riduzioni del LENI al di sotto del 1% sono ottenuti sia dal parametro della superficie vetrata, che ricordiamo è posto in copertura sotto forma di atrio con copertura vetrata e sia dai sistemi di controllo. Questi parametri infatti sono da un lato vincolati dalla stessa geometria del complesso e dall’altro sono influenzati dalla presenza degli utenti, il quale è ritenuto quasi costante giornalmente.

I. Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.

I valori Minimi e Massimi del LENI dell’edificio per ciascun parametro sono riportati nella Tabella 98. La prima colonna è definita dal parametro di cui si studia la sua influenza sul LENI, seguita poi dalla combinazione effettuata ed infine si hanno i valori massimi/minimi e la loro differenza percentuale.

Tabella 98: Risultati in relazione alla variazione di un parametro.

Parametro	Condizione		Valore		Δ%
	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
F <sub>c</sub>	Assente	Presente	42.45	36.09	14.98
Finestra	Norma	Maggiorata	42.45	42.21	0.57
Sorgente	Fluorescente	LED	42.45	25.19	40.66
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	42.45	41.11	3.16
Control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	42.45	42.29	0.38

Il LENI massimo è di 42.45 kWh/(m<sup>2</sup>anno) ed è lo stesso per tutte le combinazioni essendo il valore che rappresenta la condizione più semplice identificata come combinazione base per ognuno dei parametri. I valori minimi, invece, riportati in Tabella 98, evidenziano la diminuzione effettiva del LENI paragonata con la condizione base.

La variazione del parametro della sorgente ottiene la massima riduzione del LENI (circa il 41%), sottolineando nuovamente l'impatto di tale parametro in questo tipo di analisi. La presenza del sensore F<sub>c</sub> apporta un decremento del LENI da 42.45 a 36.09 kWh/(m<sup>2</sup>anno), attestandosi sul 15% circa, come è già accaduto per altri casi studio. Passando ai sistemi di controllo, il sistema del Daylight responsive control ottiene un impatto maggiore del corrispettivo dell'occupazione, ma al di sotto del 5%. Il sistema di regolazione dell'occupazione non riesce a garantire significativi decrementi del LENI a causa della destinazione d'uso del complesso, dove la presenza degli utenti all'interno dei punti vendita è considerata quasi costante durante l'arco della giornata.

## II. Analisi di tutte le combinazioni effettuate

Anche per questo caso studio, la Tabella 99 riporta le coppie di combinazioni che, tenendo fisse di volta in volta gli altri parametri corrispondono rispettivamente alla condizione di sistema di controllo/regolazione più semplice (1/1) e a quello più evoluto (4/4)<sup>5</sup>.

Tabella 99: Risultati di coppie di combinazioni.

Parametri in gioco	Daylight responsive control system/ Control system <sup>6</sup>	Piano terra subLENI	Primo piano subLENI	Piano interrato (parcheggio) subLENI	LENI	$\Delta$ (%) <sup>3</sup>	
		kWh/(m <sup>2</sup> anno)	kWh/(m <sup>2</sup> anno)	kWh/(m <sup>2</sup> anno)	kWh/(m <sup>2</sup> anno)		
Glar e	Atrio, Fluo, F <sub>C</sub> assente	1/1	62.47	42,45	11,24	42.45	3.56
		4/4	61.02	40,94	10,46	40.94	
	Atrio, Fluo, F <sub>C</sub> presente	1/1	53.18	36,09	9,55	36.09	3.71
		4/4	51.74	34,75	8,89	34.75	
	Atrio, LED, F <sub>C</sub> assente	1/1	39.27	25,19	6,29	25.19	3.53
		4/4	38.29	24,30	5,87	24.30	
	Atrio, LED, F <sub>C</sub> presente	1/1	33.38	21,55	5,35	21,55	4.18
		4/4	32.55	20,65	4,99	20.65	
	Atrio magg., Fluo, F <sub>C</sub> assente	1/1	62.03	42,21	11,24	42.21	4.07
	4/4	60.09	40,49	10,46	40.49		
Atrio magg., Fluo, F <sub>C</sub> presente	1/1	52.73	35,93	9,55	35.93	4.20	
	4/4	51.09	34,42	8,89	34.42		
Atrio magg., LED, F <sub>C</sub> assente	1/1	38.87	24,96	6,29	24.96	4.09	
	4/4	37.59	23,94	5,87	23.94		
Atrio magg., LED, F <sub>C</sub> presente	1/1	33.04	21,22	5,35	21.22	4.05	
	4/4	32.01	20,36	4,99	20.36		

In primo luogo, si può notare come il range delle differenze percentuali si attesta tra il 4.20% ed il 3.53%, un intervallo abbastanza basso. Questo fatto è dovuto al poco impatto che hanno i sistemi di controllo per il caso studio in esame, come già è stato evidenziato nella Tabella 98. La differenza massima (4.20%) è riportata dalla combinazione avente la superficie dell’atrio maggiorata, la presenza del F<sub>C</sub> e le sorgenti a fluorescenza. Come è già avvenuto in alcuni casi studio, l’impatto dei sistemi di regolazione più sofisticati molto spesso si nota maggiormente quando si hanno sorgenti a fluorescenza, piuttosto che LED, poiché quest’ultime già di per sé contribuiscono fortemente all’abbassamento del LENI. Non a caso, la combinazione con LED e F<sub>C</sub> assente con atri non maggiorati ottiene un decremento del 3.53%.

Si ribadisce che il lavoro sinergico di tutti i parametri (superficie vetrata degli atri, sorgente, F<sub>C</sub> e sistemi di controllo) permettono globalmente un decremento del LENI del 52% (Tabella 100), valore maggiore rispetto alla sola variazione del parametro della sorgente (40.66%).

Tabella 100: Impatto della variazione di un parametro (sorgente) e di tutti i parametri.

Parametro	$\Delta\%$
Finestra, Sorgente, $F_c$ , sistemi di controllo (da 1/1 a 4/4)	52
Sorgente	40.66

A valle dei risultati mostrati in questo paragrafo, la Tabella 101 mostra i valori dell'intero set delle combinazioni man mano che si passa da sistemi di controllo (sia per l'control system che per il daylight responsive control system) meno performanti a più performanti (vedi righe evidenziate in blu nella Tabella 101). Gli altri parametri in gioco, ovvero superficie vetrata degli atri, sorgente a fluorescenza, assenza di  $F_c$  restano sempre fissi. È interessante notare come il piano più energivoro sia il piano terra, seguito dal primo piano. Al contrario, il LENI globale del piano dedicato al parcheggio assume valori molto bassi, attorno al 11-10 kWh/(m<sup>2</sup>anno).

Tabella 101: Risultati dell'intero set delle combinazioni.

Parametri <sup>7</sup>	Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano interrato (parcheggio) subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
1/1	62.55	54.18	11.24	42.45
1/2	62.47	54.15	11.24	42.41
1/3	62.38	54.11	11.24	42.37
1/4	62.20	54.05	11.24	42.29
2/1	61.48	53.23	11.02	41.70
2/2	61.38	53.07	11.02	41.62
2/3	61.29	53.04	11.02	41.58
2/4	61.10	52.96	11.02	41.49
3/1	61.72	52.65	10.82	41.53
3/2	61.63	52.61	10.82	41.49
3/3	61.55	52.59	10.82	41.46
3/4	61.45	52.51	10.82	41.40
4/1	61.37	52.08	10.46	41.11
4/2	61.29	51.99	10.46	41.05
4/3	61.21	51.96	10.46	41.02
4/4	61.02	51.91	10.46	40.94

Dopo aver mostrato l'andamento del LENI delle sedici combinazioni possibili variare dei sistemi di controllo, è stato effettuato uno studio per valutare l'impatto anche degli altri parametri (tranne quelle relative ai sistemi di controllo che vengono mantenuti fissi) sul LENI.

Nella Tabella 102 sono riportate le otto combinazioni aventi come parametro fisso i sistemi di controllo (in questo caso Manual/Manual on/off ovvero 1/1), e variare invece i restanti fattori in esame.

Tabella 102: Sistemi di controllo fissi e variati gli altri parametri.

Parametri in esame		Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano interrato (parcheggio) subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
Atrio e Fluo	F <sub>C</sub> assente	62.55	54.18	11.24	42.45
	F <sub>C</sub> presente	53.18	46.06	9.55	36.09
Atrio e LED	F <sub>C</sub> assente	39.27	30.29	6.29	25.19
	F <sub>C</sub> presente	33.38	26.18	5.35	21.55
Atrio maggior. e Fluo	F <sub>C</sub> assente	62.03	53.97	11.24	42.21
	F <sub>C</sub> presente	52.73	46.03	9.55	35.93
Atrio maggior. e LED	F <sub>C</sub> assente	38.87	30.01	6.29	24.96
	F <sub>C</sub> presente	33.04	25.51	5.35	21.22

Si nota che il valore massimo del LENI totale (42.45 kWh/(m<sup>2</sup> anno)) è ottenuto dalla combinazione base in grigio scuro (superficie dell'atrio non maggiorata, sorgente a fluorescenza ed assenza di F<sub>C</sub>), invece il valore minimo (21.22 kWh/(m<sup>2</sup> anno)) dalla combinazione (evidenziata in grigio chiaro) avente la superficie degli atri maggiorata, sorgenti LED e presenza del F<sub>C</sub>.

Infine, si è voluto mettere in evidenza quanto potesse cambiare il LENI facendo variare due parametri simultaneamente, mantenendo invece i restanti parametri fissi (Tabella 103).

Le variazioni a coppia dei parametri sono le seguenti:

- Variazione della tipologia di sorgente e la presenza/assenza del F<sub>C</sub>;
- Variazione della superficie vetrata e la presenza/assenza del F<sub>C</sub>;
- Variazione della superficie vetrata e della tipologia di sorgente.

Ciascuna di queste combinazioni viene confrontata con la combinazione invariata che risulta essere quella caratterizzata da superficie degli atri non maggiorata, sorgente a fluorescenza ed assenza di F<sub>C</sub>.

Tabella 103: Confronti a coppie di parametri.

Piano terra subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Primo piano subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano interrato (parcheggio) subLENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ% del LENI	Parametri analizzati a coppie
62.55	54.18	11.24	42.45	-	-
33.38	26.18	5.35	21.55	49.23	Sorgente e F <sub>C</sub>
52.73	46.03	9.55	35.93	15.36	Superficie vetrata e F <sub>C</sub>
38.87	30.01	6.29	24.96	41.20	Superficie vetrata e sorgente

È chiaro che laddove vi è la presenza del parametro della sorgente, la riduzione del LENI aumenta come accade per le coppie Sorgente/ F<sub>C</sub> (49.23%) e Superficie vetrata/Sorgente (41.20%). La coppia Superficie vetrata e F<sub>C</sub> mostra una riduzione del 15.36%, che in gran parte è dovuta alla presenza del sensore di regolazione F<sub>C</sub>, ricordando che l'apporto del singolo parametro della superficie vetrata si attesta su valori piuttosto bassi, al di sotto del 1% (Tabella 98).

Anche per questo caso studio sono riportati in Appendice (paragrafo CASO STUDIO: Centro commerciale) tutti i risultati delle 128 simulazioni effettuate.

Infine, non è stato possibile effettuare l'analisi peculiare, relativa cioè all'analisi dei parametri di ostruzione ed orientamento per alcuni ambienti interni, in quanto:

- Il parametro dell'ostruzione non è stata calcolata poiché la maggior parte dei centri commerciali non si trovano a distanze ravvicinate ad altri edifici;

- L'orientamento in questo caso non è stato valutato perché le superfici vetrate in esame si trovano sulla copertura.

## 4.9 Industrie: industria tessile

Il settore industriale tessile in Italia vanta di una storia antichissima, che risale intorno al IX secolo d.C. [44]. Ad oggi, l'industria tessile, della confezione di articoli di abbigliamento, ed in pelle, conta circa 90.943 aziende, delle quali 29.559 sono società di capitali, e 7.314 risultano essere in lenta espansione [45]. In luce a questi dati, la scelta di voler tipizzare un complesso produttivo tessile risulta alquanto coerente, avendo l'obiettivo di rappresentare uno tra i settori più rappresentativi del mercato italiano.

### 4.9.1 Descrizione dell'edificio tipo e dei parametri

La tipologia dell'industria è una destinazione d'uso non residenziale che rientra nella lista dei nove casi studio generali proposti nella normativa [2]. Volendo effettuare uno studio di interesse per il panorama italiano si è scelto di optare per un'industria tessile, settore che trova una larga diffusione specialmente nell'Italia settentrionale. Una volta designato il settore di interesse, si è passati alla definizione e distribuzione degli spazi in linea con le esigenze e requisiti della destinazione d'uso industriale.

Ad ogni tipologia di lavorazione corrisponde una zona diversa dell'edificio, sia per una questione di spazi, dovuta alla presenza dei macchinari, che per le diverse i diversi requisiti di illuminamento, i quali sono associati all'attività da svolgere in quel determinato ambiente. È stata effettuata una scelta ponderata delle operazioni da svolgere all'interno dell'industria, relative alla lavorazione tessile, in modo tale da inserire almeno gli ambienti essenziali per questa tipologia di settore. Le zone individuate sono complessivamente quattro: il lavaggio, l'immagliatura, la tessitura e tintura. Vanno, poi, aggiunte ai citati ambienti le zone di servizio come bagni e spogliatoi, l'ingresso e i corridoi. Grazie alla consultazione di alcuni manuali sulla progettazione architettonica e ad un'accurata ricerca, si è potuto definire un'industria tessile standard, con valori normalizzati sia della metratura di ciascuna zona, che dell'illuminamento necessario (Tabella 104).

In particolare, l'industria tessile Colombo [46], in provincia di Como ha fornito metratura ed illuminamento minimo adottato per ogni attività d'interesse. Si riportano nella tabella di seguito tali valori, confermati dalla norma UNI EN 12464-1 [21], la quale fornisce l'illuminamento medio per questi luoghi di lavoro.

Tabella 104: Distribuzione degli spazi del piano tipo.

Tipo di ambiente	m <sup>2</sup>
Lavaggio	30
Immagliatura	250
Tessitura (telai)	300
Tintura	1000
Bagni/spogliatoi	32
Ingresso	750
Collegamenti orizzontali	106

La distribuzione di tutti gli ambienti definiti per l'industria tessile tipo è stata prevista in un piano unico (Figura 20), avente area di 2000 m<sup>2</sup>. Per quanto riguarda l'altezza di interpiano media stabilita, è noto che l'altezza minima dei locali industriali con più di 5 addetti è di almeno tre metri, considerando, però, le informazioni ricevute dalle industrie tessili in provincia di Como, si è optato per un'altezza del capannone industriale di 6 metri.

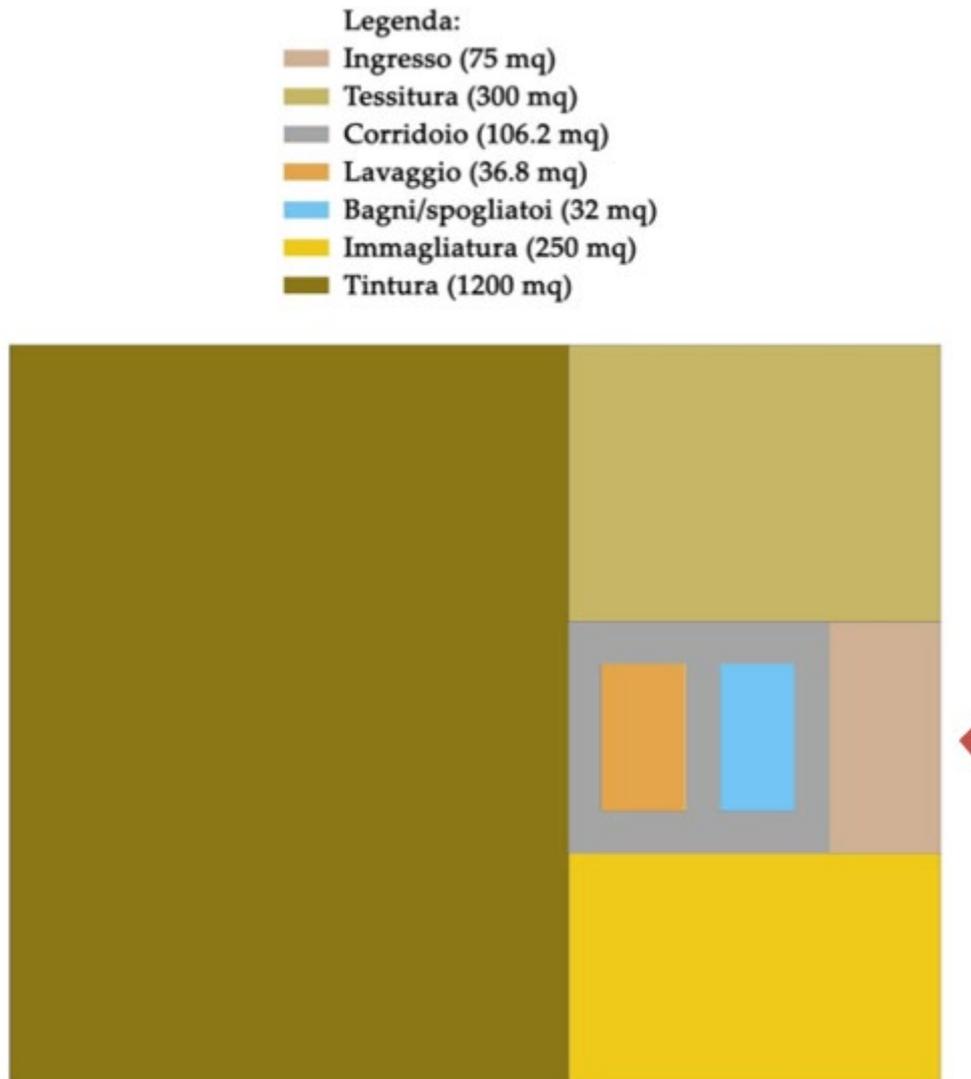


Figura 20: Legenda e planimetria schematica dell'industria tessile proposta.

Chiarita la suddivisione della planimetria, è stata calcolata la superficie vetrata necessaria in linea con i requisiti minimi imposti da normativa. Per questo calcolo è indispensabile la stima del rapporto aeroilluminante secondo la Disposizione tecnico-organizzativa (DTO 27/2014) ai sensi dell'articolo 7/III del RUE [47]. Si noti come, in realtà, non ci sia un vero e proprio riferimento ad edifici per uso industriale, ma questi si facciano rientrare nella classe "Ambienti lavorativi in genere", i quali vengono, poi, classificati in base alla superficie.

Per i locali a destinazione diversa da quella abitativa (commerciali, negozi, direzionali, uffici, industriali e artigianali), la superficie apribile deve corrispondere ad almeno:

- 1/8 della superficie utile del locale se la superficie del locale è inferiore a 100 m<sup>2</sup>;
- 1/10 della superficie utile del locale, con un minimo di 12,5 m<sup>2</sup>, se la superficie del locale è compresa tra 100 m<sup>2</sup> e 1000 m<sup>2</sup>;
- 1/12 della superficie utile del locale, con un minimo di 100 m<sup>2</sup>, se la superficie del locale è superiore a 1000 m<sup>2</sup>.

Dato che la superficie totale del locale preso in esame corrisponde a 2000 m<sup>2</sup>, considerando, ovviamente, non solo gli ambienti destinati alle lavorazioni, ma anche gli spazi di servizio, si è scelto un valore di rapporto aero-illuminante pari a 1/12. Inoltre, la tipologia delle finestre in questo caso studio coinvolge: le finestre a nastro, il lucernaio e gli shed, molto utilizzati nei complessi industriali. La Tabella 105 riporta le caratteristiche geometriche delle superfici vetrate considerate.

Tabella 105: Superficie vetrata R.A.I. 1/12 e tipologia di finestra scelta.

Ambiente	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> superficie vetrata	Tipo di finestra nell'ambiente
Tintura	1200	102	Finestra a nastro
Tessitura	300	25.2	Shed e finestra a nastro
Immogliatura	250	21.0	Shed e finestra a nastro
Lavaggio	36.8	3.1	Lucernaio
Bagni	32	3.1	Lucernaio
Ingresso	75	6.6	Finestra a nastro

Le schermature sono state inserite intese come schermature semplici poste solamente sulle finestre a nastro. Il tipo di schermatura scelto è Glare protection: si fornisce solamente una protezione dall'abbagliamento, in conformità con le norme applicate al rispettivo profilo di utilizzo. Ci si riferisce, quindi, a tende veneziane ad azionamento manuale e schermi parasole in tessuto trasparente.

Per quanto riguarda l'illuminazione artificiale la Tabella 106 riporta i livelli di illuminamento medio minimi da garantire per ogni tipologia di ambiente previsto nel complesso industriale elaborato (in linea con la norma UNI EN 12464-1 [21]).

Tabella 106: Livelli di illuminamento medio minimi per ambiente.

	Tintura	Tessitura	Immogliatura	Lavaggio	Bagni	Ingresso	Corridoi
<b>Illuminamento [lux]</b>	500	750	500	300	200	200	100

Nuovamente vengono elencati i parametri considerati per le simulazioni:

- Tipologia di finestra (dimensione da normativa e dimensione maggiorata)
- Tipo di sorgente (Fluorescente e LED)
- Daylight-responsive control systems (manual, auto on/off, auto daylight responsive off, auto dimmed no stand-by-losses no switch-on)
- Control system (manual on/off, manual on/off+ additional automatic sweeping signal + auto on/dimmed, auto on/off + manual on/ dimmed, manual on/auto-off)
- Constant Illuminance Control, F<sub>c</sub> (presenza o assenza di questo sistema di regolazione)

Per analizzare l'andamento dell'indice del LENI al variare della superficie vetrata, verranno proposti due casi: nel primo la superficie vetrata sarà quella ottenuta tramite il rapporto aeroilluminante dettato dalla normativa (R.A.I. 1/12), nel secondo, invece, si disporrà di una superficie maggiore rispetto al minimo calcolato. In generale, la maggiorazione della superficie vetrata varia da ambiente ad ambiente, in relazione alla superficie disponibile della zona. La sala della tintura e dell'immogliatura hanno un incremento del 29% della superficie trasparente, la tessitura del 25% seguita dal 21% per l'ambiente adibito ad ingresso ed infine del 13% per la zona del lavaggio (Tabella 107). Per quanto riguarda, infine, la tipologia delle finestre, unica variazione è stata adottata per la zona della tintura, alla quale sono stati inseriti gli shed sulla copertura e mantenute le finestre a nastro.

Tabella 107: Superficie vetrata maggiorata e tipologia di finestra.

Ambiente	% di variazione della sup. vetrata (%)	m <sup>2</sup> superficie vetrata variata	Tipo di finestra nell'ambiente
Tintura	29	142.80	Shed e finestra a nastro
Tessitura	25	33.42	Shed e finestra a nastro
Immogliatura	29	29.40	Shed e finestra a nastro
Lavaggio	13	3.60	Lucernaio
Servizi igienici/spogliatoi	invariata	invariata	Lucernaio
Ingresso	21	8.40	Finestra a nastro

Infine, per quanto riguarda le due tipologie di sorgente artificiale, fluorescente e LED, nella Tabella 108 sono riassunte le principali caratteristiche dei due modelli usati nell'analisi.

Tabella 108: Caratteristiche delle sorgenti luminose in esame.

Tipo	Flusso luminoso (lm)	Potenza (W)	Ambiente
LED	39800	276	Tutte le zone di lavorazione e di servizio
LED	9500	72.79	Collegamenti orizzontali
Fluorescente	35965	550	Tutte le zone di lavorazione e di servizio
Fluorescente	8733	167	Collegamenti orizzontali

Per la destinazione d'uso dell'industria, in seguito ad approfondimenti e ricerche, si è verificato che le tipologie di schermature più frequenti in Italia sono la veneziana semplice o le tende in tessuto, come precedentemente evidenziato. Si è esclusa dall'analisi di questo caso studio la presenza di sistemi più complessi quali Autoglare e Lighting Guides. Anche perché le tipologie di finestre considerate sono molto diverse tra loro, quindi si è voluto investigare soprattutto circa il loro apporto sul LENI.

Considerando tutti parametri presi in esame e le combinazioni effettuate tra questi, sono state effettuate in tutto 128 simulazioni. Il grafico rappresentato in Figura 21 mostra lo schema riassuntivo delle combinazioni per il caso studio dell'industria.

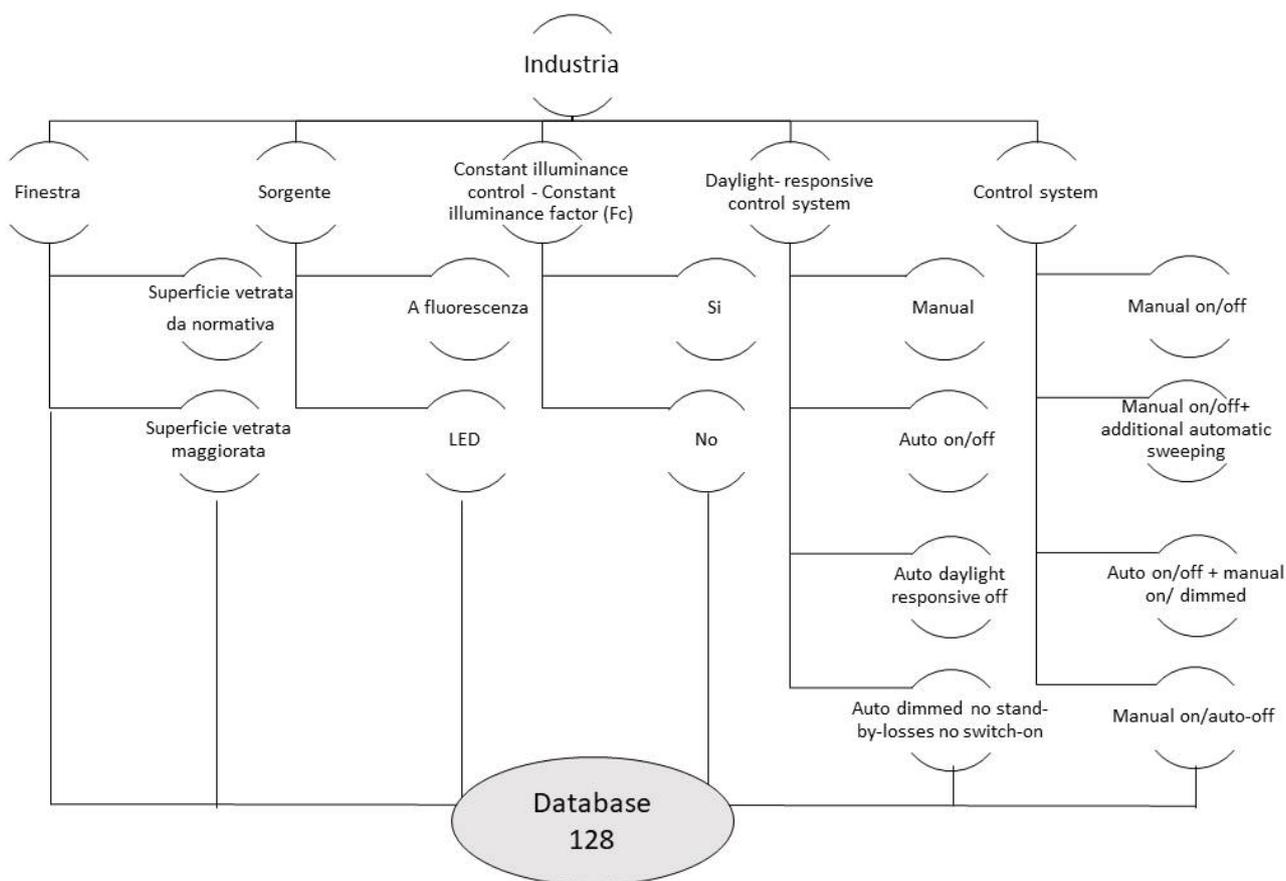


Figura 21: Schema delle simulazioni effettuate per l’industria tessile tipo proposta.

#### 4.9.2 Risultati dell’edificio tipo “Industrie: industria tessile

I risultati ottenuti dalle 128 simulazioni mostrano che è possibile abbattere i consumi energetici relativi all’illuminazione per l’edificio industriale tipo del 56% grazie alla sostituzione delle sorgenti a fluorescenza con impianti LED. Discreti decrementi del LENI sono dovuti anche agli altri parametri in gioco quali: l’attivazione del sensore  $F_c$  (15%), il sistema della regolazione della luce naturale (14%) e di rilevamento dell’occupazione (12%). In coda, si trova l’impatto della variazione della superficie vetrata che, a differenza dei pregressi casi studio, ottiene una riduzione del LENI considerevole del 11% circa, ricordando che questo apporto è dovuto anche alla diversità di tipologie di aperture (a nastro, lucernai e shed) che solitamente è possibile trovare nei complessi industriali esistenti.

##### I. Analisi generale dei dati, applicata per ogni caso studio.

In Tabella 109 sono mostrati i valori Minimi e Massimi del LENI dell’edificio per ciascun parametro analizzato. Il valore massimo è ottenuto dalla combinazione base avente come parametri la finestra con R.A.I. 1/12, sorgente a fluorescenza ed  $F_c$  non attivo. Partendo da questa combinazione, sono stati di volta in volta variati ciascun parametro per evidenziare il loro contributo in termini di decremento de consumi.

Tabella 109: Risultati in relazione alla variazione di un parametro.

Parametro	Condizione		Valore		Δ%
	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
F <sub>c</sub>	Assente	Presente	100.91	85.81	14.96
Finestra	Norma	Maggiorata	100.91	90.07	10.74
Sorgente	Fluorescente	LED	100.91	44.74	55.66
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	100.91	87.12	13.67
Control system	Manual on/off switch	Manual on/auto off	100.91	88.65	12.15

Il valore massimo ottenuto del LENI è di 100.91 kWh/(m<sup>2</sup> anno) ed è la condizione più semplice identificata come combinazione base per ogni parametro in gioco, come è già stato detto in precedenza. La comparazione è stata effettuata confrontando tale valore con il minimo ottenuto per ogni parametro analizzato (F<sub>c</sub>, tipologia e superficie della finestra, Daylight responsive Control System ed Control system), evidenziando l'impatto di ciascuno di essi sul LENI totale.

Dalla Tabella 109 si evince che l'impatto più consistente è ottenuto dal parametro della sorgente (55.66%), seguito dalla presenza del fattore F<sub>c</sub> che apporta una diminuzione del LENI del 14.96%. I due tipi di controllo, sia dell'occupazione che del Daylight, ottengono valori simili, rispettivamente del 12.15% e del 13.67%. In questo caso, vista la notevole presenza di superficie vetrata non solo facciate ma che sulla copertura, comporta un impatto del sistema di regolazione dell'integrazione della luce naturale leggermente maggiore sul LENI rispetto al control system. Infine, il parametro della finestratura, raggiunge quota 10.74%, anche questo giustificato dalla presenza delle diverse aperture quali le finestre a nastro, dai lucernai e dagli shed che ricoprono gran parte della copertura.

## II. Analisi di tutte le combinazioni effettuate

Anche per questo caso studio, la Tabella 110 riporta le coppie di combinazioni che, tenendo fisse di volta in volta gli altri parametri corrispondono rispettivamente alla condizione di sistema di controllo/regolazione più semplice (1/1) e a quello più evoluto (4/4)<sup>5</sup>.

Tabella 110: Risultati di coppie di combinazioni.

Parametri in gioco		Daylight responsive control system/ Control system <sup>6</sup>	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Δ (%) <sup>3</sup>
Glare	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	100.91 75.57	25.11
	Finestra maggiorata, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	85.81 64.19	25.20
	Finestra a norma, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	44.74 33.10	26.02
	Finestra maggiorata, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	37.90 28.12	25.80
	Finestra a norma, Fluo, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	90.07 58.82	34.70
	Finestra maggiorata, Fluo, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	76.71 51.98	32.24
	Finestra ripartita, LED, F <sub>c</sub> assente	1/1 4/4	40.14 27.16	32.34
	Finestra maggiorata, LED, F <sub>c</sub> presente	1/1 4/4	34.23 23.28	31.99

Il range di differenza percentuale del LENI ottenuto dalla variazione dei sistemi di controllo, da quello base (1/1) a quello più avanzato (4/4), è compreso tra il 25.11% ed il 34.70%. La massima riduzione è ottenuta dalla combinazione Finestra a norma (con R.A.I. 1/12), sorgente a fluorescenza, F<sub>c</sub> assente che, passando da controlli 1/1 alla coppia 4/4, ottiene il 34.70% della riduzione del LENI, mostrando come l'impatto dei sistemi di controllo sia più evidente quando si utilizzano sorgenti meno prestanti, come quelle a fluorescenza, rispetto al LED.

La Tabella 110 inoltre mostra che il LENI massimo corrisponde a 100.91 kWh/(m<sup>2</sup>anno) contro i 23.28 kWh/(m<sup>2</sup>anno) ottenuti dalla combinazione finestra maggiorata, sorgente LED, F<sub>c</sub> presente e controlli 4/4. Da cui è possibile notare lo scarto finale tra i due valori pari al 76.93% (Tabella 111). La variazione di tutti i parametri in gioco permette una riduzione maggiore del LENI rispetto alla sola variazione di un parametro quale, ad esempio, la sorgente. La sostituzione della sorgente, infatti, ottiene un decremento del LENI del 55.66%, evidenziando quanto la sola variazione di un parametro (sorgente) non ottiene lo stesso apporto positivo dovuta alla sinergia di tutti i parametri (Tabella 109).

Tabella 111: Impatto della variazione di un parametro (sorgente) e di tutti i parametri.

Parametro	Δ%
Finestra, Sorgente, F <sub>c</sub> , sistemi di controllo (da 1/1 a 4/4)	76.93
Sorgente	55.66

È possibile visionare i risultati di un intero set di simulazioni (16) per il caso base (finestra con R.A.I. 1/12, sorgente a fluorescenza, assenza del F<sub>c</sub>), notando costante il decremento del LENI al passaggio da sistemi di controllo (sia per l'control system che per il daylight responsive control system) meno performanti verso quelli più evoluti (righe evidenziate in blu nella Tabella 112).

Tabella 112: Risultati di un intero set di combinazioni.

Parametri <sup>7</sup>	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
1/1	100.91
1/2	98.01
1/3	94.89
1/4	88.65
2/1	96.15
2/2	93.12
2/3	90.08
2/4	84.01
3/1	91.33
3/2	88.38
3/3	85.43
3/4	79.52
4/1	87.12
4/2	84.23
4/3	81.34
4/4	75.57

Dopo aver sviscerato l'andamento del LENI in relazione al variare dei sistemi di controllo, è stata effettuata un'altra analisi avente lo scopo di capire l'influenza degli altri parametri (tranne quelle relative ai sistemi di controllo che vengono mantenute fisse) sul LENI.

Nella Tabella 113 sono riportate otto combinazioni aventi come parametri fissi i sistemi di controllo (in questo caso Manual/Manual on/off ovvero 1/1), e variate invece le restanti variabili.

Tabella 113: Sistemi di controllo fissi e variati gli altri parametri.

Parametri in esame	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
Finestra R.A.I. 1/12 e Fluor.	F <sub>c</sub> assente	100.91
	F <sub>c</sub> presente	85.81
Finestra R.A.I. 1/12 e LED	F <sub>c</sub> assente	44.74
	F <sub>c</sub> presente	37.90
Finestra maggiorata e Fluor.	F <sub>c</sub> assente	90.07
	F <sub>c</sub> presente	76.71
Finestra maggiorata e LED	F <sub>c</sub> assente	40.14
	F <sub>c</sub> presente	34.23

Il valore massimo del LENI (100.91 kWh/(m<sup>2</sup>anno)), come è già stato precedentemente commentato, è ottenuto dalla combinazione evidenziato in grigio scuro, composta dai seguenti parametri: Finestra R.A.I. 1/12, sorgente a fluorescenza ed assenza del F<sub>c</sub>; viceversa, il minimo è pari a 34.23 kWh/(m<sup>2</sup>anno) ottenuto dalla combinazione della finestra maggiorata, sorgenti LED ed attivazione del F<sub>c</sub>. L'impatto del F<sub>c</sub> è maggiormente visibile per le combinazioni aventi la sorgente a fluorescenza (100.91 vs 85.81 kWh/(m<sup>2</sup>anno)), rispetto a quelli che presentano i LED (44.74 vs 37.90 kWh/(m<sup>2</sup>anno)). Questo fatto mostra che la

presenza di una sorgente efficiente, quale il LED, di per sé permette una forte riduzione del LENI, limitando tale decremento al variare degli altri parametri quali il sensore  $F_C$ . Tuttavia, tale differenza dell’impatto del  $F_C$  è più marcata per le combinazioni aventi finestratura in linea con la normativa (R.A.I. 1/12) rispetto a quella avente superficie vetrata maggiorata (ad esempio 90.07 vs 76.71 kWh/ (m<sup>2</sup>anno)).

Infine, di seguito viene proposta l’analisi dell’andamento del LENI al variare di coppie di parametri, tenendo fissi i sistemi di controllo (Tabella 114). Le variazioni a coppia sono le seguenti:

- Variazione della tipologia di sorgente e la presenza/assenza del  $F_C$  ;
- Variazione della tipologia di finestra e la presenza/assenza del  $F_C$  ;
- Variazione della tipologia di sorgente e della finestra.

Ciascuna di queste combinazioni viene confrontata con la combinazione invariata che risulta essere quella caratterizzata da finestra a norma, sorgente a fluorescenza, assenza di  $F_C$ .

Tabella 114: Analisi della variazione a coppie di parametri.

LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	$\Delta\%$	Parametri analizzati a coppie
100.91	-	-
37.90	62.44	Sorgente e $F_C$
76.71	23.98	$F_C$ e finestra
40.14	60.22	Sorgente e finestra

La Tabella 114 evidenzia le coppie che ottengono i più alti decrementi del LENI, che sono la coppia Sorgente/FC (62.44%) e la Sorgente/finestra (60.22%). Infine, si trova la coppia  $F_C$  /finestra che apporta una riduzione del LENI pari al 23.98%. Per questo caso studio, si nota che l’influenza della superficie vetrata unita alla presenza del fattore  $F_C$  supera il 20%, abbastanza rilevante rispetto agli altri casi analizzati. Sicuramente lavorare solo sui parametri della finestra e del fattore  $F_C$  non risulta essere conveniente quanto lavorare sulla sorgente stessa, la quale di per sé ottiene elevati risparmi energetici. L’intervento di retrofitting delle sorgenti luminose resta di grande aiuto nel taglio della spesa energetica, ma abbinato ad altri parametri, quali sistemi di controllo ( $F_C$ ) ed attenzione alla progettazione della superficie vetrata (soprattutto in termini di distribuzione) contribuiscono ad un ulteriore decremento del LENI dell’edificio. I risultati completi sono visibili nell’Appendice (paragrafo CASO STUDIO: Industria tessile).

### III. Analisi per stanza

La valutazione dei due parametri aggiuntivi, quali l’orientamento e l’ostruzione, non è stata effettuata poiché:

- Non vi sono presenti ambienti simili (per geometria e requisiti illuminotecnici) posti rispettivamente a Nord ed Sud;
- Non vi sono altri livelli oltre al piano terra, nel quale sono distribuiti tutti gli ambienti dell’industria tessile tipo.

## 5. Risultati: redazione della tabella di benchmark per i 9 casi studio

Lo scopo del lavoro presentato è quello di redigere una tabella di benchmark del LENI per tutte le destinazioni d'uso elencate nella normativa ed affrontate nella ricerca. Brevemente si riportano nuovamente il numero delle simulazioni effettuate per ogni edificio tipo e quindi per ogni piano di cui è composto l'edificio tipo per mettere in luce la totalità e la complessità del lavoro effettuato (Tabella 115).

Tabella 115: Simulazioni effettuate per ogni caso studio ed il corrispettivo numero di piani.

Destinazione d'uso	N° di simulazioni	N° di piani	N° di simulazioni effettive
Edifici residenziali	128	-	128
Ufficio	384	-	384
Edifici di istruzione: Scuola di infanzia e primaria	256	2	512
Strutture ospedaliere: Ospedale	256	5	1280
Strutture alberghiere: Albergo	256	4	1024
Ristoranti	128	1	128
Strutture per ambienti sportivi: Palestra	256	2	512
Centri commerciali	128	2	256
Industrie: industria tessile	128	1	128
<b>TOTALE</b>	<b>1920</b>	<b>-</b>	<b>4352</b>

La Tabella 115 mostra le simulazioni effettuate nel dettaglio per ciascun caso studio: infatti, laddove era necessario, sono stati replicati tutti i settaggi per i diversi piani. Per cui, le simulazioni totali effettuate sono in realtà 4352.

Grazie al database di simulazioni e dei corrispettivi risultati, è stato possibile mostrare i valori massimi, minimi e medi di ogni caso studio (Tabella 116). Il valore medio è determinato dalla media di tutti i risultati delle simulazioni effettuate per quell'edificio specifico, visibili nelle tabelle riportate nell'Appendice.

Tabella 116: Valori di benchmark del LENI per ogni caso studio.

Destinazione d'uso	Valore max LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Valore medio LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Valore min LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
Edifici residenziali	15.45	10.08	5.62
Ufficio	55.39	27.15	9.04
Edifici di istruzione: Scuola di infanzia e primaria	32.87	17.29	6.71
Strutture ospedaliere: Ospedale	46.56	32.68	21.06
Strutture alberghiere: Albergo	45.18	28.41	14.43
Ristoranti	33.31	25.10	17.11
Strutture per ambienti sportivi: Palestra	40.35	20.36	10.87
Centri commerciali	42.45	28.21	20.36
Industrie: industria tessile	100.91	54.81	23.28

Dalla Tabella 116, si possono trarre alcune considerazioni:

- L'industria è la destinazione più energivora invece il residenziale è quello meno dispendioso in termini di consumi elettrici; l'ufficio, l'ospedale, l'hotel, il centro sportivo e il centro commerciale

ottengono LENI compresi tra il 55 kWh/(m<sup>2</sup>anno) e i 40,35 kWh/(m<sup>2</sup>anno). Queste destinazioni d'uso sono caratterizzate da superficie consistenti, medio-alti requisiti minimi di illuminamento, profili occupazionali rilevanti. La scuola ed il ristorante si attestano su valori minori (al di sotto di 35 kWh/m<sup>2</sup>anno), dovuto sia al diverso profilo occupazionale (si pensi alla scuola che è prevalentemente occupata meno ore giornaliere rispetto a destinazioni d'uso come uffici), sia alle volumetrie proposte (il ristorante presenta solamente un piano). Certamente queste caratteristiche potrebbero leggermente variare in base al metodo ed alle scelte effettuate durante la definizione dei casi studio, soprattutto per quanto riguarda le volumetrie e gli elementi architettonici. Tuttavia, i requisiti illuminotecnici ed anche i profili di occupazione sono elementi che permettono ristrette variazioni e cambiamenti.

- Per quanto riguarda i valori minimi, è interessante notare che alcune destinazioni d'uso quali l'hotel, l'ospedale ed il centro commerciale non riescono a ridurre il LENI corrispettivo oltre il 55% (evidenziate in grigio in Tabella 116). Ovviamente si parla sempre di tagli energetici considerevoli, soprattutto per l'importanza che rivestono alcune strutture quali gli ospedali; una sapiente progettazione quindi degli impianti di illuminazione potrebbe apportare notevoli benefici, economici-energetici-ambientali. Le altre destinazioni evidenziano grandi tagli ai consumi elettrici oltre il 60% (Residenziale ed Hotel); oltre il 70% quali gli sport, le industrie e le scuole; gli uffici, infine, ottengono un LENI di 5,62 kWh/(m<sup>2</sup> anno), mostrando quanto sia possibile per questa destinazione d'uso ottenere elevati vantaggi.

Infine, si rammenta nuovamente che il LENI medio esposto in Tabella 116 di ogni destinazione d'uso è stato ottenuto dalla media di tutte le simulazioni effettuate e quindi di tutti i risultati derivanti dalla variazione dei parametri inclusi in questa ricerca.

## 6. Conclusioni

L'attività di ricerca presentata nel seguente rapporto tecnico è stata incentrata su due macro-aspetti: il primo ha coinvolto la caratterizzazione di nove destinazioni d'uso tipiche del panorama costruttivo italiano e la scelta di un set di parametri, sia geometrici che impiantistici, in modo tale da evidenziare il loro contributo sul LENI di ciascun edificio proposto; la seconda invece ha riguardato la definizione di benchmark dei consumi per l'illuminazione artificiale, grazie al cospicuo database di simulazioni creato nella prima fase della ricerca. Il primo passo, perciò, ha visto la definizione di un edificio tipo rappresentativo di ciascuna tipologia (nove in totale) presente nello standard [2]. Tale studio è stato effettuato sia utilizzando dati provenienti da documenti e censimenti sul patrimonio edilizio italiano esistente; sia in linea con i requisiti minimi previsti dal comparto legislativo del mondo edilizio (superficie minime per utente, areazione, sicurezza etc.). parallelamente, sono stati individuati sei parametri fondamentali (tipologia di finestra, di schermatura, di sorgente luminosa, di sistemi e sensori di controllo/regolazione [2]) per valutare il loro impatto, sia singolo che sinergico, sui consumi finali dell'illuminazione per ogni caso studio. Inoltre, grazie all'inclusione di questi parametri e le loro varianti (ad esempio sorgente sia a fluorescenza che a LED) è stato possibile proporre una casistica di edifici variegata, dai più innovativi e tecnologici ai più obsoleti, all'interno di questo studio.

La combinazione tra i nove edifici tipo e i parametri scelti ha portato alla definizione di 1920 simulazioni (Tabella 115), calcolate utilizzando il software LENICALC [22].

I risultati del LENI di ogni combinazione simulata di ciascun edificio tipo, sono stati sfruttati sia per analizzare l'impatto dei parametri e la loro variazione sul LENI e sia per redigere la tabella di benchmark per l'illuminazione (Tabella 116).

Per quanto riguarda l'analisi effettuata sui parametri, si può affermare che:

- L'impatto dei singoli parametri ha messo in luce la predominanza dei vantaggi dovuti alla tipologia di sorgente presente nell'edificio tipo. Il passaggio da sorgenti a fluorescenza a LED apporta riduzioni dei consumi elettrici per l'illuminazione compresi tra il 70% ed il 40%, con variazioni visibili di caso in caso.
- I sistemi di controllo della luce/occupazione possono apportare rilevanti benefici al di sotto del 25%. La loro performance è soprattutto legata alle caratteristiche di livello di occupazione dell'edificio tipo e dalla "daylit" area disponibile definita dalla geometria delle finestre. Anche la presenza del Constant Illuminance control permette discreti vantaggi in termini di abbattimenti del LENI del 15% circa.
- I parametri che si trovano apportano lievi contributi sono la finestra e la schermatura.

L'utilizzo combinato di tutti questi parametri permette di ottenere grandi tagli ai consumi elettrici, anche al di sopra del 70% (e.g. caso studio dell'ufficio). Inoltre, l'analisi singola di ogni parametro mette in luce quali strategie di efficientamento riscontrano elevati decrementi del LENI per ogni caso studio rispetto ad altre.

La tabella preliminare dei valori di benchmark per l'illuminazione artificiale, quindi, ha lo scopo di proporre target del LENI affidabili e coerenti per tutte le destinazioni d'uso presente nello standard [2], calcolati con il software LENICALC, che sfrutta il metodo di calcolo della norma [2].

È noto quanto sia lungo il percorso per definire dati sintetici ed allo stesso tempo rappresentativi delle molte tipologie edilizie esistenti; le 1920 simulazioni proposte ed effettuate hanno lo scopo di racchiudere le complessità e le peculiarità delle destinazioni d'uso in esame e cercano di apportare un contributo per l'elaborazione di target globali sui fabbisogni di energia elettrica per l'illuminazione. Infatti, ad oggi, ancora non è presente in letteratura un'analisi dettagliata delle nove destinazioni d'uso e del loro impatto in termini di consumi elettrici, mostrando il loro LENI (valore massimo, minimo e medio), calcolati applicando la normativa 15193-1:2017.

Futuri sviluppi potrebbero coinvolgere lo studio del LENI delle destinazioni d'uso per altre località e quindi zone climatiche, prima a livello nazionale e poi a livello internazionale, in modo tale da poter elaborare il benchmark per l'illuminazione applicabile in diversi contesti territoriali.

## 7. Riferimenti bibliografici

1. CEN (Comité Européen de Normalisation). European Standard EN 15193:2007. “Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting”. Brussels. 2007.
2. EN 15193-1, 2017. Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications, Module M9.
3. C. Aghemo, L. Blaso, S. Fumagalli, V.R.M.L. 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, *Energy Procedia* 101 (2016) 232–239, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.030>.
4. C.F. Reinhart, S. Herkel, The simulation of annual daylight illuminance distributions—a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods, *Energy Build.* 32 (2) (2000) 167–187, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00042-6).
5. C.F. Reinhart, O. Walkenhorst, Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds, *Energy Build.* 33 (7) (2001) 683–697, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00058-5).
6. J. Mardaljevic, Sky model blends for predicting internal illuminance: a comparison founded on the BRE-IDMP dataset, *J. Build. Perform. Simulat.* 1 (3) (2008) 163–173, <https://doi.org/10.1080/19401490802419836>.
7. L. Akimov, G. De Michele, U. F. Oberegger, V. Badenko, A. G. Mainini, Evaluation of EN15193-1 on energy requirements for artificial lighting against Radiance-based DAYSIM, *Journal of Building Engineering*, Volume 40, 2021, 102698, <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102698>.
8. V.R.M. Lo Verso, A. Pellegrino, Energy saving generated through automatic lighting control systems according to the estimation method of the standard EN 15193-1, *J Daylighting* 6 (2019) 131–147, <https://doi.org/10.15627/jd.2019.13.>
9. V.R.M. Lo Verso, A. Pellegrino, C. Aghemo, The Energy Performance for Lighting in Buildings According to the New en 15193-1: potential Energy Saving due to Different Photodimming Controls, in: *Proc. - IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. IEEE Ind. Commer. Power Syst. Europe, EEEIC/I CPS Europe*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018, <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2018.8494448>.
10. A.A. Baloch, P.H. Shaikh, F. Shaikh, Z.H. Leghari, N.H. Mirjat, M.A. Uqaili, Simulation tools application for artificial lighting in buildings, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82 (2018) 3007–3026, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.035>.
11. <https://www.pell.enea.it/lenicalc>
12. UNI/PdR 77:2020. Guidelines for computerized calculation for the determination of LENI according to the complete calculation method of UNI EN 15193-1:2017.
13. A. Pellegrino, V.R.M. Lo Verso, A. Paragamyran, C. Aghemo. VERIFICA E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE LENICALC V1 E APPLICAZIONE A EDIFICI TIPO, (Politecnico di Torino, Dipartimento Energia, TEBE Group), Settembre 2017.
14. A. Pellegrino, V. R. M. Lo Verso, A. Paragamyran, C. Aghemo. CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO PER L'ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CONFRONTO TRA IL SOFTWARE LENICALC V.2 E SOFTWARE DI SIMULAZIONE DINAMICA CLIMATE-BASED, (Politecnico di Torino, Dipartimento Energia), Settembre 2018.
15. S. Fumagalli, L. Blaso, A. Testa, G. Ruggieri, O. Ransen. EN 15193, Lighting Energy Numeric Indicator: LENICALC calculations in a retirement home case study, *Proc. of the 7th International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*27-28 October 2021, Istanbul, Turkey. 978-1-6654-3897-1/21/\$31.00 ©2021 IEEE.
16. UNI EN 15193-1:2021, Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications, Module M9.
17. ISTAT, “15° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011” <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx>

18. DECRETO MINISTERIALE 5 LUGLIO 1975 (G.U. 18-7-1975, N. 190). Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico sanitari principali dei locali d'abitazione.
19. STREPIN - Strategie per la Riqualificazione Energetica del Parco Immobiliare Nazionale, novembre 2015.
20. D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81. TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO - Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. (Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008 - Suppl. Ordinario n. 108), (Decreto integrativo e correttivo: Gazzetta Ufficiale n. 180 del 05 agosto 2009 - Suppl. Ordinario n. 142/L).
21. UNI EN 12464-1:2011. Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni.
22. <https://www.enea.it/it/efficienza-energetica/enea-rende-disponibile-app-per-misurare-la-vulnerabilita-energetico-strutturale-degli-edifici-scolastici>
23. Decreto ministeriale (Ministero dei lavori pubblici) 18-12-1975. 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.
24. DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 1° dicembre 1956, n. 1688 Approvazione di nuove norme per la compilazione dei progetti di edifici ad uso delle scuole elementari e materne.
25. <http://xoomer.virgilio.it/mungho/sito/arch/tesi/TESTI/CAP%203.htm>
26. F. Rossi Prodi e A. Stocchetti, L'architettura dell'ospedale, ALINEA editrice s.r.l.- Firenze 1990.
27. G.U. 11-8-1939, n.187. Approvazione delle istruzioni per le costruzioni ospedaliere.
28. DECRETO LEGISLATIVO 30 dicembre 1992, n. 502. Riordino della disciplina in materia sanitaria, a norma dell'articolo 1 della legge 23 ottobre 1992, n. 421. (Ultimo aggiornamento all'atto pubblicato il 30/07/2021)
29. <https://www.enit.it/wwwenit/it/>
30. [\*Il peso del turismo in Italia, le caratteristiche della domanda e la capacità ricettiva \(PDF\)\*, su Banca d'Italia, 11 dicembre 2018.](#)
31. Il settore alberghiero in Italia: <https://www.duffandphelps.it/servizi/real-estate-advisory-group>
32. Regolamento regionale 24 ottobre 2008, n. 17, BUR 7 Novembre 2008, n. 41, S/130, Disciplina delle Strutture Ricettive Alberghiere
33. Regolamento regionale 29 Settembre 2014 n. 22, BUR 30 settembre 2014, n.78 Modifiche regolamento regionale 24 ottobre 2008, n. 17 (Disciplina delle Strutture Ricettive Alberghiere) e successive modifiche
34. Dati sito ISTAT – sezione Turismo <http://dati.istat.it/>
35. REGIO DECRETO 24 maggio 1925, n. 1102. Approvazione del regolamento per le migliori igieniche negli alberghi.
36. RISTORAZIONE- Rapporto Annuale 2019, A cura di Luciano Sbraga – Responsabile Ufficio Studi Giulia Romana Erba - Ufficio studi Fipe. A cura del Centro Studi Federazione Italiana Pubblici Esercizi, Dicembre 2019.
37. <http://www.codiciateco.it/>
38. Decreto del Presidente della Repubblica 26 marzo 1980, n. 327. Regolamento di esecuzione della L. 30 aprile 1962, n. 283, e successive modificazioni, in materia di disciplina igienica della produzione e della vendita delle sostanze alimentari e delle bevande.
39. DECRETO LEGISLATIVO 6 novembre 2007, n. 193 Attuazione della direttiva 2004/41/CE relativa ai controlli in materia di sicurezza alimentare e applicazione dei regolamenti comunitari nel medesimo settore.
40. PALESTRE E CENTRI SPORTIVI – LINEA GUIDA (myblog.it)  
<https://www.gazzettaufficiale.it/atto/regioni/caricaArticolo?art.progressivo=0&art.idArticolo=7&art.versione=1&art.codiceRedazionale=007R0224&art.dataPubblicazioneGazzetta=2007-05-19&art.idGruppo=0&art.idSottoArticolo=1>
41. Federazione Italiana Nuoto - Sicurezza (federnuoto.it) \art.14)

42. Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 114. Riforma della disciplina relativa al settore del commercio, a norma dell'art. 4, comma 4, della legge 15 marzo 1997, n. 59.
43. L.R. LAZIO 18/11/1999, N. 33. Disciplina relativa al settore commercio.
44. [https://it.wikipedia.org/wiki/Industria\\_tessile](https://it.wikipedia.org/wiki/Industria_tessile)
45. <https://www.monitoraitalia.it/le-prime-500-aziende-moda-tessile-abbigliamento-nel-2019/>
46. <https://www.gruppocolombo.net/it/home/>
47. Disposizione tecnico-organizzativa (DTO 27/2014) ai sensi dell'articolo 7/III del RUE. SINTESI TABELLARE DELLA SOLUZIONE CONFORME SUI RAPPORTI AEROILLUMINANTI.

## 8. Appendice

In appendice sono riportati tutti i risultati del LENI per tutte le combinazioni effettuate per ciascuna destinazione d'uso. Per praticità si userà la dicitura seguente per indicare quali parametri sono stati coinvolti alla determinazione di ciascun LENI ottenuto.

Parametri:

- Finestra: se a Norma (A) se modificata (B)
- Sorgente: se a Fluorescenza (F) se a LED (L)
- Attivazione  $F_c$ : se attivo (1) se non attivo (0)
- Tipo di schermatura: se tipo Glare (x) se tipo Autoglare (y) se tipo Lighting guides (z)
- Tipo di sistemi di controllo e regolazione della luce: utilizzo di numerazione (ad es. 1.1, 1.2, 1.3 et) per indicare la coppia di sistemi di controllo adottata, espressa nel seguente ordine: Daylight responsive control system (n°) e Control system (n°).

Si ricorda che i sistemi del Daylight responsive control system sono: Manual (1), Automatic Switched on/off (2), Automatic Daylight Responsive off (3), Automatic Dimmed No stand-by Losses No switch on (4); quelli relativi al control system sono: Manual (1), Manual on/off + additional aut. Signal and Auto on/ Dimmed (2), Auto on/off and Manual on/Dimmed (3), Manual on/Auto off (4).

La descrizione della nomenclatura adottata è esposta nella Figura 22.

1.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	15.45
	y	15.35
AL	x	8.30
	y	8.26
BF	x	15.39
	y	15.28
BL	x	8.26
	y	8.24

 **Tipologia di finestra e sorgente**     
  **Tipologia di schermatura**

 **Coppia di sistemi di controllo e regolazione della luce usati**

Figura 22: Esempio di tabella mostrato nell'Appendice.

**CASO STUDIO: Residenziale, 128 risultati.**

1.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	15.45
	y	15.35
AL	x	8.30
	y	8.26
BF	x	15.39
	y	15.28
BL	x	8.26
	y	8.24

1.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	15.12
	y	15.00
AL	x	8.11
	y	8.11
BF	x	15.06
	y	14.94
BL	x	8.09
	y	8.09

1.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	14.81
	y	14.68
AL	x	7.98
	y	7.98
BF	x	14.74
	y	14.61
BL	x	7.96
	y	7.96

1.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	14.21
	y	13.97
AL	x	7.75
	y	7.75
BF	x	14.13
	y	14.00
BL	x	7.72
	y	7.72

2.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	14.35
	y	14.45
AL	x	7.70
	y	7.70
BF	x	14.34
	y	14.24
BL	x	7.69
	y	7.69

2.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	14.03
	y	14.14
AL	x	7.56
	y	7.56
BF	x	14.07
	y	13.95
BL	x	7.55
	y	7.55

2.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	13.72
	y	13.85
AL	x	7.45
	y	7.45
BF	x	13.77
	y	13.65
BL	x	7.43
	y	7.43

2.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	13.72
	y	13.85
AL	x	7.45
	y	7.45
BF	x	13.77
	y	13.65
BL	x	7.43
	y	7.43

3.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	13.42
	y	13.33
AL	x	7.15
	y	7.15
BF	x	13.33
	y	13.24
BL	x	7.13
	y	7.13

3.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	13.18
	y	13.08
AL	x	7.02
	y	7.02
BF	x	13.06
	y	12.96
BL	x	7.00
	y	7.00

3.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	12.86
	y	12.75
AL	x	6.91
	y	6.91
BF	x	12.80
	y	12.69
BL	x	6.89
	y	6.89

3.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	12.34
	y	12.20
AL	x	6.70
	y	6.70
BF	x	12.31
	y	12.17
BL	x	6.68
	y	6.68

4.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	11.38
	y	11.31
AL	x	6.04
	y	6.04
BF	x	11.34
	y	11.26
BL	x	6.03
	y	6.03

4.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	11.14
	y	11.05
AL	x	5.93
	y	5.93
BF	x	11.18
	y	11.09
BL	x	5.92
	y	5.92

4.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	10.81
	y	10.71
AL	x	5.83
	y	5.83
BF	x	10.86
	y	10.76
BL	x	5.82
	y	5.82

4.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	10.43
	y	10.31
AL	x	5.71
	y	5.66
BF	x	10.36
	y	10.24
BL	x	5.67
	y	5.55

**CASO STUDIO: Ufficio, 384 simulazioni.**

1.1			
Nomenclatura		Tot	LENI
		kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	55.39
		y	55.25
		z	55.12
	1	x	47.24
		y	47.07
		z	46.96
AL	0	x	17.36
		y	17.31
		z	17.27
	1	x	14.73
		y	14.70
		z	14.66
BF	0	x	54.20
		y	53.90
		z	53.65
	1	x	46.21
		y	45.92
		z	45.71
BL	0	x	17.16
		y	17.07
		z	16.99
	1	x	14.47
		y	14.40
		z	14.40

1.2			
Nomenclatura		Tot	LENI
		kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	52.17
		y	52.04
		z	51.91
	1	x	44.52
		y	44.36
		z	44.25
AL	0	x	16.33
		y	16.29
		z	16.25
	1	x	13.88
		y	13.84
		z	13.81
BF	0	x	51.08
		y	50.80
		z	50.56
	1	x	43.58
		y	43.31
		z	43.10
BL	0	x	16.15
		y	16.06
		z	15.98
	1	x	13.63
		y	13.56
		z	13.49

1.3			
Nomenclatura		Tot	LENI
		kWh/(m <sup>2</sup>	
AF	0	x	48.95
		y	48.82
		z	48.71
	1	x	41.79
		y	41.65
		z	41.55
AL	0	x	15.41
		y	15.37
		z	15.33
	1	x	13.02
		y	12.99
		z	12.96
BF	0	x	47.88
		y	47.62
		z	47.39
	1	x	40.88
		y	40.62
		z	40.43
BL	0	x	15.13
		y	15.06
		z	14.98
	1	x	12.79
		y	13.56
		z	12.66

1.4			
Nomenclatura		Tot	LENI
		kWh/(m <sup>2</sup>	
AF	0	x	42.51
		y	42.39
		z	42.29
	1	x	36.35
		y	36.22
		z	36.14
AL	0	x	13.35
		y	13.32
		z	13.28
	1	x	11.31
		y	11.28
		z	11.25
BF	0	x	41.56
		y	41.34
		z	41.14
	1	x	35.55
		y	35.32
		z	35.16
BL	0	x	13.11
		y	13.04
		z	12.98
	1	x	11.11
		y	12.72
		z	10.99

2.1			
Nomenclatura		Tot	LENI
		kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	52.21
		y	52.01
		z	51.84
	1	x	44.53
		y	44.32
		z	44.17
AL	0	x	16.51
		y	16.44
		z	16.39
	1	x	13.88
		y	13.84
		z	13.79
BF	0	x	50.83
		y	50.46
		z	50.14
	1	x	43.36
		y	42.72
		z	42.99
BL	0	x	16.16
		y	16.05
		z	15.95
	1	x	13.62
		y	13.53
		z	13.45

2.2			
Nomenclatura		Tot	LENI
		kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	49.16
		y	48.98
		z	48.81
	1	x	41.96
		y	41.76
		z	41.62
AL	0	x	15.50
		y	15.44
		z	15.39
	1	x	13.08
		y	13.03
		z	12.99
BF	0	x	47.86
		y	47.51
		z	47.21
	1	x	41.05
		y	40.71
		z	40.45
BL	0	x	15.18
		y	15.07
		z	14.97
	1	x	12.90
		y	12.81
		z	12.73

2.3			
Nomenclatura		Tot	LENI
		kWh/(m <sup>2</sup>	
AF	0	x	46.12
		y	45.94
		z	45.79
	1	x	39.39
		y	39.20
		z	39.07
AL	0	x	14.53
		y	14.47
		z	14.42
	1	x	12.27
		y	12.22
		z	12.18
BF	0	x	44.89
		y	44.56
		z	44.28
	1	x	38.35
		y	38.02
		z	37.78
BL	0	x	14.22
		y	14.12
		z	14.03
	1	x	12.01
		y	11.93
		z	11.85

2.4			
Nomenclatura		Tot	LENI
		kWh/(m <sup>2</sup>	
AF	0	x	40.03
		y	39.88
		z	39.75
	1	x	34.25
		y	34.09
		z	33.97
AL	0	x	12.58
		y	12.53
		z	12.49
	1	x	10.65
		y	10.61
		z	10.58
BF	0	x	38.95
		y	38.66
		z	38.42
	1	x	33.33
		y	33.05
		z	32.84
BL	0	x	12.31
		y	12.23
		z	12.14
	1	x	10.43
		y	10.35
		z	10.28

3.1			
Nomenclatura		Tot kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI
AF	0	x	48,74
		y	48,51
		z	48,30
	1	x	41,58
		y	41,32
		z	41,15
AL	0	x	15,54
		y	15,46
		z	15,39
	1	x	13,09
		y	13,03
		z	12,97
BF	0	x	47,17
		y	46,73
		z	46,36
	1	x	40,24
		y	39,81
		z	39,50
BL	0	x	15,15
		y	15,02
		z	14,89
	1	x	12,77
		z	12,65
		y	12,54

3.2			
Nomenclatura		Tot kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI
AF	0	x	46,40
		y	46,17
		z	45,97
	1	x	39,62
		y	39,38
		z	39,20
AL	0	x	14,52
		y	14,44
		z	14,38
	1	x	12,33
		y	12,27
		z	12,21
BF	0	x	44,90
		y	44,47
		z	44,10
	1	x	38,34
		y	37,93
		z	37,61
BL	0	x	14,25
		y	14,13
		z	14,00
	1	x	12,02
		z	11,91
		y	11,81

3.3			
Nomenclatura		Tot kWh/(m <sup>2</sup> )	LENI
AF	0	x	43,65
		y	43,44
		z	43,25
	1	x	37,30
		y	37,07
		z	36,91
AL	0	x	13,70
		y	13,63
		z	13,57
	1	x	11,56
		y	11,51
		z	11,46
BF	0	x	42,23
		y	41,83
		z	41,48
	1	x	36,09
		y	35,70
		z	35,41
BL	0	x	13,35
		y	13,23
		z	13,12
	1	x	11,27
		y	11,17
		z	11,08

3.4			
Nomenclatura		Tot kWh/(m <sup>2</sup> )	LENI
AF	0	x	37,76
		y	37,57
		z	37,41
	1	x	32,33
		y	32,13
		z	31,99
AL	0	x	11,85
		y	11,79
		z	11,74
	1	x	10,03
		y	9,99
		z	9,94
BF	0	x	36,52
		y	36,17
		z	35,87
	1	x	31,27
		y	30,93
		z	30,67
BL	0	x	11,55
		y	11,45
		z	11,35
	1	z	9,78
		z	9,69
		x	9,61

4.1			
Nomenclatura		Tot kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI
AF	0	x	46,84
		y	46,56
		z	46,31
	1	x	39,99
		y	39,68
		z	39,47
AL	0	x	14,80
		y	14,71
		z	14,63
	1	x	12,46
		y	12,39
		z	12,32
BF	0	x	44,96
		y	44,44
		z	43,99
	1	x	38,39
		y	37,88
		z	37,50
BL	0	x	14,34
		y	14,18
		z	14,03
	1	x	12,08
		z	11,94
		y	11,08

4.2			
Nomenclatura		Tot kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI
AF	0	x	44,09
		y	43,83
		z	43,60
	1	x	37,67
		y	37,39
		z	37,19
AL	0	x	13,92
		y	13,84
		z	13,76
	1	x	11,73
		y	11,67
		z	11,60
BF	0	x	42,32
		y	41,83
		z	41,40
	1	x	36,16
		y	35,68
		z	35,32
BL	0	x	13,48
		y	13,34
		z	13,20
	1	x	11,37
		z	11,24
		y	11,12

4.3			
Nomenclatura		Tot kWh/(m <sup>2</sup> )	LENI
AF	0	x	41,35
		y	41,11
		z	40,89
	1	x	35,36
		y	35,09
		z	34,90
AL	0	x	13,04
		y	12,96
		z	12,89
	1	x	11,00
		y	10,94
		z	10,88
BF	0	x	39,68
		y	39,22
		z	38,82
	1	x	33,94
		y	33,48
		z	33,14
BL	0	x	12,63
		y	12,49
		z	12,36
	1	x	10,66
		y	10,54
		z	10,43

4.4			
Nomenclatura		Tot kWh/(m <sup>2</sup> )	LENI
AF	0	x	35,86
		y	35,65
		z	35,46
	1	x	30,72
		y	30,49
		z	30,33
AL	0	x	11,28
		y	11,21
		z	11,15
	1	x	9,54
		y	9,49
		z	9,44
BF	0	x	34,40
		y	34,00
		z	33,65
	1	x	29,48
		y	29,08
		z	28,79
BL	0	x	10,92
		y	10,80
		z	10,68
	1	z	9,24
		z	9,14
		x	9,04

**CASO STUDIO: Scuola, 256 simulazioni (risultati sia del LENI di edificio e subLENI di piano).**

1.1							
Nomenclatura			Tot kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	LENI (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	32.87	32.18		34.95	32.97
		y	32.46	31.79		34.76	32.48
	1	x	26.53	24.14		29.70	28.03
		y	26.38	23.84		29.55	28.03
AL	0	x	12.30	12.07		13.00	12.32
		y	12.14	11.92		12.93	12.13
	1	x	9.95	9.11		11.05	10.48
		y	9.82	9.00		10.99	10.32
BF	0	x	32.23	31.75		32.59	32.62
		y	31.86	31.35		32.38	32.22
	1	x	26.13	24.03		27.70	27.81
		z	25.80	23.71		27.52	27.42
BL	0	x	12.17	11.94		12.08	12.42
		y	12.02	11.77		12.00	12.27
	1	x	9.87	9.06		10.27	10.57
		z	9.75	8.94		10.20	10.44

1.2							
Nomenclatura			Tot kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	LENI (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	30.72	30.27		33.11	30.48
		y	30.53	29.90		32.93	30.48
	1	x	24.96	22.69		28.14	26.34
		y	24.64	22.40		27.99	25.94
AL	0	x	11.62	11.67		12.31	11.36
		y	11.56	11.53		12.25	11.39
	1	x	9.46	8.80		10.47	9.83
		y	9.34	8.69		10.41	9.68
BF	0	x	30.57	30.36		30.87	30.70
		y	30.20	30.01		30.67	30.26
	1	x	24.86	23.22		26.24	26.13
		z	24.55	22.92		26.07	25.76
BL	0	x	11.47	11.29		11.45	11.67
		y	11.33	11.14		11.36	11.52
	1	x	9.25	8.58		9.73	9.80
		z	9.21	8.49		9.66	9.80

1.3							
Nomenclatura			Tot kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	LENI (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	28.86	28.46		31.27	28.56
		y	28.68	28.11		31.10	28.56
	1	x	23.45	21.32		26.58	24.69
		y	23.14	21.05		26.44	24.31
AL	0	x	11.03	11.27		11.63	10.62
		y	10.98	11.15		11.57	10.65
	1	x	9.01	8.59		9.89	9.19
		y	8.90	8.49		9.83	9.05
BF	0	x	28.93	29.09		29.16	28.72
		y	28.56	28.69		28.97	28.31
	1	x	23.80	22.89		24.78	24.44
		z	23.51	22.61		24.63	24.10
BL	0	x	10.79	10.68		10.81	10.91
		y	10.66	10.54		10.73	10.77
	1	x	8.70	8.10		9.19	9.17
		z	8.65	8.00		9.12	9.17

1.4							
Nomenclatura			Tot kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	LENI (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	25.32	25.36		27.59	24.63
		y	25.16	25.02		27.44	24.63
	1	x	20.52	18.91		23.45	21.31
		y	20.24	18.64		23.33	20.97
AL	0	x	9.93	10.47		10.26	9.29
		y	9.81	10.35		10.21	9.16
	1	x	8.15	8.23		8.72	7.91
		y	7.74	7.43		8.68	7.78
BF	0	x	25.84	26.94		25.73	24.76
		y	25.53	26.64		25.56	24.40
	1	x	21.13	20.78		21.87	21.28
		z	20.87	20.53		21.73	20.97
BL	0	x	9.31	9.15		9.54	9.40
		y	9.20	9.04		9.47	9.28
	1	x	7.59	7.14		8.11	7.90
		z	7.54	7.04		8.05	7.90

2.1							
Nomenclatura			Tot kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	LENI (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	30.95	30.51		33.59	30.64
		y	30.71	30.02		33.34	30.64
	1	x	25.28	23.02		28.55	26.61
		y	24.85	22.64		28.34	26.08
AL	0	x	11.72	11.55		12.49	11.66
		y	11.55	11.37		12.40	11.48
	1	x	9.48	8.69		10.62	9.96
		y	9.32	8.55		10.54	9.75
BF	0	x	30.43	30.00		30.42	30.87
		y	29.89	29.43		30.14	30.29
	1	x	24.75	22.86		25.86	26.34
		z	24.34	22.47		25.62	25.85
BL	0	x	11.25	10.93		10.67	11.75
		y	11.32	11.14		11.15	11.55
	1	x	9.25	8.59		9.57	9.83
		z	9.17	8.44		9.47	9.83

2.2							
Nomenclatura			Tot kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	LENI (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	29.45	29.44		31.89	28.75
		y	29.21	28.99		31.58	28.75
	1	x	24.01	22.19		27.05	24.97
		y	23.61	21.83		26.84	24.47
AL	0	x	11.17	11.18		11.83	10.97
		y	10.97	11.01		11.74	10.72
	1	x	9.14	8.69		10.06	9.34
		y	9.00	8.54		9.98	9.17
BF	0	x	29.03	29.06		28.82	29.07
		y	28.52	28.52		28.56	28.52
	1	x	23.55	22.11		24.50	24.74
		z	23.16	21.74		24.27	24.27
BL	0	x	10.94	10.93		10.67	11.03
		y	10.77	10.75		10.56	10.84
	1	x	8.79	8.27		9.07	9.22
		z	8.71	8.14		8.98	9.22

2.3						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	26.53	28.12	30.05	23.91
		y	27.87	27.69	29.83	27.50
	1	x	22.65	21.14	25.54	23.33
		y	22.27	20.80	25.35	22.85
AL	0	x	10.59	10.80	11.18	10.20
		y	10.47	10.64	11.09	10.11
	1	x	8.67	8.40	9.50	8.70
		y	8.53	8.27	9.43	8.52
BF	0	x	27.35	27.64	27.22	27.11
		y	26.87	27.12	26.97	26.59
	1	x	22.66	22.11	23.14	23.07
		z	22.28	21.76	22.92	22.63
BL	0	x	10.38	10.53	10.07	10.31
		y	10.21	10.36	9.97	10.13
	1	x	8.32	7.96	8.56	8.62
		z	8.25	7.83	8.48	8.62

2.4						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	24.99	26.55	26.52	22.97
		y	24.83	26.17	26.32	23.05
	1	x	20.78	21.00	22.54	20.04
		y	20.44	20.70	22.37	19.63
AL	0	x	9.48	10.05	9.86	8.79
		y	9.41	9.91	9.79	8.80
	1	x	10.93	7.53	7.72	7.49
		y	7.49	7.42	8.32	7.33
BF	0	x	24.49	25.75	24.02	23.34
		y	24.06	25.30	23.80	22.89
	1	x	19.93	19.84	20.42	19.87
		z	19.60	19.53	20.23	19.49
BL	0	x	9.25	9.73	8.89	8.87
		y	9.11	9.58	8.80	8.72
	1	x	7.40	7.33	7.56	7.42
		z	7.34	7.21	7.48	7.42

3.1						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	29.40	29.15	32.32	28.81
		y	29.11	28.57	32.01	28.81
	1	x	24.05	21.90	27.47	25.23
		y	23.55	21.45	27.21	24.61
AL	0	x	11.15	11.06	12.02	11.00
		y	10.91	10.83	11.90	10.71
	1	x	8.99	8.27	10.21	9.36
		y	8.80	8.10	10.12	9.12
BF	0	x	28.84	28.74	28.40	29.08
		y	28.20	28.08	28.06	28.37
	1	x	23.34	21.72	24.14	24.75
		z	22.84	21.25	23.85	24.15
BL	0	x	10.88	10.80	10.49	11.07
		y	10.66	10.57	10.35	10.83
	1	x	8.76	8.26	8.92	9.22
		z	8.67	8.08	8.80	9.22

2.2						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	28.01	28.20	30.62	27.07
		y	27.74	27.66	30.32	27.07
	1	x	22.89	21.17	26.02	23.73
		y	22.41	20.74	25.77	23.13
AL	0	x	10.62	10.69	11.38	10.32
		y	10.39	10.49	11.27	10.05
	1	x	8.55	8.00	9.68	8.78
		y	5.36	7.89	9.58	8.55
BF	0	x	27.44	27.74	26.91	27.29
		y	26.84	27.12	26.58	26.63
	1	x	22.14	20.80	22.87	23.29
		z	21.67	20.37	22.59	22.72
BL	0	x	10.35	10.43	9.94	10.39
		y	10.14	10.21	9.81	10.17
	1	x	8.30	7.87	8.45	8.69
		z	8.20	7.71	8.34	8.65

3.3						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	26.56	27.16	28.91	25.28
		y	26.31	26.66	28.64	25.28
	1	x	21.64	20.36	24.58	22.09
		y	21.19	19.96	24.34	21.52
AL	0	x	10.09	10.34	10.75	9.64
		y	9.90	10.15	10.65	9.43
	1	x	8.11	7.73	9.14	8.20
		y	7.94	7.58	9.05	7.98
BF	0	x	26.04	26.75	25.41	25.51
		y	25.47	26.16	25.10	24.88
	1	x	21.00	20.09	21.60	21.76
		z	20.56	19.67	21.34	21.23
BL	0	x	9.83	10.07	9.39	9.71
		y	9.62	9.85	9.26	9.50
	1	x	7.88	7.66	7.98	8.08
		z	7.80	7.50	7.87	8.08

3.4						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	23.79	25.45	25.51	21.61
		y	23.56	25.00	25.27	21.61
	1	x	19.35	19.06	21.69	18.97
		y	18.92	18.70	21.48	18.40
AL	0	x	9.03	9.66	9.49	8.27
		y	9.10	9.47	9.40	8.63
	1	x	7.24	7.20	8.06	7.04
		y	7.08	7.06	7.99	6.85
BF	0	x	23.24	24.75	22.42	21.94
		y	22.73	24.23	22.15	21.39
	1	x	18.66	18.53	19.06	18.68
		z	18.27	18.16	18.83	18.21
BL	0	x	8.78	9.31	8.28	8.39
		y	8.60	9.13	8.17	8.20
	1	x	6.99	6.99	7.04	6.98
		z	6.92	6.85	6.95	6.98

4.1						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	28.01	28.03	31.32	27.03
		y	27.68	27.38	30.96	27.03
	1	x	22.94	21.08	26.62	23.75
		y	22.35	20.57	26.32	23.01
AL	0	x	10.56	10.50	11.64	10.30
		y	10.03	10.25	11.51	9.39
	1	x	8.55	7.87	9.90	8.85
		y	8.32	7.65	9.78	8.56
BF	0	x	27.18	27.08	26.82	27.40
		y	26.44	26.31	26.42	26.58
	1	x	22.04	20.56	22.79	23.32
		z	21.46	20.01	22.45	22.63
BL	0	x	10.27	10.21	9.89	10.45
		y	10.02	9.95	9.73	10.17
	1	x	8.22	7.73	8.41	8.65
		z	8.11	7.52	8.27	8.65

4.2						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	26.68	27.16	29.67	25.32
		y	26.37	26.55	29.33	25.32
	1	x	21.81	20.40	25.22	22.26
		y	21.26	19.92	24.93	21.56
AL	0	x	10.08	10.17	11.03	9.71
		y	10.09	9.94	10.90	10.02
	1	x	8.14	7.65	9.38	8.26
		y	7.90	7.42	9.27	7.99
BF	0	x	25.85	26.17	25.41	25.66
		y	25.16	25.44	25.03	24.91
	1	x	20.98	19.91	21.59	21.88
		z	20.43	19.40	21.27	21.23
BL	0	x	9.77	9.85	9.37	9.80
		y	9.53	9.62	9.22	9.53
	1	x	7.91	7.46	7.97	8.34
		z	7.71	7.26	7.83	8.11

4.3						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	25.37	26.29	28.02	23.68
		y	25.08	25.71	27.70	23.68
	1	x	20.72	19.73	23.82	20.83
		y	20.20	19.28	23.55	20.16
AL	0	x	9.61	9.85	10.42	9.13
		y	9.31	9.62	10.30	8.71
	1	x	7.73	7.36	8.86	7.77
		y	7.52	7.18	8.75	7.52
BF	0	x	24.56	25.26	23.99	24.01
		y	23.84	24.57	23.64	23.17
	1	x	19.82	19.05	20.39	20.44
		z	19.30	18.57	20.09	19.82
BL	0	x	9.29	9.56	8.85	9.15
		y	9.04	9.28	8.70	8.90
	1	x	7.41	7.21	7.52	7.58
		z	7.31	7.03	7.40	7.58

4.4						
Nomenclatura			Tot LENI kWh/(m <sup>2</sup> ann o)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Palestra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	22.81	24.55	24.72	20.50
		y	22.86	24.04	24.44	21.20
	1	x	18.57	18.39	21.02	18.05
		y	18.11	17.99	20.78	17.46
AL	0	x	8.48	8.99	9.19	7.76
		y	8.34	8.81	9.09	7.64
	1	x	6.87	6.86	7.81	6.61
		y	6.69	6.70	7.72	6.38
BF	0	x	21.93	23.45	21.17	20.62
		y	21.35	22.84	20.86	19.98
	1	x	17.68	17.67	18.00	17.59
		z	17.46	17.79	17.73	17.04
BL	0	x	8.28	8.84	7.81	7.85
		y	8.08	8.63	7.68	7.64
	1	x	6.71	6.93	6.64	6.50
		z	6.71	6.77	6.53	6.47

**CASO STUDIO: Ospedale, 256 simulazioni (risultati sia del LENI di edificio e subLENI di piano).**

1.1							
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/m2anno	Piano quarto (subLENI) kWh/(m2anno)
AF	0	x	46,56	49,50	44,34	41,04	53,13
		y	46,37	49,25	44,15	40,90	52,96
	1	x	39,65	42,12	38,02	34,89	45,16
		y	39,50	41,94	34,77	39,50	0,00
AL	0	x	27,77	30,41	27,44	23,32	31,03
		y	27,68	30,27	27,36	23,24	30,99
	1	x	23,48	25,99	23,05	19,58	26,38
		y	23,38	25,87	22,99	19,55	26,34
BF	0	x	46,29	49,12	44,18	40,77	53,00
		y	46,06	48,80	43,95	40,62	52,80
	1	x	39,47	42,08	37,55	34,65	45,05
		y	39,28	41,82	37,36	34,52	44,88
BL	0	x	27,77	30,41	27,44	23,32	31,03
		y	27,46	29,93	27,25	23,04	30,93
	1	x	24,00	26,29	23,25	20,60	26,35
		y	23,90	26,13	23,17	20,51	26,31

1.2							
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m2anno)	Piano quarto (subLENI) kWh/(m2anno)
AF	0	x	45,77	48,03	44,00	40,59	52,73
		y	45,59	47,80	43,81	40,45	52,56
	1	x	39,05	41,02	37,40	34,60	45,07
		y	38,89	40,82	37,24	34,48	44,92
AL	0	x	27,37	29,70	27,24	23,10	30,79
		y	27,28	29,56	27,16	23,01	30,75
	1	x	23,43	25,73	23,05	19,59	26,30
		y	23,35	25,62	22,99	19,51	26,26
BF	0	x	45,59	47,90	43,81	40,32	52,60
		y	45,35	47,59	43,58	40,16	52,41
	1	x	38,87	41,05	37,26	34,27	44,71
		y	38,68	40,79	37,07	34,13	44,55
BL	0	x	27,15	29,31	27,15	22,91	30,72
		y	27,03	29,13	27,06	22,80	30,68
	1	x	22,95	24,85	23,08	19,47	26,11
		y	23,05	24,85	23,08	19,47	26,11

1.3							
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/m2anno	Piano quarto (subLENI) kWh/(m2anno)
AF	0	x	44,92	46,71	43,66	40,13	51,68
		y	44,74	46,48	43,47	40,00	51,50
	1	x	38,41	40,00	37,29	34,11	44,49
		y	38,25	39,80	37,13	34,00	44,34
AL	0	x	27,47	29,80	27,44	23,17	30,84
		y	27,38	29,67	27,36	23,09	30,80
	1	x	23,31	25,47	23,05	19,52	26,22
		y	23,23	25,37	22,99	19,45	26,18
BF	0	x	44,88	46,68	43,47	39,86	52,21
		y	44,66	46,38	43,24	39,71	52,01
	1	x	38,16	39,68	36,97	33,88	44,45
		y	37,97	39,42	36,77	33,75	44,28
BL	0	x	26,80	28,69	26,97	22,72	30,47
		y	26,68	28,52	26,88	22,62	30,42
	1	x	22,80	24,39	22,93	19,39	25,90
		y	22,70	24,25	22,84	19,30	25,86

1.4							
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m2anno)	Piano quarto (subLENI) kWh/(m2anno)
AF	0	x	43,79	44,57	42,97	39,36	51,69
		y	43,61	44,35	42,79	39,23	51,51
	1	x	37,27	37,88	36,52	33,46	44,21
		y	37,12	37,70	36,36	33,35	44,06
AL	0	x	27,17	29,19	27,44	23,02	30,65
		y	27,09	29,07	27,36	22,94	30,61
	1	x	23,05	24,96	23,05	19,40	26,05
		y	22,98	24,86	22,99	19,33	26,02
BF	0	x	43,48	44,24	42,78	38,96	51,43
		y	43,26	43,97	42,55	38,80	51,23
	1	x	36,97	37,61	36,38	33,15	43,71
		y	36,78	37,37	36,19	33,02	43,55
BL	0	x	25,94	27,30	26,57	22,16	29,79
		y	25,82	27,14	26,47	22,04	29,75
	1	x	22,09	23,26	22,59	18,83	25,47
		y	21,99	23,12	22,50	18,74	25,43

2.1							
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/m2anno	Piano quarto (subLENI) kWh/(m2anno)
AF	0	x	46,37	48,72	43,72	40,47	52,60
		y	45,92	49,25	44,15	40,90	52,96
	1	x	39,22	42,12	38,02	34,89	45,16
		y	39,22	41,94	37,85	34,77	45,01
AL	0	x	27,40	28,89	27,16	22,97	30,83
		y	27,28	29,71	27,07	22,87	30,78
	1	x	23,24	25,55	22,83	19,34	26,21
		y	23,14	25,40	22,75	19,25	26,17
BF	0	x	45,69	48,38	43,57	40,29	52,48
		y	45,41	48,00	43,31	40,09	52,25
	1	x	38,89	41,12	37,03	34,27	44,86
		y	38,65	40,80	36,80	34,10	44,66
BL	0	x	27,24	29,62	27,11	22,81	30,81
		y	27,09	29,40	27,00	22,68	30,75
	1	x	23,13	25,18	23,05	19,39	26,02
		y	23,00	24,99	22,95	19,28	25,98

2.2							
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m2anno)	Piano quarto (subLENI) kWh/(m2anno)
AF	0	x	44,92	47,00	43,42	40,02	52,21
		y	45,14	47,28	43,19	39,85	52,01
	1	x	38,66	40,13	37,02	35,20	44,49
		y	38,66	40,13	36,82	35,05	44,31
AL	0	x	27,01	29,20	26,97	22,73	30,63
		y	26,89	29,04	26,87	22,63	30,58
	1	x	23,12	25,30	22,83	19,28	26,13
		y	23,02	25,16	22,75	19,19	26,09
BF	0	x	45,00	47,18	43,22	39,84	52,10
		y	44,72	46,81	42,95	39,65	51,87
	1	x	38,29	40,11	36,74	33,86	44,53
		y	38,05	39,79	36,51	33,70	44,33
BL	0	x	26,81	28,84	26,92	22,59	30,53
		y	22,66	28,62	26,81	22,46	30,48
	1	x	22,99	24,61	23,90	19,22	25,95
		y	22,86	24,42	23,81	19,11	25,91

2.3							
Nomenclatura			LENI	Piano terra	Piano primo	Piano Secondo-	Piano quarto
			kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	43.99	45.69	42.51	39.57	51.16
		y	44.22	45.98	42.28	39.41	50.96
	1	x	37.66	39.11	36.68	33.64	44.05
		y	37.66	39.11	36.48	33.49	43.87
AL	0	x	27.10	29.30	27.16	22.81	30.65
		y	26.99	29.14	27.07	22.71	30.60
			23.00	25.05	22.83	19.22	26.05
	1	x	22.90	24.92	22.75	19.13	26.01
		y	22.90	24.92	22.75	19.13	26.01
			44.31	45.98	42.88	39.39	51.71
BF	0	x	44.04	45.63	42.61	39.20	51.48
		y	44.04	45.63	42.61	39.20	51.48
			37.69	39.16	36.45	33.48	43.96
	1	x	37.46	38.86	36.22	33.32	43.76
		y	37.46	38.86	36.22	33.32	43.76
			26.46	28.23	26.70	22.40	30.30
BL	0	x	26.31	28.02	26.59	22.27	30.25
		y	26.31	28.02	26.59	22.27	30.25
			22.53	24.00	22.70	19.18	25.76
	1	x	22.41	23.82	22.60	19.07	25.71
		y	22.41	23.82	22.60	19.07	25.71

2.4							
Nomenclatura			LENI	Piano terra	Piano primo	Piano Secondo-	Piano quarto
			kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	43.99	45.98	42.51	39.57	51.16
		y	44.22	45.69	42.28	39.41	50.96
	1	x	37.66	39.35	36.68	33.64	44.05
		y	37.66	39.11	36.48	33.49	43.87
AL	0	x	27.10	29.30	27.16	22.81	30.65
		y	26.99	29.14	27.07	22.71	30.60
			23.00	25.05	22.83	19.22	26.05
	1	x	22.90	24.92	22.75	19.13	26.01
		y	22.90	24.92	22.75	19.13	26.01
			44.31	45.98	42.88	39.39	51.71
BF	0	x	44.04	45.63	42.61	39.20	51.48
		y	44.04	45.63	42.61	39.20	51.48
			37.69	39.16	36.45	33.48	43.96
	1	x	37.46	38.86	36.22	33.32	43.76
		y	37.46	38.86	36.22	33.32	43.76
			26.46	28.23	26.70	22.40	30.30
BL	0	x	26.31	28.02	26.59	22.27	30.25
		y	26.31	28.02	26.59	22.27	30.25
			22.53	24.00	22.70	19.18	25.76
	1	x	22.41	23.82	22.60	19.07	25.71
		y	22.41	23.82	22.60	19.07	25.71

3.1							
Nomenclatura			LENI	Piano terra	Piano primo	Piano Secondo-	Piano quarto
			kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	45,30	47,99	43,11	39,91	52,09
		y	45,02	47,62	42,84	39,71	51,85
	1	x	38,58	41,00	36,64	33,93	44,28
		y	38,34	40,69	36,42	33,57	44,07
AL	0	x	27,02	29,37	26,90	22,60	30,64
		y	26,88	29,17	26,79	22,48	30,58
			22,93	25,12	22,61	19,04	26,04
	1	x	22,81	24,95	22,52	18,93	25,99
		y	22,81	24,95	22,52	18,93	25,99
			45,10	47,67	42,97	39,77	51,99
BF	0	x	44,77	47,22	42,67	39,55	51,72
		y	44,77	47,22	42,67	39,55	51,72
			38,39	40,52	36,87	33,81	44,19
	1	x	38,11	40,14	36,59	33,62	43,96
		y	38,11	40,14	36,59	33,62	43,96
			26,89	29,15	26,89	22,49	30,59
BL	0	x	26,72	28,89	26,76	22,33	30,53
		y	26,72	28,89	26,76	22,33	30,53
			22,87	24,78	22,87	19,11	26,05
	1	x	22,72	22,55	22,77	18,98	26,00
		y	22,72	22,55	22,77	18,98	26,00

3.2							
Nomenclatura			LENI	Piano terra	Piano primo	Piano Secondo-	Piano quarto
			kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	44,54	46,57	42,84	39,47	51,71
		y	44,26	46,21	42,58	39,27	51,47
	1	x	37,97	39,84	36,58	33,55	43,95
		y	37,75	39,54	36,37	33,38	43,75
AL	0	x	26,64	28,70	26,70	22,38	30,41
		y	26,50	28,49	26,59	22,26	30,35
			22,79	24,82	22,61	18,98	25,97
	1	x	22,67	24,65	22,52	18,87	25,92
		y	22,67	24,65	22,52	18,87	25,92
			44,41	46,49	42,63	39,33	51,61
BF	0	x	44,09	46,05	42,32	39,11	51,34
		y	44,09	46,05	42,32	39,11	51,34
			37,78	39,52	36,23	33,42	44,02
	1	x	37,50	39,15	35,97	33,24	43,80
		y	37,50	39,15	35,97	33,24	43,80
			26,46	28,38	26,62	22,26	30,35
BL	0	x	26,29	28,13	26,50	22,12	30,29
		y	26,29	28,13	26,50	22,12	30,29
			22,50	24,14	22,63	18,92	25,80
	1	x	22,35	23,92	22,52	18,80	25,75
		y	22,35	23,92	22,52	18,80	25,75

3.3							
Nomenclatura			LENI	Piano terra	Piano primo	Piano Secondo-	Piano quarto
			kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	43,62	45,28	41,88	39,07	50,67
		y	43,37	44,96	41,62	38,87	50,43
	1	x	37,34	38,76	36,05	33,21	43,63
		y	37,11	38,46	35,83	33,04	43,42
AL	0	x	26,74	28,83	26,90	22,45	30,47
		y	26,61	28,63	26,79	22,33	30,41
			22,67	24,58	22,61	18,92	25,90
	1	x	22,55	24,42	22,52	18,81	25,85
		y	22,55	24,42	22,52	18,81	25,85
			43,71	45,31	42,29	38,82	51,27
BF	0	x	43,40	44,89	41,98	38,60	51,01
		y	43,40	44,89	41,98	38,60	51,01
			37,25	38,72	35,94	33,05	43,58
	1	x	36,99	38,37	35,68	32,87	43,36
		y	36,99	38,37	35,68	32,87	43,36
			26,11	27,79	26,44	22,04	30,11
BL	0	x	25,95	27,55	26,32	21,90	30,05
		y	25,95	27,55	26,32	21,90	30,05
			22,21	23,54	22,58	18,83	25,59
	1	x	22,07	23,33	22,47	18,71	25,54
		y	22,07	23,33	22,47	18,71	25,54

3.4							
Nomenclatura			LENI	Piano terra	Piano primo	Piano Secondo-	Piano quarto
			kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	(subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	42,61	43,21	41,78	38,27	50,70
		y	42,35	42,89	41,51	38,07	50,46
	1	x	36,22	36,73	35,51	32,53	43,13
		y	36,00	36,46	35,28	32,36	42,93
AL	0	x	26,47	28,27	26,90	22,31	30,29
		y	26,34	28,09	26,79	22,19	30,24
			22,44	24,11	22,61	18,80	25,75
	1	x	22,33	23,96	22,52	18,70	25,70
		y	22,33	23,96	22,52	18,70	25,70
			42,36	43,00	41,60	37,93	50,46
BF	0	x	42,05	42,61	41,29	37,71	50,20
		y	42,05	42,61	41,29	37,71	50,20
			36,02	36,55	35,36	32,30	42,89
	1	x	35,77	36,22	35,10	32,12	42,67
		y	35,77	36,22	35,10	32,12	42,67
			25,32	26,44	26,08	21,62	29,45
BL	0	x	25,16	26,22	25,94	21,47	29,39
		y	25,16	26,22	25,94	21,47	29,39
			21,53	22,48	21,89	18,46	25,18
	1	x	21,39	22,28	21,77	18,33	25,13
		y	21,39	22,28	21,77	18,33	25,13

4.1							
Nomencatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano quarto (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	44,58	47,12	42,32	39,36	51,46
		y	44,25	46,68	42,01	39,12	51,18
	1	x	37,95	40,08	35,97	33,57	43,85
		y	37,67	39,71	35,71	33,36	43,61
AL	0	x	26,63	28,86	26,58	22,22	30,44
		y	26,46	28,61	26,45	22,08	30,37
	1	x	22,59	24,64	22,34	18,74	25,87
		y	22,45	24,44	22,24	18,61	25,82
BF	0	x	44,30	46,71	42,14	39,13	51,32
		y	43,92	46,18	41,78	38,86	51,01
	1	x	37,72	39,84	35,82	33,28	43,62
		y	37,39	39,39	35,51	33,05	43,36
BL	0	x	26,45	28,53	26,46	22,10	30,38
		y	26,24	28,22	26,31	21,92	30,31
	1	x	22,49	24,20	22,49	18,86	25,83
		y	22,31	23,94	22,37	18,71	25,77

4.2							
Nomencatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano quarto (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	43,81	45,72	41,98	38,89	51,08
		y	43,49	45,30	41,67	38,66	50,80
	1	x	37,32	39,04	35,68	33,06	43,53
		y	37,04	38,68	35,42	32,86	43,28
AL	0	x	26,50	28,59	26,58	22,16	30,36
		y	26,34	28,35	26,45	22,02	30,29
	1	x	22,48	24,42	22,34	18,68	25,80
		y	22,34	24,22	22,24	18,55	25,75
BF	0	x	43,63	45,55	41,77	38,69	50,95
		y	43,25	45,04	41,40	38,43	50,63
	1	x	37,09	38,72	35,53	32,88	43,31
		y	36,77	38,29	35,22	32,66	43,04
BL	0	x	26,04	27,79	26,27	21,88	30,14
		y	25,84	27,49	26,12	21,71	30,07
	1	x	22,48	23,71	22,33	19,59	25,62
		y	22,31	23,46	22,20	19,44	25,56

4.3							
Nomencatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano quarto (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	42,90	44,45	41,10	38,45	50,05
		y	42,59	44,05	40,78	38,22	49,76
	1	x	36,72	38,04	35,10	32,68	43,34
		y	36,45	37,70	34,83	32,48	43,10
AL	0	x	26,35	28,29	26,57	22,09	30,28
		y	26,19	28,06	26,44	21,95	30,21
	1	x	22,37	24,19	22,34	18,63	25,74
		y	22,23	24,00	22,24	18,50	25,68
BF	0	x	42,96	44,42	41,42	38,25	50,57
		y	42,59	43,93	41,86	37,99	50,26
	1	x	36,54	37,82	35,24	32,51	42,99
		y	36,23	37,40	34,93	32,29	42,72
BL	0	x	25,68	27,18	26,09	21,65	29,91
		y	25,48	26,90	25,94	21,48	29,84
	1	x	21,85	23,11	22,17	18,48	25,42
		y	21,68	22,86	22,05	18,33	25,36

4.4							
Nomencatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano quarto (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	41,92	42,44	40,97	37,71	50,09
		y	41,62	42,06	40,66	37,48	49,81
	1	x	35,72	36,36	35,06	31,93	42,46
		y	35,48	36,07	34,80	31,74	42,27
AL	0	x	25,11	26,12	25,79	21,43	29,54
		y	24,96	25,90	25,67	21,27	29,47
	1	x	21,52	22,57	22,36	18,12	25,12
		y	21,39	22,39	22,24	18,00	25,06
BF	0	x	41,64	42,32	40,30	37,44	49,82
		y	41,30	41,89	39,95	37,19	49,51
	1	x	35,89	37,36	34,90	31,66	41,96
		y	35,60	36,99	34,60	31,46	41,69
BL	0	x	24,89	25,86	25,66	21,22	29,26
		y	24,71	25,61	25,53	21,05	29,19
	1	x	21,22	21,97	21,83	18,04	25,27
		y	21,06	21,75	21,70	17,89	25,21

**CASO STUDIO: Hotel, 256 simulazioni (risultati sia del LENI di edificio e subLENI di piano).**

1.1						
Nomencatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	45.18	61.88	39.81	37.19
		y	45.01	61.88	39.63	36.91
	1	x	38.41	52.60	33.83	31.61
		y	38.26	52.60	31.37	38.26
AL	0	x	24.62	36.36	20.05	19.40
		y	24.54	36.36	19.97	19.27
	1	x	20.93	30.91	17.05	16.49
		y	20.86	30.91	16.98	16.38
BF	0	x	44.46	61.42	39.00	36.33
		y	44.25	61.42	38.74	36.02
	1	x	37.79	52.21	33.15	30.88
		y	37.62	52.21	32.97	30.62
BL	0	x	24.24	36.12	19.64	18.95
		y	24.15	36.12	19.52	18.81
	1	x	20.61	30.70	16.69	16.11
		y	20.53	30.70	16.59	15.99

1.2						
Nomencatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	
AF	0	x	42.28	59.47	36.55	34.14
		y	42.12	59.47	36.39	33.88
	1	x	35.93	50.55	31.07	29.02
		y	35.80	50.55	30.93	28.80
AL	0	x	23.11	35.00	18.43	17.83
		y	23.03	35.00	18.36	17.71
	1	x	19.64	29.75	15.67	15.15
		y	19.58	29.75	15.61	15.05
BF	0	x	41.60	59.02	35.81	33.35
		y	41.41	59.02	35.57	33.06
	1	x	35.36	50.17	30.44	28.34
		y	35.20	50.17	30.24	28.10
BL	0	x	22.75	34.77	18.05	17.41
		y	22.67	34.77	17.95	17.28
	1	x	19.34	29.55	15.35	14.80
		y	19.27	29.55	15.35	14.69

1.3						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	39,37	57,05	33,30	31,09
		y	39,22	57,05	33,15	30,85
	1	x	33,46	48,49	28,30	26,43
		y	33,34	48,49	28,18	26,22
AL	0	x	21,59	33,64	16,82	16,26
		y	21,52	33,64	16,75	16,15
	1	x	18,35	28,60	14,30	13,82
		y	18,29	28,60	14,24	13,73
BF	0	x	38,74	56,61	32,62	30,36
		y	38,57	56,61	32,40	30,10
	1	x	32,93	48,12	27,73	25,81
		y	32,78	48,12	27,54	25,59
BL	0	x	21,26	33,41	16,47	15,88
		y	21,18	33,41	16,37	15,76
	1	x	18,07	28,40	14,00	13,50
		y	18,00	28,40	13,92	13,40

1.4						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	33,56	52,22	26,80	25,00
		y	33,44	52,22	26,68	24,80
	1	x	28,52	44,39	22,78	21,25
		y	28,42	44,39	22,67	21,08
AL	0	x	18,55	30,92	13,59	13,12
		y	18,50	30,92	13,53	13,03
	1	x	15,77	26,28	11,55	11,15
		y	15,72	26,28	11,50	11,08
BF	0	x	33,02	51,81	26,24	24,40
		y	32,88	51,81	26,06	24,81
	1	x	28,07	44,03	22,30	20,74
		y	27,95	44,03	22,15	20,56
BL	0	x	18,28	30,70	13,30	12,81
		y	18,21	30,70	13,22	12,71
	1	x	15,53	26,09	11,31	10,89
		y	15,48	26,09	11,24	10,81

2.1						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	44.37	59.80	39.59	36.89
		y	44.19	59.80	39.41	36.59
	1	x	37.72	52.60	33.83	31.61
		y	37.56	52.60	33.68	31.37
AL	0	x	24.17	35.14	19.95	19.25
		y	24.08	35.14	19.86	19.11
	1	x	20.54	29.87	16.95	16.36
		y	20.47	29.87	16.88	16.25
BF	0	x	43.61	59.20	38.77	36.06
		y	43.40	59.20	38.50	35.74
	1	x	37.07	50.32	32.95	30.65
		y	36.89	50.32	32.73	30.38
BL	0	x	23.77	34.82	19.53	18.82
		y	23.67	34.82	19.41	18.67
	1	x	20.20	29.60	16.60	15.99
		y	20.12	29.60	16.50	15.87

2.2						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	41.49	57.44	36.35	33.86
		y	41.32	57.44	36.18	33.58
	1	x	35.27	48.83	30.90	28.78
		y	35.13	48.83	30.75	28.55
AL	0	x	22.66	33.81	18.34	17.69
		y	22.58	33.81	18.26	17.56
	1	x	19.26	28.74	15.59	15.04
		y	19.20	28.74	15.52	14.93
BF	0	x	40.78	56.85	35.59	33.09
		y	40.58	56.85	35.35	32.79
	1	x	34.66	48.32	30.26	28.13
		y	34.50	48.32	30.05	27.88
BL	0	x	22.29	33.50	17.95	17.29
		y	22.20	33.50	17.84	17.15
	1	x	18.95	28.47	15.26	14.70
		y	18.87	28.47	15.16	14.58

2.3						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	38.61	55.08	33.11	30.83
		y	38.46	55.08	32.96	30.58
	1	x	32.82	46.82	28.14	26.21
		y	32.69	46.82	28.01	25.99
AL	0	x	21.16	32.48	16.73	16.13
		y	21.09	32.48	16.66	16.02
	1	x	17.98	27.60	14.22	13.71
		y	17.92	27.60	14.16	13.61
BF	0	x	37.95	54.50	32.42	30.13
		y	37.77	54.50	32.19	29.85
	1	x	32.26	46.33	27.56	25.61
		y	32.10	46.33	27.36	25.37
BL	0	x	20.81	32.17	16.38	15.77
		y	20.73	32.17	16.27	15.64
	1	x	17.69	27.34	13.92	13.40
		y	17.62	27.34	13.83	13.29

2.2						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo-terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	32.86	50.36	26.63	24.77
		y	32.73	50.36	26.51	24.56
	1	x	27.93	42.80	22.64	21.06
		y	27.82	42.80	22.53	20.88
AL	0	x	18.15	29.81	13.51	13.01
		y	18.09	29.81	13.45	12.92
	1	x	15.43	25.34	11.48	11.06
		y	15.38	25.34	11.43	10.98
BF	0	x	32.29	49.80	26.07	24.20
		y	32.14	49.80	25.88	23.97
	1	x	27.45	42.33	22.16	20.57
		y	27.32	42.33	22.00	20.37
BL	0	x	17.86	29.51	13.22	12.71
		y	17.79	29.51	13.14	12.61
	1	x	15.18	25.09	11.24	10.81
		y	15.12	25.09	11.17	10.72

3.1						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo- terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	43,63	57,88	39,40	36,63
		y	43,44	57,88	39,21	36,31
	1	x	37,08	49,19	33,49	31,14
		y	36,92	49,19	33,33	30,87
AL	0	x	23,74	34,01	19,85	19,13
		y	23,66	34,01	19,77	18,98
	1	x	20,18	28,91	16,88	16,26
y		20,11	28,91	16,81	16,13	
BF	0	x	42,84	57,14	38,57	35,83
		y	42,62	57,14	38,29	35,49
	1	x	36,41	48,57	32,79	30,45
y		36,25	48,64	32,55	30,17	
BL	0	x	23,33	33,61	19,43	18,70
		y	23,24	33,61	19,33	18,55
	1	x	19,83	28,57	16,52	15,90
		y	19,75	28,57	16,41	15,77

3.2						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo- terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	40,78	55,56	36,17	33,62
		y	40,60	55,56	36,00	33,32
	1	x	34,66	47,23	30,74	28,57
		y	34,51	47,23	30,60	28,33
AL	0	x	22,25	32,70	18,25	17,57
		y	22,17	32,70	18,17	17,44
	1	x	18,92	27,79	15,51	14,94
y		18,85	27,79	15,45	14,82	
BF	0	x	40,04	54,84	35,41	32,88
		y	39,83	54,84	35,15	32,56
	1	x	34,03	46,61	30,10	27,94
y		33,85	46,61	29,88	27,68	
BL	0	x	21,87	32,31	17,86	17,19
		y	21,77	32,31	17,74	17,04
	1	x	18,59	27,47	15,18	14,61
		y	18,51	27,47	15,08	14,49

3.3						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo- terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	37,92	53,25	32,94	30,60
		y	37,76	53,25	32,79	30,33
	1	x	32,23	45,26	28,00	26,01
		y	32,10	45,26	27,87	25,78
AL	0	x	20,76	31,39	16,65	16,02
		y	20,69	31,39	16,58	15,90
	1	x	17,65	26,68	14,15	13,62
y		17,59	26,68	14,09	13,51	
BF	0	x	37,23	52,54	32,25	29,92
		y	37,04	52,54	32,01	29,64
	1	x	31,65	44,66	27,41	25,44
y		31,48	44,66	27,21	25,19	
BL	0	x	20,40	31,01	16,29	15,67
		y	20,31	31,01	16,18	15,54
	1	x	17,34	26,36	13,85	13,32
		y	17,27	26,36	13,76	13,21

3.4						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo- terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	32,21	48,62	26,49	24,58
		y	32,08	48,62	26,36	24,35
	1	x	27,38	41,33	22,52	20,89
		y	27,27	41,33	22,41	20,70
AL	0	x	17,78	28,77	13,44	12,92
		y	17,72	28,77	13,38	12,82
	1	x	15,11	24,46	11,42	10,98
y		15,06	24,46	11,38	10,89	
BF	0	x	31,62	47,95	25,92	24,02
		y	31,46	47,95	25,73	23,78
	1	x	26,88	40,75	22,03	20,42
y		26,74	40,75	21,87	20,22	
BL	0	x	17,47	28,41	13,15	12,63
		y	17,40	28,41	13,06	12,52
	1	x	14,85	24,15	11,18	10,74
		y	14,79	24,15	11,10	10,46

4.1						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo- terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	42,77	56,16	39,05	36,07
		y	42,56	56,16	38,85	35,72
	1	x	36,36	47,73	33,19	30,66
		y	36,18	47,73	33,02	30,37
AL	0	x	23,29	33,03	19,68	18,85
		y	23,19	33,03	19,60	18,69
	1	x	19,79	28,08	16,73	16,03
y		19,71	28,08	16,66	15,89	
BF	0	x	41,90	55,30	38,15	35,21
		y	41,66	55,30	37,85	34,84
	1	x	35,62	47,01	32,43	29,93
y		35,41	47,01	32,17	29,61	
BL	0	x	22,84	32,58	19,23	18,41
		y	22,72	32,58	19,09	18,23
	1	x	19,41	27,69	16,34	15,65
		y	19,31	27,69	16,23	15,50

4.2						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo- terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	39,96	53,90	35,84	33,09
		y	39,76	53,90	35,66	32,77
	1	x	33,96	45,81	30,46	28,13
		y	33,80	45,81	30,31	27,85
AL	0	x	21,81	31,75	18,09	17,32
		y	21,73	31,75	18,01	17,17
	1	x	18,54	26,99	15,38	14,72
y		18,47	26,99	15,31	14,59	
BF	0	x	39,14	53,06	35,01	32,30
		y	38,91	53,06	34,73	31,95
	1	x	33,34	45,10	29,76	27,61
y		33,07	45,10	29,52	27,16	
BL	0	x	21,39	31,30	17,67	16,91
		y	21,28	31,30	17,54	16,75
	1	x	18,18	26,61	15,02	14,37
		y	18,09	26,61	14,91	14,23

4.3						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo- terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	37,14	51,64	32,64	30,11
		y	36,96	51,64	32,47	29,82
	1	x	31,57	43,89	27,74	25,60
		y	31,42	43,89	27,60	25,34
AL	0	x	20,34	30,47	16,50	15,78
		y	20,26	30,47	16,42	15,65
	1	x	17,29	25,90	14,02	13,42
		y	17,22	25,90	13,96	13,30
BF	0	x	36,37	50,82	31,88	29,38
		y	36,16	50,82	31,62	29,06
	1	x	30,92	43,19	27,09	24,98
		y	30,74	43,19	26,88	24,70
BL	0	x	19,94	30,03	16,11	15,41
		y	19,85	30,03	15,99	15,26
	1	x	16,95	25,52	13,70	13,10
		y	16,87	25,52	13,60	12,97

4.4						
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano Secondo- terzo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	31,50	47,12	26,23	24,16
		y	31,36	47,12	26,09	23,91
	1	x	26,78	40,05	22,29	20,53
		y	26,65	40,05	22,18	20,32
AL	0	x	17,40	27,90	13,31	12,71
		y	17,33	27,90	13,25	12,60
	1	x	14,79	23,72	11,32	10,81
		y	14,73	23,72	11,26	10,71
BF	0	x	30,85	46,33	25,60	23,56
		y	30,67	46,33	25,39	23,29
	1	x	26,22	39,38	21,76	20,02
		y	26,07	39,38	21,58	19,80
BL	0	x	17,05	27,48	13,00	12,41
		y	16,97	27,48	12,90	12,28
	1	x	14,49	23,36	11,05	10,55
		y	14,43	23,36	10,96	10,44

**CASO STUDIO: Ristorante, 128 simulazioni.**

1.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	33.31
	y	33.24
AL	x	19.04
	y	19.00
BF	x	33.10
	y	32.99
BL	x	18.91
	y	18.86

1.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	32.71
	y	32.69
AL	x	18.73
	y	18.69
BF	x	32.55
	y	32.45
BL	x	18.61
	y	18.55

1.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	32.21
	y	32.14
AL	x	18.43
	y	18.39
BF	x	32.00
	y	31.90
BL	x	18.30
	y	18.25

1.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	31.11
	y	31.05
AL	x	17.78
	y	17.78
BF	x	30.90
	y	30.81
BL	x	17.69
	y	17.64

2.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	33.00
	y	32.91
AL	x	18.86
	y	18.81
BF	x	32.80
	y	32.67
BL	x	18.75
	y	18.68

2.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	32.45
	y	32.37
AL	x	18.56
	y	18.51
BF	x	32.25
	y	32.13
BL	x	18.44
	y	18.38

2.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	31.91
	y	31.82
AL	x	18.25
	y	18.21
BF	x	31.71
	y	31.59
BL	x	18.14
	y	18.07

2.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	30.74
	y	30.81
AL	x	17.65
	y	17.60
BF	x	30.62
	y	30.51
BL	x	17.53
	y	17.47

3.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	32.70
	y	32.59
AL	x	18.69
	y	18.63
BF	x	32.50
	y	32.35
BL	x	18.58
	y	18.50

3.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	32.16
	y	32.05
AL	x	18.39
	y	18.33
BF	x	31.96
	y	31.82
BL	x	18.28
	y	18.19

3.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	31.61
	y	31.51
AL	x	18.09
	y	18.03
BF	x	31.42
	y	31.28
BL	x	17.98
	y	17.90

3.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	30.53
	y	30.43
AL	x	17.48
	y	17.43
BF	x	30.34
	y	30.20
BL	x	17.37
	y	17.30

4.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	32.41
	y	32.28
AL	x	18.54
	y	18.47
BF	x	32.16
	y	31.99
BL	x	18.40
	y	18.30

4.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	31.87
	y	31.75
AL	x	18.24
	y	18.17
BF	x	31.63
	y	31.46
BL	x	18.10
	y	18.00

4.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	31.34
	y	31.22
AL	x	17.90
	y	17.87
BF	x	31.09
	y	30.93
BL	x	17.79
	y	17.70

4.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	x	30.26
	y	30.15
AL	x	17.33
	y	17.27
BF	x	30.03
	y	29.87
BL	x	17.20
	y	17.11

**CASO STUDIO: Palestra, 256 simulazioni (risultati sia del LENI di edificio e subLENI di piano).**

1.1					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	40.35	45.59	23.20
		y	40.19	45.45	22.99
	1	x	34.29	38.75	19.72
		y	34.16	38.63	19.54
AL	0	x	15.10	17.02	8.80
		y	15.01	16.93	8.72
	1	x	12.84	14.47	7.48
		y	12.76	14.39	7.41
BF	0	x	39.67	44.78	22.97
		y	39.52	44.65	22.75
	1	x	33.72	38.06	19.52
		y	33.59	37.95	19.34
BL	0	x	14.95	16.87	8.68
		y	14.84	16.76	8.59
	1	x	12.71	14.34	7.38
		y	12.62	14.24	7.30

1.2					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	40.13	45.37	22.98
		y	39.97	45.23	22.76
	1	x	34.11	38.56	19.53
		y	33.98	38.45	19.35
AL	0	x	15.00	16.92	8.71
		y	14.91	16.83	8.62
	1	x	12.75	14.39	7.41
		y	12.68	14.31	7.33
BF	0	x	39.45	44.56	22.74
		y	39.30	44.43	22.52
	1	x	33.54	37.88	19.33
		y	33.41	37.77	19.15
BL	0	x	14.85	16.77	8.59
		y	14.75	16.66	8.50
	1	x	12.62	14.25	7.30
		y	12.54	14.16	7.22

1.3					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	39.91	45.15	22.75
		y	39.75	45.02	22.53
	1	x	33.92	38.38	19.34
		y	33.79	38.26	19.15
AL	0	x	14.90	16.83	8.62
		y	14.81	16.73	8.53
	1	x	12.67	14.30	7.33
		y	12.59	14.22	7.25
BF	0	x	39.24	44.35	22.51
		y	39.09	44.22	22.30
	1	x	33.35	37.69	19.14
		y	33.22	37.58	18.95
BL	0	x	14.76	16.67	8.50
		y	14.65	16.56	8.41
	1	x	12.54	14.17	7.22
		y	12.45	14.08	7.15

1.4					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	39.47	44.72	22.29
		y	39.31	44.58	22.08
	1	x	33.55	38.01	18.95
		y	33.42	37.89	18.76
AL	0	x	14.71	16.63	8.44
		y	14.62	16.54	8.35
	1	x	12.50	14.13	7.17
		y	12.43	14.06	7.10
BF	0	x	38.80	43.92	22.06
		y	38.65	43.79	21.85
	1	x	32.98	37.33	18.75
		y	32.85	37.22	18.57
BL	0	x	14.56	16.47	8.32
		y	14.46	16.36	8.23
	1	x	12.38	14.00	7.07
		y	12.29	13.91	7.00

2.1					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	38.97	44.03	22.41
		y	38.78	43.87	22.14
	1	x	33.13	38.75	19.72
		y	32.97	38.63	19.54
AL	0	x	14.55	16.42	8.45
		y	14.45	16.32	8.33
	1	x	12.37	13.96	7.18
		y	12.28	13.87	7.08
BF	0	x	38.33	43.26	22.18
		y	38.15	43.11	21.90
	1	x	32.58	36.77	18.85
		y	32.42	36.64	18.62
BL	0	x	14.41	16.27	8.33
		y	14.28	16.14	8.21
	1	x	12.25	13.83	7.08
		y	12.14	13.72	6.98

2.2					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	38.76	43.64	22.19
		y	38.56	43.82	21.92
	1	x	32.94	37.10	18.86
		y	32.77	37.10	18.63
AL	0	x	14.46	16.32	8.36
		y	14.35	16.22	8.24
	1	x	12.29	13.88	7.10
		y	12.20	13.79	7.01
BF	0	x	38.11	43.05	21.95
		y	37.93	42.90	21.68
	1	x	32.40	36.59	18.66
		y	32.24	36.46	18.43
BL	0	x	14.31	16.17	8.24
		y	14.19	16.04	8.12
	1	x	12.16	13.74	7.00
		y	12.06	13.64	6.91

2.1					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	38.31	43.44	21.79
		y	38.50	43.60	21.52
	1	x	32.76	36.93	18.67
		y	32.60	36.93	18.44
AL	0	x	14.36	16.23	8.27
		y	14.26	16.12	8.15
	1	x	12.21	13.79	7.03
		y	12.12	13.70	6.93
BF	0	x	37.90	42.84	21.73
		y	37.72	42.69	21.46
	1	x	32.21	36.41	18.47
		y	32.06	36.28	18.24
BL	0	x	14.22	16.07	8.15
		y	14.10	15.95	8.04
	1	x	12.08	13.66	6.93
		y	11.98	13.56	6.83

2.4					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	38.10	43.17	21.52
		y	37.92	43.02	21.24
	1	x	32.39	36.70	18.29
		y	32.23	36.56	18.06
AL	0	x	14.17	16.03	8.09
		y	14.06	15.92	7.98
	1	x	12.04	13.62	6.88
		y	11.95	13.54	6.78
BF	0	x	37.47	42.41	21.29
		y	37.29	42.26	21.02
	1	x	31.85	36.05	18.10
		y	31.70	35.92	17.87
BL	0	x	14.03	15.88	7.97
		y	13.91	15.75	7.86
	1	x	11.92	13.50	6.78
		y	11.82	13.39	6.68

3.1					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	37.69	42.59	21.65
		y	37.47	42.40	21.32
	1	x	32.03	36.20	18.40
		y	31.85	36.04	18.12
AL	0	x	14.05	15.86	8.10
		y	13.93	15.75	7.97
	1	x	11.94	13.48	6.89
		y	11.86	13.42	6.77
BF	0	x	37.06	41.85	21.41
		y	36.85	41.67	21.08
	1	x	31.50	35.57	18.20
		y	31.32	35.42	17.92
BL	0	x	13.90	15.71	7.99
		y	13.76	15.57	7.85
	1	x	11.82	13.35	6.79
		y	11.70	13.23	6.67

3.2					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	37.47	42.38	21.43
		y	37.25	42.19	21.10
	1	x	31.85	36.02	18.21
		y	31.67	35.86	17.93
AL	0	x	13.95	15.77	8.02
		y	13.83	15.65	7.88
	1	x	11.86	13.40	6.81
		y	11.75	13.30	6.70
BF	0	x	36.85	41.63	21.20
		y	36.64	41.46	20.87
	1	x	31.32	35.39	18.02
		y	31.14	35.24	17.74
BL	0	x	13.81	15.61	7.90
		y	13.67	15.47	7.77
	1	x	11.74	13.27	6.72
		y	11.62	13.15	6.60

3.3					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	37.26	42.16	21.21
		y	37.04	41.98	20.88
	1	x	31.67	35.84	18.03
		y	31.48	35.68	17.75
AL	0	x	13.86	15.67	7.93
		y	13.74	15.55	7.79
	1	x	11.78	13.32	6.74
		y	11.67	13.22	6.62
BF	0	x	36.64	41.42	20.98
		y	36.43	41.25	20.65
	1	x	31.14	35.21	17.83
		y	30.96	35.06	17.55
BL	0	x	13.71	15.52	7.82
		y	13.58	15.38	7.68
	1	x	11.66	13.19	6.64
		y	11.54	13.07	6.53

3.4					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	36.83	41.74	20.77
		y	36.61	41.56	20.44
	1	x	31.31	35.48	17.65
		y	31.12	35.32	17.37
AL	0	x	13.67	15.48	7.75
		y	13.55	15.36	7.62
	1	x	11.62	13.16	6.59
		y	11.51	13.06	6.47
BF	0	x	36.21	41.00	20.54
		y	36.01	40.83	20.21
	1	x	30.78	34.85	17.46
		y	30.61	34.71	17.18
BL	0	x	13.53	15.33	7.64
		y	13.39	15.19	7.51
	1	x	11.50	13.03	6.50
		y	11.38	12.91	6.38

4.1					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	36.46	41.27	20.71
		y	36.20	41.05	20.33
	1	x	30.99	35.08	17.60
		y	30.77	34.89	17.28
AL	0	x	13.50	15.29	7.65
		y	13.35	15.14	7.49
	1	x	11.48	13.00	6.50
		y	11.35	12.87	6.37
BF	0	x	35.83	40.54	20.42
		y	35.58	40.33	20.04
	1	x	30.46	34.46	17.36
		y	30.24	34.28	17.04
BL	0	x	13.32	15.09	7.51
		y	13.15	14.93	7.35
	1	x	11.32	12.83	6.38
		y	11.18	12.69	6.25

4.2					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	36.25	41.06	20.50
		y	35.99	40.84	20.12
	1	x	30.81	34.90	17.42
		y	30.59	34.71	17.10
AL	0	x	13.41	15.19	7.57
		y	13.26	15.05	7.41
	1	x	11.40	12.91	6.43
		y	11.27	12.79	6.30
BF	0	x	35.62	40.33	20.22
		y	35.37	40.12	19.83
	1	x	30.28	34.28	17.18
		y	30.07	34.10	16.86
BL	0	x	13.23	15.00	7.43
		y	13.07	14.84	7.27
	1	x	11.24	12.75	6.31
		y	11.11	12.61	6.18

4.3					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	36.04	40.85	20.29
		y	35.78	40.63	19.91
	1	x	30.63	34.72	17.24
		y	30.41	34.54	16.92
AL	0	x	13.32	15.10	7.49
		y	13.17	14.95	7.33
	1	x	11.32	12.83	6.36
		y	11.19	12.71	6.23
BF	0	x	35.45	40.12	20.01
		y	35.17	39.32	19.63
	1	x	30.10	34.11	17.01
		y	28.89	33.93	16.68
BL	0	x	13.14	14.90	7.35
		y	12.97	14.74	7.19
	1	x	11.17	12.67	6.24
		y	11.03	12.53	6.11

4.4					
Nomenclatura			LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	x	35.62	40.43	19.87
		y	35.36	40.21	19.48
	1	x	30.27	34.37	16.89
		y	30.06	34.18	16.56
AL	0	x	13.13	14.91	7.32
		y	12.99	14.76	7.16
	1	x	11.16	12.67	6.22
		y	11.04	12.55	6.09
BF	0	x	35.00	39.71	19.59
		y	34.75	39.51	19.21
	1	x	29.75	33.75	16.65
		y	29.54	33.58	16.33
BL	0	x	12.95	14.72	7.18
		y	12.79	14.55	7.02
	1	x	11.01	12.51	6.10
		y	10.87	12.37	5.97

**CASO STUDIO: Centro Commerciale, 128 simulazioni (risultati sia del LENI di edificio e subLENI di piano).**

1.1					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	42.45	11.24	62.55	54.18
	1	36.09	9.55	53.18	46.06
AL	0	25.19	6.29	39.27	30.29
	1	21.55	5.35	33.38	26.18
BF	0	42.21	11.24	62.03	53.97
	1	35.93	9.55	52.73	46.03
BL	0	24.96	6.29	38.87	30.01
	1	21.22	5.35	33.04	25.51

1.2					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.70	11.02	61.48	53.23
	1	35.68	9.36	52.82	45.38
AL	0	24.91	6.17	38.99	29.85
	1	21.31	5.25	33.15	25.79
BF	0	41.70	11.02	61.48	53.23
	1	35.57	9.36	52.25	45.62
BL	0	24.64	6.17	38.49	29.56
	1	20.95	5.25	32.71	25.12

1.3					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.53	10.82	61.72	52.65
	1	35.34	9.20	52.46	44.75
AL	0	24.65	6.07	38.72	29.43
	1	21.08	5.16	32.91	25.43
BF	0	41.14	10.82	60.91	52.28
	1	35.01	9.20	51.78	44.57
BL	0	24.34	6.07	38.13	29.11
	1	20.76	5.16	32.61	24.75

1.4					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.11	10.46	61.37	52.08
	1	34.94	8.89	52.17	44.27
AL	0	24.39	5.87	38.50	29.08
	1	20.78	4.99	32.72	24.86
BF	0	40.85	10.46	60.66	52.04
	1	34.73	8.89	51.56	44.23
BL	0	24.04	5.87	37.81	28.71
	1	20.43	4.99	32.14	24.40

2.1					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	42.41	11.24	62.47	54.15
	1	36.09	9.55	53.18	46.06
AL	0	25.16	6.29	39.21	30.27
	1	21.46	5.35	33.33	25.95
BF	0	42.17	11.24	61.94	53.94
	1	35.84	9.55	52.65	45.85
BL	0	24.94	6.29	38.81	29.99
	1	21.19	5.35	32.99	25.49

2.2					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.62	11.02	61.38	53.07
	1	35.65	9.36	52.73	45.37
AL	0	24.88	6.17	38.93	29.83
	1	21.22	5.25	33.09	25.58
BF	0	41.62	11.02	61.38	53.07
	1	35.42	9.36	52.17	45.24
BL	0	24.62	6.17	38.43	29.53
	1	20.93	5.25	32.67	25.10

2.3					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.49	10.82	61.63	52.61
	1	35.27	9.20	52.38	44.72
AL	0	24.62	6.07	38.66	29.41
	1	20.93	5.16	32.86	25.00
BF	0	41.14	10.82	60.89	52.28
	1	34.97	9.20	51.76	44.46
BL	0	24.32	6.07	38.07	29.09
	1	20.67	5.16	32.36	24.73

2.4					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.49	10.82	61.63	52.61
	1	35.27	9.20	52.38	44.72
AL	0	24.62	6.07	38.66	29.41
	1	20.93	5.16	32.86	25.00
BF	0	41.14	10.82	60.89	52.28
	1	34.97	9.20	51.76	44.46
BL	0	24.32	6.07	38.07	29.09
	1	20.67	5.16	32.36	24.73

3.1					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	42.37	11.24	62.38	54.11
	1	36.01	9.55	53.02	46.00
AL	0	25.14	6.29	39.16	30.25
	1	21.33	5.35	33.29	25.71
BF	0	42.12	11.24	61.85	53.90
	1	35.74	9.55	52.42	45.76
BL	0	24.91	6.29	38.76	29.97
	1	21.17	5.35	32.95	25.47

3.2					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.58	11.02	61.29	53.04
	1	35.61	9.36	52.65	45.33
AL	0	24.86	6.17	38.88	29.81
	1	21.17	5.25	33.04	25.47
BF	0	41.58	11.02	61.29	53.04
	1	35.35	9.36	52.10	45.09
BL	0	24.60	6.17	38.38	29.51
	1	20.90	5.25	32.62	25.08

3.3					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.46	10.82	61.55	52.59
	1	35.24	9.20	52.25	44.70
AL	0	24.60	6.07	38.61	29.40
	1	20.91	5.16	32.83	24.99
BF	0	41.09	10.82	60.74	52.22
	1	34.91	9.20	51.63	44.42
BL	0	24.30	6.07	38.02	29.07
	1	20.65	5.16	32.32	24.71

3.4					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.02	10.46	61.21	51.96
	1	34.86	8.89	52.03	44.17
AL	0	24.34	5.87	38.39	29.04
	1	20.69	4.99	32.63	24.68
BF	0	40.57	10.46	60.27	51.58
	1	34.49	8.89	51.23	43.84
BL	0	23.99	5.87	37.70	28.65
	1	20.39	4.99	32.05	24.36

4.1					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	42.29	11.24	62.20	54.05
	1	35.94	9.55	52.87	45.94
AL	0	25.09	6.29	39.05	30.21
	1	21.32	5.35	33.19	25.68
BF	0	42.05	11.24	61.68	53.85
	1	35.74	9.55	52.42	45.76
BL	0	24.86	6.29	38.65	29.92
	1	21.13	5.35	32.85	25.44

4.2					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.49	11.02	61.10	52.96
	1	35.56	9.36	52.58	45.27
AL	0	24.81	6.17	38.77	29.77
	1	21.07	5.25	32.95	25.27
BF	0	41.49	11.02	61.10	52.96
	1	35.23	9.36	51.81	45.02
BL	0	24.55	6.17	38.27	29.47
	1	20.86	5.25	32.53	25.05

4.3					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	41.40	10.82	61.45	52.51
	1	35.05	9.20	51.83	44.63
AL	0	24.54	6.07	38.50	29.33
	1	20.86	5.16	32.73	24.93
BF	0	41.01	10.82	60.61	52.16
	1	34.84	9.20	51.52	44.31
BL	0	24.24	6.07	37.91	29.03
	1	20.63	5.16	32.30	24.68

4.4					
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Parcheggio (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m <sup>2</sup> anno)	LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	40.94	10.46	61.02	51.91
	1	34.75	8.89	51.74	44.13
AL	0	24.30	5.87	38.29	29.02
	1	20.65	4.99	32.55	24.65
BF	0	40.49	10.46	60.09	51.49
	1	34.42	8.89	51.09	43.76
BL	0	23.94	5.87	37.59	28.62
	1	20.36	4.99	32.01	24.32

**CASO STUDIO: Industria tessile, 128 simulazioni.**

1.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	100.91
	1	85.81
AL	0	44.74
	1	37.90
BF	0	90.07
	1	76.71
BL	0	40.14
	1	34.23

1.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	98.01
	1	83.18
AL	0	43.24
	1	36.73
BF	0	87.83
	1	74.49
BL	0	38.96
	1	33.23

1.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	94.89
	1	80.56
AL	0	41.85
	1	35.55
BF	0	85.19
	1	72.28
BL	0	37.78
	1	32.23

1.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	88.65
	1	75.30
AL	0	38.98
	1	33.19
BF	0	79.92
	1	67.85
BL	0	35.42
	1	30.24

2.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	96.15
	1	85.81
AL	0	42.34
	1	35.96
BF	0	83.42
	1	70.73
BL	0	37.41
	1	31.59

2.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	93.12
	1	79.03
AL	0	40.99
	1	34.82
BF	0	80.96
	1	68.67
BL	0	35.92
	1	30.66

2.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	90.08
	1	76.47
AL	0	39.65
	1	33.68
BF	0	78.50
	1	66.60
BL	0	34.82
	1	29.73

2.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	90.08
	1	76.47
AL	0	39.65
	1	33.68
BF	0	78.50
	1	66.60
BL	0	34.82
	1	29.73

3.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	91.33
	1	77.49
AL	0	40.13
	1	34.80
BF	0	76.46
	1	64.82
BL	0	33.92
	1	28.97

3.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	88.38
	1	75.01
AL	0	38.82
	1	32.98
BF	0	74.17
	1	62.90
BL	0	33.95
	1	28.11

3.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	85.43
	1	72.52
AL	0	37.52
	1	31.87
BF	0	71.89
	1	60.98
BL	0	31.88
	1	27.25

3.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	79.52
	1	67.55
AL	0	34.83
	1	29.66
BF	0	67.32
	1	57.15
BL	0	28.53
	1	25.52

4.1		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	87.12
	1	73.91
AL	0	38.20
	1	32.44
BF	0	69.66
	1	59.04
BL	0	30.90
	1	26.45

4.2		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	84.23
	1	71.48
AL	0	36.92
	1	31.36
BF	0	67.55
	1	57.27
BL	0	29.97
	1	25.66

4.3		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	81.34
	1	69.05
AL	0	35.65
	1	30.28
BF	0	65.45
	1	55.51
BL	0	29.03
	1	24.55

4.4		
Nomenclatura		LENI kWh/(m <sup>2</sup> anno)
AF	0	75.57
	1	64.19
AL	0	33.10
	1	28.12
BF	0	58.82
	1	51.98
BL	0	27.16
	1	23.28

## 9. Abbreviazioni ed acronimi

Abbreviazione	Descrizione
R.A.I.	Rapporto aeroilluminante
LENI	Lighting Energy Numerical Indicator [kWh/m <sup>2</sup> ·yr]
$F_c$	Constant illuminance factor
$F_{oc}$	Controls function factor
$F_{DC}$	Correction factor for daylight responsive control
$F_O$	Occupancy dependency factor
$F_A$	Absence factor
$E_m$	Illuminamento che il sistema di illuminazione deve garantire[lx]

## 10. Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

**Laura Pompei**, nata a Roma nel 1992, è laureata in Architettura nel 2017 con 110/110 e Lode presso la Sapienza, Università di Roma – Facoltà di Architettura.

Dopo la laurea, ha svolto un tirocinio post – laurea all'estero (durata 4 mesi) in uno studio di Architettura e Design internazionale, nella città di Barcellona. Ha conseguito il dottorato di Ricerca in Energia e Ambiente nel Febbraio 2021 presso la Sapienza, Università di Roma. Durante il dottorato, sono stati affrontati vari temi legati all'energia ed all'ambiente, quali l'illuminazione, l'efficienza energetica degli edifici e lo sviluppo delle tematiche legate alle Smart Cities.

Molte di queste attività sono state realizzate in collaborazione con enti di ricerca ed altre università sia nazionali che internazionali. Da Febbraio 2021 ad oggi è assegnista di ricerca presso il DIAEE, Sapienza Università di Roma. È autrice di oltre dieci pubblicazioni di rilevanza internazionale e testimoniate dai parametri bibliometrici.

**Ferdinando Salata** ha conseguito la Laurea V.O. in Ingegneria Meccanica nel 2003 ed il titolo di Dottore di Ricerca in Fisica Tecnica nel 2008. Ha usufruito di 8 Assegni di Ricerca (dal 2009 al 2017) su tematiche tipiche della Fisica Tecnica, tra cui lo studio del comfort termoisolometrico in ambienti esterni e l'ottimizzazione dei consumi energetici degli ambienti costruiti.

È in possesso dell'Abilitazione Scientifica Nazionale per la Seconda Fascia nel SC 09/C2 (Fisica Tecnica e Ingegneria Nucleare), conseguita nel 2017, ed è attualmente al suo quinto anno come RTD-A presso il DIAEE. Ha inoltre svolto con continuità attività di supporto alla didattica nell'ambito dei Corsi di Laurea in Ingegneria Elettrica, Ingegneria edile-Architettura ed Ingegneria Clinica; a partire dalla sua presa di servizio in qualità di RTD-A, gli sono stati affidati gli insegnamenti di Fisica Tecnica per il Corso di Laurea in Ingegneria Clinica (9 CFU, SSD ING-IND/10), di Fisica Tecnica Ambientale per il Corso di Laurea in Architettura CU (8 CFU, SSD ING-IND/11) e di Fisica Tecnica Ambientale per il Corso di Laurea in Scienze dell'Architettura (8 CFU, SSD ING-IND/11). È stato proponente del Progetto di Ricerca Medio finanziato dall'Ateneo nel 2018 dal titolo: "L'intelligenza artificiale applicata all'ottimizzazione energetica e manutentiva degli edifici civili: algoritmi genetici per la progettazione di sistemi involucro-impianti con standard near Zero Energy Building (nZEB) e simulazioni dinamiche predittive in ambienti ad n variabili multi obiettivo."; è stato responsabile delle simulazioni numeriche svolte nell'ambito della ricerca Progetti Strategici" POR FESR LAZIO 2014-2020. Asse 1 - Ricerca e Innovazione - Obiettivo tematico 1 Azione 1.1.4 con sovvenzione, promosso dalla Regione Lazio con il progetto dal titolo "PROPER EFFECT: Piattaforma interOPERabile collaborativa per l'EFFiciEntamento energetiCo di asseT immobiliari"; ha partecipato alla ricerca finanziata dal PRIN 2009 con il progetto dal titolo: "Ottimizzazione e validazione di modelli per i fenomeni fisici che determinano il microclima urbano. Metodi di valutazione degli effetti sul benessere ambientale". L'attività di ricerca svolta nell'ambito delle tematiche di interesse per la Fisica Tecnica Ambientale ha ottenuto un buon riconoscimento presso la comunità scientifica nazionale ed internazionale, testimoniato dai suoi parametri bibliometrici, avendo pubblicato numerosi articoli caratterizzati da un buon grado di originalità e innovazione su prestigiose riviste internazionali. In particolare, la sua attività di ricerca ha gli aspetti fondamentali ed applicativi dell'energetica, della trasmissione del calore, dell'illuminazione e dell'acustica applicata negli ambiti dell'ingegneria. Sviluppando conoscenze riguardanti la fisica dell'ambiente confinato, i condizionamenti ambientali per il benessere dell'uomo, le metodologie di analisi ambientale, le tecnologie passive ed i sistemi impiantistici per il soddisfacimento dei requisiti ambientali, la pianificazione energetica ed ambientale e la gestione dei servizi energetici a scala

territoriale, urbana ed edilizia attraverso un uso razionale dell'energia; delle fonti energetiche e tecnologie correlate; il contenimento degli inquinamenti termici, atmosferici, luminosi ed acustici.

**Lorenzo Fusilli**, laureato in scienze geologiche alla Sapienza Università di Roma e possiede la licenza di pilota UAV - ENAC (aviazione civile italiana). E' tecnico per la prevenzione del rischio idrogeologico. Attualmente frequenta l'ultimo anno del Master di 2° livello in "GESTIONE INTEGRATA DI SALUTE E SICUREZZA NELL'EVOLUZIONE DEL MONDO DEL LAVORO". Tecnico di laboratorio presso la sezione di Fisica tecnica del DIAEE 2009–2019. Si è occupato in diversi settori del telerilevamento multi-iperspettrale aereo e satellitare, in particolare sul pre-processing dei dati (calibrazione, correzione geometrica e atmosferica), mappatura della copertura del suolo e della vegetazione degli ambienti naturali e dei corpi idrici interni, change detection e analisi di serie temporali di immagini multisensori. Ha esperienza sulla risposta spettrale di superfici naturali, sulle procedure di classificazione e sulla valutazione delle prestazioni di algoritmi, sull'elaborazione di immagini satellitari per la derivazione di parametri ambientali. Ha partecipato a diverse campagne CAL/VAL, sia a livello nazionale che internazionale, misure in campo con spettro-radiometri, acquisizioni di verità al suolo. Ha pubblicato più di cinquanta articoli scientifici su riviste internazionali.

**Stefano Grignaffini**, laureato in Ingegneria Civile-Edile, dottorato in Fisica Tecnica e professore Associato presso il Dipartimento di Fisica Tecnica della Facoltà di Ingegneria. Ha lavorato sulla progettazione di impianti elettrici, termomeccanici, antincendio e fotovoltaici. Interesse e applicazioni nell'uso delle fonti rinnovabili, riqualificazione energetica e prestazione energetiche degli edifici. È docente di corsi di Fisica Tecnica presso la Facoltà di Ingegneria della "Sapienza", Università di Roma. È attualmente anche docente del corso di "Impianti Termici" sempre presso la Facoltà di Ingegneria della "Sapienza", Università di Roma. E' autore di circa 100 pubblicazioni su riviste e atti di congressi nazionali ed internazionali, nei settori della trasmissione del calore, dell'energetica, della termodinamica, degli impianti ed apparati termici, della termofisica dell'edificio, dell'acustica applicata e dell'illuminotecnica. Si riporta nel seguito una sintesi degli argomenti affrontati nei singoli lavori scientifici. Nel campo della trasmissione del calore e della termo fluidodinamica: ricerche sull'ottimizzazione di sistemi alettati per il raffreddamento di apparati elettronici in condizioni di convezione naturale e forzata; sulla determinazione di campi termici in elementi per l'edilizia; sul comportamento termofluidodinamica di getti d'aria turbolenti in campo libero ed in campo confinato. Nel campo delle proprietà termofisiche dei materiali: ricerche teoriche e sperimentali sulla misura della conducibilità termica di materiali omogenei e non omogenei; sulla determinazione della resistenza termica di pareti in opera. Nel campo degli impianti ed apparati termici: ricerche teoriche su impianti di cogenerazione; sulle macchine frigorifere ad assorbimento; su sistemi passivi di climatizzazione; sulle problematiche ambientali legate allo sfruttamento energetico di sostanze ad alto contenuto organico; sulla valutazione dell'inquinamento in ambienti confinati. Nel campo della termofisica dell'edificio principalmente ricerche sulle misure di umidità nelle murature di un edificio storico. Nel campo dell'acustica applicata: ricerche sulla progettazione e valutazione acustica di sale; sulla caratterizzazione acustica del territorio urbano; lavori sulla valutazione del comfort acustico all'interno di autobus urbani. Nel campo dell'illuminotecnica: ricerche teorico-sperimentali sulle possibilità di utilizzo della luce naturale per l'illuminazione di ambienti ipogei; sulla valutazione dell'errore conseguente all'utilizzo di software per la progettazione illuminotecnica di ambienti esterni.

**Fabio Bisegna**, Ingegnere, Dottore di Ricerca e Professore di II fascia presso il Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica di SAPIENZA Università di Roma, docente presso la Facoltà di Ingegneria (Fisica Tecnica e Progettazione delle Smart Cities). Membro del Collegio del Dottorato di Ricerca in Energia e Ambiente. Membro dell'Istituto Conservazione e Valorizzazione Beni Culturali (ICVBC) del CNR. E' stato consulente per il Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare per supportare attività legate agli impegni italiani negli organismi internazionali. Autore di circa 150 lavori pubblicati su riviste e congressi nazionali ed internazionali. E' referee per importanti congressi e riviste scientifiche internazionali. Associate Editor del Journal of Cultural Heritage (Elsevier) e dell'International Journal of Photoenergy. Partecipa attivamente a gruppi di ricerca nazionali e internazionali finanziati e/o sostenuti da CNR, ENEA, MIUR, IEA. E' stato uno dei contatti chiave per l'Italia nell'Annex 45 (2004-2008) della IEA, "Energy Efficient Electric Lighting for Buildings". Dal 2013 al 2015 è stato delegato italiano in CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) per la Divisione 6: Fotobiologia e Fotochimica. È stato membro di diverse Commissioni Tecniche CIE. È stato co-chair del CIE JTC4 (Div.3-Div.6) "Benefits of Windows in Buildings during Daylight Hours". È membro dell' European Energy Research Alliance nell'ambito del Joint Program on Smart Cities and Communities. È membro di Comitati Organizzativi e Tecnici di Conferenze Nazionali e Internazionali (AEIT, IEEE, IBPSA). Attualmente, nell'ambito della ricerca, si occupa degli aspetti visivi, non visivi ed energetici associati alla radiazione luminosa naturale e/o artificiale, con sviluppi in ambito fotobiologico e della sicurezza per la popolazione e per i lavoratori. Si occupa inoltre di aspetti connessi con lo sviluppo delle smart cities per le tematiche relative all'energia, al comfort e alla sicurezza.