

**Zumtobel Research**

Studio su come un sistema di comando della luce e di schermatura antisolare influenzi il consumo energetico in un complesso di uffici.

AJ INGENIERÍA José Luis Hernández, Barcelona | ES  
CREVER Gruppo di ricerca di termotecnica applicata, Barcellona | ES  
Università URV Rovira i Virgili in Tarragona, Tarragona | ES  
Gennaio 2012

ISBN 978-3-902940-27-8



Zumtobel Research

**Studio su come un sistema di comando della luce e di schermatura antisolare influenzi il consumo energetico in un complesso di uffici.**

<b>Antefatto</b>			5
<b>1 Scopo dello studio</b>			6
<b>2 Autori dello studio</b>			7
<b>3 Metodo di lavoro</b>	3.1	Tools ED utilizzati	8
	3.2	Modelli di simulazione	10
<b>4 Descrizione dell'edificio</b>	4.1	Descrizione dell'edificio PRIMA della ristrutturazione	12
	4.1.1	Descrizione dell'edificio	12
	4.1.2	Sistemi costruttivi	12
	4.1.3	Impianti	13
	4.2	Descrizione dell'edificio DOPO la ristrutturazione	14
	4.2.1	Descrizione dell'edificio	14
	4.2.2	Sistemi costruttivi	14
	4.2.3	Impianti	17
<b>5 Dati preliminari</b>	5.1	Dati climatici	26
	5.2	Configurazione geometrica e suddivisione delle zone	27
	5.3	Chiusure perimetrali senza passaggio di luce	28
	5.4	Vetrare	29
	5.5	Dispositivi di ombreggiatura	30
	5.6	Apporti interni dovuti a persone	31
	5.7	Apporti interni dovuti ad apparecchiature e impianti	32
	5.8	Apporti interni dovuti all'illuminazione	33
	5.9	Sistema di climatizzazione	34
<b>6 Risultati</b>	6.1	Valori di consumo energetico generale	35
	6.2	Bilancio termico dell'edificio	36
	6.3	Bilanci termici di una ZONA rappresentativa con sistemi lamellari mobili	40
	6.4	Confronto di valori misurati e simulati del consumo energetico dell'illuminazione	42
<b>7 Conclusioni</b>	7.1	Scenari dell'EDIFICIO	45
	7.1.1	Analisi dello scenario 03 (edificio odierno, con lamelle, senza comandi) – LIVELLO EDIFICIO	46
	7.1.2	Analisi dello scenario 04 (edificio odierno, senza lamelle, con comandi) – LIVELLO EDIFICIO	48
	7.1.3	Analisi dello scenario 05 (edificio odierno, con lamelle, con comandi) – LIVELLO EDIFICIO	49
	7.2	Scenari di una ZONA	50
	7.2.1	Analisi dello scenario 03 (edificio odierno, con lamelle, senza comandi) – LIVELLO ZONA	51
	7.2.2	Analisi dello scenario 04 (edificio odierno, senza lamelle, con comandi) – LIVELLO ZONA	51
	7.2.3	Analisi dello scenario 05 (edificio odierno, con lamelle, con comandi) – LIVELLO ZONA	52
	7.3	Riassunto dei risultati	52



Foto dell'edificio: in alto prima e in basso dopo la ristrutturazione.

Lo studio AJ Ingeniería, S.L.P. viene incaricato dalla ditta LUXMATE di svolgere uno studio sugli effetti dei sistemi di comando e schermature antisolari installati in un palazzo a Barcellona dove ha sede il «Serveis Territorials del Departament de Treball de la Generalitat de Catalunya».

Il sopracitato edificio è stato ristrutturato di recente e dispone di un impianto LUXMATE che regola l'illuminazione artificiale in base alla luce diurna proveniente dalle finestre.

Inoltre due facciate dell'edificio sono munite di lamelle motorizzate che si aprono o si chiudono a seconda della posizione del sole, in modo da escludere sia l'abbagliamento che il surriscaldamento dovuto alle radiazioni solari.

### **Dati sull'edificio**

- Ubicazione: C/ Carrera Nr. 12-24 , 08004 - Barcellona
- Destinazione: sede del «Serveis Territorials del Departament de Treball de la Generalitat de Catalunya». Utilizzo da parte di autorità. Zona aperta al pubblico.
- Superficie edificata: 6 800 m<sup>2</sup>
- Progetto di ristrutturazione e facciate: AJ INGENIERIA, S.L.P.
- Architettura: Joan Francesc Serra Andreu, architetto
- Dispositivi e impianti: Juan Hernandez Mayor, ingegnere industriale
- Costo della ristrutturazione generale: 6 570 000 €
- Conclusione dei lavori: 2009

# 1 Scopo dello studio

Lo studio si pone come scopo quello di quantificare l'effetto di un sistema di comando della luce e di schermatura antisolare sul consumo energetico di un edificio.

A tal fine si eseguono simulazioni energetiche implementando i sistemi di comando installati, in modo da poterne valutare l'effetto sul consumo energetico generato dall'illuminazione artificiale e dalla climatizzazione sia separatamente che combinate.

L'obiettivo centrale dello studio è stabilire quali sinergie derivino dai sopracitati sistemi non solo in merito al consumo energetico procurato dalla luce ma anche in merito a quello di altre utenze come ad esempio l'impianto di condizionamento.

Per la simulazione in un edificio reale con sistema di comando LUXMATE è reso disponibile per un anno intero (da maggio 2010 a maggio 2011) un registro della corrente consumata dall'illuminazione; i relativi dati vengono messi a confronto con quelli ricavati dalla simulazione. La successiva verifica permette di ottenere valori di consumo energetico estremamente precisi e fidati.

Il presente studio è stato condotto da AJ INGENIERÍA S.L.P. in collaborazione con il Gruppo di ricerca di termotecnica applicata CREVER della URV (Università Rovira i Virgili) di Terragona (Spagna).

CREVER è responsabile della simulazione dell'edificio con Design Builder e Energy Plus, sotto la supervisione dello studio AJ INGENIERÍA S.L.P. che rende disponibili i dati.

La valutazione dei risultati ottenuti con l'intervento di CREVER è sempre ad opera dello studio AJ INGENIERÍA S.L.P.

Vengono utilizzati pertanto i grafici e tabelle ricavati dalla simulazione di CREVER.

Studio d'ingegneria per impianti ed energia, fondato nel 1979 a Barcellona (Spagna) da Ángel González Toro e Juan Hernández Mayor.

Da oltre 30 anni esegue progetti di impianti elettrici e meccanici, impianti speciali e dispositivi antincendio per il settore residenziale, terziario e industriale.

Autore dello studio: José Luis Hernández Yuste, ingegnere economico.

Direzione e supervisione: Juan Hernández Mayor, ingegnere.

Il Gruppo di ricerca di termotecnica applicata appartiene alla Universitat Rovira i Virgili Tarragona: si occupa di sviluppare nuove tecnologie per le energie rinnovabili, finalizzate al miglioramento dell'efficienza energetica.

Autore dello studio: Arturo Ordóñez García, architetto.

Direzione e supervisione: Alberto Coronas Salcedo, direttore di CREVER e professore alla URV.



## 3 Metodo di lavoro

### 3.1 Tools ED utilizzati

Per questo progetto è stato messo a punto un sistema di analisi basato su simulazioni energetiche dinamiche. Viene utilizzato il programma DesignBuilder abbinato al software di calcolo EnergyPlus.

#### **DesignBuilder**

DesignBuilder è un programma sviluppato circa sette anni fa dall'omonima azienda inglese a Gloucestershire. Sin dal primo momento della sua concezione lo scopo è stato quello di creare una videata di facile comprensione per EnergyPlus, il software di calcolo in esso integrato. Sono implementati anche altri moduli a parte, come il modulo di certificazione SBEM e il modulo CFD.

Altre informazioni su:

[www.designbuilder.co.uk](http://www.designbuilder.co.uk) e [www.sol-arq.com](http://www.sol-arq.com)

#### **EnergyPlus**

EnergyPlus è un programma sviluppato dal laboratorio nazionale Orlando Lawrence Berkeley su incarico del ministero statunitense dell'energia. Si tratta di un software composto da vari moduli che nell'insieme calcolano l'energia necessaria a raffreddare o riscaldare un edificio. Al contempo vengono considerate tutta una serie di risorse e sistemi energetici per cercare il miglior livello di comfort. Il cuore del programma è un modello di edificio in possesso dei principi basilari del bilancio energetico.

Il programma consente di eseguire una simulazione integrale. In altre parole calcola contemporaneamente le tre parti fondamentali della simulazione, ossia zone dell'edificio, sistemi di gestione dell'aria e impianti di climatizzazione (a differenza dei precedenti programmi DOE-2 e BLAST che calcolavano le tre parti una dopo l'altra, in modo sganciato e senza alcun feedback).

Per calcolare i flussi termici dovuti agli elementi costruttivi, EnergyPlus ricorre a una funzione di trasmissione termica basata sul metodo noto come «state space»: questo permette di considerare i processi dinamici coinvolti tenendo conto della massa termicamente attiva.

Si tratta di un software decisamente potente, che permette di valutare anche il rendimento termico degli edifici passivi (senza climatizzazione meccanica): infatti, oltre a una stima altamente precisa dell'effetto delle radiazioni solari, il modulo AIRNET calcola anche i flussi d'aria esterna. Considerando aspetti come la pressione del vento e l'effetto camino si riescono a quantificare i vantaggi di una ventilazione naturale abbinata a elementi costruttivi con una massa termica ad alta efficacia.



EnergyPlus è riconosciuto da molti standard industriali come ASHRAE Research Project 865, ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 e IEA BE-Test (Building Energy Simulation Test).

Altre informazioni su:

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>

#### **Slab**

Il programma Slab è un tool ausiliario di EnergyPlus che sfrutta un sistema di calcolo tridimensionale della trasmissione termica per determinare le temperature medie mensili delle superfici esterne (di edifici) che toccano il pavimento. I files con i dati climatici temporali sono gli stessi di EnergyPlus (formato .epw).

Altre informazioni nel documento EnergyPlus Auxiliary Program, consultabile su:

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/documentation.cfm>

#### **Weather Tool**

Il programma Weather Tool è stato sviluppato dalla società inglese Square One. Si tratta essenzialmente di un tool per visualizzare e analizzare informazioni climatiche basandosi sui dati temporali in formato .epw di EnergyPlus (laddove si possono comunque importare anche files di altri formati). Il software offre molte possibilità di visualizzazione fra cui grafici bidimensionali e tridimensionali, grafici del vento e diagrammi dell'andamento solare.

Altre informazioni su:

<http://ecotect.com/products/weathertool>

## 3.2 Modelli di simulazione

Per valutare in che misura le strategie di comando della luce e di schermatura solare (sia singolarmente che in combinazione) influenzino il consumo energetico dell'edificio, sono stati definiti 5 scenari basati sull'effettiva ripartizione degli impianti:

- Scenario 01: edificio originario (prima della ristrutturazione), senza lamelle mobili e senza comando della luce.
- Scenario 02: edificio odierno ristrutturato, senza lamelle mobili e senza comando della luce.
- Scenario 03: edificio odierno ristrutturato, con lamelle mobili e senza comando della luce.
- Scenario 04: edificio odierno ristrutturato, senza lamelle mobili e con comando della luce.
- Scenario 05: edificio odierno ristrutturato, con lamelle mobili e con comando della luce.

Per ogni scenario si analizzano i valori di consumo energetico dell'illuminazione e della climatizzazione. Dall'analisi rimangono esclusi i consumi energetici di apparecchiature varie (miscellaneous) e degli ascensori, dato che questi non costituiscono oggetto del presente studio.

Attraverso i sopracitati scenari si vuole valutare l'effetto delle principali strategie di miglioramento, sia singolarmente che in combinazione.

In concreto: con lo scenario 02 si valuta l'effetto delle modifiche da muri esterni e vetrate in seguito alla loro ristrutturazione.

Lo scenario 04 definisce l'effetto di un sistema di comando della luce senza fare uso di lamelle mobili, ossia quantificando isolatamente il contributo dei comandi della luce.

Con lo scenario 03 si valuta invece l'effetto dell'impianto di lamelle mobili senza tenere conto dei comandi della luce, in modo da quantificarne isolatamente il contributo.

Infine lo scenario 05 permette di quantificare l'azione congiunta di lamelle mobili e comandi della luce.

Per quanto riguarda l'illuminazione simulata, tutti gli scenari si basano su una potenza impegnata ( $W/m^2$ ) corrispondente a quella reale degli impianti installati. Ciò vale anche per lo stesso scenario 01 (prima della ristrutturazione): vale a dire pertanto che in questo caso non viene considerato il miglioramento dovuto alla maggiore efficienza energetica dei nuovi apparecchi illuminanti e dei reattori elettronici. Gli orari di funzionamento corrispondono a quelli forniti dagli utenti e vengono spiegati più in dettaglio nei prossimi capitoli.

La climatizzazione viene inserita meccanicamente in tutte le simulazioni: in altre parole si tiene conto dei sistemi di riscaldamento e/o condizionamento che assicurano le giuste condizioni climatiche per tutto l'anno durante gli orari di lavoro. In questo caso, pertanto, le informazioni principali per valutare il rendimento energetico dei diversi scenari sono i dati di consumo legati ai sistemi di climatizzazione.

Il sistema di climatizzazione è sempre lo stesso in ogni scenario, vale a dire che non si considera un eventuale miglioramento di efficienza dovuto al tipo di impianti di climatizzazione implementati. Conseguentemente è possibile quantificare con esattezza il contributo di ogni singolo intervento migliorativo (comandi della luce e/o lamelle mobili) su un impianto di climatizzazione che rimane invariato.

## 4 Descrizione dell'edificio

### 4.1 Descrizione dell'edificio PRIMA della ristrutturazione

#### 4.1.1 Descrizione dell'edificio



L'edificio si compone di pianoterra, piano rialzato, 4 piani a norma e due piani interrati. La costruzione poggia su due nuclei verticali. I due piani interrati fungono da garage con 120 posti auto. Il pianoterra e i piani superiori sono occupati da uffici. La superficie complessiva è di ca. 6 000 m<sup>2</sup>.

Ognuno dei due nuclei portanti verticali su cui poggia l'edificio alloggia le scale, due ascensori, gli impianti sanitari e i pozzi verticali previsti per gli impianti.

#### 4.1.2 Sistemi costruttivi

##### **Struttura**

Pilastrini e travi portanti in cemento armato.

##### **Tenuta**

Cemento armato in struttura reticolare a cassette di malta, con assi intermedi di 80 cm. L'opera muraria ammonta a 22 cm + 4 cm di strato compressivo.

##### **Muri esterni**

- Facciata posteriore: muratura per 1/4, intercapedine con isolamento EPS da 3 cm di spessore, superficie esterna coperta da mattoni cavi intonacati da un lato. La struttura metallica rimane all'esterno.
- Facciata principale: muratura per 1/4, intercapedine con isolamento EPS da 3 cm di spessore, mattoni cavi da 14 cm di spessore, rivestimento esterno con lastre di pietra calcarea naturale.

##### **Pareti divisorie**

- Separazione degli uffici: con pareti divisorie in mattoni cavi da 14 cm.
- Toilettes: mattoni cavi da 9 cm.
- Scale e ascensori: muratura in mattoni forati da 14 cm.





#### **Tetto**

Calcestruzzo cellulare di spessore medio 12 cm, coibentazione in bitume, isolamento termico con lastre XPS da 30 mm di spessore, strato drenante e copertura in ghiaia di spessore medio 5 cm.

#### **Struttura metallica esterna e vetrate**

Struttura metallica esterna in alluminio, senza interruzione dei ponti termici. Climalit 6-6-5 incolore. Vetro di sicurezza 4-4 con pellicola intermedia di polivinilbutirrale sulla struttura metallica esterna al pianoterra, piano rialzato e porte d'ingresso.

### 4.1.3 Impianti

#### **Illuminazione**

- Uffici: plafoniere da 120 x 60 cm incassate nei controsoffitti, con 4 tubi fluorescenti da 36 W. Modello Novalux NLE 436/440. Schermi lamellari conformati a V. Reattori magnetici.
- Toilettes: raccordi inseriti sottotraccia per lampade E-14 40 W modello Guzzini 8011.
- Foyer: apparecchi incassati sottotraccia per lampade alogene da 50 W modello Guzzini 8005.

#### **Climatizzazione**

Split diretti, pompe termiche. Unità esterne sul tetto e interne nei controsoffitti di corridoi e foyer. 7 apparecchi per piano.

## 4.2 Descrizione dell'edificio DOPO la ristrutturazione

### 4.2.1 Descrizione dell'edificio



L'edificio si compone di pianoterra, piano rialzato, 4 piani a norma e due piani interrati. La costruzione poggia su due nuclei verticali. I due piani interrati fungono da garage con 120 posti auto. Il pianoterra e i piani superiori sono occupati da uffici.

Le superfici sono così ripartite:

Pianoterra	1350 m <sup>2</sup>
Piano rialzato	700 m <sup>2</sup>
Primo piano	950 m <sup>2</sup>
Secondo piano	940 m <sup>2</sup>
Terzo piano	950 m <sup>2</sup>
Quarto piano	950 m <sup>2</sup>
<b>Totale</b>	<b>6800 m<sup>2</sup></b>

### 4.2.2 Sistemi costruttivi

#### **Struttura**

La struttura di pilastri e travi portanti in cemento armato è rimasta immutata.

#### **Tenuta**

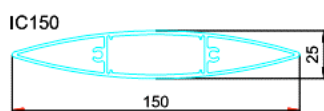
Il cemento armato (in struttura reticolare a cassette di malta, con assi intermedi di 80 cm) è rimasto immutato. (L'opera muraria ammonta a 22 cm + 4 cm di strato compressivo).

#### **Muri esterni**

- Facciata posteriore: è rimasta immutata (muratura per 1/4, intercapedine con isolamento EPS da 3 cm di spessore, superficie esterna coperta da mattoni cavi intonacati da un lato).
- Facciata principale: copertura modulare dei davanzali tra le finestre sulla facciata principale con:
  1. lamine esterne di Alucobond Smoke Silver Metallic
  2. pannelli di fibre idrorepellenti
  3. isolamento in lana di roccia (100 kg/m<sup>3</sup> - 100 mm)
  4. lamine interne antincendio di silicato Promatect

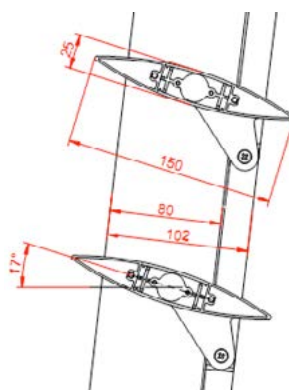


- Schermatura solare sulle facciate est, sud e sudest (facciata obliqua): con un secondo guscio di lamelle motorizzate che indubbiamente migliorano l'estetica dell'edificio oltre a comportare un evidente risparmio energetico e a migliorare la qualità di vita delle persone che vi lavorano. Le lamelle hanno la forma e le dimensioni qui illustrate:

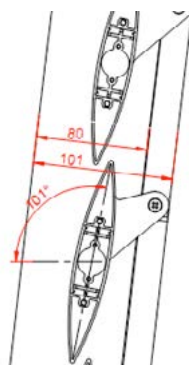


Il movimento delle lamelle motorizzate è guidato dal sistema LUXMATE in modo da escludere i raggi diretti del sole proteggendo le persone dall'abbagliamento.

Quando le lamelle sono completamente aperte si trovano nella seguente posizione:



Se invece sono completamente chiuse hanno questa posizione:



### **Pareti divisorie**

- Separazione degli uffici: con pareti divisorie di spessore 80 mm, struttura interna ed esterna in acciaio zincato. Pannelli di legno pressato da 13 cm. Isolamento interno con lana minerale di spessore 50 mm e densità 30/40 kg/m<sup>3</sup>.
- Toilettes: mattoni cavi da 9 cm.
- Scale e ascensori: non sono stati toccati dalla ristrutturazione (maturatura in mattoni forati da 14 cm).

### **Tetto**

Calcestruzzo cellulare di spessore medio 12 cm, coibentazione in bitume, isolamento termico con lastre XPS da 50 mm di spessore, strato drenante e copertura in ghiaia di spessore medio 5 cm.

### **Struttura metallica esterna e vetrate**

Struttura metallica esterna in alluminio con interruzione dei ponti termici. Modello REYNAERS CS68 verniciato RAL 9007.

Vetrate del piano rialzato e dal primo al quarto piano:

- float 6 mm trasparente / camera 15 mm / lamellare 4+4 polivinilbutirrale Silence trasparente. Emissività ridotta.

Vetrate dell'accesso vigili del fuoco dal primo al quarto piano:

- float 6 mm trasparente temperato / camera 15 mm / float 8 mm trasparente temperato.

Vetrate del pianoterra sul lato superiore:

- lamellare esterno 6+6 incolore / camera 16 mm / lamellare interno 6+6 incolore con polivinilbutirrale insonorizzante. Emissività ridotta.

Vetrate del pianoterra nella zona entrata sul lato obliquo:

- lamellare 6+6 incolore, temperato all'esterno.



## 4.2.3 Impianti

### Illuminazione

- Uffici e aree pubbliche: plafoniere 60 x 60 cm da incassate nei controsoffitti, con 3 tubi fluorescenti T16 da 24 W. Modello di marca LLEDÓ OD-3281 con riflettore a doppia parabola in alluminio satinato e reattore digitale dimmerabile modello EXCEL ONE4ALL di marca TRIDONIC
- Toilettes: downlights di marca ZUMTOBEL modello PANOS Q LM, 2 x 26 W e/o 2 x 18 W, con reattore digitale dimmerabile modello EXCEL ONE4ALL di marca TRIDONIC.

### Comandi LUXMATE

#### **BUS DI COMANDO**

Si installa un circuito bus che fa capo al sistema di comando LUXMATE. Ad esso sono allacciati tutti i moduli dell'impianto. Le topologie del bus sono predisposte in modo completamente flessibile, tale da semplificare il cablaggio e il collegamento dei moduli. È consentito ogni tipo di topologia (a stella, ramificata, lineare etc.) con eccezione di quella circolare.

Il bus LUXMATE può essere segmentato galvanicamente. Ogni segmento è alimentato da una sorgente che ammette il collegamento di 100 moduli per segmento. Se necessario è possibile collegare ad ogni segmento una seconda sorgente che funziona in modo ridondante e alimenta corrente al bus nel caso la prima sorgente presentasse problemi.

La segmentazione del bus LUXMATE serve ad eseguire un cablaggio strutturato in modo funzionale lungo tutto l'impianto. Con questo sistema si impedisce che un eventuale problema, come cortocircuito o interruzione della linea o blackout su una parte del bus, possa compromettere il resto dell'impianto.

La libertà di topologia assicura che le successive modifiche o ampliamenti dell'impianto risultino semplici e di costo contenuto.

Il bus LUXMATE è insensibile ai disturbi elettromagnetici senza bisogno di predisporre conduttori schermati. Tutti i moduli LUXMATE collegati al bus sono provvisti di dispositivi di raddrizzamento che permettono di allacciarli senza considerare la polarità. Inoltre tutti i moduli si collegano o staccano dal bus «a caldo», vale a dire che non serve interrompere l'alimentazione del relativo segmento.

Per il bus viene utilizzato un normale cavo standard H 05 VV-U 2 x 0,75 oppure H 05 VV-U 2 x 1,5, con conduttori flessibili bipolari.

Il bus LUXMATE lavora con una velocità di comunicazione di 4800 Baud, bit/frame variabile e controllo ridondanza ciclico a 16 bit (CRC) che in caso di errore di trasmissione ripete automaticamente il segnale.

I moduli LUXMATE possono disporre di vari canali sia in entrata che in uscita. Ad ogni canale si assegna un indirizzo univoco che lo identifica all'interno di ogni bus. I comandi del sistema LUXMATE possono essere inviati ad un singolo canale, a tutti i canali di un gruppo, a tutti i canali di un locale o a tutti quelli dell'impianto.

Gli indirizzi vengono assegnati in modo semplice e intuitivo tramite un'unità di dialogo LUXMATE che in seguito può essere utilizzata anche per il comando dell'installazione. Di conseguenza non servono complicate consolle di programmazione, PC o software specifici.

Il sistema LUXMATE consente di programmare e modificare le scene di luce in ogni locale. Tali scene sono formate da valori concreti di ogni canale d'uscita all'interno del locale. I valori restano memorizzati nella memoria EEPROM di ogni modulo. A seconda del tipo di modulo si possono programmare fino a venti scene diverse che vengono poi attivate premendo un semplice pulsante sull'unità di comando o sull'ingresso del sistema.

Per passare da una scena all'altra, il programma permette di definire un tempo di dissolvenza che l'utente può configurare nel modo preferito. Nel caso tale impostazione sia attiva, e l'utente decide di attivare una scena diversa, le uscite modificano progressivamente i valori della scena di partenza fino a raggiungere quelli della nuova scena. Tale passaggio dura per il tempo definito dall'utente: questo può essere diverso di caso in caso o uguale per tutte le sequenze programmate.

#### **COMANDO DEGLI APPARECCHI D'ILLUMINAZIONE**

Le lampade fluorescenti sono regolate da un sistema DALI che ordina il valore opportuno ad ogni apparecchio d'illuminazione. Con questo segnale digitale il livello dimming varia da un minimo di 1-3 % fino al 100 %.

Il segnale digitale permette di avere una regolazione costante anche se la luminosità è bassa, senza provocare alcun fenomeno di sfarfallamento. Il reattore elettronico è in grado di segnalare al sistema gli eventuali disturbi delle lampade.

Tutti i moduli LUXMATE con uscita di comando DALI contengono un sistema di sorveglianza dell'uscita. In tal modo sono in grado di inviare un messaggio di errore al sistema centrale segnalando qualsiasi anomalia di funzionamento, come ad esempio cortocircuiti sul cavo DALI, apertura del contatto, guasti delle lampade eccetera.

Ogni apparecchio d'illuminazione collegato al cavo DALI può essere regolato autonomamente sotto ogni aspetto. Allo scopo si utilizza un normale cavo standard H 05 VV-U 2 x oppure 0,75 oppure H 05 VV-U 2 x 1,5 con conduttori flessibili bipolari.

#### **COMANDO DELLA POSIZIONE DI SERRANDE E ANGOLATURA LAMELLE**

I moduli specifici (a bassa tensione e corrente continua) sono provvisti di varie uscite separate, ognuna delle quali riceve un suo indirizzo LUXMATE.

Con un'unica uscita ogni canale è in grado di guidare la posizione verticale delle serrande ed anche l'angolazione delle lamelle. La regolazione può essere effettuata attraverso il sistema oppure direttamente con i pulsanti del modulo.

#### **PULSANTI A RADIOFREQUENZA**

Il sistema LUXMATE è provvisto di pulsanti LM-RFR per ricezione di radiofrequenza: questi servono al collegamento senza fili di interruttori EnOcean (tecnologia RFR senza batterie).

In tal modo si assicura la massima flessibilità di progetto e si abbreviano i tempi d'installazione.

Con i pulsanti si attivano facilmente le scene programmate. Le barre T+ (su) e T- (giù) permettono di accendere l'illuminazione e di regolarne l'intensità.

#### **ELEMENTI DI COMANDO**

Il sistema LUXMATE possiede un'ampia scelta di elementi di comando, da montare a parete, con funzioni ON/OFF, dimming o attivazione di scene programmate.

#### **SENSORE DI LUCE ESTERNA**

Il sistema LUXMATE è munito di un sensore generale per tutta l'installazione, montato sopra il punto più alto dell'edificio. L'elemento è formato da otto sensori fotoelettrici e da un sensore a infrarossi: questi rilevano incessantemente i valori di luce diretta e diffusa, orizzontale e verticale proveniente da ogni direzione del cielo. Il sensore a infrarossi rileva invece lo stato generale della volta celeste.

Il bus LUXMATE trasmette poi all'impianto tutti i dati registrati dal sensore.

#### **CALCOLATORE DI LUCE DIURNA**

L'elaborazione centrale dei dati avviene attraverso un certo numero di calcolatori, a seconda delle dimensioni dell'impianto. Ogni calcolatore è in grado di gestire tre circuiti bus completamente separati, ognuno dei quali con un massimo di 500 uscite, per un totale dunque di 1 500 uscite.

I calcolatori e i circuiti bus comunicano attraverso una porta dedicata RS 232. Ad ogni porta è collegato un interfaccia che mette in comunicazione calcolatore ed elementi del bus.

Il calcolatore possiede poi un modem con accesso telefonico per la manutenzione dell'impianto a distanza.

Il calcolatore di luce diurna assume le seguenti funzioni:

#### **Regolazione basata sulla luce diurna**

Nelle zone dove la luce naturale risulta sufficiente l'illuminazione artificiale viene regolata di conseguenza, cosa che si traduce in comfort per gli utenti e in un consistente risparmio di energia.

Il calcolatore provvede a regolare i livelli di illuminamento di tutte le uscite in base ai valori di luce diurna forniti dal sensore installato sul tetto dell'edificio.

Il sistema LUXMATE permette di definire una curva di comando caratteristica per ogni uscita regolabile. Questa serve a mantenere un livello d'illuminazione sempre costante anche se all'esterno cambiano le condizioni di luce.

Nel sistema LUXMATE si possono assegnare ad ogni apparecchio differenti curve di comando in ogni relativa scena: in questo modo, al momento di attivare la scena vengono calcolati automaticamente i valori che servono a comporla.

Anche se i livelli d'illuminazione sono gestiti in automatico dal sistema, l'utente li può comunque modificare in qualsiasi momento. In seguito all'intervento manuale la programmazione prevede un certo tempo dopo il quale l'impianto ritorna al funzionamento automatico.

In ogni locale con regolazione basata sulla luce diurna è installato un fotosensore che rileva le condizioni di luce legate ad elementi schermanti come serrande, tende etc.

Questo fotosensore all'interno dei locali implica la definizione di un terzo punto della curva di comando, necessario a considerare le alterazioni legate all'incidenza della luce diurna.

#### **Automazione delle lamelle**

Attraverso il calcolatore di luce diurna del sistema LUXMATE si può automatizzare per intero la movimentazione di tutte le lamelle. È possibile definire l'andamento delle singole uscite o di gruppi in ogni locale.

Per ogni unità di serrande viene definito il suo orientamento rispetto al nord stabilendo l'angolazione orizzontale e verticale con cui i raggi del sole entrano direttamente nella finestra. Inoltre si definisce il livello di luce esterna a partire dal quale le lamelle si devono azionare.

Nel momento in cui i raggi del sole entrano direttamente dalla finestra e i dati rilevati dal sensore esterno superano il livello massimo definito, le lamelle si portano automaticamente in angolatura trasversale rispetto ai raggi solari.

Il sistema tiene conto della geometria dell'edificio ed anche di altri edifici adiacenti o di elementi che possono gettare ombre sulle lamelle soggette a comando.

Dal momento che di prima mattina la posizione del sole dà fastidio anche se l'intensità di luce non supera il limite, il sistema prevede un fattore di correzione e abbassa le serrande compensando questo inconveniente.

Inoltre si possono programmare orari di chiusura automatica per festività e periodi di ferie, specificando se in tali periodi l'utente possa o meno intervenire manualmente sull'impianto.

#### **Gestione oraria**

Nel calcolatore si possono programmare cosiddetti eventi, vale a dire giorni di ferie e di chiusura. Tali eventi possono riguardare tutto l'impianto o anche solo una parte, un gruppo di locali, un locale solo, uscite di gruppo o singole. Si può addirittura scegliere a quale evento debba corrispondere un certo tipo di uscita.

#### **Gestione dei consumi**

Nel sistema vengono inseriti i dati riguardanti il numero di apparecchi e la potenza di ogni singolo apparecchio collegato ad ogni uscita LUXMATE. Questi dati servono a generare un rapporto su orari di funzionamento, potenza ed energia consumata.

Di conseguenza il personale addetto alla manutenzione riceve informazioni precise e fidate sull'usura degli elementi dell'impianto e sui valori di consumo di ogni singolo punto luce.

#### **Gestione degli utenti**

Il calcolatore è in grado di gestire l'impianto basandosi sui comandi degli utenti. Si possono specificare nomi e cognomi, password, posti di lavoro e diritti d'accesso ad ogni programma di comando LUXMATE con relative funzioni attivabili.

#### **Comunicazione con sistemi esterni**

Il calcolatore comunica con altri sistemi servendosi dello standard BMS, attraverso il protocollo TCP/IP o porta seriale RS232.

Questo tipo di comunicazione permette di far interagire qualsiasi sistema esterno con i comandi LUXMATE. Si può accendere, spegnere e regolare ogni apparecchio, visualizzare lo stato di un punto luce o di una parte dell'impianto.

#### **SUPERFICIE GRAFICA**

LUXMATE possiede un software per visualizzare l'impianto e controllare pertanto lo stato di tutte le uscite.

Il sistema di segnalazione prevede un rapporto sui disturbi che si sono verificati nell'impianto. In tale rapporto – a seconda dei diritti d'accesso – si possono inserire messaggi d'allarme da inoltrare al personale addetto anche stampandoli.

Il sistema non si limita a dare un messaggio d'allarme generico bensì precisa se si tratta di un problema del modulo, di un errore di comunicazione, di un errore del segnale inviato dal modulo e così via.

#### **ZONE SOTTOPOSTE A COMANDO**

Descriviamo qui le singole zone governate dal sistema di comando e le loro funzioni legate alle caratteristiche richieste.

Il sistema dispone di un monitor che sorveglia l'impianto visualizzando graficamente e in tempo reale lo stato delle uscite. Da questo computer si possono anche inviare comandi di funzionamento, segnalare messaggi di disturbo e stamparli.

#### **Corridoi e aree comuni**

Sono previsti comandi generali di on/off secondo gli orari definiti per l'edificio.

Nelle parti dove entra luce diurna vengono sottoposti a regolazione continua gli apparecchi posizionati nei primi 5 metri.

Trascorsi i normali orari di apertura dell'edificio, rimane comunque acceso un terzo degli apparecchi per ragioni di sicurezza e sorveglianza.

#### **Reception**

Sulla parete è montato un touchpanel da cui si governa tutto il reparto. Il touchpanel visualizza in modo chiaro gli elementi di comando e la loro ubicazione.

Nelle parti dove entra luce diurna vengono sottoposti a regolazione continua gli apparecchi posizionati nei primi 5 metri.

Sono previsti comandi generali di on/off secondo gli orari definiti per l'edificio.

**Toilettes e guardaroba**

In questi reparti l'illuminazione si accende e spegne attivata da segnalatori di presenza.

Nei singoli gabinetti la luce si accende e spegne con normali interruttori a parete.

**Uffici, locali di lavoro e di riunione**

L'illuminazione si accende, si spegne e si regola con radiopulsanti montati sulle pareti.

Nelle parti dove entra luce diurna vengono sottoposti a regolazione continua gli apparecchi posizionati nei primi 5 metri.

Le lamelle movimentano automaticamente la propria angolatura quando dalle finestre entrano i raggi diretti del sole. In questa maniera si elimina l'abbagliamento ma rimane la luce diffusa. Il sistema calcola il dimming degli apparecchi a seconda di come sono posizionate le serrande, in modo da garantire sempre il livello d'illuminamento previsto.

Sono previsti comandi generali di on/off secondo gli orari definiti per l'edificio.

**Sala stampa**

Nella parete è installata un'unità di comando con cui si possono attivare, disattivare e regolare le uscite. L'unità è configurata per memorizzare cinque diverse scene di luce da attivare secondo la situazione.

Dall'unità di comando a parete o dal touchpanel si possono comandare manualmente lamelle e schermi di proiezione in base alla scena selezionata.

Vi sono poi elementi di comando preposti agli impianti audiovisivi: ciò significa che qui è presente un allacciamento con sistemi esterni.





## Impianto di climatizzazione

L'impianto di climatizzazione sfrutta l'acqua per il riscaldamento: questa è trasportata da quattro sistemi di tubazioni in quanto la geometria dell'edificio è costruita in modo tale che i vari reparti prendono direzioni differenti e si deve comunque rendere possibile l'inversione termica.

Per il raffreddamento dell'acqua è previsto un condensatore sul tetto, raffreddato ad aria, mentre l'acqua calda proviene da una caldaia a gas. L'acqua è distribuita attraverso pompe che la portano con una rete isolata fino ai terminali.

I terminali sono ventilconvettori a quattro tubi, con gruppo di riscaldamento e di raffreddamento per quasi tutti gli uffici.

L'aria esterna è prelevata da climatizzatori che la filtrano e la trasportano ai convettori con una temperatura vicina a quella di comfort ideale.

Tutti i reparti dispongono del ricambio d'aria a norma di legge per gli impianti termici in edifici. I climatizzatori e gli invertitori provvedono a riportare alle prese d'aria l'energia utilizzata per la depurazione.

## 5 Dati preliminari

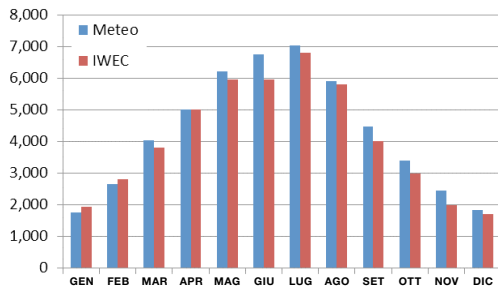


Figura 1: radiazione solare orizzontale complessiva (Wh/m²).

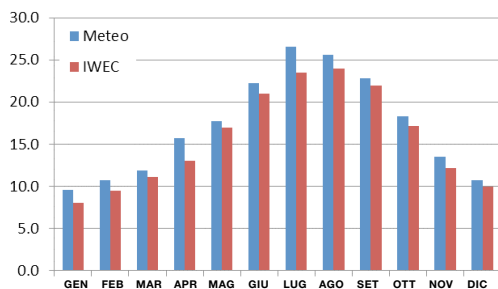


Figura 2: temperatura media mensile (Wh/m²).

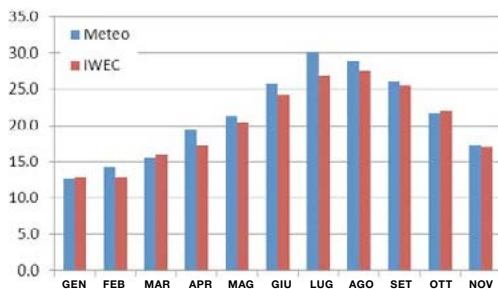


Figura 3: temperatura massima mensile (Wh/m²).

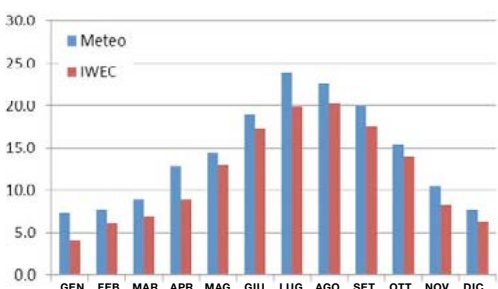


Figura 4: temperatura minima mensile (Wh/m²).

### 5.1 Dati climatici

L'edificio si trova a Barcellona, Spagna (latitudine 41.28°, longitudine 2.07, altitudine 6.0 s.l.m.).

Per le simulazioni si è fatto ricorso a un file di dati climatici della città. La fonte è l'International Weather for Energy Calculations (IWEC) dell'ASHRAE. Il file elenca per ogni singola ora di un intero anno parametri come temperatura secca e umida, umidità relativa dell'aria, radiazioni solari (orizzontali complessive, dirette normali, orizzontali diffuse) e vento (direzione e velocità).

L'appendice 1 contiene le rappresentazioni grafiche dei dati orari di un anno relative ai principali parametri del file sopraccitato.

Per verificare l'affidabilità del file sui dati climatici si è fatto un confronto tra i valori IWEC e quelli rilevati da una stazione meteorologica dalle parti dell'edificio.

I grafici riportati qui accanto riportano il confronto tra i dati della stazione meteo (fonte: METEOCAT) e quelli IWEC. Si osserva un'adeguata corrispondenza, soprattutto per quanto riguarda i dati delle radiazioni solari.

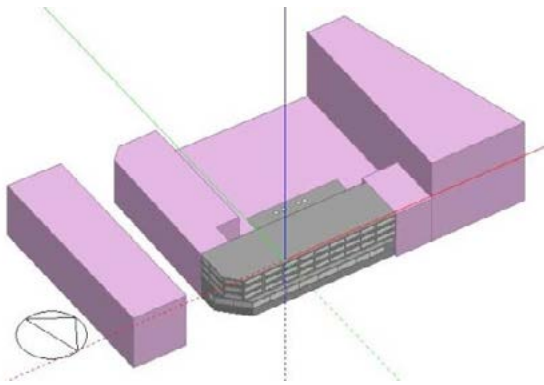


Figura 5: modello 3D di tutto l'edificio.

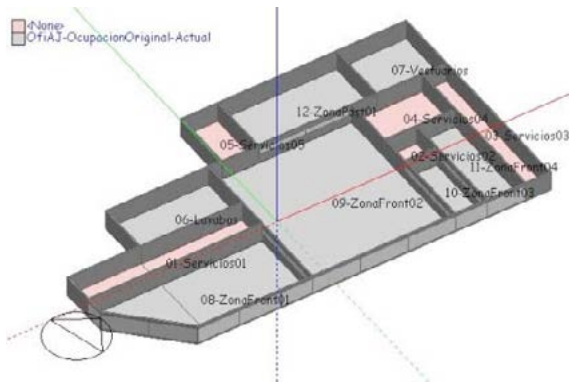


Figura 6: modello 3D del pianoterra.

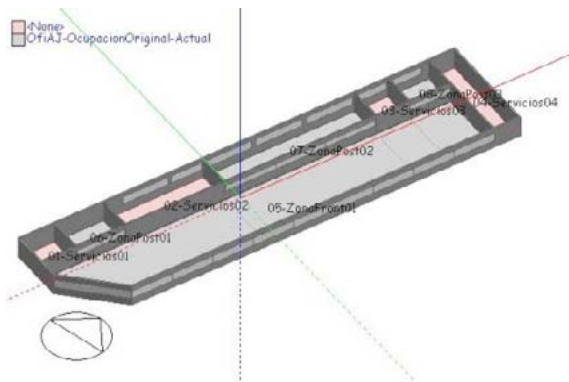


Figura 7: modello 3D del piano rialzato.

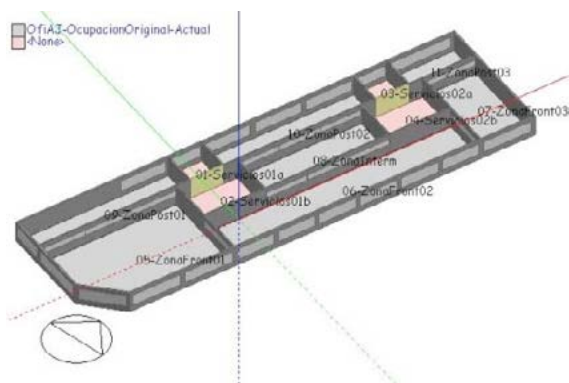


Figura 8: modello 3D degli altri piani, dal primo al quarto.

## 5.2 Configurazione geometrica e suddivisione delle zone

L'edificio è formato da 8 livelli: due sotterranei, usati essenzialmente come garages, un pianoterra, un piano rialzato e altri quattro piani. I piani interrati e il pianoterra occupano l'area intera. Gli altri piani invece occupano un volume allungato con asse longitudinale da nord a sud (motivo per cui le facciate più larghe danno su est ed ovest).

Generando il modello di simulazione si è cercato di riprendere il più possibile la configurazione geometrica dell'edificio reale. Ciò nonostante si sono inserite alcune approssimazioni utili ad ottimizzare il processo di analisi. In concreto si tratta di quanto segue:

- Il secondo e il terzo piano sono considerati come unico piano standard adottando un moltiplicatore di zone (pari a 2). Si ottengono così risultati per entrambi i piani.
- La suddivisione delle zone interne è stata semplificata in modo da separare le differenti condizioni termiche delle aree di lavoro e di quelle dei servizi.
- Nella configurazione del modello tutte le aree sono convesse: una premessa necessaria per utilizzare l'opzione della distribuzione solare interna ed esterna con DesignBuilder. Tale opzione consente di ripartire dettagliatamente l'incidenza solare nei locali, aspetto assai importante per gli obiettivi del presente studio.

Nel modello sono integrati anche blocchi aggiuntivi che rappresentano gli edifici adiacenti. In tal modo si possono considerare le ombre da essi proiettate sull'edificio dell'analisi.

Le figure a lato (da 5 a 8) illustrano i modelli 3D usati per le simulazioni: vediamo l'edificio intero, il pianoterra, il piano rialzato e gli altri piani superiori.

## 5.3 Chiusure perimetrali senza passaggio di luce

La seguente tabella riporta le chiusure perimetrali dell'edificio originario e di quello attuale, comprese permeabilità e capacità termica. L'appendice 2 indica in dettaglio le proprietà dei singoli muri.

	<b>Edificio originario</b>	<b>Edificio attuale</b>
Facciata est e sud	Muro 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,675 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4	Muro 04 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,272 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 14,2
Facciata sudest (obliqua)	Muro 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,675 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4	Muro 05 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,201 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4
Facciata ovest	Muro 02 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,682 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4	Muro 02 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,682 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4
Facciata nord (muro intermedio)	Muro 03 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 1,167 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 56,5	Muro 03 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 1,167 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 56,5
Suddivisioni (muri interni)	Divisoria 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 1,730 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 104,6	Divisoria 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 1,730 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 104,6
Tetto (quarto piano)	Tetto 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,547 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 158,0	Tetto 02 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,530 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 158,0
Tetto (pianoterra)	Tetto 03 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,545 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 158,0	Tetto 03 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,545 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 158,0
Pavimenti interni	k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 180,4	k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 0,0

U = trasmissione termica complessiva  
k-m = capacità termica interna

**Figura 9:** tabella delle chiusure perimetrali considerate.

## 5.4 Vetrate

Le tabelle che seguono riportano le proprietà delle vetrate (in generale e in dettaglio), prima e dopo la ristrutturazione.

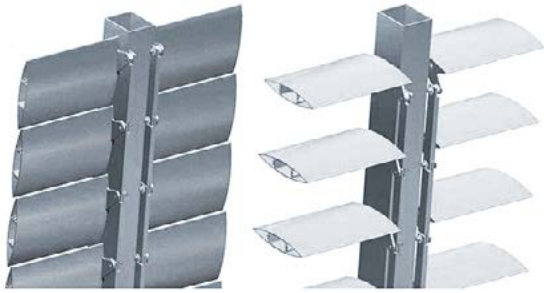
<b>Strato, vetro/gas</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Conduttività (W/m-K)</b>	<b>Fonte</b>
1 Vetro trasparente (esterno)	0,006	0,900	Banca dati EnergyPlus
2 Camera d'aria	0,006		BS EN 673 / EnergyPlus
3 Vetro trasparente (interno)	0,006	0,900	Banca dati EnergyPlus
3,094 W/m <sup>2</sup> -K trasmissione totale (U)			
0,700 trasmissione luce solare (SGHC)			
0,604 trasmissione luce solare diretta			
0,781 trasmissione di luce			

**Figura 10:** proprietà delle vetrate dell'edificio originario.

<b>Strato, vetro/gas</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Conduttività (W/m-K)</b>	<b>Fonte</b>
1 Vetro generico riflettente (esterno)	0,006	0,900	Banca dati EnergyPlus
2 Camera d'aria	0,013		BS EN 673 / EnergyPlus
3 Vetro generico trasparente (interno)	0,010	0,900	Banca dati EnergyPlus
2,639 W/m <sup>2</sup> -K trasmissione totale (U)			
0,691 trasmissione luce solare (SGHC)			
0,577 trasmissione luce solare diretta			
0,763 trasmissione di luce			

**Figura 11:** proprietà delle vetrate dell'edificio attuale.

## 5.5 Dispositivi di ombreggiatura



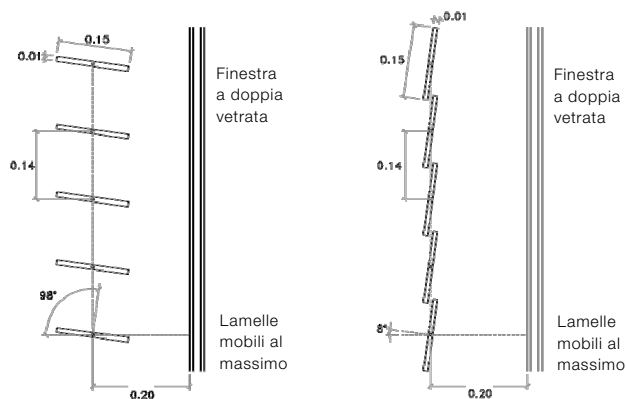
**Figura 12:** immagini pubblicitarie del sistema di lamelle mobili in posizione chiusa e aperta.

Nei modelli di simulazione sono stati scelti due tipi di sistemi di ombreggiatura. Il primo è formato da lamelle a movimentazione automatica montate sul lato esterno del vetro. La loro posizione varia da un angolo di apertura minimo a uno massimo, in modo da impedire che i raggi diretti del sole colpiscano direttamente il vetro. Il comando funziona con WindowProperty: ShadingControl > BlockBeamSolar di EnergyPlus.

La figura 12 illustra le immagini pubblicitarie del sistema di lamelle mobili. Nella figura 13 si vedono invece i parametri geometrici utilizzati per i modelli di simulazione. A tale riguardo occorre osservare che con il DesignBuilder di EnergyPlus si possono gestire solo lamelle piatte. Qui si presumono lamelle con una conduttività di 0,1 W/m-K, pertanto sia il lato anteriore che quello posteriore presentano un grado di riflessione visibile pari a 0.6 e un'emissività di 0.4.

Il sistema di lamelle mobili è stato adottato per gli scenari di simulazione 03 e 05. Tuttavia, tenendo presenti le caratteristiche dell'edificio attuale, è stato assegnato solo alle finestre dal primo al quarto piano sulle facciate est, sudest (quella obliqua) e sud. Nella facciata sud sono considerate solo le finestre direttamente accanto a quelle della facciata sudest.

Il secondo sistema di ombreggiatura è formato da uno schermo interno con permeabilità e riflessione solare pari a 0,2. Il criterio di comando è che tale schermo si attiva nel momento in cui l'incidenza solare sulla rispettiva finestra raggiunge o supera 75 W/m<sup>2</sup> (rientrando invece se il valore è minore). Gli schermi interni sono assegnati alle finestre che negli scenari 03 e 05 non possiedono le lamelle mobili e a tutte quelle degli scenari 01, 02 e 04.



**Figura 13:** parametri geometrici del sistema di lamelle mobili nei modelli di simulazione.

## 5.6 Apporti interni dovuti a persone

La figura 14 presenta i dati di partenza relativi alla presenza di persone nell'edificio, mentre la figura 15 li mette in relazione con i valori programmati. Tali parametri servono a calcolare l'apporto termico dovuto alla presenza di persone. La formula è questa:

*apporto dovuto a persone (W) = superficie pavimento x densità di presenza x fattore metabolico x valore programmazione.*

I valori di densità sono ricavati dalle informazioni ricevute sull'utilizzo dell'edificio. L'indice metabolico è legato al tipo di attività svolta (tanto più alto quanto più intensa è l'attività), mentre il fattore metabolico permette di stimare la costituzione fisica delle persone presenti nell'edificio: uomo = 1,00 / donna = 0,85 / bambino = 0,75.

Tipo locale	Densità (pers./m <sup>2</sup> )	IM (W/pers.)	FM	Apporto (W/m <sup>2</sup> )	Programmazione
Zona lavoro	0,150	120	0,90	16,2	Presenza
Zona servizio	0,030	120	0,90	3,2	Presenza

**Figura 14:** dati di partenza relativi alla presenza di persone.

Dalla stessa formula si capisce che nella programmazione della presenza si definiscono gli intervalli di tempo in cui ci sono persone nei locali (valore diverso da zero), ricavandone i correlati apporti termici dovuti a un certo utilizzo dell'edificio. Per fare un esempio: negli intervalli in cui il valore di programmazione ammonta a 0,80 la percentuale di apporto termico dovuto alla presenza di persone scende all'80 %.

Lun - gio	Ven	Sab e dom
00:00 - 08:00 = 0,05	00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 24:00 = 0,00
08:00 - 09:00 = 0,80	08:00 - 09:00 = 0,80	
09:00 - 13:00 = 1,00	09:00 - 13:00 = 1,00	
13:00 - 14:00 = 0,80	13:00 - 14:00 = 0,80	
14:00 - 16:00 = 1,00	14:00 - 16:00 = 1,00	
16:00 - 20:00 = 0,20	16:00 - 24:00 = 0,00	
20:00 - 24:00 = 0,05		

**Figura 15:** programmazione basata su presenze, dall'1 gennaio al 31 dicembre.

## 5.7 Apporti interni dovuti ad apparecchiature e impianti

La figura 16 presenta i dati di partenza relativi all'utilizzo di impianti e apparecchiature, mentre la figura 17 li mette in relazione con i valori programmati. Tali dati servono a calcolare il consumo energetico e l'apporto termico con la seguente formula:

*consumo/apporto dovuto a macchine (W) = superficie pavimento x indice apporto x valore programmazione.*

Tipo locale	Apporto (W/m <sup>2</sup> )	Tipologia	VA.	LA.	RA.	FA.	Programmazione
Zona lavoro	12,0	Macchine (elettr.)	0,00	0,00	0,20	0,80	Impianti
Zona servizio	3,0	Macchine (elettr.)	0,00	0,00	0,20	0,80	Impianti

VA. = percentuale perdita (calore rilasciato all'esterno)

LA. = percentuale latente; RA. = percentuale radiante; FA. = percentuale percepibile

**Figura 16:** dati di partenza relativi all'utilizzo di impianti e apparecchiature

Nota: se la percentuale di perdita è pari a zero, come in questo caso, si presume che l'energia consumata corrisponda al calore recuperato nel locale. Il calore recuperato si ripartisce in percentuale latente, radiante e percepibile che danno il totale.

Come si evince dalla formula, nella programmazione degli impianti si definiscono gli orari di utilizzo di apparecchiature (valore diverso da zero), ricavandone i correlati consumi e gli apporti termici dovuti a un certo utilizzo dell'edificio. Per fare un esempio: negli intervalli in cui il valore di programmazione ammonta a 0,80 la percentuale di consumo/apporto termico dovuto a impianti e apparecchiature scende all'80 %.

Lun - gio	Ven	Sab e dom
00:00 - 08:00 = 0.05	00:00 - 08:00 = 0.05	00:00 - 24:00 = 0.05
08:00 - 09:00 = 0.80	08:00 - 09:00 = 0.80	
09:00 - 13:00 = 1.00	09:00 - 13:00 = 1.00	
13:00 - 14:00 = 0.80	13:00 - 14:00 = 0.80	
14:00 - 16:00 = 1.00	14:00 - 16:00 = 1.00	
16:00 - 20:00 = 0.20	16:00 - 24:00 = 0.05	
20:00 - 24:00 = 0.05		

**Figura 17:** programmazione di impianti e apparecchiature, dall'1 gennaio al 31 dicembre.



## 5.8 Apporti interni dovuti all'illuminazione

La figura 18 presenta i dati di partenza relativi all'utilizzo dell'illuminazione artificiale, mentre la figura 19 li mette in relazione con i valori programmati. Tali dati servono a calcolare il consumo energetico e l'apporto termico con la seguente formula:

*consumo/apporto dovuto all'illuminazione (W) = superficie pavimento x (illuminamento minimo / 100) x energia illuminazione (W/m<sup>2</sup>-100 lux) x valore programmazione.*

Tipo locale	Illum. min. (lx)	Energ. ill. (W/m <sup>2</sup> -100 lux)	Apporto (W/m <sup>2</sup> )	RS	Rad A.	SA.	KA.	Programmazione
Zona lavoro	500	4,20	21,00	0,00	0,37	0,18	0,45	Illuminazione
Zona servizio	200	4,20	8,40	0,00	0,37	0,18	0,45	Illuminazione

**Figura 18:** dati di partenza relativi all'illuminazione artificiale

Lun - gio	Ven	Sab e dom
00:00 - 08:00 = 0,05	00:00 - 08:00 = 0,05	00:00 - 24:00 = 0,05
08:00 - 09:00 = 0,80	08:00 - 09:00 = 0,80	
09:00 - 13:00 = 1,00	09:00 - 13:00 = 1,00	
13:00 - 14:00 = 0,80	13:00 - 14:00 = 0,80	
14:00 - 16:00 = 1,00	14:00 - 16:00 = 1,00	
16:00 - 20:00 = 0,20	16:00 - 24:00 = 0,05	
20:00 - 24:00 = 0,05		

**Figura 19:** programmazione dell'illuminazione, dall'1 gennaio al 31 dicembre.

Bisogna però osservare che ai parametri sopra riportati è stato aggiunto un fotosensore in ogni zona di lavoro per gli scenari 03 e 05. Tale fotosensore permette di alzare o ridurre l'intensità d'illuminazione a seconda della presenza di luce diurna. Si tiene conto del fatto che gli apparecchi possono scendere fino al 3 % della loro potenza totale e che sotto tale valore si spengono.

Dal momento che nello scenario 05 il sistema di comando è abbinato alle lamelle mobili, la regolazione della luce deve rappresentare nel modo più realistico possibile l'andamento basato sui raggi solari, sempre considerando i limiti dei programmi di simulazione usati.

## 5.9 Sistema di climatizzazione

I sistemi di climatizzazione sono gestiti con l'opzione DesignBuilder HVAC Compact: attraverso oggetti Template di EnergyPlus si creano sistemi generici i cui elementi speciali si dimensionano automaticamente.

In questo caso si è definito un sistema di ventilconvettori a quattro tubi, alimentati da una caldaia a gas con circuito di acqua calda di potenza nominale 0,89 e circuito di acqua fredda il cui valore di riferimento (COP) è 3,67. Entrambi i circuiti sono disponibili negli orari di presenza durante tutto l'anno, come previsto dalla programmazione illustrata alla figura 20. In modalità di raffreddamento la temperatura nominale è di 25 °C, nel riscaldamento invece è di 21 °C.

Lun - gio	Ven	Sab e dom
00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 24:00 = 0,00
08:00 - 20:00 = 1,00	08:00 - 16:00 = 1,00	
20:00 - 24:00 = 0,00	16:00 - 24:00 = 0,00	

**Figura 20:** programmazione di riscaldamento e condizionamento, dall'1 gennaio al 31 dicembre.

La ventilazione meccanica abbinata alla climatizzazione sfrutta l'aria di ritorno. Ciò nonostante è garantito sempre un apporto minimo di aria fresca, qui di 12,5 l/s a persona. La ventilazione meccanica è programmata come illustrato nella figura 21: l'apporto massimo di aria fresca varia secondo l'intensità di presenze (il valore 1 rappresenta il massimo, quelli inferiori apporti parziali).

Lun - gio	Ven	Sab e dom
00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 24:00 = 0,00
08:00 - 09:00 = 0,80	08:00 - 09:00 = 0,80	
09:00 - 13:00 = 1,00	09:00 - 13:00 = 1,00	
13:00 - 14:00 = 0,80	13:00 - 14:00 = 0,80	
14:00 - 16:00 = 1,00	14:00 - 16:00 = 1,00	
16:00 - 20:00 = 0,20	16:00 - 24:00 = 0,00	
20:00 - 24:00 = 0,00		

**Figura 21:** programmazione della ventilazione meccanica, dall'1 gennaio al 31 dicembre.

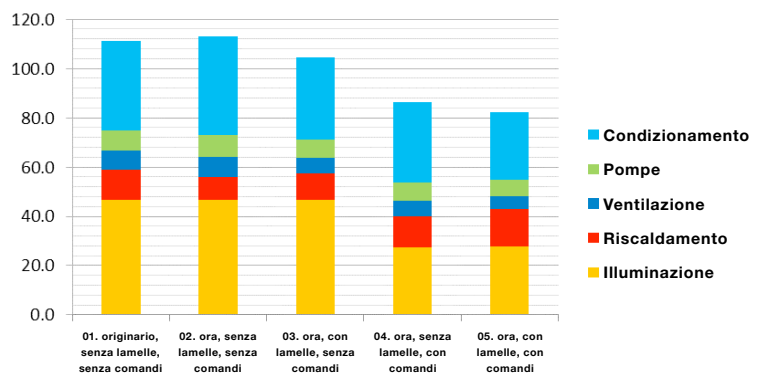
In questo capitolo riassumiamo i risultati ottenuti con le simulazioni. Per ognuno degli scenari proposti è stata eseguita una simulazione di un anno considerando i dati di partenza esposti nel capitolo precedente.

## 6.1 Valori di consumo energetico generale

Innanzitutto presentiamo una tabella comparativa dei consumi energetici in kWh/m<sup>2</sup> (figura 22). Sono elencati i consumi relativi a illuminazione, riscaldamento (caldaia), ventilazione meccanica, pompe di climatizzazione e condizionamento. La tabella riporta inoltre il livello di miglioramento degli scenari da 02 a 05 rispetto 01, miglioramento dovuto alla riduzione generale di consumo energetico (espressa in percentuale). La figura 23 illustra i valori della tabella sotto forma di grafico.

	<b>Illum.</b>	<b>Riscald.</b>	<b>Ventil.</b>	<b>Pompe</b>	<b>Condizion.</b>	<b>Totale</b>	<b>Miglioram.</b>
01. originario, senza lamelle, senza comandi	46,7	12,2	7,9	8,1	36,3	111,2	Rif.
02. ora, senza lamelle, senza comandi	46,7	9,2	8,0	8,9	40,3	113,1	-1,7 %
03. ora, con lamelle, senza comandi	46,7	10,9	6,3	7,4	33,3	104,6	6,0 %
04. ora, senza lamelle, con comandi	27,4	12,5	6,5	7,5	32,6	86,5	22,2 %
05. ora, con lamelle, con comandi	27,7	15,3	5,2	6,5	27,6	82,3	26,0 %

**Figura 22:** tabella comparativa dei consumi energetici di climatizzazione e illuminazione (kWh/m<sup>2</sup>).



**Figura 23:** grafico comparativo dei consumi energetici di climatizzazione e illuminazione (kWh/m<sup>2</sup>).

Si osserva che il consumo energetico complessivo dello scenario 02 (edificio attuale, senza lamelle e senza comandi) supera dell'1,7 % quello dello scenario 01 (stato originario, prima della ristrutturazione). Ciò è da ricondursi al fatto che le chiusure perimetrali della facciata principale sono state sostituite con chiusure isolate meglio (minor coefficiente di trasmissione) anche se con massa termica minore.

Dal momento che l'edificio si trova a Barcellona, e viste le utenze interne (illuminazione, impianti, presenza di persone), il consumo dovuto al condizionamento è molto maggiore di quello del riscaldamento. Dato che i vecchi muri della facciata principale avevano una massa termica maggiore di quelli nuovi, il consumo generale dell'edificio ristrutturato risulta un po' più alto di quello dell'edificio originario. Si può però affermare che l'edificio ristrutturato consuma di meno in riscaldamento in quanto i muri della facciata presentano un minor coefficiente di trasmissione (isolamento migliore). Tuttavia il consumo per il condizionamento è maggiore di prima per via della minor massa termica. Visto che la simulazione energetica è dinamica, il valore della massa termica incide in modo consistente sui risultati ottenuti.

Se prendiamo come riferimento lo scenario 02 (ora, senza lamelle, senza comandi), notiamo che lamelle e comandi inducono considerevoli miglioramenti. Non solo, ma si nota che i miglioramenti sono generati esclusivamente da questi sistemi.

	<b>Illum.</b>	<b>Riscald.</b>	<b>Ventil.</b>	<b>Pompe</b>	<b>Condizion.</b>	<b>Totale</b>	<b>Cons. tot.</b>	<b>Cons. tot.</b>
01. originario, senza lamelle, senza comandi	46,7	12,2	7,9	8,1	36,3	111,2	1,9	1,68 %
02. ora, senza lamelle, senza comandi	46,7	9,2	8,0	8,9	40,3	113,1	Rif.	Rif.
03. ora, con lamelle, senza comandi	46,7	10,9	6,3	7,4	33,3	104,6	8,5	7,52 %
04. ora, senza lamelle, con comandi	27,4	12,5	6,5	7,5	32,6	86,5	26,6	23,52 %
05. ora, con lamelle, con comandi	27,7	15,3	5,2	6,5	27,6	82,3	30,8	27,23 %

**Figura 24:** tabella comparativa dei consumi energetici (kWh/m<sup>2</sup>).

## 6.2 Bilancio termico dell'edificio

Per comprendere meglio questo aspetto si è eseguito un bilancio termico dell'edificio considerando l'energia recuperata dalle chiusure perimetrali (comprendendo perdite e apporto di muri, pavimenti e tetti), da fonti interne (persone e apparecchiature), da infiltrazioni, da vetrate (comprendendo l'apporto dato dalla luce solare e dalla trasmissione delle finestre), dall'illuminazione, dal riscaldamento e dal condizionamento. Le considerazioni da fare sono queste:

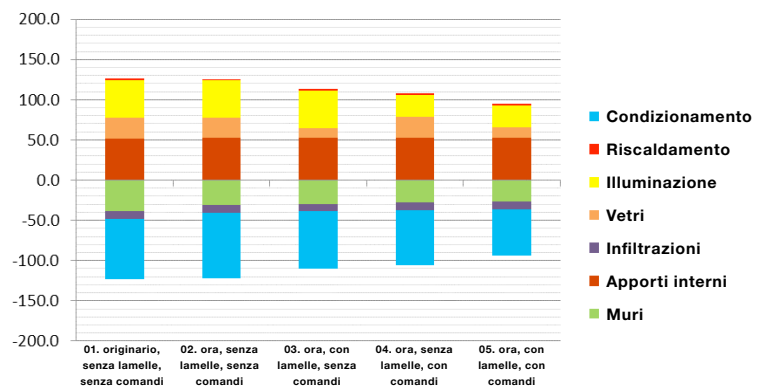
1. I valori rappresentano la somma di guadagni e perdite termiche durante tutto l'anno. Alcuni valori implicano esclusivamente guadagni (come ad esempio l'illuminazione), altri invece solo perdite (come il condizionamento). Nel caso dei muri ci sono sia perdite che guadagni. In altre parole, sebbene considerando un anno intero i muri comportino perdite, ci sono comunque periodi di guadagno.

2. I guadagni dovuti a riscaldamento e condizionamento costituiscono l'energia sottratta al sistema di climatizzazione e utilizzata per mantenere un determinato livello di comfort. Le differenze sostanziali dei consumi sono da ricondursi al fatto che in questo caso non si sono considerati né l'efficienza degli impianti né i carichi dovuti alla depurazione dell'aria esterna.

3. In un bilancio termico perfetto i valori complessivi della colonna a destra dovrebbero avvicinarsi allo zero. Dato però che abbiamo a che fare con calcoli dinamici che implicano anche aspetti di resistenza termica, in questo caso abbiamo sempre dei valori residui.

	<b>Muri</b>	<b>Apporti int.</b>	<b>Infiltr.</b>	<b>Vetri</b>	<b>Illumin.</b>	<b>Riscald.</b>	<b>Condizion.</b>	<b>Totale</b>
01. originario, senza lamelle, senza comandi	-38,5	52,1	-9,4	25,5	46,7	1,9	-75,4	3,0
02. ora, senza lamelle, senza comandi	-31,3	52,2	-9,5	25,0	46,7	1,3	-81,5	2,9
03. ora, con lamelle, senza comandi	-29,5	52,2	-9,2	12,4	46,7	1,5	-71,6	2,6
04. ora, senza lamelle, con comandi	-28,0	52,4	-9,2	26,0	27,4	1,9	-68,0	2,3
05. ora, con lamelle, con comandi	-27,0	52,3	-8,9	13,1	27,7	2,2	-57,5	1,9

**Figura 25:** tabella comparativa dei bilanci termici generali (kWh/m<sup>2</sup>).



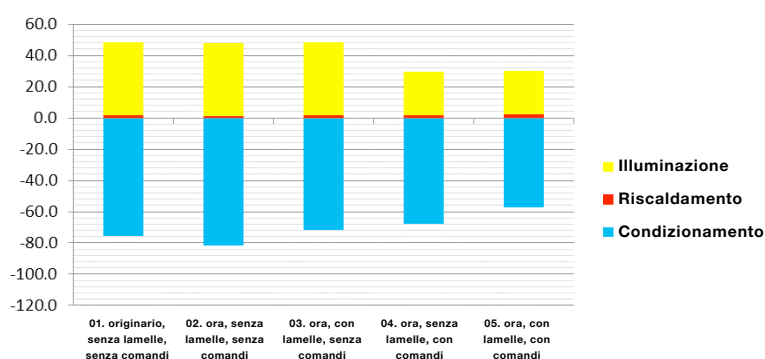
**Figura 26:** grafico comparativo dei bilanci termici generali (kWh/m<sup>2</sup>).

Le figure 27 e 28 illustrano singolarmente perdite e guadagni termici dovuti a condizionamento, riscaldamento e illuminazione. Questo ci permette di stabilire una relazione più chiara tra i singoli bilanci termici e i valori di consumo ad essi legati, soprattutto per quanto riguarda i potenziali di miglioramento.

Nota: per calcolare i valori totali della tabella nella figura 27 si sono rovesciati i valori negativi del condizionamento (perdite termiche).

	Condizion.	Riscald.	Illumin.	Totale	Consumo tot.
01. originario, senza lamelle, senza comandi	-75,4	1,9	46,7	124,1	4,17 %
02. ora, senza lamelle, senza comandi	-81,5	1,3	46,7	129,5	Ref.
03. ora, con lamelle, senza comandi	-71,6	1,5	46,7	119,8	7,49 %
04. ora, senza lamelle, con comandi	-68,0	1,9	27,4	97,3	24,86 %
05. ora, con lamelle, con comandi	-57,5	2,2	27,7	87,4	32,51 %

**Figura 27:** tabella comparativa dei bilanci termici parziali (kWh/m<sup>2</sup>).



**Figura 28:** grafico comparativo dei bilanci termici parziali (kWh/m<sup>2</sup>).

### Analisi dei risultati dello scenario 02

Si nota che nello scenario 02 (edificio ristrutturato, senza lamelle, senza comandi) il consumo generato dal condizionamento è maggiore di quello dello scenario 01 (edificio prima della ristrutturazione), per la precisione è cresciuto da 75,4 a 81,5 kWh/m<sup>2</sup>. Per contro il consumo del riscaldamento è sceso da 1,9 a 1,3 kWh/m<sup>2</sup>.

### Analisi dei risultati dello scenario 03

Nei risultati dello scenario 03 (edificio ristrutturato, con lamelle ma senza comandi) si osserva che rispetto allo scenario 02 il consumo generato dal condizionamento è notevolmente calato grazie alle schermature antisolari, passando da 81,5 a 71,6 kWh/m<sup>2</sup>. Per contro il consumo del riscaldamento è leggermente aumentato da 1,3 a 1,5 kWh/m<sup>2</sup>. La cosa si spiega con il fatto che le lamelle lasciano entrare la luce diffusa del giorno, ma bloccano i raggi solari diretti (per impedire l'abbagliamento) e di conseguenza in inverno si hanno meno guadagni termici gratuiti: per questo aumenta la necessità di riscaldamento rispetto allo scenario 02. Si nota anche che il consumo dell'illuminazione rimane invariato negli scenari 01, 02 e 03: il motivo è che nella simulazione non ci sono sistemi di comando della luce, pertanto gli apparecchi d'illuminazione rimangono accesi per tutto l'orario di utilizzo dell'edificio a prescindere dall'incidenza di luce diurna.

Qui il miglioramento del consumo energetico dell'edificio ammonta al 3,5 % rispetto allo stato originario e al 7,5 % rispetto alla ristrutturazione che non include lamelle né sistema di comando della luce.

#### **Analisi dei risultati dello scenario 04**

Nei risultati dello scenario 04 (edificio ristrutturato, senza lamelle ma con comandi) si osserva che rispetto allo scenario 02 abbiamo consistenti miglioramenti di consumo energetico generale. In questo caso il contributo maggiore è dato dal consumo dell'illuminazione che scende da 46,7 a 27,4 kWh/m<sup>2</sup>. Anche il consumo del condizionamento scende da 81,5 a 68 kWh/m<sup>2</sup>: si evince pertanto che la minore necessità d'illuminazione ha effetti positivi sul condizionamento. Per contro aumenta la necessità di riscaldamento, passando da 1,3 a 1,9 kWh/m<sup>2</sup>, sebbene tale perdita non incida in modo significativo sul bilancio totale se si considerano le differenze di consumo tra condizionamento/illuminazione e riscaldamento.

Qui il miglioramento del consumo energetico dell'edificio ammonta al 21,6 % rispetto allo stato originario e al 24,8 % rispetto alla ristrutturazione che non include lamelle né sistema di comando della luce.

#### **Analisi dei risultati dello scenario 05**

Lo scenario 05 (edificio ristrutturato, con lamelle e con comandi) contiene tutte le misure di modernizzazione adottate. Se lo confrontiamo con lo scenario 04 (edificio ristrutturato, senza lamelle ma con comandi), emerge che il consumo del condizionamento cala da 68 a 57,5 kWh/m<sup>2</sup>: ciò è dovuto alla schermatura del sole con le lamelle mobili. Tuttavia aumenta in modo consistente il consumo di illuminazione e riscaldamento: la cosa si spiega con il fatto che le lamelle lasciano sì entrare la luce diffusa del giorno, ma bloccano i raggi solari diretti (per impedire l'abbagliamento) e di conseguenza in inverno si hanno meno guadagni termici gratuiti: per questo aumenta leggermente la necessità di riscaldamento, sebbene la differenza di consumo non incida in modo significativo sul bilancio totale. Abbiamo infatti un miglioramento complessivo del 29,6 % rispetto all'edificio nello stato originario e del 32,50 % rispetto alla ristrutturazione che non include lamelle né sistema di comando della luce.

Dai risultati qui esposti si possono trarre conclusioni sui miglioramenti energetici generati dal sistema di schermatura antisolare e da quello di comando della luce, ognuno per conto proprio o tutti e due combinati.

### Precisazioni sull'edificio

I risultati che abbiamo esposto riguardano l'intero EDIFICIO (vale a dire l'edificio nel suo complesso), compresi i suoi locali, piani e facciate. Si fa presente che il sistema di schermatura solare è stato installato unicamente sulle facciate est e sudest (quella obliqua), non invece sulla facciata posteriore che dà a ovest. Non ci sono lamelle antisolari nemmeno al pianoterra né in quello rialzato, il che vuol dire che i consumi energetici migliorerebbero ulteriormente se i sistemi di schermatura fossero montati anche su queste parti dove mancano.

Per valutare l'effetto del sistema di lamelle e schermature solari si è eseguita una simulazione PARZIALE in una zona rappresentativa dove il sistema è montato. Le altre zone pertanto, prive di schermature, non confluiscono nei risultati del miglioramento ottenuto. La simulazione è illustrata nel capitolo che segue.

## 6.3 Bilanci termici di una ZONA rappresentativa con sistemi lamellari mobili

Come spiegato nel capitolo sui dati di partenza, il sistema di lamelle mobili non è stato installato su tutte le finestre dell'edificio bensì solo su quelle che vanno dal primo al quarto piano e che danno sulle facciate est, sudest e sud (in quest'ultima si considerano solo le finestre direttamente adiacenti a quelle della facciata sudest). In pratica solo il 42,2 % della superficie totale possiede il sopracitato sistema di schermatura. Al di là del fatto che il pianoterra, vista la sua configurazione geometrica, è esposto al sole in modo completamente diverso dagli altri piani, la misurazione dell'effetto reale delle lamelle mobili è comunque resa più difficoltosa se si considerano i dati di tutto l'edificio.

Di conseguenza, per avvicinarsi meglio al risultato di queste dotazioni, il presente paragrafo illustra solo i bilanci termici di una zona rappresentativa in cui sono installate le lamelle mobili. Nella fattispecie si tratta della zona frontale 02 del secondo piano (vedi figura 29).

Nota: questi dati sono riferiti a tutte le precisazioni fatte nel capitolo precedente.

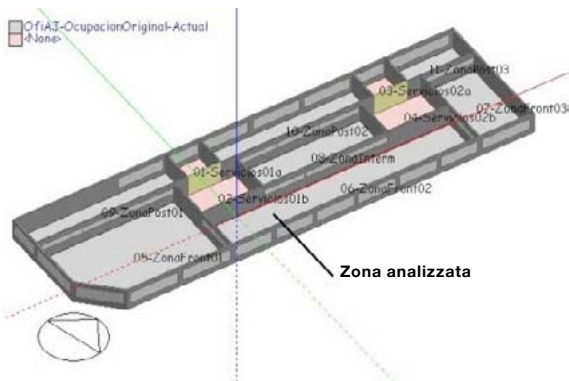


Figura 29: identificazione della zona analizzata in questo capitolo.



	Condizion.	Riscald.	Illumin.	Totale	Consumo tot.
01. originario, senza lamelle, senza comandi	-98	1,1	47,8	146,9	6,85 %
02. ora, senza lamelle, senza comandi	-109,5	0,3	47,8	157,7	Rif.
03. ora, con lamelle, senza comandi	-80,6	0,6	47,8	129,0	18,20 %
04. ora, senza lamelle, con comandi	-89,3	0,7	20,8	110,7	29,80 %
05. ora, con lamelle, con comandi	-60,9	1,0	22,1	84,0	46,73 %

Figura 30: tabella comparativa dei bilanci termici generali della zona frontale 02 (kWh/m<sup>2</sup>).

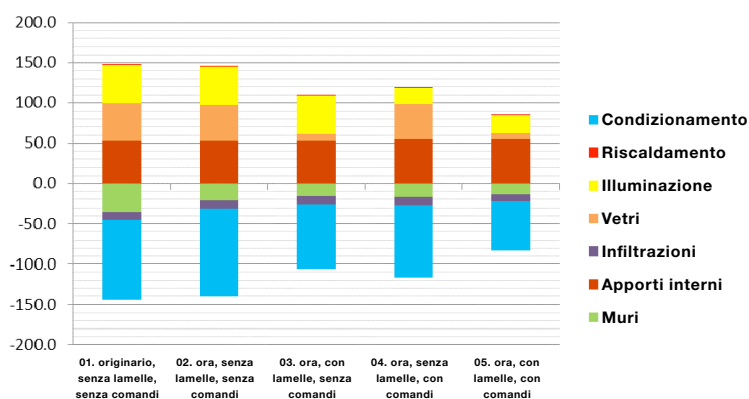


Figura 31: grafico comparativo dei bilanci termici generali della zona frontale 02 (kWh/m<sup>2</sup>).

	Condizion.	Riscald.	Illumin.	Totale	Miglioram.
01. originario, senza lamelle, senza comandi	-98,0	1,1	47,8	146,9	Ref,
02. ora, senza lamelle, senza comandi	-109,5	0,3	47,8	157,7	-7,4 %
03. ora, con lamelle, senza comandi	-80,6	0,6	47,8	129,0	12,2 %
04. ora, senza lamelle, con comandi	-89,3	0,7	20,8	110,7	24,6 %
05. ora, con lamelle, con comandi	-60,9	1,0	22,1	84,0	42,8 %

Figura 32: tabella comparativa dei bilanci termici parziali della zona frontale 02 (kWh/m<sup>2</sup>).

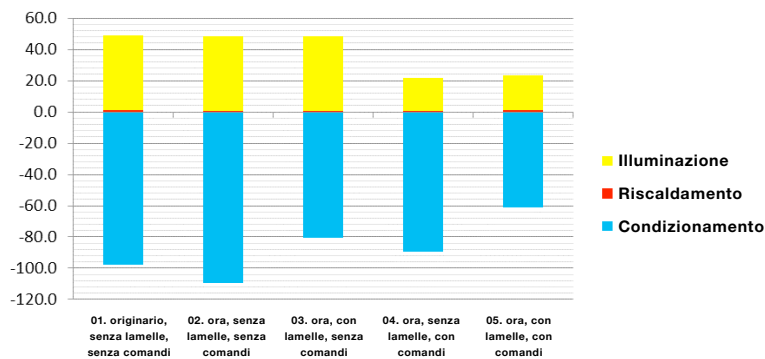


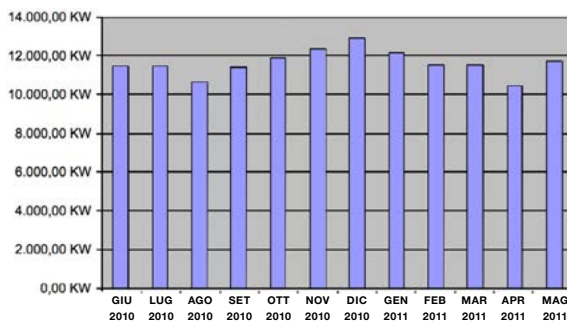
Figura 33: grafico comparativo dei bilanci termici parziali della zona frontale 02 (kWh/m<sup>2</sup>).

Dai risultati emerge che i consumi energetici della ZONA esaminata sono decisamente più ridotti di quelli dell'EDIFICIO: il miglioramento è del 42,8 % rispetto all'edificio nello stato originario e del 46,7 % rispetto all'edificio ristrutturato e senza lamelle né comandi della luce.

## 6.4 Confronto di valori misurati e simulati del consumo energetico dell'illuminazione

Visto che per l'edificio attuale sono disponibili i dati reali dei consumi dell'illuminazione, rilevati per un anno intero (scenario 05), li possiamo confrontare con quelli delle simulazioni.

Riportiamo qui i dati di consumo di corrente prelevati dal modulo di automazione LRA LUXMATE nel periodo da giugno 2010 a maggio 2011:



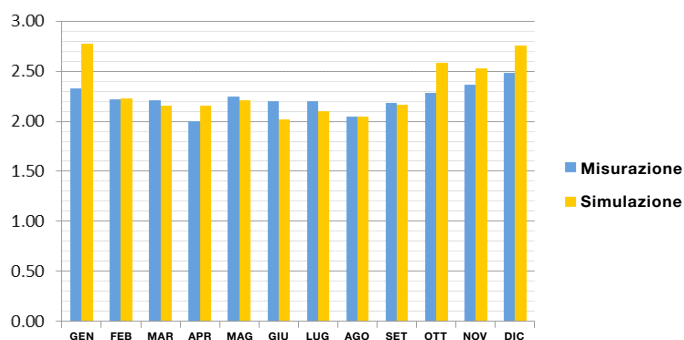
Edificio	SERVEIS TERRITORIALS DE TREBALL
Ubicazione	C/ Carrera 12-24. BARCELONA
Data inizio	1 giugno 2010
Data fine	31 maggio 2011
Apparecchio DALI:	2 x 36 W
Numero di apparecchi:	1 137
Potenza installata (W)	81 864
Giugno 2010	11 450,26 KW
Luglio 2010	11 462,26 KW
Agosto 2010	10 657,44 KW
Settembre 2010	11 370,64 KW
Ottobre 2010	11 878,58 KW
Novembre 2010	12 315,18 KW
Dicembre 2010	12 910,79 KW
Gennaio 2011	12 134,43 KW
Febbraio 2011	11 539,17 KW
Marzo 2011	11 522,12 KW
Aprile 2011	10 443,91 KW
Maggio 2011	11 714,40 KW
Totale	139 399,18 KW

La tabella e il grafico che seguono (figure 34 e 35) riportano la sopracitata analisi comparativa. Si nota che i dati della misurazione corrispondono in via di massima a quelli delle simulazioni. È vero sì che nel primo mese e negli ultimi tre ci sono differenze più rilevanti, ma per il resto i valori coincidono. Guardando la media dell'intero anno, la differenza ammonta soltanto al 3,5 %.

Questo confronto serve a darci la sicurezza che i modelli di simulazione siano affidabili, soprattutto per quel che concerne il funzionamento di lamelle mobili e comandi della luce. Non è stato possibile effettuare un paragone degli altri parametri di consumo, come riscaldamento e condizionamento, in quanto non esistono dati di misurazione differenziati.

	Misurazione	Simulazione	Differenza
Gen	2,33	2,77	-19,1 %
Feb	2,21	2,23	-0,6 %
Mar	2,21	2,15	2,7 %
Apr	2,00	2,15	-7,3 %
Mag	2,25	2,21	1,8 %
Giu	2,20	2,02	8,1 %
Lug	2,20	2,10	4,5 %
Ago	2,05	2,05	0,0 %
Set	2,18	2,17	0,7 %
Ott	2,28	2,58	-13,2 %
Nov	2,36	2,52	-6,8 %
Dic	2,48	2,75	-11,1 %
Totale	26,76	27,71	-3,5 %

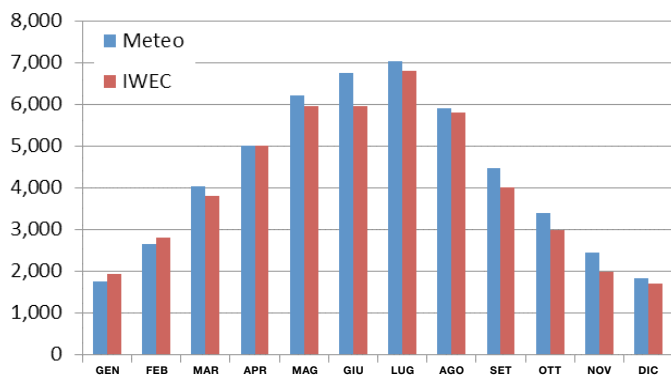
**Figura 34:** tabella comparativa dei consumi dell'illuminazione misurati e di quelli simulati nello scenario 05 (kWh/m<sup>2</sup>).



**Figura 35:** grafico comparativo dei consumi dell'illuminazione misurati e di quelli simulati nello scenario 05 (kWh/m<sup>2</sup>).

Le poche differenze tra i valori misurati sull'impianto reale e quelli calcolati nelle simulazioni sono riconducibili ai seguenti fattori:

1. Il periodo considerato per la simulazione può in certa misura divergere da quello dell'utilizzo reale.
2. I dati climatici della simulazione provengono da una banca dati IVEC (Ashrae) e in certa misura possono divergere da quelli reali che si sono presentati nel periodo di misurazione da giugno 2010 a maggio 2011. Dal momento che la stazione meteorologia catalana «Servei Meteorològic de Catalunya – METEOCAT», situata nei pressi dell'edificio in questione, ha reso disponibili i dati climatici reali, è stato possibile metterli a confronto con quelli della simulazione (come premesso al capitolo 5.1 del presente studio). Riportiamo qui il grafico comparativo:



**Figura 36:** confronto della radiazione solare orizzontale complessiva (Wh/m<sup>2</sup>).

3. Nella simulazione non è considerata la luce che passa attraverso le pareti divisorie interne (che separano le zone della facciata da quelle interne), cosa che genera differenze tra i consumi reali dell'impianto e quelli calcolati nella simulazione.

Nel capitolo che segue presentiamo le conclusioni dello studio eseguito.

Il presente studio è stato condotto su un edificio esemplificativo ristrutturato di recente: qui è installato un impianto Luxmate per il comando di luce e schermature lamellari esterne. Di tale impianto esistono i dati reali di consumo energetico dell'illuminazione nel periodo da maggio 2010 a maggio 2011. Per contro non esistono dati reali di consumo del sistema di climatizzazione in quanto non è stato possibile leggerli dal quadro elettrico.

Lo scopo dello studio era valutare in che misura un sistema di regolazione della luce, abbinato a schermature antisolari, abbia effetto sul consumo energetico di un edificio: nella fattispecie non solo sul consumo dell'illuminazione ma anche su quello del sistema di climatizzazione.

## 7.1 Scenari dell'EDIFICIO

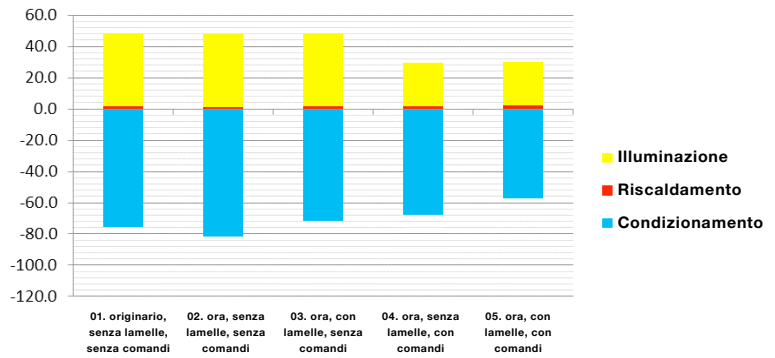
Sono stati simulati diversi scenari per valutare in che misura le strategie di comando della luce e di schermatura solare (sia singolarmente che in combinazione) influenzino il consumo energetico dell'edificio. Gli scenari sono:

- Scenario 01: edificio originario (prima della ristrutturazione), senza lamelle mobili e senza comando della luce.
- Scenario 02: edificio odierno, senza lamelle mobili e senza comando della luce.
- Scenario 03: edificio odierno, con lamelle mobili e senza comando della luce.
- Scenario 04: edificio odierno, senza lamelle mobili e con comando della luce.
- Scenario 05: edificio odierno, con lamelle mobili e con comando della luce.

La simulazione è stata eseguita sia a livello di EDIFICIO che a livello di ZONA. Nel primo caso (EDIFICIO) la simulazione comprende tutte le parti e tutti i piani: i risultati riguardano i valori di consumo energetico legati al sistema d'illuminazione e a quello di climatizzazione in ogni scenario. I risultati sono riassunti come segue:

	<b>Condi- zion.</b>	<b>Cons. condiz.</b>	<b>Riscal- damento</b>	<b>Cons. riscald.</b>	<b>Luce</b>	<b>Cons. luce</b>	<b>Totale</b>	<b>Cons. totale</b>	<b>Cons. totale</b>
01. originario, senza lamelle, senza comandi	-75,4	7,48 %	1,9	-46,15 %	46,7	0,00 %	124,1	5,4	4,17 %
02. ora, senza lamelle, senza comandi	-81,5	Rif.	1,3	Rif.	46,7	Rif.	129,5	Rif.	Rif.
03. ora, con lamelle, senza comandi	-71,6	12,15 %	1,5	-15,38 %	46,7	0 %	119,8	9,7	7,49 %
04. ora, senza lamelle, con comandi	-68,0	16,56 %	1,9	-46,15 %	27,4	41,33 %	97,3	32,2	24,86 %
05. ora, con lamelle, con comandi	-57,5	29,45 %	2,2	-69,23 %	27,7	40,69 %	87,4	42,1	32,51 %

**Figura 37:** tabella comparativa dei bilanci termici parziali dell'edificio (kWh/m²).



**Figura 38:** grafico comparativo dei bilanci termici parziali dell'edificio (kWh/m²).

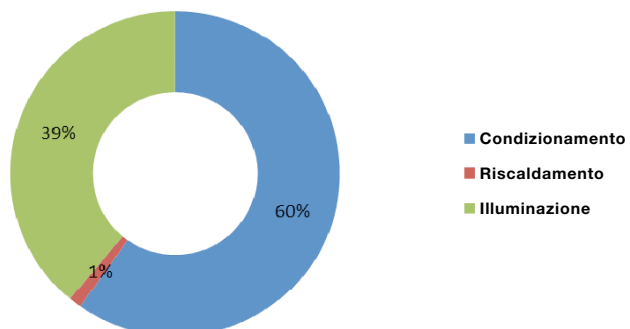
Si noti che la facciata posteriore (che dà a ovest) e le facciate principali del pianoterra e del piano rialzato (che danno a est) non possiedono schermature lamellari. Pertanto nei risultati generali qui presentati confluiscono sia le zone con schermature che quelle senza. Ciò nonostante i valori degli scenari 03, 04 e 05 appaiono significativi.

### 7.1.1 Analisi dello scenario 03 (edificio odierno, con lamelle, senza comandi) – LIVELLO EDIFICIO

Prendendo come riferimento i risultati dello scenario 02 (edificio odierno, con lamelle, senza comandi), vediamo che nello scenario 03 (vale a dire solo implementando il sistema di schermature lamellari) il consumo energetico relativo a climatizzazione + illuminazione si riduce del 7,50 %.

Questo significa che sono possibili risparmi energetici anche solo installando sulle vetrate un sistema di schermatura a lamelle mobili.

Nello scenario 03 i consumi energetici di condizionamento, riscaldamento e illuminazione sono ripartiti come segue:



Spiegazione del risparmio percentuale secondo le singole utenze:

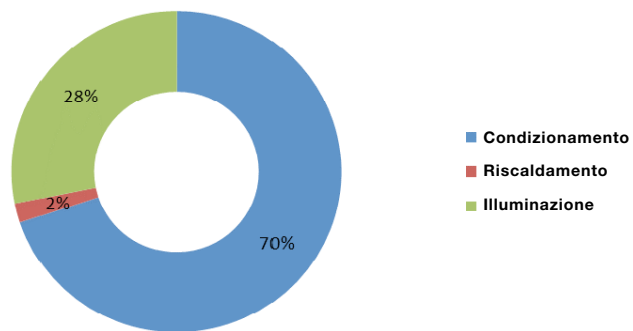
- Condizionamento: il consumo scende del 12,14 % rispetto a quello dello scenario 02. Appare evidente l'effetto delle lamelle sul sistema di condizionamento, visto che queste hanno ovviamente la funzione di schermare il sole diretto che entra dalle vetrate. È importante rilevare che tale risultato riguarda tutto l'edificio, quindi fanno media anche le parti senza schermature lamellari (facciata posteriore a ovest, facciate del pianoterra e del piano rialzato a est).
- Riscaldamento: in questo caso il consumo aumenta del 15,4 % rispetto a quello dello stesso edificio senza schermature sulle finestre. I mancati raggi solari influenzano chiaramente la necessità di riscaldamento, che beneficerebbe invece del contributo termico gratuito dato dal sole. Tuttavia, visto che l'edificio si trova in una città dove il costo del riscaldamento non è particolarmente ingente nel confronto con illuminazione e condizionamento, questo incremento del 15,4 % non ha grande influenza sui consumi energetici generali dell'edificio. Occorre anche osservare che nella presente valutazione dei consumi non si entra nel merito di aspetti come il comfort: le schermature lamellari impediscono l'abbagliamento ma evitano anche che le persone accanto alle finestre si scaldino troppo, e questo sia in estate che in inverno.
- Illuminazione: rimane costante poiché non sono previsti comandi della luce né nello scenario 02 né nello scenario 03. Quindi l'illuminazione rimane sempre accesa al 100 % a prescindere dalla luce naturale che entra dalle finestre.

## 7.1.2 Analisi dello scenario 04 (edificio odierno, senza lamelle, con comandi) – LIVELLO EDIFICIO

Nello scenario 04 (con sistema di comando della luce ma senza schermature lamellari) si osserva un calo di consumo del 24,9 % rispetto allo scenario 02.

Questo vuol dire che sono possibili risparmi energetici anche solo implementando un sistema di comando della luce.

Nello scenario 04 i consumi energetici di condizionamento, riscaldamento e illuminazione sono ripartiti come segue:



Spiegazione del risparmio percentuale secondo le singole utenze:

- Condizionamento: in questo caso il consumo scende del 16,56 % rispetto a quello dello scenario 02. La cosa si spiega esclusivamente col fatto che diminuisce l'apporto termico dell'illuminazione che il sistema di condizionamento deve controbilanciare. Questo perché l'intensità luminosa artificiale si regola secondo l'incidenza della luce esterna che entra dalle finestre.
- Riscaldamento: in questo caso il consumo aumenta del 46,15 % rispetto a quello dello stesso edificio senza comandi della luce. Ciò è dovuto al fatto che diminuisce l'apporto termico dell'illuminazione, che in inverno tornerebbe utile al riscaldamento e che da questo deve essere compensato. Tuttavia, visto che l'edificio si trova in una città dove il costo del riscaldamento non è particolarmente ingente nel confronto con illuminazione e condizionamento, questo incremento del 46,15 % non ha grande influenza sui consumi energetici generali dell'edificio.
- Illuminazione: adottando il sistema di comando della luce il consumo scende del 41,32 % rispetto a quello dello stesso edificio senza comandi.

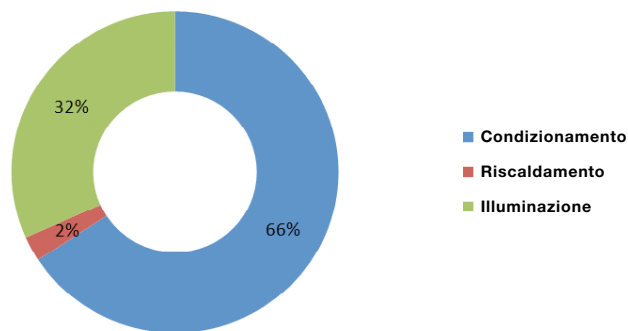


### 7.1.3 Analisi dello scenario 05 (edificio odierno, con lamelle, con comandi) – LIVELLO EDIFICIO

Nello scenario 05 (con sistema di comando della luce e con schermature lamellari sulle vetrate) si osserva un calo di consumo del 32,51 % rispetto allo scenario 02.

Questo significa che sono possibili risparmi energetici implementando un sistema di comando della luce abbinato a schermature lamellari mobili sulle finestre.

Nello scenario 05 i consumi energetici di condizionamento, riscaldamento e illuminazione sono ripartiti come segue:



Spiegazione del risparmio percentuale secondo le singole utenze:

- Condizionamento: rispetto allo scenario 02 il consumo si riduce del 29,44 % grazie alla combinazione di comandi della luce e schermature lamellari mobili sulle finestre.
- Riscaldamento: in questo caso il consumo aumenta del 69,23 % rispetto a quello dello stesso edificio senza comandi della luce e senza schermature lamellari. Ciò è dovuto al fatto che il riscaldamento deve compensare il diminuito apporto termico dell'illuminazione, che in inverno tornerebbe utile, ed anche quello dei raggi solari diretti. Pur consistente, tale incremento comunque non pesa sul consumo energetico generale, a differenza invece del condizionamento e dell'illuminazione.
- Illuminazione: qui il consumo scende del 40,68 % rispetto a quello dello stesso edificio senza comandi della luce e senza schermature lamellari. La percentuale è lievemente più bassa rispetto allo scenario 04 (41,32 %) perché le lamelle bloccano il passaggio dei raggi solari e quindi il sistema di comando deve aumentare il livello d'illuminazione artificiale.

## 7.2 Scenari di una ZONA

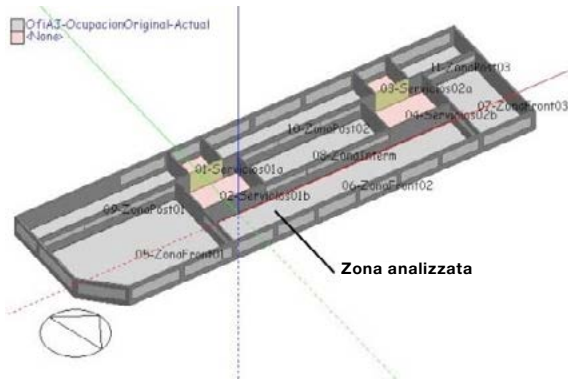


Figura 39: identificazione della zona analizzata in questo capitolo

Passando alla simulazione di una singola ZONA i risultati cambiano drasticamente. Si è scelta una singola zona con facciata provvista di schermature lamellari. Guarda verso est e nel disegno è contrassegnata come «zona frontale 02».

Nella simulazione di questa singola zona è possibile valutare più precisamente l'effetto delle schermature lamellari in quanto non entrano a far media sui risultati complessivi le zone che ne sono prive, ossia il pianoterra, il piano rialzato e i locali della facciata posteriore.

Riportiamo qui i risultati relativi alla zona analizzata:

	Condi- zion.	Cons. condiz.	Riscal- damento	Cons. riscald.	Luce	Cons. luce	Totale	Cons. totale	Cons. totale
01. originario, senza lamelle, senza comandi	-98	10,50 %	1,1	-266,67 %	47,8	0,00 %	146,9	10,8	6,85 %
02. ora, senza lamelle, senza comandi	-109,5	Ref.	0,3	Ref.	47,8	Ref.	157,7	Ref.	Ref.
03. ora, con lamelle, senza comandi	-80,6	26,39 %	0,6	-100,00 %	47,8	0 %	129,0	28,7	18,20 %
04. ora, senza lamelle, con comandi	-89,3	18,45 %	0,7	-133,33 %	20,8	56,49 %	110,7	47,0	29,80 %
05. ora, con lamelle, con comandi	-60,9	44,38 %	1,0	-233,33 %	22,1	53,77 %	84,0	73,7	46,73 %

Figura 40: tabella comparativa dei bilanci termici parziali della zona frontale 02 (kWh/m<sup>2</sup>).

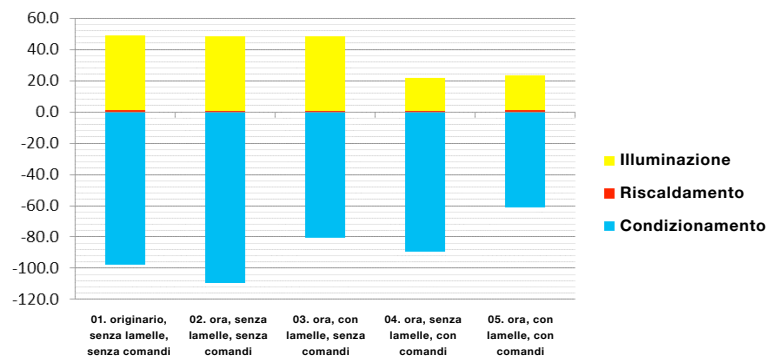
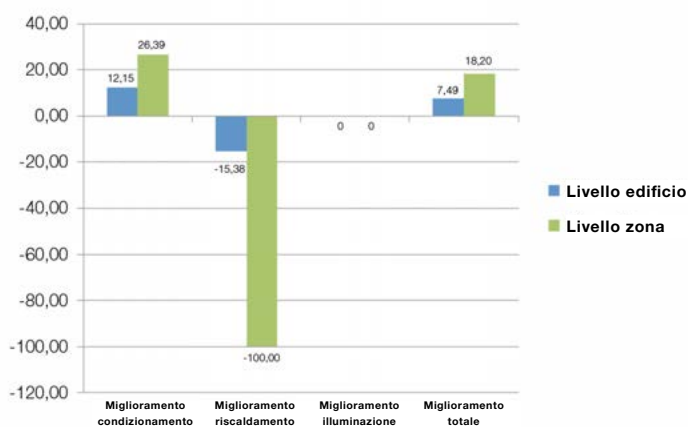


Figura 41: grafico comparativo dei bilanci termici parziali della zona frontale 02 (kWh/m<sup>2</sup>).

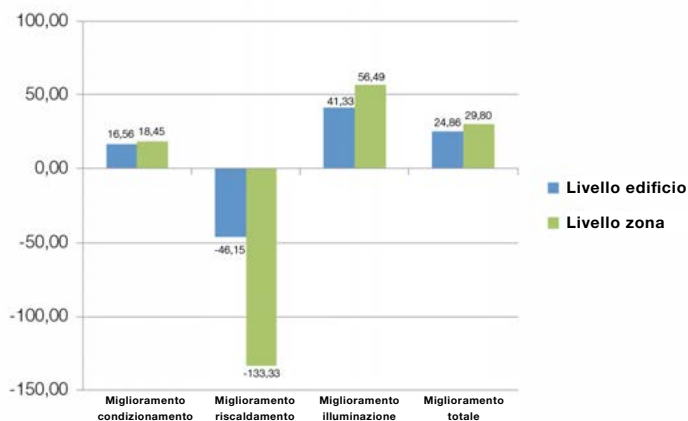
Seguono ora grafici comparativi che illustrano i miglioramenti di ogni scenario rispetto allo scenario 02 (edificio odierno, senza lamelle e senza comandi). I dati sono visibili sia a livello di EDIFICIO che di ZONA.

### 7.2.1 Analisi dello scenario 03 (edificio odierno, con lamelle, senza comandi) – LIVELLO ZONA



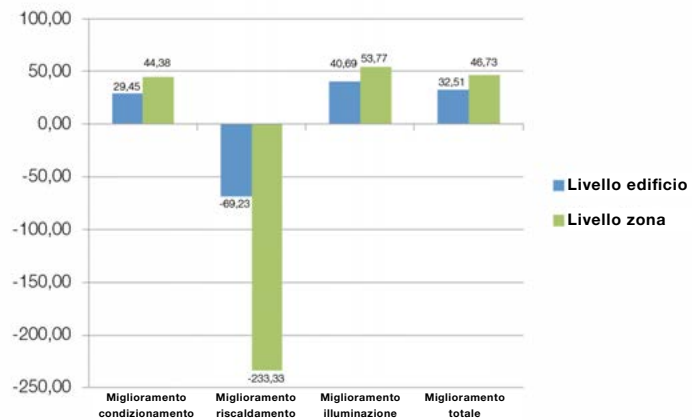
**Figura 42:** grafico comparativo dei miglioramenti dello scenario 03, livello EDIFICIO vs. livello ZONA.

### 7.2.2 Analisi dello scenario 04 (edificio odierno, senza lamelle, con comandi) – LIVELLO ZONA



**Figura 43:** grafico comparativo dei miglioramenti dello scenario 04, livello EDIFICIO vs. livello ZONA.

### 7.2.3 Analisi dello scenario 05 (edificio odierno, con lamelle, con comandi) – LIVELLO ZONA



**Figura 44:** grafico comparativo dei miglioramenti dello scenario 05, livello EDIFICIO vs. livello ZONA.

## 7.3 Riassunto dei risultati

Dai confronti presentati in alto si evince che i miglioramenti in termini di risparmio energetico generale sono molto più consistenti nelle simulazioni di ZONA visto che, come già detto, non fanno media le altre parti dell'edificio sprovviste di schermature lamellari.

Per quanto riguarda l'aspetto del condizionamento occorre precisare che il locale scelto come ZONA guarda verso est. Se la simulazione fosse stata eseguita su un locale affacciato a ovest, sempre con schermature lamellari, il risparmio energetico del condizionamento risulterebbe molto maggiore poiché in una città come Barcellona i raggi estivi del sole sono più intensi a ovest (pomeriggio) che non a est (mattina). Ciò non è stato fatto perché l'edificio in oggetto non possiede schermature antisolari sulla facciata ovest.

I risultati e i confronti rivelano che in un clima come quello di Barcellona, e in un edificio amministrativo a forte concentrazione di apparecchiature, illuminazione e persone, i carichi sono sempre tali da tenere in funzione l'impianto di condizionamento per tutto l'anno. Di conseguenza l'impianto di riscaldamento incide ben poco sul consumo energetico generale dell'edificio.

Per queste ragioni è altamente consigliabile che negli edifici analoghi a quello analizzato, ubicati in un clima come quello di Barcellona, si installino sulle vetrate sistemi di schermature con lamelle mobili. Si è visto infatti che questi procurano un ingente risparmio energetico sull'impianto di condizionamento.

Nello specifico il risparmio sul consumo energetico complessivo dell'edificio ammonta al 18,20 % nella ZONA presa in esame e al 7,49 % a livello di intero EDIFICIO (scenario 03).

Solo implementando un sistema di comando della luce il risparmio in termini di illuminazione ammonta al 56,49 % nella ZONA affacciata a est e al 41,33 % a livello di EDIFICIO.

Lo stesso sistema di comando procura un risparmio del 29,80 % sui consumi (clima+illuminazione) a livello di ZONA e del 24,86 % sui consumi (clima+illuminazione) a livello di EDIFICIO.

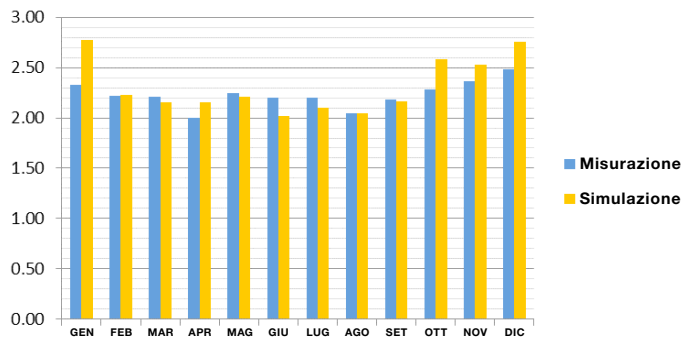
Di qui si comprende bene l'importanza dei comandi della luce.

Per quanto riguarda l'abbinamento di comandi della luce e lamelle mobili, risulta che i soli comandi fanno risparmiare il 53,77 % di luce a livello di ZONA e il 40,69 % a livello di EDIFICIO. La combinazione di comandi e lamelle abbatte i consumi (clima+illuminazione) del 43,73 % a livello di ZONA e del 32,51 % a livello di EDIFICIO. Si conclude pertanto che un sistema combinato di comandi e schermature lamellari mobili ha effetti estremamente positivi sui consumi energetici degli edifici.

Rammentiamo infine che i consumi dell'illuminazione calcolati nelle simulazioni sono stati confrontati con i dati di consumo reale dell'impianto in funzione: ne sono risultati valori del tutto simili, come si evince dal seguente grafico:

	<b>Misurazione</b>	<b>Simulazione</b>	<b>Differenza</b>
Gen	2,33	2,77	-19,1 %
Feb	2,21	2,23	-0,6 %
Mar	2,21	2,15	2,7 %
Apr	2,00	2,15	-7,3 %
Mag	2,25	2,21	1,8 %
Giu	2,20	2,02	8,1 %
Lug	2,20	2,10	4,5 %
Ago	2,05	2,05	0,0 %
Set	2,18	2,17	0,7 %
Ott	2,28	2,58	-13,2 %
Nov	2,36	2,52	-6,8 %
Dic	2,48	2,75	-11,1 %
<b>Totale</b>	<b>26,76</b>	<b>27,71</b>	<b>-3,5 %</b>

**Figura 45:** tabella comparativa dei consumi dell'illuminazione misurati e di quelli simulati nello scenario 05 (kWh/m<sup>2</sup>).



**Figura 46:** grafico comparativo dei consumi dell'illuminazione misurati e di quelli simulati nello scenario 05 kWh/m²).

L'elevato grado di corrispondenza tra i risultati delle simulazioni e i dati dell'impianto reale rende il presente studio altamente affidabile.



Barcelona, gennaio 2012

IL PERITO

*[Signature]*

Juan Hernández Mayor Dr. Ing.  
Membro dell'albo professionale nr.  
3687 COEIC





# ZUMTOBEL

## **Italia**

ZG Lighting s.r.l. socio unico

Sede legale e amministrativa  
Via Isarco, 1/B  
39040 Varna (BZ)  
T +39/0472/27 33 00  
F +39/0472/83 75 51  
infovarna@zumtobelgroup.com  
zumtobel.it

Light Centre Milano  
Via G.B. Pirelli, 26  
20124 Milano  
T +39/02/66 74 5-1  
F +39/02/66 74 5-310  
infomilano@zumtobelgroup.com  
zumtobel.it

Light Centre Roma  
Viale Somalia, 33  
00199 Roma  
T +39/06/86 58 03 61  
F +39/06/86 39 19 46  
inforoma@zumtobelgroup.com  
zumtobel.it

## **Svizzera**

Zumtobel Licht AG  
Thurgauerstrasse 39  
8050 Zurigo  
T +41/(0)44/305 35 35  
F +41/(0)44/305 35 36  
info@zumtobel.ch  
zumtobel.ch

Zumtobel Lumière SA  
Ch. des Fayards 2  
Z.I. Ouest B  
1032 Romanel-sur-Lausanne  
T +41/(0)21/648 13 31  
F +41/(0)21/647 90 05  
info@zumtobel.ch  
zumtobel.ch

Zumtobel Illuminazione SA  
Via Besso 11, C.P. 745  
6903 Lugano  
T +41/(0)91/942 61 51  
F +41/(0)91/942 25 41  
info@zumtobel.ch  
zumtobel.ch

## **Headquarters**

Zumtobel Lighting GmbH  
Schweizer Strasse 30  
Postfach 72  
6851 Dornbirn, AUSTRIA  
T +43/(0)5572/390-0  
info@zumtobel.info

**zumtobel.com**