RdS
RICERCA DI SISTEMA

ENEA
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Ricerca di Sistema elettrico

PELL: Studio dei valori di soglia del LENI di alcune destinazioni d'uso in contesto internazionale (LA2.12)

F. Bisegna, F. Vespasiano, L. Pompei

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

RdS_PTR22-24_PR1.7_LA2.12_365

PELL: Studio dei valori di soglia del LENI di alcune destinazioni d'uso in contesto internazionale

LA 2.12: PELL: Studio dei valori di soglia del LENI di alcune destinazioni d'uso in contesto internazionale

F. Bisegna, F. Vespasiano, L. Pompei (Università "La Sapienza" di Roma)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.7 – Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: *LA 2.12*

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Fabio Moretti, ENEA

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 13

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studio dei valori di soglia del LENI di alcune destinazioni d'uso in contesto internazionale"

Si ringrazia per la collaborazione alle attività svolte la tesista triennale in Ingegneria energetica della Sapienza Elettra Maria Orsolini, ed il dottorando dell'Università di Brasilia Lucìdio Gomes Avelino Filho

Indice

1 Risultati attesi 4
2 Risultati ottenuti 5
2.1 Verifica del calcolo delle sloped windows nel software LENICALC 5
2.2 Analisi di due destinazioni d'uso in diverse località climatiche 5
2.2.1 Edificio scolastico situato in Egitto 5
2.2.2 Edificio scolastico situato in Svezia 6
2.2.3 Ufficio situato in Egitto 7
2.2.4 Ufficio situato in Svezia 7
2.3 Allineamento versione LeniWeb 8
3 Analisi degli scostamenti su attività e risultati 9
4 Sintesi delle attività svolte 10
5 Dettaglio delle attività svolte 11
5.1 Verifica del calcolo della sloped window in LENICALC 11
5.2 Analisi di due destinazioni d'uso in diverse località climatiche 12
5.2.1 Edificio scolastico situato in Egitto 12
5.2.2 Edificio scolastico situato in Svezia 13
5.2.3 Ufficio situato in Egitto 14
5.2.4 Ufficio situato in Svezia 15
5.3 Allineamento versione LeniWeb 16
6 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte 17
7 Pubblicazioni scientifiche 18
8 Eventi di disseminazione 19

Indice delle figure

Figura 1. Screen della stanza per la finestra vertical 11
Figura 2. Screen della stanza per la finestra horizontal 11
Figura 3. Planimetria edificio scolastico egiziano 12
Figura 4. Grafico dello schema delle combinazioni dell'edificio scolastico egiziano 13
Figura 5. Planimetria piano terra edificio scolastico svedese 14
Figura 6. Planimetria primo piano edificio scolastico svedese 14
Figura 7. Planimetria piano tipo ufficio egiziano.....15
Figura 8. Planimetria piano tipo ufficio svedese.....15

Indice delle tabelle

Tabella 1. Risultati in relazione alla variazione di un parametro edificio scolastico egiziano 6
Tabella 2. Risultati in relazione alla variazione di un parametro edificio scolastico svedese 6
Tabella 3. Risultati in relazione alla variazione di un parametro ufficio egiziano 7
Tabella 4. Risultati in relazione alla variazione di un parametro ufficio svedese 8

1 Risultati attesi

L'esecuzione delle attività previste nel progetto "Studio dei valori di soglia del LENI di alcune destinazioni d'uso in contesto internazionale" per il PTR 2022-2024 è finalizzata al raggiungimento di una serie di risultati chiave, che possano contribuire significativamente al progresso nella modellazione energetica e alla definizione di parametri normativi per l'efficienza energetica degli edifici. I risultati attesi possono essere suddivisi in tre gruppi fondamentali, corrispondenti alle fasi operative del progetto.

La prima fase del progetto si concentra sulla verifica del calcolo delle superfici inclinate (sloped window) all'interno del software LENICALC. In questa fase, l'obiettivo è quello di sviluppare test preliminari per valutare la correttezza e la coerenza del calcolo rispetto agli standard tecnici e normativi esistenti, con particolare riferimento alla normativa EN 15193-1:2021. Attraverso simulazioni specifiche, si intende validare le configurazioni geometriche legate a superfici vetrate inclinate, migliorando al contempo l'affidabilità del software. I risultati attesi includono la definizione di un metodo affidabile per il calcolo di queste superfici e l'identificazione di eventuali aspetti critici, che saranno fondamentali per ottimizzare il software e supportare le fasi successive del progetto.

La seconda fase si concentra invece sull'analisi energetica in un contesto internazionale. In questa fase verranno individuate località rappresentative di differenti contesti climatici, al fine di garantire una base applicativa ampia e diversificata. Saranno definite le principali variabili geometriche, impiantistiche e di destinazione d'uso, tra cui superficie vetrata, orientamento e profili di occupazione, per costruire casistiche rappresentative. Successivamente, verranno condotte simulazioni avanzate per analizzare le prestazioni energetiche di diverse destinazioni d'uso e individuare i valori di soglia del LENI (kWh/m^{2}year) in relazione ai parametri climatici e alle variabili progettuali. Questo processo permetterà di valutare con precisione le differenze nei consumi energetici e nelle prestazioni tra le varie località, offrendo una comprensione approfondita degli impatti climatici e progettuali sulle diverse tipologie di edifici. Inoltre, i risultati ottenuti contribuiranno a sviluppare linee guida specifiche per ottimizzare le prestazioni energetiche in contesti climatici diversificati, supportando al contempo la creazione di benchmark internazionali. La fase comprenderà anche un confronto diretto tra i dati ottenuti e le normative vigenti, per garantire che le conclusioni siano immediatamente applicabili a livello progettuale e normativo.

La terza fase del progetto ha riguardato il confronto tra i risultati ottenuti per alcuni casi studio precedentemente sviluppati con il software LENICALC e quelli derivanti dall'analisi degli stessi casi tramite la versione online del software LeniWeb. L'obiettivo di questa fase è verificare la coerenza tra le due versioni del programma, con l'aspettativa di ottenere risultati analoghi a quelli prodotti dalla versione software di LENICALC.

2 Risultati ottenuti

Di seguito si riportano i risultati relativi alle tre distinte fasi del progetto:

2.1 Verifica del calcolo delle sloped windows nel software LENICALC

Le verifiche sul calcolo delle superfici inclinate nel software LENICALC hanno confermato la coerenza con i riferimenti normativi, evidenziando risultati in linea con le aspettative. Nel Caso A (vertical sloped window,g= 80°), il confronto tra i dati del software e i risultati geometrici ha mostrato l'assenza di incongruenze nella trasformazione da finestra inclinata a verticale. Tuttavia, è emersa una discrepanza con la normativa riguardo al segmento Cw, che potrebbe richiedere ulteriori approfondimenti per un pieno allineamento. Nel Caso B (horizontal sloped window,g= 60°), l'analisi dell'area di illuminazione naturale ha evidenziato coerenza tra le finestre sloped vertical e horizontal, con valori rispettivi di 9.915 e 9.867. La validazione è stata supportata da modelli 3D esportati da LENICALC, confermando l'accuratezza della simulazione geometrica. I test complessivi hanno dimostrato l'affidabilità del software nel calcolo delle superfici inclinate, migliorandone la conformità agli standard normativi. Tali risultati offrono benefici concreti per l'efficienza energetica degli edifici, contribuendo a un uso ottimizzato delle risorse e a una riduzione della domanda elettrica, con potenziali vantaggi economici e ambientali per gli utenti.

2.2 Analisi di due destinazioni d'uso in diverse località climatiche

Lo studio ha analizzato scuole e uffici in due contesti climatici distinti: Malmo (Svezia) e Alessandria (Egitto), valutando come diversi parametri influenzino il consumo energetico (LENI). Per ogni località sono stati definiti i parametri chiave e il numero di simulazioni necessarie per rappresentare accuratamente i casi studio. L'analisi ha seguito un approccio sistematico, variando un solo parametro alla volta per isolarne l'effetto e determinare la differenza percentuale tra i valori minimi e massimi. Sono stati esaminati diversi fattori: tipologia di finestra, sorgente luminosa (LED o fluorescenza), sistemi di controllo della luce naturale, modalità di gestione dell'illuminazione, presenza del Constant Illuminance Factor e tipologia di schermatura (Glare, Autoglare, Lighting-guides). Le simulazioni, comprese tra 96 e 384 per ciascun caso, hanno permesso di evidenziare l'impatto di ogni configurazione, garantendo solidità ai risultati. Nella fase finale, i dati ottenuti sono stati confrontati tra le due località per analizzare come le condizioni climatiche influenzino l'efficacia delle varie soluzioni. Questo confronto ha permesso di valutare l'adattabilità e le prestazioni energetiche delle diverse configurazioni, offrendo indicazioni utili per ottimizzare l'efficienza energetica degli edifici in contesti climatici differenti.

2.2.1 Edificio scolastico situato in Egitto

Lo studio sull'edificio scolastico in Egitto ha evidenziato come diverse strategie di illuminazione possano ridurre significativamente i consumi energetici. L'adozione del Constant Illuminance Factor e la sostituzione delle lampade fluorescenti con LED consentono di ottenere una riduzione del LENI superiore al 40%. I sistemi di controllo, come il Daylight Responsive Control System e l'Occupancy Control System, contribuiscono ulteriormente con diminuzioni rispettivamente del 20.5% e del 22.76%. L'effetto delle schermature risulta meno significativo, con un impatto massimo del 3.2%. L'analisi ha mostrato che la combinazione più efficiente, includendo LED, Constant Illuminance Factor e schermatura avanzata (Light

Guides), porta a una riduzione complessiva del 75.92%, abbassando il LENI da 15.95 a 3.84 kWh/m^{2}anno. Anche senza sistemi di controllo, l'ottimizzazione di altri parametri consente una riduzione del 67.21%. Il confronto tra le configurazioni ha evidenziato che l'efficienza energetica migliora in modo significativo con l'integrazione di più tecnologie. Sebbene il Constant Illuminance Factor e le sorgenti LED abbiano il maggiore impatto singolarmente, è la loro combinazione con altri accorgimenti a garantire il massimo risparmio. L'approccio sinergico si rivela quindi essenziale per ottenere i migliori risultati in termini di efficienza energetica.

Tabella 1. Risultati in relazione alla variazione di un parametro edificio scolastico egiziano

PARAMETRO	Condizione		Valore		Δ (%)
	Max LENI (kWh/m^{2}anno)	Min LENI (kWh/m2anno)	Max LENI	Min LENI	
Constant Illuminance Factor	Assente	Presente	24.32	19.12	21.38%
Sorgente	Fluorescenza	LED	24.32	13.67	43.79%
Schermatura	Glare	Lighting Guides	24.32	23.3	4.19%
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	24.32	20.67	15.01%
Occupancy control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	24.32	18.58	23.60%

2.2.2 Edificio scolastico situato in Svezia

L'analisi dell'edificio scolastico in Svezia evidenzia che il parametro più influente sulla riduzione del LENI è il Constant Illuminance Factor, con un decremento superiore al 45%. Anche i sistemi di controllo avanzati per l'occupazione contribuiscono significativamente, con una riduzione oltre il 20%, mentre il Daylight Responsive Control System incide per circa il 12%. Le schermature risultano meno impattanti, con una riduzione che non supera il 2%. Il valore massimo del LENI, pari a 8.01 kWh/m^{2}anno, si registra nella configurazione base, mentre la combinazione più efficiente, che include Constant Illuminance Factor, schermature avanzate e sistemi di controllo sofisticati, raggiunge un minimo di 2.84 kWh/m^{2}anno, con una riduzione del 64.54%. Il passaggio da sistemi manuali a sistemi evoluti permette un decremento del LENI tra il 30.99% e il 31.49%. Un'analisi separata ha dimostrato che, escludendo i sistemi di controllo, la variazione degli altri parametri consente una riduzione del LENI da 8.01 a 4.12 kWh/m^{2}anno.

Tabella 2. Risultati in relazione alla variazione di un parametro edificio scolastico svedese

PARAMETRO	Condizione		Valore		Δ (%)
	Max LENI (kWh/m^{2}anno)	Min LENI (kWh/m2anno)	Max LENI	Min LENI	
Constant Illuminance Factor	Assente	Presente	8.01	4.22	47.32%
Schermatura	Glare	Lighting Guides	8.01	7.84	2.12%
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	8.01	6.97	12.98%
Occupancy control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	8.01	6.34	20.85%

2.2.3 Ufficio situato in Egitto

L'analisi dell'ufficio situato in Egitto evidenzia che il parametro con il maggiore impatto sulla riduzione del LENI è la sorgente luminosa, con un decremento del 43.79%. Seguono i sistemi di controllo (Occupancy Control System e Daylight Responsive Control System) e l'introduzione del Constant Illuminance Factor, con riduzioni comprese tra il 15% e il 25%. La tipologia di schermatura ha invece un effetto meno significativo, con un impatto massimo del 4.19%. Il valore massimo di LENI registrato è di 24.32 kWh/m^{2}anno nella configurazione base. L'adozione di sistemi di controllo più evoluti riduce il LENI tra il 34.47% e il 38.22%, con un contributo più marcato delle schermature avanzate. La combinazione più efficiente (Finestra a norma, sorgente LED, Constant Illuminance Factor, schermatura Light Guides e sistemi di controllo avanzati) porta il LENI a 6.64 kWh/m^{2}anno, con una riduzione del 72.69% rispetto alla configurazione base. L'analisi dell'impatto esclusivo dei sistemi di controllo mostra che il passaggio a tecnologie più sofisticate riduce significativamente il LENI. Quando invece si escludono i sistemi di controllo e si variano gli altri parametri, il LENI oscilla tra 24.32 kWh/m^{2}anno (configurazione base) e 10.63 kWh/m^{2}anno (sorgente LED, Constant Illuminance Factor e schermatura Light Guides). L'effetto della schermatura è più evidente con sorgenti fluorescenti rispetto ai LED. L'analisi combinata dei parametri mostra che la sostituzione della sorgente fluorescente con LED è il fattore più determinante, con una riduzione del LENI del 54.19%. Anche l'introduzione del Constant Illuminance Factor e l'uso di schermature più avanzate producono impatti rilevanti, sebbene inferiori.

Tabella 3. Risultati in relazione alla variazione di un parametro ufficio egiziano

PARAMETRO	Condizione		Valore		Δ (%)
	Max LENI (kWh/m^{2}anno)	Min LENI (kWh/m2anno)	Max LENI	Min LENI	
Constant Illuminance Factor	Assente	Presente	24.32	19.12	21.38%
Sorgente	Fluorescenza	LED	24.32	13.67	43.79%
Schermatura	Glare	Lighting Guides	24.32	23.3	4.19%
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	24.32	20.67	15.01%
Occupancy control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	24.32	18.58	23.60%

2.2.4 Ufficio situato in Svezia

L'analisi sull'ufficio situato in Svezia ha evidenziato che i sistemi di controllo avanzati per l'occupancy e l'introduzione del Constant Illuminance Factor riducono i consumi di illuminazione di oltre il 20%, mentre il Daylight Responsive Control System ha un impatto inferiore al 15%. Le schermature influenzano il LENI solo marginalmente, con riduzioni che non superano il 2%. Il parametro più rilevante risulta essere l'Occupancy Control System, con una riduzione del 23.30%, seguito dal Constant Illuminance Factor con il 20.79%. L'adozione di sistemi di controllo più sofisticati porta a un decremento del LENI tra il 32.90% e il 34.31%, con un effetto maggiore se combinati con schermature avanzate. Il confronto tra le combinazioni mostra che il valore massimo del LENI (13.95 kWh/m^{2}anno) si riduce fino a 7.14 kWh/m^{2}anno, con un risparmio del 48.81%. L'effetto combinato dei sistemi di controllo e delle schermature avanzate è stato rappresentato anche graficamente, evidenziando il contributo di ciascun parametro. L'analisi ha inoltre mostrato che, escludendo i sistemi di controllo, l'ottimizzazione

degli altri fattori consente una riduzione del LENI da 13.95 a 10.87 kWh/m^{2}anno. Infine, la variazione simultanea di schermature e Constant Illuminance Factor conferma che quest'ultimo ha un impatto significativo sulla riduzione del LENI.

Tabella 4. Risultati in relazione alla variazione di un parametro ufficio svedese

PARAMETRO	Condizione		Valore		Δ (%)
	Max LENI (kWh/m^{2}anno)	Min LENI (kWh/m2anno)	Max LENI	Min LENI	
Constant Illuminance Factor	Assente	Presente	13.95	11.05	20.79%
Schermatura	Glare	Lighting Guides	13.95	13.74	1.51%
Daylight responsive Control System	Manual	Automatic Dimmed No Stand-by Losses No Switch On	13.95	12.19	12.62%
Occupancy control system	Manual on/off switch	Manul on/auto off	13.95	10.7	23.30%

2.3 Allineamento versione LeniWeb

L'analisi ha verificato l'affidabilità della versione web di LENICALC confrontandola con quella eseguibile (.exe) tramite simulazioni su una struttura alberghiera e un ristorante con il tool LeniWeb. Il confronto ha evidenziato una sostanziale coerenza nei risultati, confermando l'allineamento tra le implementazioni. I valori calcolati dalla versione web sono generalmente in linea con quelli della versione eseguibile, con indicatori di prestazione sovrapponibili. Tuttavia, è stata rilevata una discrepanza nel calcolo di una finestra specifica, dovuta a un errore di proiezione. Questo scostamento, pur non compromettendo la validità generale, richiede approfondimenti per garantire un allineamento completo. Nel caso della struttura alberghiera, il confronto evidenzia una lieve differenza (24.54 kWh/m^2 anno per la versione eseguibile contro 28.12 kWh/m^2 anno per la versione web), attribuibile alla discrepanza già citata. Sebbene non comprometta la validità dei test, è necessaria una correzione per migliorarne la precisione. Per il ristorante, i risultati delle due versioni risultano sostanzialmente allineati (19.00 kWh/m^2 anno per la versione eseguibile contro 19.14 kWh/m^2 anno per la versione web), confermando l'affidabilità della versione web. Nel complesso, i test dimostrano che LeniWeb è un'alternativa valida alla versione desktop per l'analisi energetica degli edifici. Eventuali discrepanze minori potranno essere corrette per migliorare ulteriormente la precisione del software.

3 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non sono stati riscontrati scostamenti tecnico-economici rispetto a quanto previsto nel progetto. Le attività si sono svolte in linea con i tempi e gli obiettivi pianificati, e non sono emerse criticità rilevanti durante l'esecuzione delle fasi operative. Questo conferma la solidità della pianificazione iniziale e l'efficienza nella gestione delle risorse disponibili.

4 Sintesi delle attività svolte

Le attività previste dal progetto sono state svolte secondo il cronoprogramma e gli obiettivi stabiliti.

La prima fase ha riguardato la verifica del calcolo delle superfici inclinate nel software LENICALC rispetto alla normativa EN 15193-1:2021, garantendone l'affidabilità.

Nella seconda fase, sono state individuate località climaticamente rappresentative, definite le principali variabili geometriche e impiantistiche, e condotte simulazioni avanzate per analizzare le prestazioni energetiche di diverse destinazioni d'uso, per determinare i valori di soglia del LENI in relazione ai parametri progettuali.

La terza fase ha confrontato i risultati ottenuti con LENICALC con quelli derivanti dalla versione web del software, testandone l'attendibilità.

I risultati ottenuti sono perfettamente allineati con quelli attesi, confermando la validità dell'approccio metodologico adottato e la coerenza delle attività svolte rispetto agli obiettivi prefissati.

5 Dettaglio delle attività svolte

Le attività si sono svolte in tre fasi distinte.

5.1 Verifica del calcolo della sloped window in LENICALC

L'analisi ha valutato l'influenza delle superfici inclinate sull'illuminazione naturale tramite il software LENICALC, considerando una stanza tipo di 16 m^2 situata a Lat. 42.00°N e Long. 12.00°E. Sono state testate diverse configurazioni di finestre inclinate per esaminarne le proprietà geometriche e l'impatto luminoso. Nel Caso A, relativo a finestre inclinate verticali (>75°), è stata verificata la corretta trasformazione geometrica delle finestre rispetto ai dati generati da LENICALC e strumenti di disegno 2D, sebbene siano emerse discrepanze con la normativa EN 15193-1 riguardanti il segmento Cw.

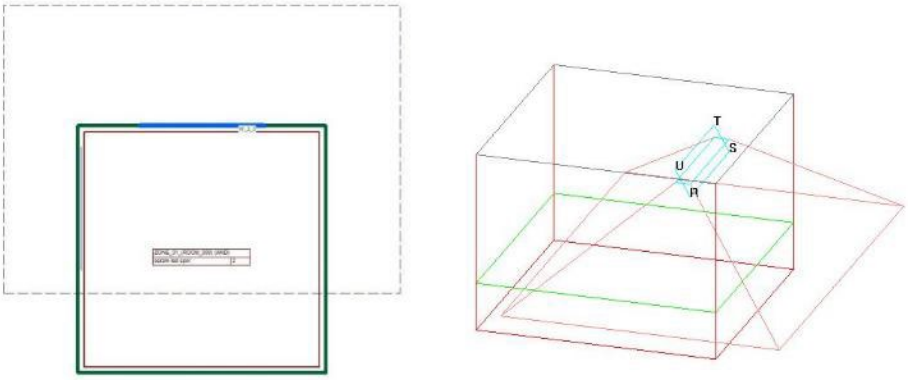

Figura 1. Screen della stanza per la finestra vertical

Nel Caso B, riguardante finestre inclinate orizzontali (<75°), sono stati analizzati i valori geometrici e confrontati con la variabile "RoofLightDaylightArea", mostrando coerenza tra le configurazioni simulate. Il confronto è stato supportato dall'esportazione di modelli tridimensionali per una verifica visiva.

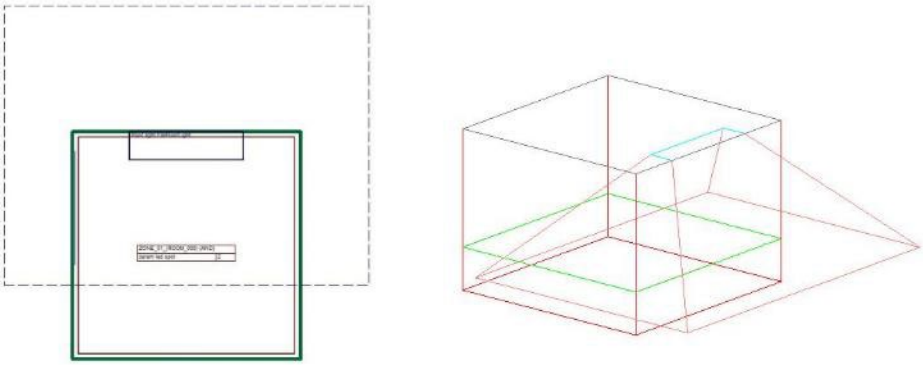

Figura 2. Screen della stanza per la finestra horizontal

L'analisi normativa ha permesso di valutare la conformità dei parametri geometrici e l'impatto delle superfici inclinate sull'illuminazione, confermando l'affidabilità dei calcoli di LENICALC in questa fase del progetto.

5.2 Analisi di due destinazioni d'uso in diverse località climatiche

Nella seconda fase, sono state analizzate due destinazioni d'uso definite dalla norma UNI EN 15193-1:2021: edifici ad uso ufficio e scolastico. Per lo studio, sono state scelte due località climatiche molto diverse, Alessandria (Egitto) e Malmo (Svezia), per valutare l'impatto delle condizioni ambientali. La modellazione si è basata su edifici reali o, in loro assenza, su normative vigenti, considerando requisiti illuminotecnici e architettonici specifici. Le variabili di simulazione includono tipologia di finestra, sorgente luminosa, sistemi di controllo daylight-responsive, modalità di gestione dell'illuminazione, Constant Illuminance Factor e tipologia di schermatura. Le simulazioni hanno generato tabelle di benchmark per ogni destinazione d'uso, valutando variazioni del LENI totale e subLENI per ciascun piano, con un numero di test compreso tra 96 e 384 per caso studio. L'analisi si è concentrata sul confronto tra sistemi di controllo manuali e avanzati, sulla valutazione del set base con parametri minimi regolamentari, sull'impatto dei parametri mantenendo fissi i sistemi di controllo e sull'interazione tra due parametri per studiarne gli effetti combinati. Infine, il confronto tra le due località climatiche ha permesso di individuare le configurazioni più efficienti in base alle condizioni ambientali, ottimizzando le scelte progettuali per garantire prestazioni energetiche ottimali. Si riporta a seguire, per ciascuno dei casi studio in analisi, una breve descrizione delle caratteristiche principali, una planimetria completa di metrature e distribuzione interna e il numero delle simulazioni effettuate; per brevità della trattazione il grafico delle combinazioni analizzate è stato riportato solo per il primo caso studio.

5.2.1 Edificio scolastico situato in Egitto

L'analisi degli edifici scolastici ha individuato una struttura rappresentativa dell'architettura locale, dimensionata in modo simile alla scuola svedese per garantire un confronto omogeneo. Le scuole egiziane hanno spazi più compatti, con un'area lorda per studente tra 5 e 8 m^2. L'edificio analizzato, suddiviso in blocchi e organizzato attorno a cortili interni per migliorare la ventilazione, comprende 44 ambienti con un'altezza interpiano di 3 metri.

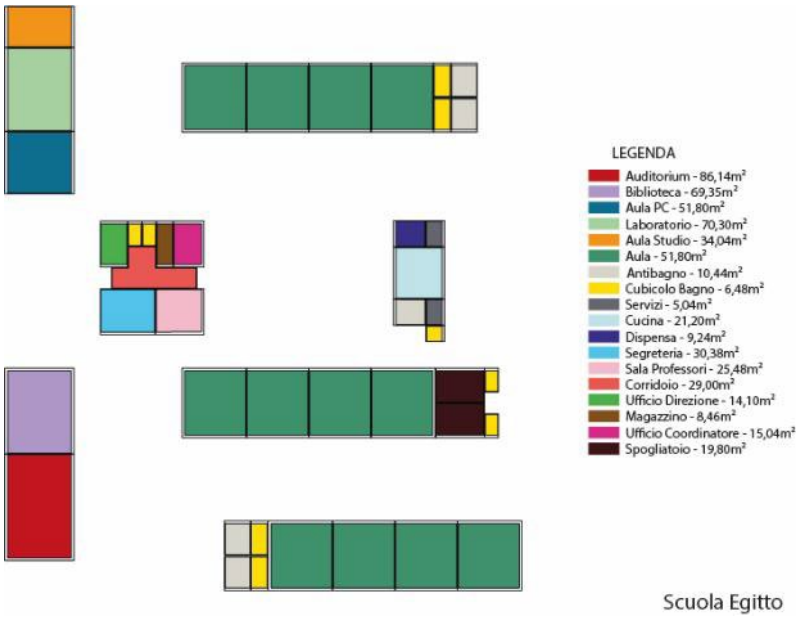

Figura 3. Planimetria edificio scolastico egiziano

Le finestre sono state dimensionate basandosi su edifici esistenti, evitando di aumentarne le dimensioni per limitare il surriscaldamento dovuto alla forte radiazione solare. Per l'illuminazione artificiale, in assenza di normative specifiche per l'Egitto, si è fatto riferimento alla UNI EN 12464, considerando sia lampade fluorescenti che LED. Sono state individuate due tipologie di sorgenti luminose, una per ambienti tecnici e una per aule e uffici. Il confronto tra edifici con la stessa destinazione d'uso in climi diversi ha incluso tre sistemi di schermatura e l'analisi dell'efficacia del Constant Illuminance Factor. Complessivamente, sono state realizzate 192 simulazioni, analizzando le varie combinazioni di parametri per ottimizzare la gestione dell'illuminazione.

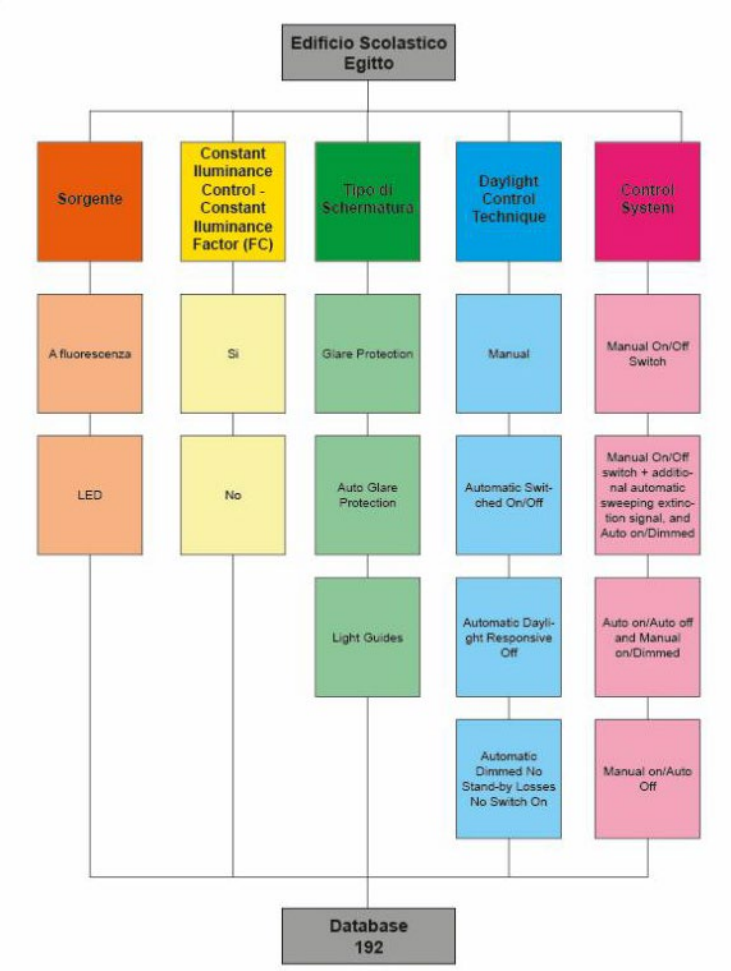

Figura 4. Grafico dello schema delle combinazioni dell'edificio scolastico egiziano

5.2.2 Edificio scolastico situato in Svezia

Il caso studio analizza una scuola secondaria di primo grado per studenti tra 13 e 15 anni. Le scuole svedesi si caratterizzano per spazi ampi e flessibili, con una superficie lorda per studente tra 10 e 12 m^2. L'edificio analizzato, di 6000 m^2 su due livelli, comprende 51 ambienti. Le finestre sono state dimensionate per garantire salubrità e prevenire problemi strutturali, basandosi sulle ampie superfici vetrate tipiche delle scuole svedesi, senza necessità di incrementarne ulteriormente le dimensioni. Per l'illuminazione artificiale, la progettazione si è basata sulla norma UNI EN 12464, utilizzando esclusivamente sorgenti LED, differenziate tra ambienti tecnici e scolastici, per garantire efficienza energetica e comfort visivo. Grazie agli investimenti svedesi nell'illuminazione, le lampade fluorescenti non sono state incluse nelle

simulazioni. Sono stati testati diversi sistemi di schermatura, dalle soluzioni base ai Light Guides avanzati, e valutata la presenza del Constant Illuminance Factor per ottimizzare la gestione del flusso luminoso. Complessivamente, sono state condotte 96 simulazioni per analizzare l'efficacia delle diverse configurazioni.

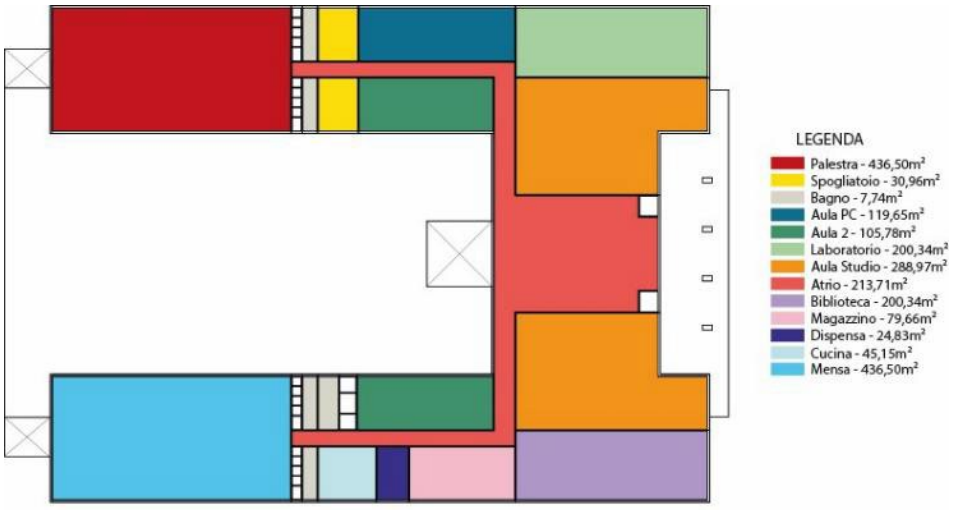

Figura 5. Planimetria piano terra edificio scolastico svedese

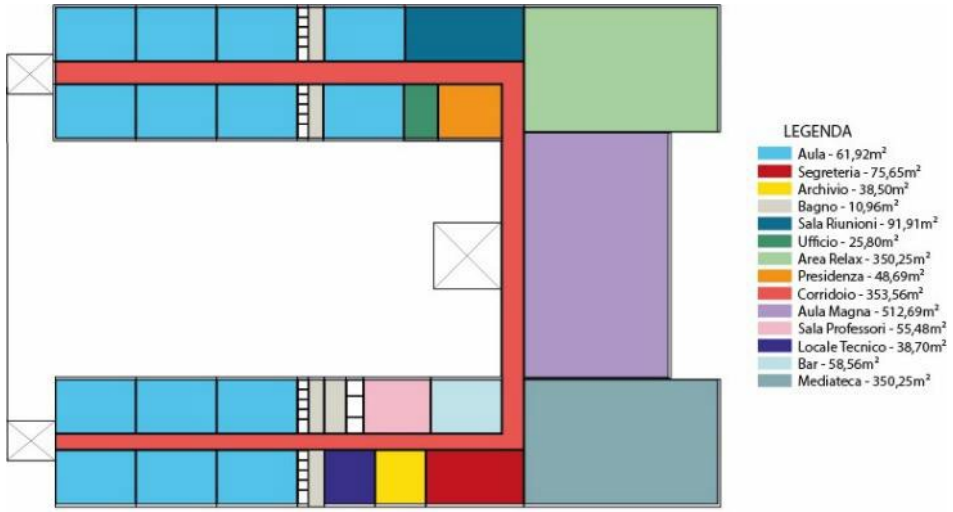

Figura 6. Planimetria primo piano edificio scolastico svedese

5.2.3 Ufficio situato in Egitto

Il caso studio, basato su edifici tipo in Egitto, mantiene una configurazione dimensionale simile all'ufficio svedese, con una prevalenza di uffici privati rispetto agli open space. L'edificio, su quattro piani, presenta una disposizione interna omogenea, con 26 ambienti per piano, tra cui uffici, sale conferenze e locali di servizio. Le finestre, dimensionate secondo gli standard locali, sono state mantenute nelle dimensioni standard per limitare il surriscaldamento. Per l'illuminazione artificiale, in assenza di normative specifiche, si è adottata la UNI EN 12464, considerando sia sorgenti fluorescenti che LED, suddivise in tre tipologie per diversi ambienti. Le simulazioni hanno incluso tre sistemi di schermatura e valutato l'efficacia del Constant Illuminance Factor nella gestione del flusso luminoso. Complessivamente, sono state condotte 192 simulazioni per confrontare le diverse configurazioni.

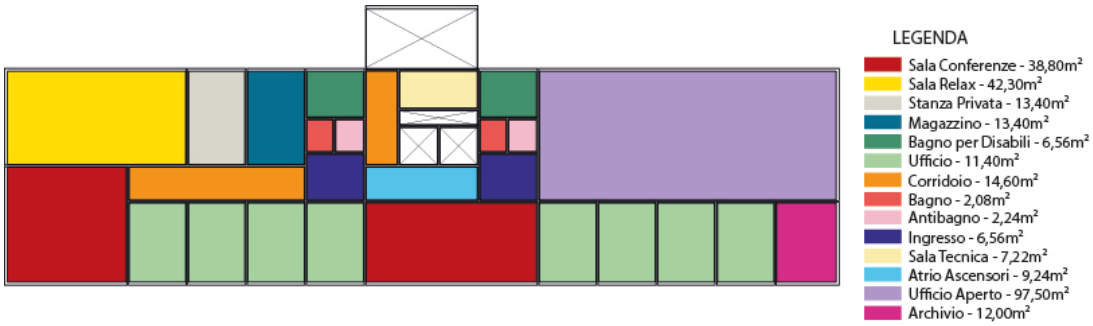

Figura 7. Planimetria piano tipo ufficio egiziano

5.2.4 Ufficio situato in Svezia

Il caso studio analizza un edificio rappresentativo degli uffici standard in Svezia, progettato per un ambiente di lavoro flessibile che combina open space e uffici privati. Con una disposizione uniforme su quattro piani, l'analisi si è concentrata su un piano tipo, composto da 25 ambienti tra uffici, sale conferenze e spazi di servizio. Le finestre, caratterizzate da ampie superfici vetrate per massimizzare la luce naturale, sono state mantenute nelle dimensioni standard per garantire benessere visivo ed efficienza energetica. Per l'illuminazione artificiale, sono state adottate esclusivamente sorgenti LED, selezionate secondo la norma UNI EN 12464 e differenziate per servizi, conferenze e uffici. Le simulazioni hanno incluso tre sistemi di schermatura e valutato l'efficacia del Constant Illuminance Factor nella gestione del flusso luminoso. In totale, sono state condotte 96 simulazioni per confrontare le diverse configurazioni.

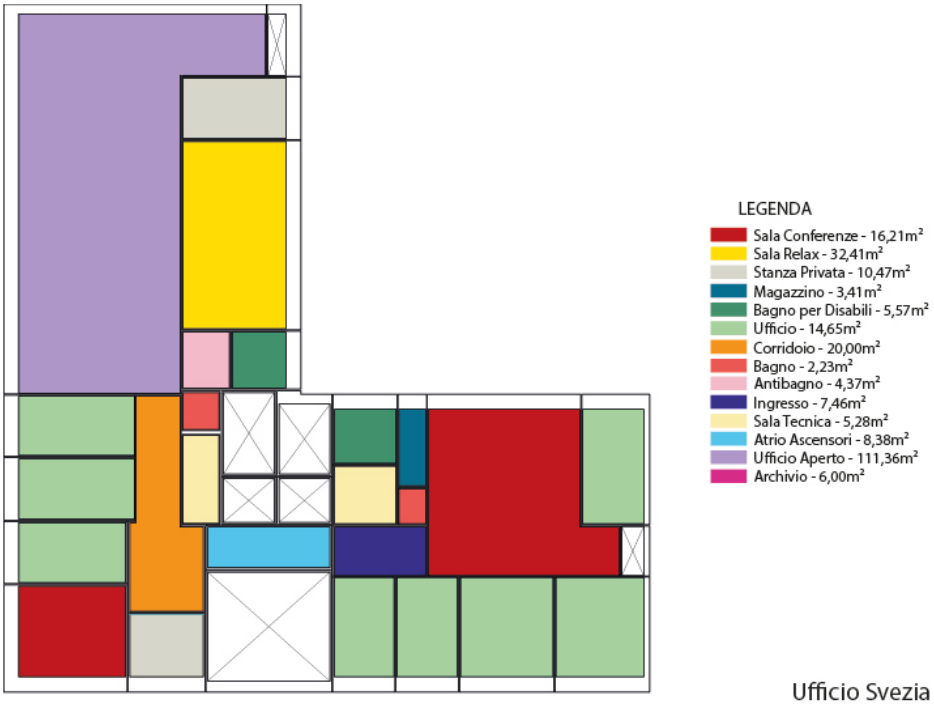

Figura 8. Planimetria piano tipo ufficio svedese

5.3 Allineamento versione LeniWeb

In questa fase del lavoro è stata analizzata l'affidabilità della versione web del software LENICALC, confrontandone i risultati con quelli ottenuti utilizzando la versione eseguibile (.exe). A tal fine, sono state eseguite due simulazioni basate su casi studio precedentemente trattati: il primo relativo a una struttura alberghiera e il secondo a un ristorante. Entrambe le simulazioni sono state condotte tramite il tool online LeniWeb. Una volta ottenuti i risultati dalla versione web, questi sono stati confrontati con quelli generati dalla versione eseguibile per verificare la coerenza tra le due implementazioni. L'obiettivo dell'analisi è garantire l'allineamento della versione web con la versione desktop, accertando che l'implementazione sia stata eseguita correttamente e che i risultati siano affidabili e coerenti con le aspettative.

6 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Nell'ambito delle attività del progetto, non sono state utilizzate consulenze esterne all'interno dell'assegnazione. Tutte le attività previste sono state svolte internamente al team di lavoro, sfruttando le competenze e le risorse disponibili senza necessità di supporti consulenziali esterni. Questo approccio ha garantito una gestione ottimale delle risorse e un'efficace implementazione delle attività previste.

7 Pubblicazioni scientifiche

"The Contribution of Lighting Control Systems to Improve the Energy Performance of a Swedish School Case Study"

Autori: Flavia Vespasiano, Laura Pompei, Laura Blaso, Stefano Grignaffini, Niko Gentile e Fabio Bisegna

DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-8317-5_45

8 Eventi di disseminazione

Si riporta a seguire l'elenco degli eventi di disseminazione scaturiti dall'attività svolta:

- Evento "Illuminazione degli edifici: Calcolo del LENI sulle nove destinazioni d'uso della UNI EN 15193-1:2021, mediante LENICALC", webinar ospitato da UNI e tenutosi in data 25 Ottobre 2023

- Evento "La progettazione illuminotecnica: luce naturale ed artificiale, suggestioni ed applicazioni", tenutosi presso L'Università La Sapienza di Roma in data 3 Giugno 2024

- Presentazione orale dell'articolo scientifico "The Contribution of Lighting Control Systems to Improve the Energy Performance of a Swedish School Case Study" presso la International Building Physics Conference (IBPC) svoltasi a Toronto in data 25-27 Luglio 2024

- Evento "Illuminazione degli edifici: Calcolo del LENI sulle nove destinazioni d'uso della UNI EN 15193-1:2021, mediante LENICALC", tenutosi presso il Politecnico di Bari in data 31 Ottobre 2024