

Daylighting e lighting design

Il progetto SEED Italy per la Solar Decathlon 2019

Analisi critica e proposta progettuale per il comfort visivo e il risparmio energetico in ambito edilizio residenziale

Daylighting e lighting design

Il progetto SEED Italy
per la Solar Decathlon 2019

-
Analisi critica e proposta progettuale
per il comfort visivo e il risparmio energetico
in ambito edilizio residenziale



Politecnico di Torino
Corso di Laurea Magistrale
in Architettura Costruzione Città
Anno Accademico 2018 - 2019

Candidato : Daniele Cangelosi
Relatore : Valerio Lo Verso

“Continuo a pensare che le nuove lampadine hanno anche deformato il discorso luminoso nelle case, trasformandole in uno spazio con tanti punti di luce, che mi ricorda un pò le processioni, le madonne. Tante luci diverse come se per ogni funzione ci debba essere la lampadina. Mentre poi sappiamo che una stessa luce cambia a seconda di quello che gli mettiamo attorno, per esempio io ho sempre odiato quei faretti tecnici americani direzionali che illuminano per punti invece di diffondere; appunto il contrario di quello che fa l'architettura con la luce. Io sono contro l'abbagliamento e tanto più nella vita quotidiana mi sembra che certe nuove luci hanno trasformato nei salotti la conversazione in un interrogatorio.”

- [Gae Aulenti](#), intervista con Franco Raggi.

Indice

Introduzione generale

PARTE I

1. Il Daylight Design tra luce e benessere

1.1 Introduzione	17
1.2 La luce come fenomeno visivo	19
1.3 Benessere visivo	21
1.3.1 La percezione visiva	22
1.3.2 Luce naturale e benessere	24
1.3.3 Luce e ritmi circadiani	25
1.3.4 Luce e colore	28
1.3.5 Grandezze per la definizione del benessere visivo	31
1. Illuminamento e uniformità	32
2. Abbagliamento e contrasto di luminanza	34
3. Cromaticità	36
4. Sfarfallamento	38
1.4 La luce naturale	39
1.4.1 Il daylighting design	41
1.4.2 Tecniche per il daylighting	42
1. Sidelighting, illuminazione laterale	42
2. Toplighting, illuminazione zenitale	43
3. Corelighting, illuminazione dall'interno	44
1.4.3 Sistemi di daylighting design	45
1. Componenti trasparenti	46
2. Componenti schermanti	47

3. Componenti di conduzione	51
1.5 La luce artificiale	52
1.5.1 Il lighting design	54
1.5.2 Tecniche per il lighting design	55
1. Luce per vedere	56
2. Luce per guardare	56
3. Luce da osservare	56
1.5.3 Sistemi di lighting design	56
1. Smart lighting	57
2. Coelux	58

2. Metodologie e metriche per l'analisi della luce naturale

2.1 Introduzione	63
2.2 Le sorgenti di luce naturale	66
2.2.1 Il sole	67
2.2.2 La volta celeste	69
2.3 Dai modelli CIE a quello di Perez	70
2.3.1 I modelli standard CIE (clear, overcast e intermediate sky)	71
2.3.2 I modelli intermedi IESNA e CSTB	72
2.3.3 I modelli CIE General Sky e All-weather sky	73
2.4 Metodi di calcolo statici	74
2.4.1 Il Fattore medio di Luce Diurna	75
2.5 Metodi di calcolo dinamici	78
2.5.1 Daylight Autonomy	80
2.5.2 Continuous Daylight Autonomy	81
2.5.3 Maximum Daylight Autonomy	81
2.5.4 Spatial Daylight Autonomy	82
2.5.5 Useful Daylight Illuminance	82
2.5.6 Annual Sunlight Exposure	83
2.6 L'integrazione di luce naturale e artificiale	84
2.6.1 Indice LENI	85

3. Il progetto illuminotecnico: normativa, protocolli e certificazioni

3.1 Introduzione	90
3.2 La situazione attiva in Italia	92
3.2.1 Decreto del Ministero della Salute, 5 luglio 1975.	93
3.2.2 Normativa UNI	95
3.2.3 Un esempio pratico locale: l'Allegato energetico di Torino	98
3.3 I protocolli energetici	100
3.3.1 Protocollo LEED	101
3.3.2 Protocollo ITACA	104

3.3.3 Protocollo BREEAM	108
3.3.4 Protocollo WELL	112

PARTE II

4. Solar Decathlon Europe 2019

4.1 Introduzione	121
4.2 Il concorso SDE 2019	123
4.2.1 Richieste specifiche per il lighting e daylighting design	125
4.3 Il Progetto SEED Italy	128
4.3.1 Strategie di progetto	130
4.3.2 Presentazione del progetto	132
4.3.3 Il contesto	134

5. La proposta progettuale

5.1 Introduzione	147
5.2 Studio della luce e workflow	149
5.2.1 Software di simulazione	150
1. VELUX daylight visualizer	151
2. Autodesk 3DS Max + V-ray	153
3. Autodesk Revit+ Insight	155
4. Rhino + Diva	158
5. Conclusioni	160
5.3 Daylight analysis	162
1. DF, DA, cDA, UDI 100, UDI 100-300, UDI 300-3000, UDI 3000, ASE, sDA	166
2. riassunto dei risultati ottenuti	190
5.4 La proposta di daylighting design	191
1. DF, DA, cDA, UDI 100, UDI 100-300, UDI 300-3000, UDI 300, ASE, sDA	196
2. riassunto dei risultati ottenuti	221
5.5 Il progetto di lighting design	223
5.6 L'analisi energetica	239

6. Conclusioni

Bibliografia

Figura1.
Yast Khaneh
Mohammad Khavarian + Amir Shahrads
Fonte: archdaily.com



Introduzione

Il lavoro che segue vuole permettere a chi lo legge di apprendere o approfondire al meglio nozioni su di un argomento a cui spesso, in ambito architettonico, non si rivolge la giusta attenzione: **la luce**. Si tratta di un argomento estremamente ampio e complesso che tocca molti settori di studio quali sicurezza, psicologia ed estetica, ma si è cercato di studiarne i tratti principali.

La tesi qui presente si divide sostanzialmente in due parti: la prima, più teorica, ha uno scopo informativo sia per chi non è abituato a lavorare questo "**materiale architettonico**", sia per chi invece è già esperto ma vuole approfondirne qualche aspetto; la seconda, più pratica, parte dall'analisi di un caso studio per passare poi ad una **proposta progettuale** in cui si applica quanto spiegato nella prima metà del lavoro.

Entrando nello specifico, i capitoli iniziali possono essere visti come una sorta di "**guida al lighting e daylighting design**": partendo da una presentazione tecnica di cos'è la luce, vengono analizzati effetti e benefici che questa ha sull'uomo grazie alla sua forte influenza sui ritmi circadiani. All'interno del primo capitolo si fa una distinzione fra quello che è il lighting design ed il daylighting design, fornendo al professionista un'ampia gamma di scelte strategiche e tecnologiche oggi presenti sul mercato architettonico ed illuminotecnico. L'obiettivo principale di questa tesi è far capire al progettista l'importanza della **luce naturale**: essa consente di porre al primo posto sia il benessere dell'utente sia il risparmio energetico ed economico, questo grazie alla sua disponibilità gratuita e illimitata.

Continuando a leggere la tesi si può apprendere meglio quali siano le metriche utilizzate per studiare le condizioni di comfort visivo e le nuo-

ve metodologie per il calcolo delle quantità e disponibilità della luce diurna negli spazi interni. Vengono illustrate le possibili analisi effettuabili con il **Climate-Based Daylight Modeling** (CBDM) e su quali strumenti può fare affidamento il progettista per la verifica degli obiettivi prefissati in fase preliminare. Con questo fine sono stati analizzati sia i **documenti normativi** vigenti in Italia in ambito edilizio residenziale, che le certificazioni e i **protocolli energetici** di ultima generazione (LEED, BREEAM, ITACA e WELL), in modo da fornire un quadro completo della situazione attuale.

Seguire i consigli e raggiungere gli obiettivi proposti all'interno di questa tesi consente ai professionisti di collaborare alla **sostenibilità ambientale**, ponendo attenzione a una delle tematiche di cui più si discute oggi: la salvaguardia del nostro pianeta.

Nella seconda parte della tesi si può osservare un esempio pratico dell'applicazione di quanto detto nei capitoli teorici. Prendendo parte al laboratorio di tesi riguardante la **Solar Decathlon Europe 2019**, si è deciso di analizzare il prototipo proposto dal gruppo di progetto del Politecnico di Milano (Progetto SEED Italy) sotto un punto di vista sia illuminotecnico sia energetico. Infine, a seguito delle critiche mosse in proposito, è stata presentata un possibile **proposta progettuale** che rispettasse non solo quanto richiesto dalla competizione, ma che fosse in linea anche con i requisiti appartenenti alle certificazioni di cui sopra. Grazie alle attenzioni dedicate a queste due grandi tematiche, è stato possibile fornire un prodotto di qualità sia dal punto di vista del **comfort visivo** sia dell'**efficienza energetica**.

Figura 2. (copertina successiva)
radek brunecky
Fonte: i.pinimg.com

PARTE I

CAPITOLO 1

DAYLIGHTING E LIGHTING DESIGN

la progettazione della luce fra
benessere e risparmio energetico



1.1 Introduzione

Nel corso del tempo il processo architettonico si è evoluto puntando a fornire un prodotto finale che fosse completo, a "360 gradi". Si è passati dalla mera costruzione con funzione di riparo alla ricerca di un ambiente dove accoglienza, comfort e riconoscimento sociale fossero i punti cardine per un'architettura in cui identificarsi. L'attenzione ai bisogni dell'uomo è divenuta fondamentale ai fini di migliorare benessere, salute e sicurezza, tant'è vero che una delle parole chiave del processo edilizio è diventata proprio la "Indoor Environmental Quality", ma le nuove tematiche del settore edilizio non si sono fermate solo alle esigenze dell'uomo.

Oggi la progettazione architettonica pone un grande focus anche su un altro argomento ormai ampiamente discusso, di fondamentale importanza per la sopravvivenza dell'essere umano e non solo: l'ambiente. A causa della rottura degli equilibri naturali dati dall'utilizzo sfrenato delle risorse che ci sono state messe a disposizione, temi come il riscaldamento globale, l'inquinamento e la salvaguardia ambientale hanno iniziato a prendersi il loro spazio all'interno delle problematiche di interesse mondiale.

La cura e il rispetto per il nostro pianeta sono argomenti che hanno preso piede in ambito architettonico già da qualche decennio con risposte quali i cosiddetti "green buildings", edifici a impatto zero, o le "passive house", le quali minimizzano o addirittura annullano il fabbisogno energetico necessario a mantenere fresco o caldo l'ambiente. Queste nuove attenzioni hanno portato concetti come il risparmio

energetico, l'utilizzo di risorse locali e il riciclo a diventare un "must have" per l'architettura di ogni giorno.

Realizzare un'architettura che sia sostenibile dovrebbe essere il punto centrale del lavoro di ogni professionista, per fare ciò occorre studiare non solo i materiali da costruzione ma anche le tecnologie e le strategie che possono essere messe in atto per limitare l'impatto ambientale.

All'interno di questa tesi viene presa in considerazione una disciplina in particolare che si occupa sia della salute dell'uomo che del rispetto per l'ambiente, ovvero il **lighting design**. Questa materia ha da sempre affascinato l'uomo che si è servito della luce per creare giochi e illusioni con l'architettura. Si tratta di un fenomeno che, se studiato accuratamente, può risultare un'arma vincente per gli obiettivi di benessere, comfort, risparmio energetico e sostenibilità ambientale.

Lo studio della luce può essere diviso essenzialmente in due settori: uno si occupa della componente naturale, mentre l'altro di quella artificiale. Si è soliti dare più spazio alla seconda tipologia poiché si tratta di un elemento facilmente calcolabile e quantificabile data la sua staticità. Nel corso degli anni infatti, ci si è posti molti problemi su come risparmiare a livello energetico utilizzando questa componente, giungendo a risultati ottimali. Ma il modo migliore per ottenere un risparmio significativo senza spreco di risorse è quello di sfruttare al meglio ciò di cui siamo a disposizione senza bisogno di sfruttarne altre e soprattutto senza alcun costo: la luce solare. Nato con lo scopo di ottimizzare l'ingresso di luce all'interno degli edifici, il **daylight design** è una branca del settore illuminotecnico che consente di portare questa componente naturale anche nei luoghi più angusti, portando così tutti i benefici relativi all'utilizzo di questa risorsa.

1.2 Luce come fenomeno visivo

La materia fondamentale del **lighting design** è la luce. Prima di caturarsi nella progettazione vera e propria, è necessario quindi sapere, attraverso un primo prettamente teorico, che cos'è e come si comporta nello spazio. La luce viene definita in fisica come energia radiante che si propaga sotto forma di onde e particelle elettromagnetiche, dette **fotoni**. Si tratta di una propagazione che avviene in tutte le direzioni e in maniera uniforme, che può essere assorbita, trasmessa o riflessa a seconda del materiale e della forma che colpisce. Questo tipo di onde rientra in quella piccola parte di spettro elettromagnetico visibile dall'occhio umano. In questa porzione di spettro troviamo lunghezze d'onda, ovvero la distanza fra una cresta e l'altra dell'onda stessa, che vanno dai 380 nm ai 780 nm.

All'interno della porzione di spettro elettromagnetico che include la luce visibile ricadono quelli che sono i colori che l'occhio umano riesce a percepire. Questo spiega come mai luce e colore siano due concetti

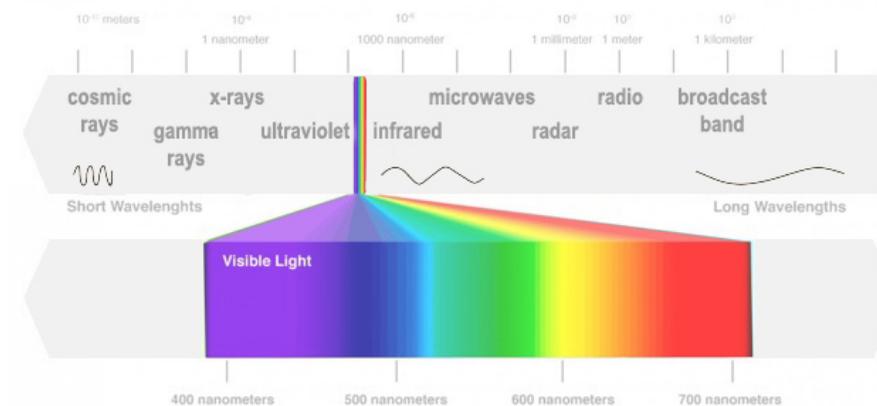


Figura 3. Spettro elettromagnetico
Fonte: nonsoloreiki.it (modificato)

così correlati tra loro: la luce ci permette di vedere e distinguere i colori e man mano che questa diminuisce, aumenta il lavoro svolto dall'occhio per adempiere a questo compito.

Esaminando la banda di spettro visibile, troviamo all'estremità con lunghezza d'onda minori la luce percepita come viola, mentre nell'altra estremità, con le lunghezze maggiori, abbiamo invece la luce che ci appare come rossa. Nel mezzo si collocano invece tutti gli altri colori possibili: arancio, giallo, verde e blu con le varie sfumature per passare dall'uno all'altro. La luce che ci appare come **bianca** invece è una luce in cui sono presenti uguali quantità di tutte le lunghezze d'onda.

Possiamo quindi capire come quantità e tipologia di luce siano molto influenti sulla qualità e la percezione dell'ambiente, ma questa materia non ha effetti solo sulla componente visiva.

Andando a studiare cosa succede al di sotto di questa fascia percepibile all'occhio umano ($\lambda < 380$ nm), troviamo le cosiddette **radiazioni ultraviolette**, non visibili, che, attraverso reazioni chimiche, hanno vari effetti sull'uomo, sia positivi, quali favorire la formazione della vitamina D, che negativi, come l'invecchiamento della pelle o il melanoma, tumore della pelle. Al di sopra della luce visibile ($\lambda > 780$ nm) abbiamo invece la **radiazione infrarossa**, anche questa non visibile e con proprietà termiche. Spingendoci oltre a queste due tipologie di onde possiamo trovare molti altri tipi di energia ondulare come raggi X, onde radio e microonde, sempre non visibili all'occhio umano e con proprietà e caratteristiche peculiari.

Gli effetti o le conseguenze portate dall'utilizzo e dall'esposizione alla componente naturale sono innumerevoli, esistono infatti numerosi studi a riguardo, attraverso i quali si può apprendere quali siano tutti i benefici derivanti. Analizzando le sue due componenti capiremo come mai è preferibile optare per quella naturale e quali strategie è possibile attuare per soddisfare sia i bisogni dell'uomo che quelli del pianeta.

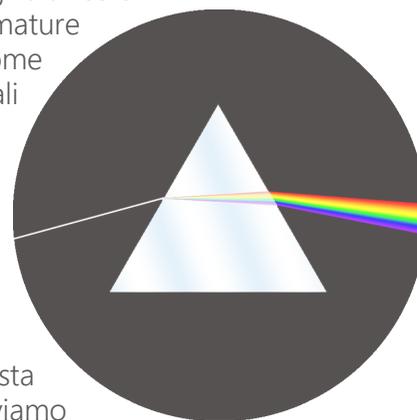


Figura 4.
Prisma triangolare,
dispersione della
luce
Fonte: wikipedia.org

1.3 Benessere visivo

Gli organi sensoriali permettono la ricezione di informazioni dal mondo esterno che vengono trasformate in impulsi e inviate al cervello. Attraverso questi apparentemente semplici passaggi, l'uomo riesce a orientarsi nell'ambiente circostante, a percepirne tutte le sue dimensioni e a interagire con esso. Studi in materia hanno portato alla constatazione che la **vista** è il senso che più di tutti contribuisce alla percezione e all'orientamento. Si attribuisce ad essa una percentuale di percezione sensoriale superiore all'80% e una capacità mnemonica del 40%, da qui si desume l'importanza dello stesso.

La conformazione oculare si è sviluppata adattandosi alle condizioni di luce naturale, rendendo quest'ultima la sorgente ottimale per ricreare le condizioni di benessere. Tramite gli occhi è possibile interpretare gli **stimoli luminosi** provenienti dal mondo esterno e più l'individuo si troverà in condizioni di comfort visivo soddisfacente, più sarà facile, veloce e precisa la lettura di queste informazioni.

Parlando sempre di percezione visiva un fattore molto importante che ne influenza la qualità è la **soddisfazione visiva**, dipendente dalla distribuzione delle luminanze, dal contrasto, dall'abbagliamento e dalla resa dei colori. In questo compito la luce risulta una componente fondamentale poiché la qualità visiva viene influenzata dalle sue caratteristiche intrinseche. Le condizioni ottimali vengono raggiunte con l'utilizzo di luce naturale alla quale viene attribuito un **indice IRC** [2] pari a 100 e una distribuzione delle luminanze soddisfacente data dalla forte presenza della componente diffusa. Con la luce artificiale è difficile raggiungere gli stessi risultati di quella naturale, anche se le nuove

[2] **Indice IRC:** Indice di Resa Cromatica, serve a misurare quanto i colori visibili grazie ad una determinata sorgente siano vicini a quelli dati dalla luce naturale. Il valore massimo è 100, ovvero l'IRC dato dalla sorgente solare.

^[3] **LightingEurope:** Associazione industriale del settore illuminotecnico europeo, portavoce di oltre 34 aziende ed associazioni nazionali.

tecnologie permettono di emularne sempre più facilmente la qualità. Proprio a questo proposito la **Lighting Europe** ^[3], ha stabilito dei nuovi criteri che portano alla progettazione della cosiddetta **Human Centric Lighting**. Si tratta di una tipologia di progettazione dell'illuminazione che si pone come obiettivo principale la soddisfazione delle esigenze e dei bisogni dell'uomo in quanto a comfort, qualità e sicurezza visiva. Include quelle nuove tecnologie che permettono all'utente di regolarne intensità, colore e quantità all'interno dell'ambiente in cui si trova. In questo modo si possono trarre dalla luce non solo tutti i suoi benefici, ma anche i relativi risparmi energetici ed economici, i quali portano ad ottenere punteggi più alti, a livello architettonico, nelle certificazioni e nei protocolli energetici.

1.3.1 La percezione visiva

L'organo di senso che permette all'uomo di percepire e ricevere informazioni visive, dall'esterno e attraverso la luce, è l'**occhio**. Attraverso quest'ultimo è possibile, in particolare tramite la retina, trasformare le informazioni grafiche provenienti dall'ambiente che ci circonda e inviarle al cervello sotto forma di impulsi, i quali vengono rielaborati ed interpretati. Si tratta di un processo molto sofisticato: l'occhio è altamente sensibile alle variazioni di lunghezze d'onda che riceve e proprio per questo è in grado di riconoscerle e associarle a un determinato colore.

Prima di giungere alla retina la luce viene rifratta e scomposta seguendo differenti direzioni in base alle lunghezze d'onda e convergendo in punti più o meno profondi rispetto alla **retina** stessa. Ciò significa che alcuni fasci luminosi con determinate frequenze, e quindi percepite con uno specifico colore, avranno un tragitto più lungo o più corto a seconda della convergenza dettata dalla rifrazione.

I raggi blu arrivano meno in profondità e non superano nemmeno la retina, quelli rossi, al contrario, vanno oltre, raggiungendo punti più interni. I raggi che riescono ad arrivare precisamente sulla superficie della retina sono quelli tendenti al giallo, ciò significa che hanno un'influenza maggiore sulla percezione e sulla **sensibilità** dell'occhio.

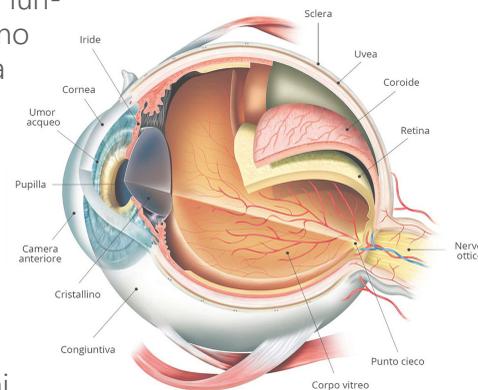


Figura 5. Sezione prospettica dell'occhio umano. Fonte: oculistanizzo-la.it



La percezione visiva dipende molto dalla quantità di luce a disposizione dell'occhio umano. In presenza di ambienti luminosi è più facile distinguere le forme e i colori poiché i coni della retina, ovvero le cellule fotoricettrici sensibili a questi elementi, sono attivi consentendo la cosiddetta **visione fotopica**.

Quando invece la luce scarseggia e ci si trova in ambienti bui, è difficile leggere queste informazioni poiché restano in gioco solamente i bastoncelli, cellule fotosensibili che permettono di vedere anche con bassi livelli luminosi ma che non permettono la distinzione dei colori all'interno della **visione scotopica**.

All'interno dell'occhio troviamo altri due elementi che svolgono un ruolo fondamentale nella percezione dell'ambiente esterno: l'**iride** e il **cristallino**. La prima permette di controllare la luce in ingresso attraverso delle contrazioni: con una quantità di luce minore risulterà più dilatata, mentre una luminosità maggiore comporterà una contrazione del corpo. Questo permette di limitare la quantità di luce evitando il danneggiamento della struttura oculare e riducendo l'effetto di fenomeni che alterano la sensibilità visiva dell'uomo. Il cristallino invece, controllato dal muscolo ciliare, è una sorta di lente che permette di mettere a fuoco l'ambiente che osserviamo. Questi due componenti dell'occhio dipendono molto dalla quantità e qualità della luce che li colpisce e condizionano la visibilità e la soddisfazione visiva.

Quando si parla di **percezione visiva** si parla di un fenomeno soggettivo di elaborazione delle informazioni recepite dall'esterno. Proprio a causa della sua soggettività non è stato facile trovare dei parametri standard per il soddisfacimento dei bisogni degli individui. Oltre a cambiare da una persona all'altra, la percezione è un processo percettivo che cambia nel corso del tempo. E' facile riscontrare negli individui anziani un invecchiamento della risposta agli stimoli, una minore efficienza e quindi una capacità visiva compromessa. In vari studi specifici del settore, pensati appositamente per questa categoria di utenza, è stato riscontrato come i livelli di luminosità utili dovrebbero essere molto più elevati rispetto a quelli richiesti da un utente di giovane età, andrebbero addirittura

Figura 6. Academy for the arts. Foto: Snake Ranch

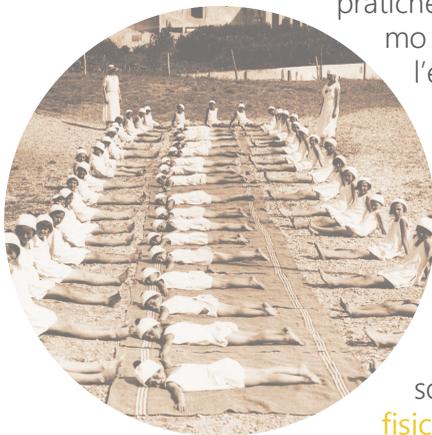
raddoppiati in alcuni casi. Nella progettazione di ambienti la cui utenza è caratterizzata da un'età media molto alta occorre quindi studiare dei sistemi che possano soddisfare questo genere di bisogni, con il fine di ricreare un ambiente il più confortevole possibile.

^[4] **CIE:** Commission Internationale de l'Éclairage, nata nel 1913, si tratta del comitato internazionale del settore illuminotecnico.

Per quanto riguarda l'edilizia in generale, invece, nel 1931 è stato ricreato, dai ricercatori della **CIE** ^[4], l'**occhio umano standard**. Attraverso specifici studi campionari sono state fornite le caratteristiche dell'occhio di base alle quali trarre gli indici e i valori minimi per la progettazione illuminotecnica di comfort e benessere. Da qui il processo visivo è stato caratterizzato sia da grandezze di tipo qualitativo che quantitativo, come si potrà leggere successivamente nei capitoli, che permettono di preservare il benessere e garantire l'efficienza visiva dell'utente.

1.3.2 Luce naturale e Benessere

Sin dai tempi di Ippocrate e Plinio il Vecchio, ma anche in precedenza, si attribuiva un potere curativo e benefico alla luce, e fra le tante pratiche rigeneranti di nuova invenzione, troviamo anche l'**elioterapia**: tecnica che prevedeva l'esposizione dei malati al sole per la cura di varie malattie cutanee, quali piaghe e psoriasi.



Successivamente, tramite studi di settore e con la rivoluzione scientifica, si è scoperto come questa attribuzione fosse effettivamente giustificata, poiché la medicina moderna ha confermato che la luce solare condiziona notevolmente la **salute fisica e psicologica** dell'uomo tramite varie affermazioni:

- Una corretta esposizione all'irraggiamento solare permette al corpo di rilassarsi sia a livello muscolare che psichico, contrastando così lo **stress**, una delle principali cause deterioranti del sistema cardiovascolare;
- Ha forti poteri **antidepressivi** che combattono un disturbo psichico molto comune soprattutto nelle regioni scandinave, dove i livelli di illuminamento naturale sono molto bassi;

Figura 7. Colonia elioterapica del periodo fascista. Fonte: elettra-admaiora.com

- Viene consigliata l'esposizione al sole per **problemi cutanei, reumatici e respiratori**;
- Stimola la produzione di **vitamina D**, la quale permette di mantenere costante l'autoregolazione, attivare i meccanismi di autoguarigione e contrastare i disturbi metabolici, allergici e relativi al tessuto osseo.

Risulta quindi evidente quanto sia fondamentale questo elemento ai fini della salute e del benessere dell'uomo. Parlando di progettazione dello spazio architettonico, è necessario assicurarsi che gli utenti possano usufruire di adeguati livelli di luminosità e di comfort, per far in modo che questi possano portare a termine le proprie attività senza affaticare la propria vista. Per fare ciò occorre adottare opportune tecniche di **daylighting design** per sfruttare al meglio la luce naturale. È possibile, tramite queste strategie, aumentare le condizioni di benessere e ridurre inoltre la componente artificiale di integrazione, portando così non solo alla realizzazione di un ambiente più vivibile, salutare e confortevole, ma anche ad un risparmio energetico ed economico.

1.3.3 Luce e ritmi circadiani

Per quanto riguarda gli effetti psicologici della luce naturale sull'uomo, occorre soffermarsi in particolare modo sull'influenza che essa ha sui cosiddetti **ritmi circadiani**. Dal latino "circa diem", ovvero "attorno alla giornata" o "che riguarda la giornata", indicano un ciclo composto da 24 ore. Il primo a scoprire di questi ritmi fu l'astrologo occitano **Jean Jaques Dortus de Mairan** attraverso un'analisi del comportamento ciclico delle piante.

Con lo sviluppo degli studi in campo cronobiologico, si è riuscito ad inquadrare la periodizzazione caratterizzante questi ritmi e a comprenderne i fattori influenzanti.

La scansione in periodi è condizionata sia da fenomeni naturali, quali la presenza, l'assenza e l'intensità della luce del sole, sia da fenomeni di altra natura, come i fattori abitudinali e legati alla temperatura. Questi elementi hanno forte risonanza sui cicli di sonno-veglia e sui meccanismi fisiologici e psicologici dell'uomo, poiché

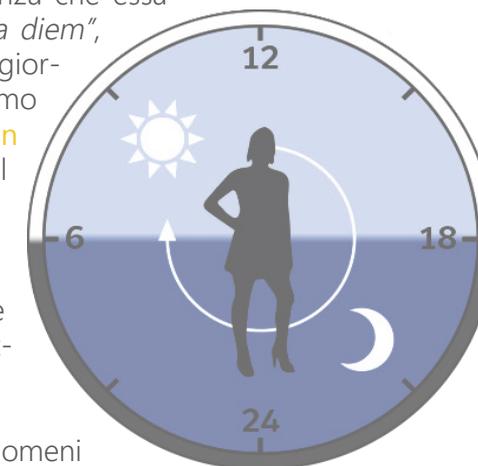


Figura 8. Orologio circadiano. Fonte: corriere.it

la luce influenza sia la produzione di seratonina e cortisolo da parte dell'ipotalamo sia di melatonina da parte dell'epifesi:

- La carenza di **seratonina** è legata a fenomeni psicofisici quali depressione, psicosi croniche, ansia, patologie relative al comportamento alimentare, disfunzioni di carattere sessuale, sindromi quali quella fibromialgica, ecc; la luce favorisce la produzione di seratonina nel sistema neurologico umano e spesso viene etichettata come "ormone del buon umore" per gli effetti benefici che porta;
- Il **cortisolo** è invece un ormone con effetti negativi sia a livello fisico che psicologico portando, fra i vari fattori, a stress, riduzione delle difese immunitarie e osteoporosi; la luce naturale consente di regolare la produzione, con il fine di mantenere il benessere psicofisico dell'essere umano; il cortisolo inoltre viene prodotto per risvegliare l'organismo e porlo in uno stato di allerta, portandolo ad essere attivo, reattivo e prestante;
- La **melanina** infine, consente di proteggersi dall'azione deleteria della luce ultravioletta, invisibile agli occhi dell'uomo, ma che può portare a lesioni e alterazioni dell'apparato tegumentario o addirittura a tumori come il melanoma cutaneo, il cancro alla pelle; essa è anche responsabile della regolazione del sonno, infatti viene rilasciata naturalmente durante le ore serali, quando i livelli di luce si abbassano e l'organismo necessita di riposo.

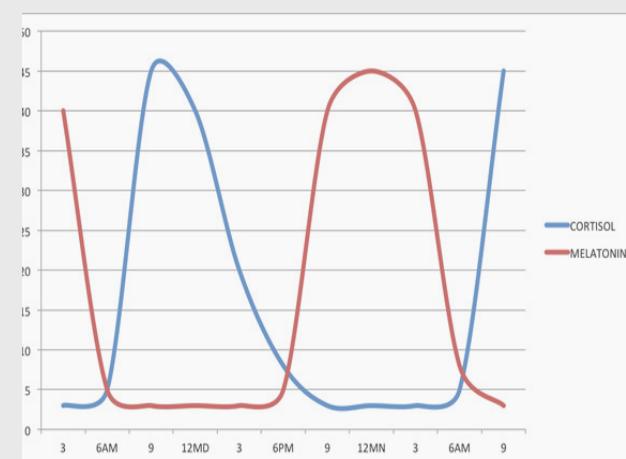
Per mantenere l'organismo in salute occorrerebbe rispettare il più possibile il proprio **orologio biologico**. Questo, per natura, si basa sui cicli di giorno-notte, ma, per necessità, viene influenzato dallo stile di vita proprio dell'individuo. Alla base di tutto troviamo il suddetto **ipotalamo**, il più importante regolatore dei ritmi di sonno-veglia e dello stato di attività dell'uomo, poiché legge le informazioni ricevute dall'organo visivo e le trasforma in impulsi che controllano l'organismo stesso, condizionando in questo modo i vari "orologi" degli organi interni.

Il nostro sistema quindi segue determinati **ritmi** che dipendono dalle informazioni ricevute dal mondo esterno, scandendo in così i differenti momenti della giornata. L'illuminamento che pian piano cresce al mattino permette all'organismo di riattivarsi dallo stato di sonno per portarlo a quello di veglia. Questo avviene grazie alla produzione di cortisolo da parte dell'ipotalamo che reagisce allo stimolo visivo percepito dagli occhi e interrompe al tempo stesso la produzione di melatonina.

Il **risveglio**, come qualsiasi altro momento della giornata, è fortemente condizionato dalla luce e dalla temperatura dell'ambiente: trovandosi in condizioni di buio e di freddo il corpo riceverà stimoli che lo spingeran-

no al sonno o al prolungamento di questo e viceversa con luce e caldo, che porteranno l'uomo a restare in uno stato di veglia.

Verso fine giornata l'epifesi torna a produrre melatonina poiché, fra i vari fattori vengono riconosciuti gli stimoli visivi dati dall'abbassamento dei livelli di luce che porta l'organismo ad uno stato di **rilassamento** e a ridurre i livelli di energia in previsione della fase di riposo. Vi sono diversi fattori che ne influenzano la produzione di quest'ormone, come l'attività fisica, che aumenta la temperatura corporea e tende a mantenere il corpo in uno stato di veglia, o l'utilizzo di apparecchi elettronici che emanano la cosiddetta **luce blu**, la quale ritarda anch'essa i processi di rilascio della melatonina.



I **livelli di attenzione** crescono durante l'arco della giornata fino a dopo pranzo, dove, a causa della fase digestiva, il sistema nervoso tende a interrompere la produzione di **erosina**, il che permette di rallentare i processi di attività, inducendo al sonno, per concentrarsi su questo processo di assimilazione. Nella fase successiva della giornata il corpo si riattiva piano piano e il **livello di resa** in termini fisici è al massimo poiché i muscoli si sono completamente rilassati dall'intorpidimento notturno e sono pronti per essere utilizzati e sviluppati.

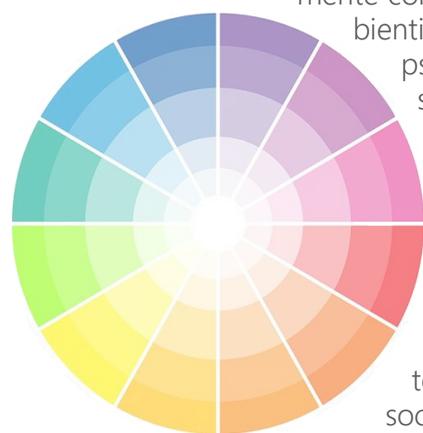
I ritmi circadiani quindi dipendono dai numerosi fattori influenzanti la salute psico-fisica dell'uomo, ma esistono già di natura i cosiddetti **cronotipi**, detti anche tipi circadiani, ovvero categorie di persone che tendono a spostare i propri momenti centrali del ritmo di sonno-veglia più verso il mattino o più verso la sera. Possiamo trovare quindi individui attivi principalmente nelle fasi iniziali della giornata, persone mattiniere, che rendono di più nella fase diurna, e persone che invece prediligono lavorare più tardi nelle fasce serali, tendendo a posticipare l'orario di sonno e di veglia.

Con il fine di non disturbare la ciclicità dei ritmi circadiani occorre sfruttare al meglio le opportunità offerte dalla luce naturale, mantenendo al minimo l'integrazione con quella artificiale e progettando al meglio gli edifici secondo le prescrizioni del **daylight design**.

Figura 9. Livelli di melatonina e cortisolo durante l'arco della giornata. Fonte: evolutamente.it

Inoltre sarebbe opportuno optare per delle sorgenti artificiali collegate a sistemi di gestione e controllo, con tecnologie dimmerative, per dare la possibilità all'utente di impostare colore, intensità e quantità di luce in maniera attiva o di fornire un sistema intelligente di smart lighting che, una volta impostato, possa simulare la dinamicità della luce naturale o che vada, nell'arco della giornata, a compensarne man mano le carenze.

1.3.4 Luce e colore



Altro elemento di fondamentale importanza nella progettazione degli spazi interni, oltre alla luce, è il colore. Si tratta di un elemento fortemente condizionato dalla quantità e qualità luminosa degli ambienti e che, come accade per la luce stessa, influisce sulla psiche umana, ma non solo. Si parla infatti sempre più spesso di **cromoterapia** come medicina alternativa, materia olistica, che prevede l'utilizzo dei colori con il fine di influenzare i sistemi nervoso, immunitario e metabolico.

Le prime tracce riguardanti questa "metodologia di cura" risalgono ai tempi dell'Antico Egitto dove, nei luoghi di guarigione, si era soliti dipingere interamente le pareti con un determinato pigmento a cui era associato un preciso significato funzionale, per esempio al nero era affiliata la fertilità. In India invece, i colori venivano associati dal culto tantrico ai centri del chakra, mentre in Cina si seguivano vere e proprie diete cromatiche e monocromatiche. Con il tempo e l'evolversi della scienza e della medicina, si è arrivati a consolidare quello che è il contributo dei colori all'equilibrio interno dell'organismo, sia dal punto di vista fisico che da quello psichico, attraverso l'**omeostasi biologica**. anche se, nonostante ciò, sono ancora numerose le critiche mosse a questa medicina alternativa.

Studi in materia però hanno portato alla consapevolezza che esistono vari metodi per interagire con i colori ed assimilarne i corrispettivi effetti benefici:

- Tramite **percezione visiva**, che può avvenire attraverso l'osservazione del colore direttamente dall'ambiente circostante o indiretta-

mente tramite l'utilizzo di filtri sulle sorgenti artificiali (luci colorate) e naturali (vetri colorati);

- Tramite **assunzione** di alimenti colorati;
- Tramite **bagni** in acque colorate o massaggi che prevedono l'utilizzo di determinati materiali pigmentati.

In particolare, quando si parla di cromoterapia, oggi si intende quella pratica che prevede l'irraggiamento dei cosiddetti **punti riflessi**^[5] per andare a stimolare gli organi associati con onde elettromagnetiche ad una precisa frequenza, corrispondente ad un determinato colore, con il fine di ristabilire l'equilibrio interno dell'organismo e garantire il benessere dell'individuo. Le virtù terapeutiche variano da colore a colore in base alla lunghezza d'onda caratteristica:

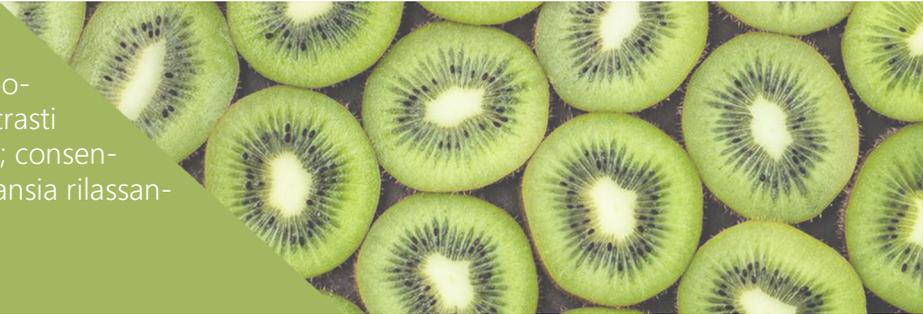
^[5] **Punti riflessi:** Si tratta di punti nervosi che, se stimolati, possono portare benefici a specifici organi o altre parti del corpo umano.

Il rosso ha effetti sul sistema cardiocircolatorio, favorendo il flusso del sangue e aumentando il battito, influisce sulla risoluzione di disfunzioni polmonari e tende ad aumentare le condizioni di temperatura interna; a livello psicologico aumenta la vitalità e l'energia;

L'arancione ha effetti stimolanti su milza, tiroide e muscoli, tendendo a rendere l'intero organismo più attivo a livello fisico e psicologico, favorendo atteggiamenti positivi e ottimistici che contrastano la depressione; questo colore inoltre stimola l'appetito;

Il giallo ha effetti di regolazione sul processo digestivo e del tratto intestinale, migliora la risposta agli stimoli esterni di riflesse e depura il sangue; psicologicamente stimola l'attività cerebrale favorendo stati di benessere, positività, creatività e stati umorali positivi;

Figura 10. Sezione prospettica dell'occhio umano. Fonte: lemag.eugene-butler.com



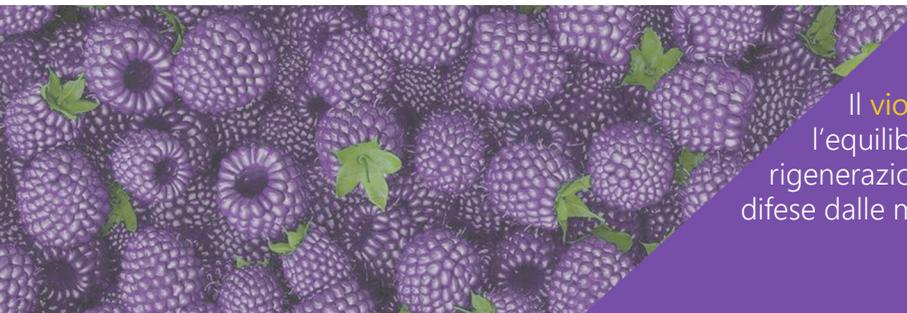
Con il colore verde si condiziona l'ipofisi favorendone la regolazione, contrasti la depressione e i disturbi alimentari; consente inoltre di contrastare l'insonnia, l'ansia rilassando il sistema nervoso;



Il blu ha un forte effetto rilassante su tutto il sistema nervoso e cardiovascolare agendo su cuore, polmoni e arterie; i suoi benefici vengono sfruttati nella psicologia e nella psichiatria terapeutica per favorire rilassamento e distensione;



L'indaco favorisce la regolazione tiroidea e ha un'azione proattiva sui organi sensoriali di vista, udito e olfatto; a livello psichico consente di essere più creativi e intuitivi;



Il viola infine favorisce lo sviluppo delle ossa, l'equilibrio interno, la produzione di leucociti, la rigenerazione del tessuto cutaneo e ne aumenta le difese dalle malattie della pelle.

Attualmente i colori vengono per lo più utilizzati secondo i canoni dell'estetica e del gusto soggettivo, ma sarebbe opportuno sceglierli in base alla funzione e alle attività che avverranno all'interno dell'ambiente di progetto. In architettura occorre eseguire un vero e proprio

studio cromatico durante la progettazione di ogni singolo ambiente, poiché si è visto come ogni colore abbia la propria influenza sulla vita di ogni giorno. Ognuno di essi può inoltre suscitare determinate emozioni e sensazioni nell'osservatore, quindi per una camera da letto sarà necessario utilizzare colori più rilassanti, mentre per gli ambienti diurni conviene puntare su colorazioni che stimolino l'attività cerebrale.

Naturalmente il colore risulta essere una componente fondamentale nella percezione dello spazio e l'influenza psicologica che genera dipende anche e soprattutto dal suo rapporto con la luce. Un colore che riflette maggiormente risulta essere più luminoso e dà un senso di grande spazialità e apertura, mentre una colorazione assorbente, opaca o rifrangente, tenderà a chiudere l'ambiente e a farlo sembrare più raccolto.

Oggi esistono determinate figure professionali che si occupano proprio dello studio e dell'analisi degli ambienti dal punto di vista cromatico, i cosiddetti color designer. Il loro compito è quello di creare ambienti che soddisfino i requisiti di benessere ed efficienza visiva e che stimolino il sistema nervoso nella maniera corretta, seguendo i benefici legati al colore.

1.3.5 Grandezze per la definizione del benessere visivo

Caratteristica essenziale per la qualità di vita negli ambienti è la garanzia del comfort visivo interno. Questo deve essere tale da permettere l'esecuzione, da parte degli utenti, delle attività previste in quel determinato locale in condizioni di sicurezza e di soddisfacimento delle necessità degli stessi.

Esistono vari parametri che permettono di valutare i livelli di luminosità e che sono **indici di benessere visivo**, alcuni di questi vengono riconosciuti dalla normativa nazionale e internazionale, le quali impongono il raggiungimento e/o superamento di determinati standard minimi. Parlando di luce, occorre raggiungere questi livelli minimi senza però eccedere nella verifica, poiché l'obiettivo è quello di garantire l'efficienza e il benessere visivo senza andare a comprometterli. A tale proposito esistono infatti anche **indici di discomfort visivo**, ovvero parametri che indicano quando si stanno oltrepassando i limiti di comfort. All'interno di questa sezione si tratterà di illuminamento, uniformità, abbagliamen-

Figura 11.
Fonte: tumblr.com
Figura 12.
Fonte: thegadgetlane.com
Figura 13.
Fonte: elle.com

Figura 14.
Fonte:thehealthy.com
Figura 15.
Fonte: i.pinimg.com
Figura 16.
Fonte: bucketlist.org
Figura 17.
Fonte: ask.fm

to e contrasto di luminanza, i quali riguardano sia la luce naturale che quella artificiale, e infine di cromaticità e sfarfallamento, tematiche più pertinenti alla seconda componente. Questi parametri, oltre ad essere calcolati per il controllo normativo, possono essere utilizzati in ambito energetico per il raggiungimento di riconoscimenti, quali protocolli e certificazioni, che permettono di aumentare il valore aggiunto degli immobili, collaborando al risparmio sui consumi e alla salvaguardia ambientale.

Molto spesso i progettisti si soffermano al semplice soddisfacimento dei criteri imposti dalla legge, i quali però non sempre soddisfano le esigenze di qualità e quantità utili. Proprio per questo esistono ulteriori grandezze, oltre a quelle trattate in normativa, che concorrono al benessere visivo e alla sicurezza dell'utente.

1. Illuminamento e uniformità

L'**illuminamento** (lux) permette di conoscere la quantità di **flusso luminoso**, che investe una determinata area, per unità di area. Questo parametro influisce molto sulle prestazioni dell'uomo, poiché una superficie eccessivamente o insufficientemente illuminata influisce sulla velocità di lettura e riconoscimento della stessa. Si tratta di una misura fondamentale poiché ricollegata ai fenomeni di riflessione, rifrazione e quindi al grado di luminosità di tutto l'ambiente, compresa naturalmente la quantità di luce che arriva agli occhi e che determina le condizioni di benessere.

Per il calcolo la convenzione CIE ipotizza l'utilizzo una superficie posta ad altezza piano di lavoro, ovvero a circa 75-90 cm da terra, mentre i valori a cui bisogna fare riferimento variano in base alla tipologia edilizia e all'attività svolta. Per quanto riguarda la normativa italiana, nell'edilizia residenziale, si fa affidamento al **fattore medio di luce diurna** e al **rapporto aeroilluminante**, parametri che si basano sull'illuminamento, ma che verranno trattati nel capitolo dedicato alla normativa.

L'illuminamento influisce particolarmente sull'**acuità visiva**, ovvero la capacità dell'occhio umano di percepire anche le caratteristiche e, in generale, i dettagli più minuti. Questa caratteristica varia in base alla capacità di adattamento dell'occhio al variare della luminosità. La CIE, sempre per quanto riguarda l'illuminamento, pone come **intervallo di riferimento** 20 lux, sotto il quale la visibilità inizia a scarseggiare, e 2000 lux, tetto massimo oltre il quale si può migliorare la visibilità ma con la conseguente insorgenza di problematiche disturbanti. In mezzo a

massimo e minimo è presente una serie progressiva di valori, di ragione pari più o meno a 1,5. Questi ultimi sono stati utilizzati per ricreare una tabella indicativa all'interno della quale è possibile trovare tre valori di riferimento in base all'attività svolta: quello più basso viene utilizzato nel caso in cui siano presenti fenomeni di discomfort potenzialmente elevati o se si tratta di una postazione/area lavorativa poco utilizzata; quello intermedio deve essere preso in considerazione per situazioni generali; quello più alto va preso come riferimento nel caso in cui i fenomeni di discomfort non siano eccessivi e se si ha bisogno di una postazione/area di lavoro in cui la qualità visiva e le condizioni di comfort devono essere elevate. I livelli servono per la progettazione delle aree del compito visivo: i range di illuminamento vengono scelti in base ai diversi tipi di attività.

Destinazione/Attività	Valori illuminamento di riferimento (lux)
Aree esterne industriali	20-30-50
Zone di passaggio e di sosta temporanea	50-100-150
Ambienti di lavoro occupati saltuariamente	100-150-200
Prestazioni visive semplici	200-300-500
Prestazioni visive medie	300-500-750
Prestazioni visive elevate per compiti difficili	1000-1500-2000
Prestazioni visive elevate per compiti di particolare qualità	2000

Tabella 1.
Valori di riferimento indicativi da normativa CIE.

Nel caso in cui non si conoscesse il luogo esatto di svolgimento dell'attività, è necessario progettare l'ambiente come fosse interamente occupato da quest'ultima. Nel caso in cui invece si è a conoscenza della sua posizione, le aree circostanti possono essere caratterizzate da un illuminamento inferiore rispetto a quello necessario per il lavoro.

Per evitare fenomeni di squilibrio dati da contrasti di luminosità, occorre fare attenzione all'**uniformità** dell'illuminamento progettato. Per verificare che l'ambiente sia caratterizzato da tale aspetto, basta far sì che l'illuminamento minimo sia maggiore o pari all'80% dell'illuminamento medio del piano del compito visivo, mentre nella zona circostate a questo si parla del 50% di quello medio.

Solitamente, nella progettazione degli spazi, vengono fatte le verifiche solamente sul piano orizzontale parallelo al pavimento, ma in realtà anche le pareti verticali e il soffitto contribuiscono alla qualità visiva dell'ambiente interno. La norma EN 12464 infatti impone che sia rispet-

tato, per queste tipologie di superfici, un illuminamento minimo che varia dai 30 ai 50 lux per i soffitti e dai 50 ai 75 lux per le pareti, anche se si consiglia di raggiungere valori che si aggirano intorno ai 175 lux per queste ultime, poichè aumentano in maniera evidente la luminosità ambientale.

Infine, ultima verifica riguardante questa grandezza, vi è l'**illuminamento cilindrico**, il quale, se portato ad un livello minimo non inferiore ai 150 lux, permette un facile riconoscimento visivo delle persone e condizioni di comfort superiori. Questo deve essere rapportato all'illuminamento orizzontale per ottenere il cosiddetto **indice di modellato**, il quale, per essere in condizioni di comfort, deve essere compreso fra 0,3 e 0,6.

2. Abbagliamento e contrasto di luminanza

Il fenomeno di discomfort visivo per eccellenza è sicuramente l'**abbagliamento**. Si tratta di quella condizione visiva in cui vi è un contrasto di luminanze sproporzionato, o una loro distribuzione svantaggiosa all'interno della visuale dell'utente, che ne comporta un relativo disturbo per il nostro organo percettivo. La **luminanza** è un fattore particolarmente importante quando si parla di benessere visivo.

È un parametro che indica il rapporto tra l'intensità di emissione luminosa di una sorgente e la superficie della stessa, intensità che se eccessiva può portare all'abbagliamento. Quando si parla di contrasto di luminanze invece si parla del campo visivo a cui ci troviamo di fronte. Possiamo trovare vari livelli di luminanza all'interno di quest'ultimo dovuti dalla presenza di una o più sorgenti che fanno sì che sia difficile osservarne uno omogeneo. Grazie ai contrasti di luminanza è possibile distinguere i particolari dello spazio circostante l'osservatore: con livelli bassi di contrasto sarà difficile eseguire quest'operazione, mentre con livelli alti è facile trovarsi in condizioni di discomfort visivo.

Anche il contrasto di luminanze come l'illuminamento influenza l'**acuità visiva** dell'uomo: contrasti marcati garantiscono un'acuità migliore e viceversa. Bisogna però precisare che ad ogni modo questo parametro dipende molto dalla stanchezza, dall'attenzione e dalla concentrazione dell'individuo.

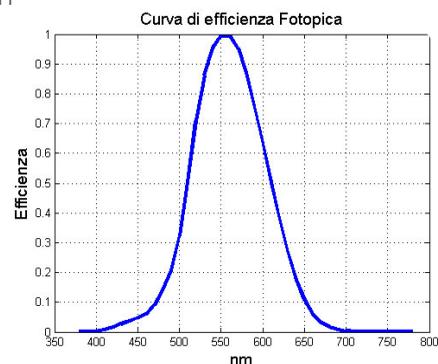


Figura 18. Curva di sensibilità alla luce diurna (eseguita senza tener conto dei colori)

Il comitato CIE spiega che esistono essenzialmente due tipologie di abbagliamento: il disability glare e il discomfort glare. Le tipologie in realtà non si fermano solamente a due, questo dipende dal fatto che il fenomeno può verificarsi in più situazioni differenti e dipendenti da più fattori. Esiste infatti anche un'altra distinzione che divide nuovamente in due questo fenomeno, ovvero il direct glare e i reflected glare.

Il **disability glare**, ovvero l'abbagliamento disabilitante, dipende da come si diffonde la luce nella struttura dell'occhio. Con la diffusione si crea una sorta di patinatura che va a coprire l'immagine letta dall'occhio, maggiore sarà la diffusione, maggiore sarà l'impedimento visivo che ridurrà, o addirittura offuscherà completamente, l'ordine dei dettagli percepito dall'organo visivo per un periodo di tempo più o meno breve a seconda dell'intensità del fenomeno stesso. Questa luminanza velante, nome di questo effetto, compromette le funzionalità visive soprattutto se il contrasto fra la luce disabilitante e il resto delle luminanze presenti nella scena è molto grande. Se il contesto sarà quindi caratterizzato da una luminanza bassa, la luce, sorgente di discomfort, avrà un effetto negativo ancora più grande sulle capacità visive. Si tratta quindi di un fenomeno prettamente realtivo alle funzioni organiche e non psicologiche, che è stato studiato attraverso la **curva di sensibilità spettrale dell'occhio umano** per codificarne il relativo funzionamento.

Per quanto riguarda il **discomfort glare**, l'abbagliamento molesto, parliamo invece di un fenomeno diverso, che non per forza compromette le capacità visive, ma che pone l'osservatore in una condizione di discomfort che può portarlo a distogliere lo sguardo o a sforzare la vista, comportando quindi fatica e stress. Questo fenomeno è condizionato dalla sorgente (numero, posizione, luminanza e dimensione) e dalla luminanza del campo visivo. Non si tratta di un indice quantitativo dell'abbagliamento poichè ricollegato a fattori per lo più psicologici, ma tramite il calcolo del suo valore è possibile stabilire se ci si trova in una situazione di comfort o discomfort nell'area di osservazione.

Questi due eventi possono presentarsi singolarmente o contemporaneamente, ma restano comunque due fenomeni distinti di cui bisogna tener conto nel lighting design. In questo ambito viene posto un focus maggiore soprattutto sul discomfort glare per la progettazione interna degli ambienti, poichè difficilmente le sorgenti arriveranno a creare un fastidio tale da rientrare nel disability glare, componente che però viene ridotta grazie alla risoluzione dei problemi derivanti dalla prima tipologia.

Come preannunciato, è possibile anche portare un'ulteriore distinzione in questo fenomeno. Possiamo parlare di **direct glare**, ovvero abbagliamento diretto, il quale si può verificare nel caso in cui la o le sorgenti abbaglianti si trovassero direttamente all'interno del campo visivo dell'utente, o di **reflected glare**, ovvero l'abbagliamento riflesso, nel caso in cui invece questo fenomeno fosse dovuto dalla riflessione abbagliante di una determinata sorgente su di una superficie presente all'interno del campo visivo dell'utente.

Per evitare fenomeni di questo tipo, occorre progettare gli ambienti e le relative sorgenti di luce in maniera opportuna e a seconda delle attività che si andranno a svolgere al suo interno. Molto importante risulta quindi l'interazione dell'utente con le potenziali fonti di abbagliamento e la loro distribuzione nello spazio.

3. Cromaticità

Quando si parla di benessere o comfort visivo si vanno ad affrontare non solo tematiche quantitative, ma anche e soprattutto qualitative. Nella progettazione illuminotecnica è necessario infatti ricreare uno spazio che non solo sia efficiente e funzionale, ma anche gradevole, sicuro e di qualità. Proprio per questo motivo sono stati introdotti innumerevoli prodotti in questo settore che hanno migliorato le prestazioni delle precedenti tecnologie per rendere più facile questo compito ai lighting designer. In questo gioco quantitativo-qualitativo occorre porre i riflettori anche sulla tematica della **cromaticità** andando a parlare di temperatura di colore e di resa cromatica, poichè si tratta di fattori che influenzano la percezione dello spazio da parte dell'individuo, sia per quanto riguarda i colori stessi, sia per quanto riguarda il riconoscimento dello spazio in sé e di ciò che comprende. Fondamentale in questo discorso risulta essere la distribuzione spettrale della sorgente poichè ogni fonte ne possiede una che, seppur può risultare simile ad un'altra, in realtà può presentare delle caratteristiche di lettura dell'ambiente e dei colori differene rispetto le altre.

Primo aspetto di cui tener conto in ambito cromatico è la **temperatura di colore** (kelvin), ovvero la tonalità che caratterizza la luce e che condiziona la visione dello spazio e dei suoi colori. È stata presa a riferimento la temperatura di colore di un corpo nero che emette uno spettro luminoso con una data lunghezza d'onda e si è stabilito come l'occhio umano riesca a percepire varie temperature di colore. Quella che caratterizza il sole e che viene presa come indicativamente neutra corrisponde a circa 5300 K, ma si tratta di una temperatura valida solo verso l'orario di

mezzogiorno, poichè si tratta di una fonte dinamica influenzata da più fattori. Prendendo questo valore come riferimento secondo la norma UNI 12464 possiamo avere tre tipologie di temperature:

- calde: minori di 3300 K, con un colore che tende sempre più verso l'arancione man mano che il valore si abbassa;
- neutre: comprese tra 3300 K e 5300 K, con un colore tendente al bianco naturale;
- fredde: maggiori di 5300 K, con un colore che tende sempre più verso l'azzurro man mano che il valore si alza.



È un parametro che va scelto con cura, poichè va ad influenzare la totale percezione dell'ambiente e la sensazione visiva che ne scaturisce: un ambiente caldo sarà più confortevole, accogliente e allo stesso tempo rilassante, mentre un ambiente più freddo risulterà più asettico e renderà l'utenza più attiva e vigile.

L'altro parametro che condiziona la cromaticità è l'indice di resa cromatica delle sorgenti, il quale serve a indicare quanto i colori percepibili tramite la luce artificiale siano tanto più vicini a quelli reali. Per verificare quanto siano fedeli le sorgenti nella riproduzione dei colori, la convenzione fa un paragone con la sorgente solare, fonte a cui l'occhio è abituato ad essere sottoposto e da cui memorizza le informazioni sui colori, identificando un indice che può arrivare ad un massimo di 100, ovvero quando la luce artificiale eguaglia quella naturale. In presenza di una resa cromatica molto bassa, l'utente si trova in una situazione tendenzialmente di discomfort e l'occhio tenta di ricreare, tramite adattamento cromatico, la veridicità dei colori per poterli distinguere.

Le scelte di natura cromatica in materia di lighting design possono condizionare fortemente la componente psicologica in quanto a sensazioni e percezione dello spazio, è bene quindi effettuare delle scelte progettuali che siano consone all'attività che verrà svolta all'interno dei locali in modo da facilitarne lo svolgimento.

Figura 19. Variazione della temperatura di colore
Fonte: theinternetretailer.co.uk

4. Sfarfallamento

Fra i vari parametri che influenzano il comfort visivo relativo alla luce artificiale ritroviamo anche il cosiddetto **sfarfallamento**, ovvero quel fenomeno che si verifica a causa dell'alternanza elettrica dell'alimentazione che genera una fluttuazione della luce che a tratti diventa irregolare creando disturbo visivo per l'utente. Questo si verifica anche e soprattutto negli elementi che sono stati utilizzati per molto tempo e che si ritrovano ad essere al culmine del loro periodo di vita utile. È un fenomeno che riguarda per lo più nelle lampadine a scarica e meno in quelle ad incandescenza, ma che influisce in maniera significativa sul livello di attività poiché, oltre a provocare un disturbo visivo, può comportare stress, mal di testa o addirittura nausea se si viene sottoposti per un periodo prolungato a questo genere di problema.

Figura 20.
Forest of Light for
COS at 2016 Salone
del Mobile by Sou
Fujimoto
Fonte: i.pinimg.com



1.4 La luce naturale

La luce del sole è un elemento di fondamentale importanza per la vita sulla Terra. Senza luce tanti dei processi che fanno parte del nostro quotidiano non sarebbero possibili; ci permette di vedere, di orientarci, di distinguere colori e dettagli. Numerosi sono gli effetti benefici legati alla luce naturale, come ad esempio lo sviluppo all'interno del nostro sistema cerebrale della **seratonina** ^[6]. La luce naturale è un fenomeno dinamico che non segue nessuna costanza né nell'arco della giornata, né in quello dell'anno. Le sue caratteristiche, come l'intensità, il colore e la qualità dipendono da numerosi fattori, quali i moti rotatori dati dall'orbitazione terrestre, le condizioni ambientali e quelle atmosferiche, fattori che fanno apparire la luce naturale come incontrollabile e imprevedibile. Proprio per questo motivo, spesso nella progettazione architettonica questo elemento viene messo in secondo piano, prediligendo al suo posto la luce artificiale, molto più facile da manipolare a confronto.

Legata sin dagli albori all'attività dell'uomo, la luce del sole ha assunto sempre nuovi valori e influenzato il modo di fare architettura nel corso dei secoli. La sua importanza deriva innanzitutto dal fatto che è stata trasformata in un **archetipo simbolico e religioso**. Basti pensare alla Genesi: Dio, nel dare vita alla Terra, inizia dal creare la luce e, etichettandola come "cosa buona", la separa dalle tenebre, dando luogo alla distinzione tra giorno e notte. Un altro rilevante esempio del suo ruolo come simbolo si può trovare nell'antico Egitto, dove il sole veniva addirittura venerato in quanto divinità, rappresentata da Ra, il dio sole di Heliopolis. Il rapporto simbolico con la luce ha trovato applicazione in vari mondi, tra cui quello architettonico, ispirando molti processi creativi.

^[6] **Seratonina:** un neurotrasmettitore noto anche come "ormone del buon umore", il quale influenza e regola lo stato di attività dell'uomo e la ciclicità dei ritmi circadiani.

In questo campo si è osservato uno sviluppo dell'attenzione per questo elemento nel progredire della **cultura**. Inizialmente la luce non investiva un ruolo rilevante: nell'antichità le abitazioni risultavano essere un mero riparo, poiché per la maggior parte del tempo l'uomo viveva all'esterno seguendo i ritmi scanditi dalla luce del sole. Successivamente la luce ha preso piede con la sua importanza, prima negli edifici di culto, per il suddetto collegamento con il divino, poi in quelli del potere, poiché veniva utilizzato per esaltare la magnificenza architettonica, e per finire anche nelle residenze del popolo soprattutto con la luce artificiale, prima con le torce e poi con la lampadina, in modo che la giornata potesse durare più a lungo.

Figura 21.
LED extruded aluminium pendant lamp
NOLITA OUT By
PANZERI
Fonte: archiproducts.com

Si è iniziata a capire l'importanza dell'**orientamento** dell'edificio, dell'apertura delle finestre per un maggiore ingresso della luce e dell'utilizzo della luce zenitale. Ha iniziato a prendere spazio all'interno della progettazione architettonica poiché rende possibili giochi di prospettiva e percezione dello spazio che danno un valore aggiunto all'ambiente osservato. La **luce rivela lo spazio**, permettendo di riconoscere le sue forme, i suoi colori, le texture e i dettagli che lo compongono, essa permette di percepire lo spazio nella sua interezza. Lo studio della luce in architettura porta alla realizzazione di ambienti di qualità poiché la luce influisce e valorizza le peculiarità dello spazio.

^[7] **SAD:** Disturbo Affettivo Stagionale che causa uno stato di depressione, riscontrato soprattutto nelle popolazioni nordiche, dove la luce del sole dura solo poche ore

Favorire l'ingresso di luce solare all'interno degli edifici permette di percepire lo scorrere del tempo, favorendo una stimolazione sensoriale e psicologica che consente di mantenere regolari i propri **ritmi naturali**. Rimanere per tempi prolungati in ambienti caratterizzati dalla presenza della sola luce artificiale può arrecare danni alla salute fisica e mentale, comportando il possibile sviluppo di disturbi quali il **SAD** ^[7].

E' necessario quindi che l'uomo possa restare a contatto con sorgenti naturali di luce, ma non sempre è possibile poiché non tutti gli ambienti interni degli edifici possono essere messi a contatto diretto con questa componente. Proprio per questo motivo sono stati studiati dei sistemi innovativi e tecnologici che permettono di distribuire la luce naturale anche nei punti più critici dei fabbricati.

Queste strategie vengono studiate in particolare nel **daylight design**, una branca dell'illuminotecnica che si occupa in maniera specifica di come progettare la luce naturale nonostante la sua dinamicità.



1.4.1 Il Daylighting Design

Il daylighting design si occupa di gestire tutte quelle componenti che contribuiscono alla realizzazione di un ambiente altamente performante nella sua qualità visiva. Si tratta di fornire all'utenza i giusti livelli di benessere in base alle loro preferenze e alle attività previste. La luce permette di illuminare, definire e rendere comprensibile la lettura dello spazio, ma per consentire il massimo sfruttamento di questo elemento, essenziale nella vita dell'essere umano, occorre essere a conoscenza delle nozioni che stanno alla base di questa materia illuminotecnica.

L'illuminazione naturale viene spesso però oscurata dall'utilizzo di quella artificiale, poiché risulta più facilmente progettabile e non comporta le problematiche date dalla dinamicità della prima, nonostante gli svantaggi che ne derivano sono più numerosi. Il **daylighting design** si basa su scelte fatte in fase progettuale che influiscono su molti aspetti della progettazione generale, come la forma architettonica dell'edificio, la distribuzione interna, l'efficienza e il risparmio energetico.



Esistono vari modi per controllare i livelli di luminosità interni e quindi il livello di comfort relativo all'ambiente. Innanzitutto la **progettazione delle aperture** verso l'esterno, le quali sono la fonte essenziale da cui attingere la luce naturale. In base alla dimensione, alla geometria, alla posizione e all'orientamento si avrà una penetrazione di luce maggiore o minore a seconda dei casi. Altro elemento molto importante sono la conformazione e le proprietà dello spazio. Le **caratteristiche dell'ambiente interno** ne influenzano in maniera più o meno accentuata la qualità della luminosità attraverso la forma degli spazi, e colori, texture e materiali di superfici (pareti, soffitto e pavimento) e arredo, oltre che la distribuzione di quest'ultimo.

Per aumentare il flusso di energia luminosa all'interno degli edifici e sfruttare al meglio quello già presente esistono diverse tecniche che permettono di manipolarne l'ingresso e favorirne la distribuzione. Si tratta di **modalità di illuminazione** (zenitale, laterale e all'interno) che possono essere combinate tra di loro per ottenere un risultato ottimale. Oltre a queste tecniche esistono anche dei materiali utilizzabili per catturare e reindirizzare la luce che vedremo nei capitoli successivi.

Figura 22.
Visual by Dehlin
Brattgard
Fonte: instagram.com

1.4.2 Tecniche per il daylight design

Nella progettazione architettonica si è sempre alla ricerca di nuove tecniche per **captare la luce** e portarla all'interno degli ambienti più bui e chiusi, ma le tecniche di illuminazione risultano essere quasi sempre le stesse ormai da molte generazioni, poiché ricoprono i vari livelli di spazialità da cui può essere fatta entrare una luce. Le scelte progettuali nell'ambito del **daylighting design** ricadono poi su tutto il resto della struttura e su vari aspetti quantitativi e qualitativi dell'edificio. La forma, la facciata, l'efficienza energetica, come anche la qualità interna degli spazi, il loro riconoscimento e valorizzazione, sono solo alcune delle caratteristiche che vengono influenzate da queste scelte.

Possiamo distinguere le tecniche di illuminazione naturale essenzialmente in **tre categorie** che hanno preso piede nel corso della storia nel modo di fare architettura: laterale, zenitale o all'interno. Si tratta di metodologie che possono essere combinate tra loro per ottenere il massimo livello di illuminazione naturale interna ma che possono anche essere utilizzate in singolo a seconda degli effetti che si vogliono ricreare e dello spazio a disposizione.

1. Sidelighting, illuminazione laterale

Le strategie di illuminazione laterale, dette anche di **sidelighting** sono quelle che più facilmente siamo abituati a vedere e utilizzare in campo architettonico, si tratta infatti della metodologia più classica che prevede l'apertura su una o più delle pareti libere disponibili con il fine di permettere l'ingresso della luce naturale all'interno dei locali. La disposizione e la dimensione delle finestre, e più in generale delle aperture verticali va scelta in base all'orientamento per evitare fenomeni di abbagliamento o surriscaldamento. Inizialmente vi era la tendenza a creare aperture che in altezza corrispondessero alla metà dell'altezza di interpiano, con il tempo questo approccio è stato superato e sono prevalse le scelte architettonico-formali che hanno portato alla creazione di tipologie di finestre con dimensioni, forme e disposizioni sempre diverse.

Dall'Ottocento, secolo delle grandi rivoluzioni industriali, si hanno grandi cambiamenti che anche a livello architettonico che hanno rivoluzionato le **tecniche di illuminazione naturale**. Sono state inventate le finestre a tutta altezza, quelle a nastro, quelle ad angolo o i curtain-wall, che hanno portato il daylighting ai massimi livelli, facendo sì che il componente trasparente sovrastasse quello opaco dichiarando apertamente



la propria importanza all'interno della progettazione e definizione degli spazi e delle forme architettoniche.

Ovviamente queste tecniche, che hanno massimizzato la componente solare, il comfort e la qualità visiva degli spazi, hanno portato anche alla conseguente evoluzione in campo tecnologico delle metodologie di **schermatura e ombreggiamento**, poiché le problematiche che derivano dall'utilizzo di queste grandi superfici vetrate andavano colmate con dispositivi all'altezza delle richieste prestazionali.

Queste tecniche di daylighting vanno adottate seguendo le giuste indicazioni e prendendo le conseguenti precauzioni. E' suggeribile l'apertura della componente opaca su più fronti per favorire la **multidirezionalità della luce**, cosicché questa vada a bagnare l'intero ambiente, rendendolo qualitativamente migliore a livello visivo. Per il fronte sud è raccomandato l'utilizzo di schermature o sistemi di ombreggiamento in modo da ridurre il flusso nelle ore in cui risulta essere incidente e portatore di fenomeni di discomfort quali abbagliamento e surriscaldamento dell'ambiente. Un'ulteriore indicazione è quella di disporre le finestre in modo tale da non ridurre il **fattore di vista esterno**: più in alto saranno posizionate le aperture e più l'utente sarà impossibilitato ad osservare l'ambiente circostante, portando così ad un senso di chiusura ed estraniamento.

2. Toplighting, illuminazione zenitale

L'illuminazione zenitale, o dall'alto o ancora **toplighting**, è una metodologia che permette l'ingresso della luce naturale dal soffitto. Questo è possibile attraverso l'apertura sommitale dell'edificio, che consente di usufruire della luce proveniente dall'esterno senza la preoccupazione

Figura 23.
Alena Taeva
Fonte: behance.net

degli ostacoli presenti nel contesto urbano, come succede per la tipologia verticale. Il toplighting design permette di usufruire di una quantità di luce che **triplica** quella ottenibile con il sidelighting method e livelli ancora maggiori in estate. Il che comporta però fenomeni di surriscaldamento dell'ambiente, dato che i raggi che penetrano sono maggiori e si riflettono di meno che sui componenti verticali, e anche disturbi visivi come il discomfort e il disability glare.

Tra le tipologie di dispositivi che possono essere utilizzati per questa metodologia di approccio al daylight, la più comune è sicuramente il **lucernario**, ovvero la finestra orizzontale (o inclinata nella maggior parte dei casi). Questo classico metodo che consente l'ingresso della luce zenitale si è evoluto nel corso del tempo e si è sviluppato soprattutto nel campo dell'edilizia industriale, dove per illuminare a dovere grandi volumi vi è la necessità di utilizzare aperture altrettanto grandi. Sono nati così i lucernari a dente di sega o **sawtooth roof**, che prevede l'utilizzo di una serie di lucernari disposti su inclinazioni notevoli per tutta la copertura, in modo da favorire l'ingresso della luce sull'intero spazio sottostante. Altra tipologia molto simile ma meno utilizzata per i grandi spazi sono le **clerestory windows**, considerate anche come aperture verticali di sidelighting consentono di illuminare in profondità l'ambiente data la loro collocazione nella parte alta della parete o sovrastante il piano del soffitto, ma comportano una mancanza nella visione dell'esterno proprio a causa del loro posizionamento. Ad oggi numerose sono le metodologie di approccio alla luce zenitale, ma ancor non risulta così facile la schermatura di questi sistemi che spesso possono portare a fenomeni di discomfort visivo ed ambientale.

Figura 24.
Fonte: spec-net.com.au



Corelighting, illuminazione dall'interno

Questa metodologia, detta anche **corelighting**, prende alcuni aspetti dal sidelighting e altri dal toplight, portando la luce anche in ambienti dove con queste altre due tipologie non sarebbe possibile. Questo è possibile grazie al ricorso di pozzi di luce, condotti o veri e propri volumi aperti che consentono l'ingresso della luce dall'alto tramite la sua riflessione.

La metodologia più conosciuta è quella dell'**atrio**, ricreabile in varie situazioni e tipologie

edilizie. Può essere totalmente aperto e prendere il nome di **light court** o chiuso da una copertura vetrata, creando un atrio vetrato. In base alla dimensione di questo spazio si può parlare di corte o di pozzo di luce. Viene in genere utilizzato su edifici multi piano quando il **core** dell'edificio risulta essere buio, quindi viene progettato come aperto per poterne illuminare gli ambienti confinanti. Spesso per favorire la riflessione della luce e spingerla più in profondità vengono adottati sistemi appositi che ne aumentano la propagazione, quali le superfici riflettenti dei materiali di facciata o veri e propri dispositivi ottici che ne permettono anche il reindirizzamento all'interno dei locali. Una particolare forma di light court è il **litrium**, un atrio, in genere coperto da una superficie vetrata, al cui interno diminuisce la grandezza dell'atrio scendendo verso il basso, dando in sezione una forma conoidale allo schema.



1.4.3 Sistemi di daylight design

Per **daylighting design**, si intende quella pratica che consiste nel controllare la luce naturale e far sì che vi siano le giuste condizioni di comfort, sicurezza e benessere nell'ambiente interno. Per fare ciò occorre non solo permettere l'ingresso di questo elemento forando la componente opaca dell'edificio, ma controllarne la quantità in ingresso, al fine di evitare fenomeni di disagio visivo.

Con questo fine il progettista ha a propria disposizione principalmente tre tipologie di sistemi di daylight design: la componente **trasparente**, la quale favorisce l'ingresso della luce, quella **schermante**, la quale ne blocca o riduce l'ingresso, e quella di **conduzione**, la quale permette al progettista di portare la luce anche negli ambienti più sfavorevoli e lontani dall'ambiente esterno. Con l'evolversi della tecnologia i confini fra le categorie sono sempre più sottili: è possibile ormai trovare sul mercato elementi che più di una funzione e che quindi possono portare ad una migliore progettazione della luce e del benessere.

Figura 25.
gallery of holland park school
Fonte: <https://www.archdaily.com/>

VETRI CHIARI

La tipologia più semplice, composta dalla sola lastra di vetro trasparente la quale può avere spessori più o meno elevati e che consente la massima trasmissione della luce e la migliore visione esterna. Uno degli svantaggi dati di questa componente è però la sua elevata trasmissibilità termica, la quale però può essere compensata tramite l'aggiunta di ulteriori lastre le quali ridurranno sia la componente termica entrante che quella luminosa.



VETRI CROMOGENICI

Composti da una struttura che si modifica in base alla radiazione che li colpisce, possono essere suddivisi in 3 tipologie: termocromici (più o meno trasparenti in base alla temperatura dell'elemento stesso), fotocromici (si modificano in base alla luce che li investe diminuendo la quantità di luce trasmessa), elettrocromici (si modificano tramite impulsi elettrici in base alle esigenze dell'utente grazie alla loro composizione).

C O M P O N E N T E E T R A S P A R E N T E

VETRI COLORATI

Soluzione relativamente diversa del vetro chiaro classico, all'interno del cui impasto vengono semplicemente aggiunti dei pigmenti, prima che questo raffreddi e solidifichi. In questo modo è possibile ottenere dei vetri colorati che consentono di ridurre la radiazione entrante, sia termica che luminosa, con una conseguente influenza anche sul fattore di vista esterno.



VETRI A CRISTALLI LIQUIDI

Componenti trasparenti composti da lastre fra le quali vengono interposti delle pellicole sottili forate, all'interno dei quali si trovano dei cristalli liquidi, i quali comportano una deviazione e quindi una diffusione nell'ambiente della luce. Questa diffusione può essere controllata, come per i vetri elettrocromici, da impulsi elettrici che fanno passare gli elettroni all'interno del materiale, modificandone la conformazione.



FILM E PELLICOLE

Film e pellicole vengono applicate direttamente sulla superficie vetrata e servono a distribuire nell'ambiente la luce che incide sul vetro stesso; questo è possibile grazie alla struttura polimerica della pellicola che fa sì che la luce che la attraversa venga riflessa in tutte le direzioni; spesso viene utilizzata per il top lighting per ridurre l'abbagliamento diretto. Se usato su grandi superfici può creare effetti deformanti sul fattore di vista esterna.



PANNELLI PRISMATICI

Sono caratterizzati dall'aver una superficie prismatica verso l'esterno e una liscia nell'interno; la loro funzione principale è quella di deviare l'incidenza della luce per diffonderla nell'ambiente, evitando fenomeni di abbagliamento diretto.



VETRI RIFLETTENTI

Si tratta di una lastra sulla cui superficie vengono immessi mini-sedimenti di metallo (o una pellicola), conferendo al componente una capacità di riflessione maggiore. Questo elemento consente di osservare solo l'ambiente più luminoso da quello meno luminoso, dall'altro lato vi è un fenomeno di riflessione che blocca la visuale attraverso, occorre quindi fare attenzione al fattore privacy.



PANNELLI LASER-CUT

Funzionano come i pannelli prismatici, ma vengono intagliati al laser per avere una superficie prismatica e successivamente applicati alle vetrate in modo da reindirizzare i raggi di luce che incidono su di essi riflettendoli all'interno dell'ambiente.





MENSOLE

Esistono varie tipologie di mensole, ovvero aggetti esterni ed interni, che possono essere utilizzate come semplici elementi schermanti. Si tratta di elementi che possono fare parte della componente trasparente dell'edificio, ed essere abbastanza sottili, oppure di quella opaca, con spessori più grandi. Possono avere varie forme e dimensioni differenti, essere anche forate con aperture a maglia fine o larga a seconda delle esigenze di progetto.

FRANGISOLE

Componente schermante composto da una serie di lastre sottili che possono essere mobili o fisse. Come per le mensole, esistono varie tipologie di frangisole, fra le più comuni troviamo quelle **orizzontali**, utilizzate per pareti esterne esposte a sud, quelle **verticali**, disposte frontalmente o lateralmente, quelle **miste**, combinazione delle tipologie precedenti e infine quelle con comportamento simile alle lightshelves, ovvero con funzione sia schermante sia riflettente.



C O M P O N E N T E S C H E R M A N T E

Esistono mensole **orizzontali**, posizionate sopra all'elemento trasparente, mensole **verticali**, disposte fra un'apertura e l'altra per ovviare soprattutto alla sovrailluminazione est-ovest, mensole **miste**, derivate dalla combinazione delle due tipologie precedenti, e infine le mensole orizzontali riflettenti, le **lightshelves**, le quali dividono in due parti la vetrata e, posizionandosi parzialmente dentro e fuori il locale, consentono sia di proteggere la superficie vetrata dall'irraggiamento diretto, e quindi da abbagliamento e surriscaldamento, sia di portare in profondità la luce che le colpisce.



Fra le altre tipologie di frangisole troviamo: quelle **a griglia**, posizionabili come i frangisole classici, ma costituite da un singolo elemento caratterizzato da una griglia di fori che permette di far passare una quantità minore di luce nell'ambiente interno, quelle **in vetro**, le quali vengono rivestite con opportuni materiali per essere più o meno riflettenti e permettere però allo stesso tempo una visione dell'esterno, e infine quelle **con sistema fotovoltaico integrato**, il quale può essere sia disposto su elementi di nuova fabbricazione che su componenti esistenti consentendo sia la schermatura che un guadagno energetico.



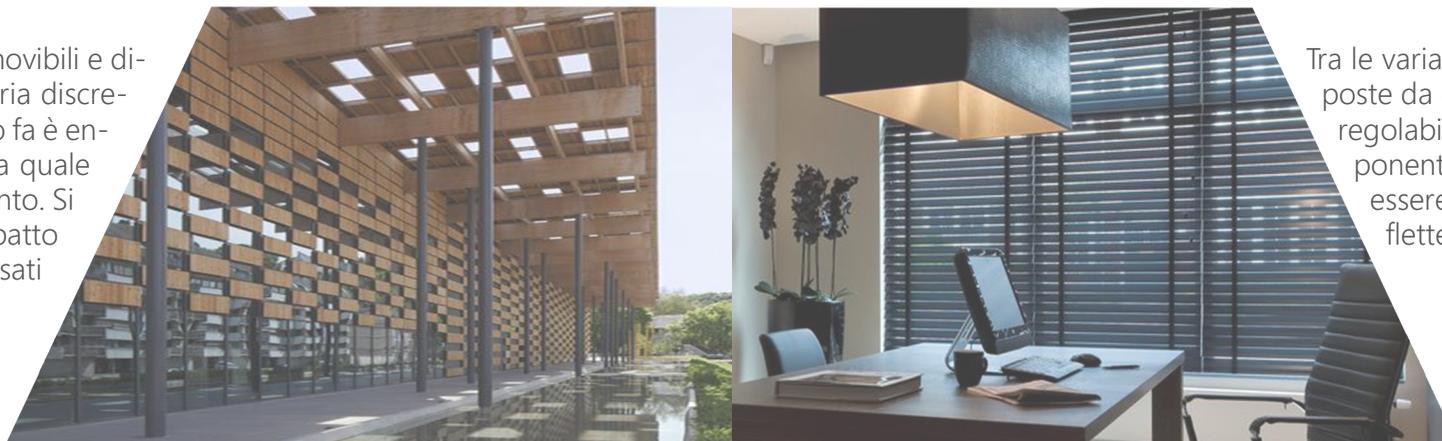
Solitamente le mensole vengono dipinte con colorazioni chiare, le lightshelves in particolare hanno una rifinitura superficiale liscia, in vetro, in modo da ottenere la massima riflessione possibile. Per migliorare ulteriormente questo fattore possono essere incollati **film protettivi** che aumentano l'IOR del materiale. Sulla porzione esterna è possibile integrare un pannello solare che permette di captare l'energia fornita dalla radiazione naturale e aumentare ulteriormente il risparmio energetico che deriva dall'utilizzo di questi sistemi.

TENDE

Vi è infine una delle soluzioni più diffuse per la schermatura, ovvero la **tenda**. Può essere costituita da differenti materiali ed essere caratterizzata da spessori più o meno elevati che influiscono sulla capacità schermante in base allo schema di intrecciamento del materiale stesso. Utilizzate per lo più per schermare la componente diretta della luce naturale, possono essere in materiale flessibile o meno ed essere composte da uno o più elementi in base alle necessità.



A oggi possiamo trovare mensole formate da lamelle mobili e dinamiche, che permettono all'utente di regolare a propria discrezione il posizionamento e l'orientamento. Qualche anno fa è entrata in commercio anche la versione **automatizzata**, la quale riconosce la dinamicità del sole e ne segue lo spostamento. Si tratta ad ogni modo di elementi che hanno un forte impatto sulla facciata dell'edificio ma che possono essere sia pensati in fase di progetto sia aggiunti a progetti già esistenti.



Tra le varianti troviamo le **tende alla veneziana**, le quali sono composte da elementi orizzontali, tipo i frangisole, facilmente mobili, regolabili e direzionabili. Possono essere anche integrate al componente trasparente e far parte della stratigrafia interna e inoltre essere caratterizzate da una superficie concava altamente riflettente che attiva lo stesso funzionamento delle lightshelves.

TUNNEL SOLARI

Permettono di incanalare la luce solare e portarla a qualsiasi livello dell'edificio. Elementi molto semplici, installati sia su tetto piano che a falda e che si collegano direttamente al locale da illuminare sotto forma di sorgente luminosa. Il tunnel è formato un captatore disposto sul tetto e da un tubo flessibile rivestito internamente con un materiale altamente riflettente, solitamente alluminio, che permette di diffondere i raggi solari lungo tutto il tragitto senza perdere intensità.



LUMINOUS CEILING

Conosciuto anche come anidolic daylight systems, è un dispositivo di diffusione della luce naturale che ne consente un ingresso più profondo all'interno dei locali. Si presenta composto da: corpo captante parabolico, serve a cumulare la luce solare e a rifletterla all'interno del condotto, condotto di luce, trasporta la luce raccolta dal collettore alla zona desiderata, costituito da materiali riflettenti e prende forma nel controsoffitto, e pannello anidolico, parabola come il collettore, trasmette la luce in maniera diffusa tramite vetrata.



C O M P O N E N T E D I C O N D U Z I O N E

FIBRE OTTICHE

Molto simile alla tecnologia del tunnel solare, si presenta esternamente con uno skyport, lo schermo captante che raccoglie i raggi di luce. Questo elemento può essere posizionato sia sul tetto dell'edificio che in facciata e distribuisce la luce raccolta tramite l'utilizzo di fibre, meno ingombranti e invasive rispetto al tunnel. Queste sono collegate a opportune superfici vitree che hanno funzione di diffusore o possono essere connesse a delle semplici spotlight per un'illuminazione più puntuale.



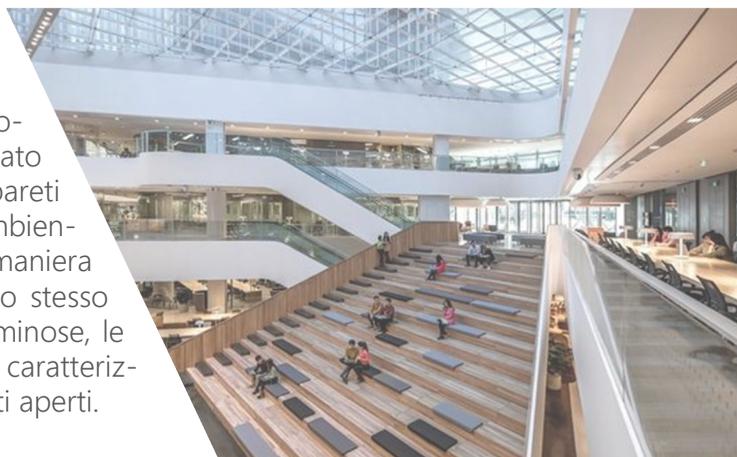
INNOVAZIONI

Il daylighting design si sta evolvendo sempre di più con l'innovazione tecnologica e vengono brevettati sempre nuovi sistemi per assicurare comfort visivo e risparmio energetico all'utente. Negli ultimi decenni sono stati ideati alcuni prodotti pensati appositamente per il settore residenziale, tra questi meritano di essere studiati due prodotti della Brixia Solar, azienda ormai presente da oltre dieci anni nel settore illuminotecnico.



ATRIO LUMINOSO

Sistema di daylighting design: prevede la progettazione di un ampio spazio centrale all'edificio, caratterizzato da un tetto completamente vetrato e circondato da pareti opache. In questo metodo è possibile scaldare l'ambiente naturalmente, ottenere uno spazio illuminato in maniera omogenea e fornire luce agli ambienti confinanti. Lo stesso funzionamento è valido per le cosiddette gallerie luminose, le quali funzionano allo stesso modo degli atrii ma sono caratterizzate dall'aver un collegamento con altri due ambienti aperti.



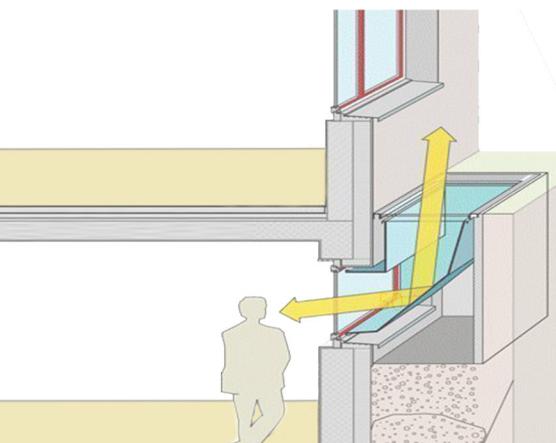
Cappa SOLAR

Si tratta di un prodotto altamente innovativo che permette di portare la luce naturale direttamente sul piano di cottura; funziona esattamente come i tunnel solari, ma permette anche di azionare la ventilazione, sia naturale che forzata, e di rilevare eventuali fughe di gas ed eventuale incendio con il sistema di allarme apposito.



DAYLIGHT SHAFT

Dispositivo tecnologico che permette di far arrivare luce, aria e fattore di vista esterna anche nei locali sotterranei. È composto da: glass floor, componente trasparente esterna a livello del terreno che capta la luce, tubo specchiato, coperto da un film che limita l'abbagliamento diretto, e finestra, che permette di ventilare naturalmente e di far entrare luce diurna proveniente dall'esterno, nonché di vederlo.



Divisoria SOLAR

Utilizzata per dividere spazi confinanti e consentire ad entrambi di essere illuminati naturalmente, si compone di una teca divisoria all'interno della quale è possibile ricreare un giardino automatizzato e illuminato direttamente dalla luce naturale. Il sistema si basa sul tunnel solare, è dotato di un sistema di ventilazione sia naturale sia forzata e di allarmi antincendio e fughe di gas.



1.5 La luce artificiale

La luce naturale, data la sua variabilità, non è sempre sufficiente a coprire la luminosità interna necessaria a soddisfare le condizioni di comfort e qualità visiva durante tutti i momenti della giornata. Occorre **integrare** alla luce proveniente dall'esterno quella artificiale, soprattutto durante le primissime ore del mattino, della sera e di notte. L'uomo, per natura, ha adattato il suo apparato visivo al sistema naturale e per questo con le sorgenti artificiali l'obiettivo è sempre stato, ed è ancora oggi, quello di **emulare** quelle naturali. Non sempre questo però è il punto centrale del lighting design, poiché i progetti di luce vengono elaborati in base alle esigenze dell'utente, alla funzione e alle necessità del lavoro.

A differenza della luce naturale, quella artificiale è molto più **malleabile** ed è quindi ancora più facile considerarla come vero e proprio materiale architettonico utilizzabile per evidenziare le caratteristiche dello spazio e non solo. La luce infatti viene utilizzata anche sfruttando la sua **capacità emotiva**. E' possibile ricreare negli ambienti determinate atmosfere solo grazie all'utilizzo di questo elemento. Con la sua intensità, il suo colore, creando contrasti e giochi con le ombre è possibile dare vita a scenari altrimenti irrealizzabili. I **contrasti di luce** permettono di evidenziare dettagli, forme e texture, con il fine di porre l'attenzione dell'osservatore su di un determinato aspetto o elemento. Il contrasto inoltre consente di percepire la spazialità di un ambiente. E' possibile giocare con questo fattore per creare **effetti di luce ed ombra** netti che modificano la percezione e distorcono la realtà, con il fine di ricreare una determinata sensazione o emozione. Il tema del contrasto viene spesso utilizzato negli ambienti museali o scenici per porre degli accenti sugli oggetti di focus. Nelle arti grafiche e in architettura è possibile utilizzare i contrasti anche per enfatizzare le gerarchie fra gli elementi osservati.



Altro elemento su cui si può giocare con la luce influenzando la percezione dell'ambiente e le emozioni annesse è il **colore**. La lettura del colore dipende da molti fattori, quali l'accostamento con altre tinte, ma soprattutto dalla quantità e qualità della luce che lo investe. Una luce troppo calda o troppo fredda o con un'intensità diversa da quella di progetto, potrebbero ingannare l'osservatore e portare ad una lettura scorretta del colore. Si può giocare su questo fattore per ricreare determinate atmosfere oppure studiare quale sia la luce più adatta per illuminare l'oggetto. Il colore ha una forte influenza sull'emotività e sull'attività dell'uomo, studi in questo campo hanno portato ad affermare che ogni colore ha un proprio **impatto psicologico** e relativamente soggettivo sull'uomo.

Come visto in precedenza, sono nate addirittura delle procedure mediche alternative che possono essere affiancate a quelle più invasive per accelerare i processi di guarigione, quali la cromoterapia. Impostare o cambiare un colore agendo direttamente sulla sorgente di luce, è un procedimento ormai molto semplice per le quelle artificiali, mentre per la luce naturale, l'unico modo è quello di adottare l'uso di vetri colorati per le aperture o sfruttare al meglio le potenzialità della luce a propria disposizione con il fine di valorizzare i colori dell'ambiente stesso.

La luce è un elemento affascinante di cui bisogna saperne sfruttare le peculiarità. Attraverso lo studio attento di questo fenomeno sono state create delle vere e proprie opere d'arte in campo architettonico che, giocando sulla percezione dello spazio, sfruttano questo materiale per creare effetti scenografici di **grande impatto visivo ed emotivo**.

Figura 27.
Alena Taeva
Fonte: behance.net

1.5.1 Il lighting design

Il settore che si occupa di progettare la luce è quello del lighting design. Gli obiettivi principali sono quelli di comfort e qualità visiva e risparmio energetico. Per illuminare gli ambienti abbiamo a nostra disposizione sorgenti artificiali che si compongono generalmente in due parti: una o più **lampade**, che trasformano l'elettricità in potenza luminosa, e un **apparecchio illuminante**, il quale serve a distribuire e/o modificare la luce emanata dalla sorgente nonché a proteggere quest'ultima.

Elemento fondamentale per l'illuminazione è la lampadina, ovvero la sorgente emettente il flusso luminoso. Il primo modello risale al 1878, brevettato da Joseph W. Swan, ma resa famosa da **Thomas Edison** quando, l'anno successivo, riuscì a migliorare il prototipo iniziale rendendolo facilmente utilizzabile e più durevole. Questa prima tipologia venne definita ad **incandescenza** poiché composta da un filamento metallico che diveniva rovente. Con il tempo e con il progredire della tecnologia sono stati inventati altri tipi di lampade con il fine di migliorarne durata, luminosità, resa cromatica e risparmio energetico, passando nei decenni a quelle ad **alogeni**, a quelle a **scarica** e a quelle **fluorescenti**, per finire poi con quelle a **LED**, attualmente le più diffuse in commercio.

Questa nuova tecnologia è composta da un diode che emette luce quando investito di elettricità in quanto semiconduttore. Ogni LED è composto da 3 **diodi** di colori diversi (verde, blu, rosso, i colori RGB) che si fondono tra loro emettendo una luce tendenzialmente bianca che può essere più o meno fredda (temperatura di colore variabile dai 3000 K ai 6500 K, il sole a mezzogiorno raggiunge i 5300 K, mentre la volta celeste varia dai 10.000 K ai 18.000 K). Ogni LED, data la sua minuscola dimensione, può essere inserito in varie tipologie di apparecchi che, in base alle esigenze, modificano il flusso luminoso proveniente dalla lampada andando a riflettere, diffondere, rifrangere o proiettare quest'ultimo, inoltre le sorgenti emettono in tutte le direzioni, quindi lo scopo delle ottiche è quello di recuperare il flusso che va nelle altre direzioni e reindirizzarlo verso quella utile.

Per quanto riguarda i **congegni illuminanti**, la CIE ha stilato una classificazione di quelli che possono essere i vari tipi suddividendoli in base alla quantità di flusso emesso verso il basso e verso l'alto:

- Prodotti di illuminazione **diretta** (90-100% verso il basso, 0-10% verso l'alto);
- Prodotti di illuminazione **semidiretta** (60-90% verso il basso, 10-40% verso l'alto);
- Prodotti di illuminazione **generale diffusa** (40-60% verso il basso, 40-60% verso l'alto);
- Prodotti di illuminazione **mista** (40-60% verso il basso, 40-60% verso l'alto);
- Prodotti di illuminazione **semi-indiretta** (10-40% verso il basso, 60-90% verso l'alto);
- Prodotti di illuminazione **indiretta** (0-10% verso il basso, 90-100% verso l'alto).

1.5.2 Tecniche per il lighting design

L'illuminazione divenne quasi subito un problema a seguito della sua invenzione, perché sì, permetteva la visione anche nelle ore notturne, ma allo stesso tempo, non essendo controllata e progettata secondo dei criteri, portava spesso disagi di carattere visivo legati spesso ad una scelta sbagliata delle sorgenti. Per questo motivo l'**illuminotecnica** divenne una materia prettamente quantitativa, poiché servivano delle linee guida da seguire per evitare questo genere di inconvenienti. Venne quindi istituita una normativa da rispettare che riguardasse l'illuminamento, resa cromatica e abbagliamento, ma con il tempo ci si accorse di come un approccio meramente analitico non sempre fosse la tattica migliore per risolvere i problemi legati all'illuminazione, soprattutto per quanto riguardava il comfort. Questo perché il lighting design non poteva basarsi solo sulle quantità, ma aveva bisogno di considerare anche un altro aspetto fondamentale, ovvero la **qualità**.

Alcuni studiosi si dedicarono quindi a questa tematica, andando a considerare la **percezione del fenomeno visivo** da parte dell'essere umano e le **capacità comunicative** dello stesso. Fra tutti, uno dei più importanti, se non il più importante, poiché avanguardista del settore, fu **Richard Kelly**^[8] Egli fu il primo a parlare di illuminotecnica qualitativa spostando i riflettori dalla quantità alla percezione ed estetica e riassumendo il concetto facendo una **classificazione funzionale** delle tipologie di luce: per vedere, per guardare e da osservare.

^[8] **Richard Kelly:** (1910-1977) uno dei primi lighting designer, noto per aver collaborato con architetti quali Mies Van Der Rohe e Louis Khan

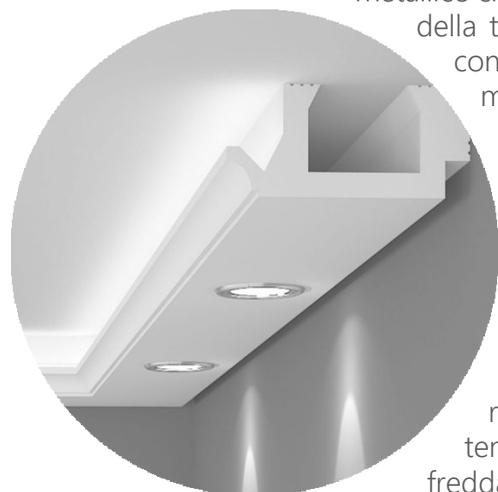


Figura 28.
Sierlijst voor LED spots en LED strips
Fonte: <https://www.bol.com/>



Figura 29.
Richard Kelly
Fonte: .alighting.com

Luce per vedere

Si tratta della luce definita "d'ambiente", illuminazione generale, consente di osservare gli oggetti presenti nello spazio ponendo l'osservatore in uno stato di sicurezza. È la metodologia più utilizzata per l'illuminazione dei grandi spazi pubblici.



Luce per guardare

Luce che pone in evidenza determinati elementi lasciandone in secondo piano altri. Aggiunta come un layer a quella d'ambiente, lascia leggibile lo spazio circostante. Trasmette informazioni all'osservatore, con la teoria del contrasto.



Luce per osservare

Comprende la parte più estetica del lighting design, dove si aumenta la comunicazione con l'osservatore. Serve a meravigliare e stupire lo spettatore, ma è fine a sé stessa. Comprende le light arts e gli spettacoli di luce.



ambienti in base alle esigenze dell'utente, dandogli la possibilità di modificare i colori, le intensità e il calore a proprio piacimento.

1. Smart lighting

Il continuo spreco di risorse da parte della popolazione globale, ha portato la ricerca tecnologica a sviluppare impianti sempre più intelligenti che permettono di risparmiare a livello energetico economico salvaguardando il benessere del nostro pianeta. Sono nati così i cosiddetti **ambienti "smart"**. Oggigiorno è infatti sempre più facile sentir parlare di smart living, smart working o smart city, si tratta di sistemi in cui gli electronic device possono dialogare facilmente tra loro inserendosi nel cosiddetto **Internet of Things (IoT)**^[9]. I vari apparecchi, opportunamente collegati alla rete internet, possono essere controllati tramite strumenti opportuni o, molto più semplicemente, tramite smartphone, i quali, anch'essi connessi alla rete, permettono di gestire tale tecnologia tramite app molto elementari. Tra i vari sistemi di cui sentiamo parlare non manca quello dello **smart lighting**.

Viene attribuito alla luce un consumo pari a circa il 30% dell'energia totale domestica. Grazie all'**IoL (Internet of Lights)** è possibile realizzare un ambiente caratterizzato dalla presenza di un'illuminazione smart che consente di portare il consumo elettrico ad un termine davvero esiguo tramite soluzioni sempre più innovative:

- **Sensori di presenza:** tramite una strumentazione opportuna viene rilevato l'ingresso o la presenza dell'utente nell'ambiente, la luce viene accesa automaticamente e si spegnerà una volta che la stanza sarà vuota;
- **Sensori di quantità:** opportuni sensori raccolgono dati sulla quantità di luce naturale proveniente dall'esterno e, in base alle informazioni immagazzinate, accendono automaticamente le luci ad un'intensità utile a compensarne le mancanze;
- **Programmi di gestione e controllo:** tramite software elementari installati su smartphone, o device simili, è possibile la gestione ed il controllo di tutte le sorgenti luminose; si può stabilire una configurazione standard da mantenere come predefinita o controllare manualmente quantità e colore delle luci in base alle esigenze del momento.



Figura 33.
Philips Hue Bridge 2.1
Fonte: bjwslmsale.com

1.5.3 Sistemi innovativi di lighting design

Parlando di comfort, risparmio energetico e sostenibilità ambientale, si è visto come la miglior scelta per l'illuminazione ricada su quella naturale. Nonostante ciò quella artificiale risulta comunque indispensabile per compensare le inevitabili mancanze della sorgente primaria. Proprio per questo motivo, nelle tematiche succitate, si stanno facendo passi da gigante per ridurre sempre di più i costi e aumentando allo stesso tempo le condizioni di benessere e qualità visiva. La tecnologia sta portando avanti quindi lo studio di **nuove tipologie di illuminazione**, le quali concorrono all'emulazione sempre più reale della luce naturale, e di sistemi di gestione e controllo, i quali consentono di illuminare gli

Figura 30.
Fonte: magnolialane.biz

Figura 31.
le tableau acheté 500 euros était un Rembrandt
Fonte: bfmtv.com

Figura 32.
PHOTOGRAPHY BY CODY GUILFOYLE
Fonte: domino.com

Con questo genere di controllo è possibile ottenere un effettivo risparmio energetico poiché molte volte le luci vengono lasciate inutilmente accese o la loro intensità è eccessiva rispetto a quella necessaria. Oltre a ridurre il consumo di energia si riduce anche quello di vita utile delle lampadine dato che viene ottimizzato il loro sfruttamento.

2. Coelux

La luce artificiale viene in genere utilizzata come integrazione a quella naturale o per illuminare ambienti in cui questa componente non può arrivare in maniera diretta. Esistono molte tipologie di lampade che tendono ad **emulare la luce del sole** poiché risulta essere quella a cui l'occhio umano è più abituato e, proprio parlando di emulazione, sono state sviluppate nuove tecnologie che invece simulano il comportamento e le caratteristiche di questo tipo di luce, ne è un esempio la proposta italiana **Coelux**.

Si tratta di un prodotto altamente sofisticato, una sorta di **lucernaio artificiale** che può essere montato ad incasso su soffitti e controsoffitti. Tramite un sistema ottico **LED** basato su **nanotecnologie** che riproducono la luce e l'apparenza visiva della volta celeste e del sole, il quale viene in genere leggermente diffuso per evitare fenomeni di abbagliamento e di cui viene simulato il percorso durante lo scorrere del tempo.

Oltre alla luce giorno è possibile ricreare anche la luce data dal riflesso lunare con tanto di simulazione video tramite le nanoparticelle. Il sistema può essere acceso e spento da un

Figura 34.
Fonte: coelux.com



semplice interruttore, ma tratta di un prodotto che rientra nello **Smart lighting**, poiché può essere gestito e controllato tramite app sullo smartphone scegliendone intensità generale e posizione del sole o della luna. Può essere vista dunque come un'**apertura artificiale verso l'esterno** che consente di portare la luce naturale anche negli ambienti dove questo non sarebbe possibile a causa della conformazione architettonica dell'immobile o del contesto a esso circostante.

Figura 35.
Fonte: coelux.com

Figura 36 pagina
successiva
B.E architects
Fonte: <https://www.dezeen.com/>

CAPITOLO 2

METODOLOGIE E METRICHE

per l'analisi della luce naturale e per
l'integrazione con la componente
artificiale



2.1 Introduzione

Nel corso degli anni gli studi sulla luce naturale in ambito architettonico si sono sviluppati non solo in base alle richieste di efficienza e risparmio energetico, ma anche grazie alle necessità derivanti dal voler fornire un determinato **comfort visivo**. La luce gioca un ruolo fondamentale in architettura e nella vita di tutti i giorni poiché influisce sull'attività e sulla produttività dell'uomo, sulla sua salute e sui suoi ritmi circadiani.

Questo **materiale edilizio**, insieme agli altri suoi pari, getta le basi per una corretta progettazione non solo architettonica, ma anche del benessere. Oggigiorno, in questo settore, un buon prodotto è sinonimo di efficienza, biocompatibilità, sicurezza, comfort e risparmio energetico. L'obiettivo del progettista è quindi quello di fornire un risultato finale che rispecchi queste aspettative, facendo ricorso all'utilizzo di tutte le risorse disponibili. La luce in questo senso rappresenta un **elemento chiave** per la riuscita dell'operazione. Essa infatti deve essere studiata e progettata per poterne sfruttare appieno le potenzialità soprattutto per quanto riguarda la componente naturale, che appare come un elemento incontrollabile, non progettabile, ma che invece, almeno parzialmente, lo è.

In base alle esigenze degli utenti e alla tipologia di edificio occorre fornire il giusto apporto di luce solare per portare il comfort visivo ai massimi livelli. Viene accentuata l'attenzione per la **salute dell'uomo** riducendo al minimo la componente artificiale e andando a sfruttare i benefici di quella naturale, per ottenere un risparmio energetico evitando però di aumentare gli apporti di calore. Per arrivare ad un prodotto di qualità

occorre conoscere la componente naturale e analizzare le possibili soluzioni adottabili in campo architettonico caso per caso poiché la luce è un elemento variabile nel tempo e che dipende dallo spazio. Esistono due tipologie di **daylight assessment** che possono essere adottate: lo studio statico e quello dinamico.

Con lo **studio statico** si va a considerare la sola componente diffusa della luce naturale, ovvero quella data dalla cosiddetta **Sky Component**, la luce derivante dalla volta celeste, e la quota riflessa della luce solare, escludendo quindi quella diretta e ottenendo in questo modo una valutazione non precisa della realtà luminosa. Il calcolo avviene prendendo in considerazione la condizione di cielo coperto fornita dalla CIE, la **Commission Internationale de l'Eclairage**. Si parla di **static assessment** poiché la componente diffusa viene ipotizzata costante e fissa per ogni ambiente irradiato, a prescindere che questo sia orientato a Nord o altrove. Il metodo si basa quindi su un'analisi che non dà peso alle mutazioni atmosferiche che influiscono sull'illuminazione naturale e che considera il sole come fosse una sorgente fissa che non si modifica durante l'arco della giornata, dell'anno o del periodo di studio.

L'altra tipologia di valutazione invece, basata sull'**approccio dinamico**, tiene conto di tutti i termini che caratterizzano la luce naturale e che ne influenzano variabilità e dinamicità, quali orientamento, esposizione, condizioni di cielo e altri ancora. E' possibile inoltre tener conto delle componenti schermanti, che influenzano l'ingresso della luce all'interno dei locali, e della posizione geografica, la quale determina le ore di luce diurna. Questo tipo di analisi considera infine anche la componente diretta dell'irraggiamento solare, portando il **daylight assessment** ad una considerazione a 360 gradi della realtà luminosa. Nel metodo dinamico avremo quindi dei livelli di luminosità diversi per ogni ambiente analizzato, cosa che invece non accade in quello statico, dove, tenendo conto di condizioni standardizzate, non vi sarà alcuna differenza fra un locale illuminato e l'altro.

Nonostante sia evidente la differenza di risultati che si possono ottenere da questi approcci, rimane comunque più adottato quello statico poiché è sufficiente calcolare i parametri o gli indici che non implicano tutte le complicazioni date dal considerare tutte le variabili dell'approccio dinamico.

Un altro fattore che spinge a prediligere questa metodologia è la **normativa nazionale**. Questa fornisce indicazioni solo sulle metriche statiche e non impone nessuno standard per i parametri dinamici, il progettista in questo modo non è incentivato ad optare per una progettazione

illuminotecnica più corretta. Anche le **certificazioni energetiche**, seppur ponendo l'obiettivo di una progettazione all'avanguardia, considerano ancora le metriche statiche come standard per un risultato soddisfacente a livello luminoso.

Negli ultimi anni la situazione si è evoluta, ma non si è ancora movimentata del tutto. Sono in fase di elaborazione da parte di alcuni enti illuminotecnici europei, quali il **Lighting Technology Standards Committee**, delle nuove direttive in merito all'illuminazione naturale che imporranno al progettista delle analisi onnicomprensive basate sul **Climate Based Daylight Modeling**, metodo dinamico che verrà spiegato all'interno del presente capitolo.

2.2 Le sorgenti di luce naturale

La luce naturale che irradia il nostro pianeta proviene essenzialmente da sue sorgenti: il sole e la volta celeste. Si tratta di una fonte di energia inesauribile che illumina la superficie terrestre durante le ore diurne, influenzata dalle caratteristiche climatiche del luogo e dagli eventi atmosferici. E' un elemento che, presentato in questo modo, appare molto imprevedibile e così è, ma nel corso degli anni sono stati effettuati degli studi in materia che hanno permesso di rendere questo fenomeno più progettabile.

Figura 37.
Steven Harris Architects
Fonte: pinterest.it



La luce naturale è da sempre utilizzata come un vero e proprio **materiale architettonico**, ma la consapevolezza che deriva da questo utilizzo deve ancora crescere. In molti casi infatti viene messa in secondo piano, seguendo e verificando solo i dettami normativi in merito. Nell'iter progettuale infatti, dal punto di vista luminoso, ci si occupa solamente del raggiungimento degli standard, il che porta alla realizzazione di prodotti architettonici con un comfort visivo insufficientemente appagante per l'utente ed un consumo elettrico che potrebbe essere facilmente ridotto.

Occorre dunque uscire dalle comodità dettate da abitudini sbagliate che giudicano sufficiente il conseguimento degli obiettivi normativi, poiché la realtà luminosa in architettura è ben altra.

Le analisi che servono a progettare questo elemento possono essere di vario tipo, ma si basano principalmente sullo studio delle sorgenti di luce naturale. Quest'ultima è il risultato della somma delle sue due componenti: quella diretta e quella indiretta. Ognuna di esse dipende da vari fattori e può mutare all'interno della giornata come nell'arco dell'anno, quindi occorre conoscere a fondo la loro natura per poterle progettare in maniera opportuna.

2.2.1 Il Sole

La sorgente solare può essere espressa secondo due componenti: una diretta e l'altra indiretta. Quella **diretta** è data dalla sola irradiazione solare che giunge a terra senza subire ostacolazioni, la restante parte, ovvero quella che viene riflessa, rifratta e che si disperde nell'ambiente, va a comporre invece la parte **diffusa**.



Figura 38.
Vincent Leroux
Fonte: vincentleroux.com

Spesso, negli **studi solari**, il sole viene semplificato e rappresentato come fosse una sorgente puntiforme. Effettivamente se studiata nello specifico potremmo dire che si comporta come tale, ma si tratta comunque di un elemento variabile che dipende da molti fattori e che può mutare nelle sue caratteristiche durante l'arco della giornata. Questo avviene a causa dell'orbitazione solare e della rotazione terrestre, che ne definiscono la dinamicità, e delle condizioni climatiche e atmosferiche, che invece ne influenzano l'intensità.

Il fattore che più influenza l'illuminamento solare è la **posizione** del sole stesso. Essa varia durante il giorno seguendo un percorso specifico che si modifica durante il corso dell'anno, aumentandone ancora di più la dinamicità. È una caratteristica che può essere facilmente calcolata tramite metodi analitici o grafici e che dipen-

de essenzialmente dai seguenti fattori:

- **Angolo azimut:** si forma tra la normale e la direzione Sud;
- **Elevazione solare:** è dato dall'angolo che si forma tra la superficie terrestre e la retta data dalla direzione dei raggi solari;
- **Angolo Zenitale:** è dato dall'angolo che si forma tra la superficie perpendicolare a quella terrestre e la retta data dalla direzione dei raggi solari.



Come anticipato, esistono due metodi per calcolare la posizione del sole. Il primo è quello grafico, il quale prevede l'utilizzo della carta, o **diagramma solare**, al cui interno viene riprodotta la volta celeste consentendo lo studio degli spostamenti del sole durante l'arco dell'anno e della giornata. Su questa carta sono rappresentati i mesi, le ore del giorno e il percorso seguito dal sole, permettendo in questo modo di sapere facilmente la posizione di quest'ultimo in un determinato momento dell'anno.

E' possibile anche procedere per via **analitica**, ma il procedimento richiede molti più passaggi e il calcolo di molteplici parametri che rallentano i tempi di progettazione, anche se portano ad uno studio più preciso di questo fattore. Gli altri componenti che entrano in gioco sono:

- **Latitudine:** ovvero l'angolo che si forma tra l'Equatore e il parallelo che si trova in corrispondenza della posizione del sole presa in considerazione;
- **Longitudine:** ovvero l'angolo che si forma tra il Meridiano fondamentale, detto anche di Greenwich, e il meridiano che si trova in corrispondenza della posizione del sole presa in considerazione;
- **Angolo di declinazione del sole:** si forma fra la linea che congiunge il Sole con la Terra e il piano orizzontale delimitato dall'Equatore;
- **Angolo orario:** si forma tra la posizione del meridiano che interseca la posizione del sole e quello che interseca il punto di presa.

L'illuminamento diretto dato dalla luce solare dipende quindi dalla sua posizione e dalle **condizioni climatiche** che ne influenzano l'intensità e la direzione, un cielo sereno permette di sfruttare appieno le potenzialità dell'irraggiamento diretto, mentre man mano che le condizioni saranno peggiori e il cielo sempre più coperto, l'intensità di questa componente tenderà a diminuire fino al quasi completo annullamento.

La luce diretta ha necessità di essere studiata con le corrette attenzioni perchè non basta puntare ad ottenere il maggior afflusso di luce solare per limitare al massimo l'integrazione artificiale e quindi i consumi energetici ed economici. Occorre valutare con attenzione questa componente poichè una dose eccessiva di luce diretta può portare a fenomeni di discomfort visivo, quali l'abbagliamento, o di tipo termico, i quali possono provocare il surriscaldamento dei locali colpiti dalla radiazione e quindi un aumento dei consumi energetici per il raffrescamento estivo.

2.2.2 La volta celeste

L'altra sorgente che concorre a illuminare il nostro pianeta è la volta celeste. Non si tratta di una fonte potente quanto il sole, ma dipende da essa e fornisce un contributo essenziale ai fini dell'illuminazione architettonica. L'illuminamento da essa prodotto costituisce la **componente diffusa** della luce naturale ed è condizionata pressoché dagli stessi fattori che influenzano quella diretta, ovvero: la posizione del sole e le condizioni climatiche ed atmosferiche. Per calcolare questo parametro in passato venivano effettuati calcoli analitici che prendevano in considerazione luminanza e illuminamento tenendo in considerazione i cosiddetti modelli di cielo, poco accurati e molto indicativi rispetto alla situazione reale. Ad oggi questa metodologia si è evoluta e, grazie alle moderne tecnologie, è possibile stabilire con più facilità le condizioni di luce naturale in una data posizione e progettare sia un maggiore che un minore ingresso a seconda delle esigenze di progetto.

Figura 39.
Fonte: cryptographs.
pw

2.3 Dai modelli CIE a quello di Perez

Per il calcolo della componente diffusa, come già detto nel paragrafo precedente, sono stati ideati inizialmente dei **modelli CIE**, Comité International de l'Éclairage, che si basavano su degli algoritmi che consideravano solamente le condizioni estreme di luminanza, ovvero quelle di cielo sereno e cielo coperto, solo successivamente, per dare una maggiore possibilità ai progettisti, fu brevettato anche quello a condizioni intermedie. Si trattava comunque di modelli non esaustivi, poiché si riferivano ad una sola specifica località ed erano costituiti da indagini annuali discontinue con periodi di analisi molto distanti fra di loro che consideravano solamente luminanza e illuminamento. Per questo motivo gli studiosi si sono mobilitati per aggiungere più scelte e anche ulteriori variabili che rendessero questi modelli più simili alla realtà, ovvero: la densità nuvolosa, l'indice di serenità e la torbidità atmosferica.

Lo sviluppo, l'evoluzione e la ricerca hanno portato alla considerazione che vi era bisogno di portare avanti questo metodo tenendo conto che senza una **specificità del luogo** l'applicabilità del metodo sarebbe rimasta relativa. Così è stata avviata un'iniziativa che prevedeva misurazioni locali a livello internazionale e il che ha portato alla creazione di vari modelli più specifici in base all'area di rilevazione, creando così delle **banche dati regionali**. Tra le informazioni salvate in questi archivi, sono state aggiunte

quelle relative alla dinamicità della luminanza, che comprendevano studi su varie fasce orarie e su più mesi.

Nel tempo si sono aggiunti altri enti oltre alla CIE che hanno partecipato alla creazione di modelli innovativi, quali la **Illuminating Engineering Society of North America**, abbreviato in IESNA, e il **Centre Scientifique et Technique du Batiment**, ovvero il CSTB. Da qui siamo arrivati a due modelli di cielo ancora più completi: il primo, proposto sempre dalla Comité International, prodotto da una serie di ricercatori che hanno individuato il cosiddetto "**Cielo Generico Standard**" CIE, e il secondo, studiato da Perez, denominato **All weather sky**. Questi si basano sulla divisione in molteplici condizioni di cielo differenti che partono da un primo cielo sereno e che arrivano fino a quello coperto passando per sfumature intermedie, portando così ad un'ampia gamma di scenari di analisi a disposizione per il daylighting design. Anche quest'ultimo, con lo sviluppo della scienza e della tecnologia, ha subito un'evoluzione sostanziale, passando da quella che era un'analisi statica ad una dinamica. La prima prevedeva calcoli manuali di elevata semplificazione rispetto al caso reale basando l'analisi su un determinato momento nel tempo, caratterizzato da determinate condizioni atmosferiche. La seconda invece, possibile grazie all'utilizzo di software di simulazione basati su complicati algoritmi, permette ai professionisti di eseguire molto più facilmente le analisi sulla luce naturale utilizzando la cosiddetta metodologia del **Climate-Based Daylight Modeling**. Questo approccio prevede l'utilizzo delle banche dati climatiche locali per uno studio più accurato di questo fenomeno, facendo riferimento a diversi parametri, come illuminamento, luminanza, esposizione luminosa e abbagliamento.

2.3.1 I modelli standard CIE (clear, overcast e intermediate sky)

Il modello di cielo sereno, detto anche **CIE Clear Sky**, fornisce informazioni riguardanti la volta celeste completamente sgombra dalle nuvole. Il sole è scoperto, il che significa che non possiamo

avere una luminanza uniforme della volta celeste e che questa sarà molto condizionata dalla sorgente di luce: vicino al sole i valori saranno elevati e diminuiranno man mano che ci si allontana da esso. I valori di luminanza sono suddivisibili in fasce a seconda del valore a partire dalla posizione del sole e allontanandosi da esso.

Il modello di cielo coperto, detto anche **CIE Overcast Sky**, fornisce informazioni riguardanti la volta celeste completamente coperta dalle nuvole. In questo caso il sole non è visibile poiché risulta completamente nascosto. Questo significa che la luminanza della volta non è condizionata dalla sua posizione, ma allo stesso tempo può essere uniforme oppure diminuire gradualmente dallo zenit fino all'orizzonte.

Il modello di cielo intermedio, detto anche **CIE Intermediate Sky** o modello Nakamura, fornisce informazioni riguardanti la volta celeste parzialmente coperta dalle nuvole. Si tratta di un modello che è stato studiato in Giappone, da qui il nome, e che è stato ideato per quei casi in cui la volta celeste non si trova in una condizione estrema e considera il sole come non completamente visibile poiché risulta in una condizione di copertura intermedia.

2.3.2 I modelli intermedi IESNA e CSTB

Il modello IESNA, fornito dal **Illuminating Engineering Society of North America**, è un modello di cielo intermedio che fornisce informazioni riguardanti la volta celeste parzialmente coperta dalle nuvole. Simile a quello fornito dagli standard CIE, aggiunge allo studio alcune metriche dinamiche che prima non erano state calcolate grazie al metodo della **Cloud Ratio** ^[n]. Esistono anche dei modelli a cielo sereno e a cielo coperto, ma forniscono dei risultati molto simili a quelli ottenibili dai modelli CIE.

Il modello CSTB detto anche di Perraudou - Chauvel, fornito dal **Centre Scientiphique et Technique du Batiment**, è un modello

di cielo intermedio elaborato a Nantes, Francia, che fornisce informazioni riguardanti la volta celeste parzialmente coperta dalle nuvole. Lo studio è stato preveduto su 5 modelli di cielo: uno sereno, uno coperto e 3 parzialmente coperti. Anche in questo caso vengono aggiunte alcune metriche dinamiche che prima non erano state calcolate grazie al metodo della Cloud Ratio.

2.3.3 I modelli CIE General sky e All-sky weather

Il modello CIE Standard, detto anche **Standard General Sky**, è un modello che fornisce lo studio di 15 differenti scenari, dalla condizione di cielo sereno a quella di cielo coperto, passando per numerose sfumature. I modelli si basano inoltre sulla raccolta dati geografica che rende lo studio molto più specifico e accurato. Il fattore che differenzia maggiormente un modello dall'altro sono la torbidità atmosferica e la densità di nuvole, che permettono di distinguere 5 modelli di cielo coperto, 5 di cielo intermedio e altri 5 di cielo sereno, portando così numerose varietà tra un'estremo e l'altro. In base al sito di applicazione, si utilizzano i dati geografici relativi all'area di progetto, così da avere un modello di cielo che si avvicina molto di più a quello in condizioni reali, che non facendo riferimento ad una sola situazione climatica di un preciso istante come avveniva con modelli precedenti.

Il modello **All-weather sky**, ideato sempre da Perez, può essere un'alternativa al General CIE che prevede la combinazione di 4 tipologie diverse di cielo e di analisi effettuate in America ed Europa le quali hanno portato alla configurazione di 8 modelli di cielo, due alle condizioni estreme e 6 a quelle intermedie di passaggio. Ad oggi, data la sua flessibilità di applicazione, risulta il modello di riferimento più utilizzato all'interno delle simulazioni di daylighting design, infatti è possibile ritrovarlo sulla maggior parte dei software di simulazione della luce naturale

2.4 Metodi di calcolo statici

Le analisi statiche sono state, e sono ancora oggi, la metodologia più utilizzata, questo perché semplificano molto le condizioni di reale luminosità senza andare a considerare la variabilità specifica dei casi. Furono inventate verso la fine degli anni 90 dell'ottocento con il fine di verificare le **condizioni di luce** all'interno degli edifici, basandosi su standard di illuminamento fissi e dipendenti dalla tipologia di attività svolta al loro interno.

Le analisi statiche infatti vengono eseguite senza considerare il contributo dato dalla componente diretta di luce naturale, ma tenendo conto solamente di quella diffusa proveniente dalla **volta celeste**. Vengono seguiti modelli di cielo CIE standard, in particolare quelli di cielo coperto, denominati come **Overcast Sky**, per considerare la condizione estrema in cui i raggi diretti di luce solare sono praticamente nulli.

Si tratta di metodi più semplificati rispetto a quelli dinamici, ormai superate poiché si basano sulla **standardizzazione delle condizioni atmosferiche**, ma la normativa vigente in Italia, come quella attiva nella maggior parte dei paesi, si basa su di essi. Questo ha fatto sì che il loro utilizzo venisse ampiamente diffuso e dato per sufficiente al raggiungimento di prodotti di qualità, mentre invece non è così.

In Italia inoltre la realtà dei fatti è diversa da ciò che viene previsto e richiesto dalla normativa vigente e la situazione risulta ancora più critica. Questo perché è stata concessa una libertà d'azione troppo ampia, le

norme non vengono seguite alla lettera e vengono adottate solamente in parte. E' da sottolineare comunque il fatto che, in ogni caso, il rispetto delle norme non porterebbe a dei prodotti efficienti e soddisfacenti dal punto di vista luminoso.

Per capire come mai si tratta di un approccio che dovrebbe essere aggiornato, bisogna andare ad analizzare i parametri che vengono calcolati con questo assessment. Solitamente il più diffuso è il **Fattore medio di Luce Diurna (FLDm)** che, seppur già abbastanza complesso, risulta ormai essere insufficiente per assicurarsi il raggiungimento di un prodotto finale che soddisfi le aspettative legate alla percezione visiva.

2.4.1 Il fattore medio di luce diurna

La prima grandezza che viene nominata dal Decreto Ministeriale della salute del 5 luglio 1975, come si vedrà nel capitolo dedicato alle normative, è il Fattore medio di Luce Diurna (FLDm). Siamo all'interno della metodologia statica e quindi per il calcolo di questo parametro non viene considerata la componente solare diretta, ma solamente quella diffusa, tenendo come condizioni ambientali il cielo coperto.

Per comprendere meglio l'utilizzo di questa metrica si può partire dal calcolare il solo **Fattore di Luce diurna (FD)** e poi passare a quello medio. Per fare ciò è necessario considerare innanzitutto due punti: un punto esterno ed un punto interno al fabbricato oggetto d'esame. Il primo verrà irradiato da una certa quantità di luce (lux) che sarà sicuramente maggiore rispetto a quella che andrà a interessare il secondo punto a causa della presenza dell'edificio stesso e non solo. Il Fattore di Luce diurna non rappresenta altro che il rapporto tra i due valori, in questo modo è possibile osservare la relazione che vi è fra l'esterno, il cui punto sarà colpito da una quantità di luce che rappresenta il 100% di quella disponibile, e l'interno, il cui valore indica quanta luce permane all'interno nel momento in cui considero l'involucro progettato.

Il passo successivo consiste nel capire come il fattore di luce diurna si rapporti con l'intero ambiente. Per fare ciò occorre prendere una serie di valori appartenenti ad un unico livello, quindi aventi tutti la stessa altezza, che può essere quella del piano di lavoro, ovvero fra i 75 e i 90 cm dal piano di calpestio e che ricopra l'intera area di analisi. In questo modo sarà possibile ottenere il **Fattore medio di Luce Diurna (FLDm)** il quale dovrà essere pari ad almeno 2% secondo normativa. Per ottenere

l'FLDm abbiamo a nostra disposizione la seguente formula parametrica

$$FDLm = (\sum A \tau_v \epsilon \Psi) / (S(1-R_m))$$

Dove:

- A è l'area delle **superfici trasparenti** del locale (mq), mentre S è l'area delle **superfici interne** dell'ambiente (mq);
- τ_v rappresenta il **coefficiente di trasparenza** del vetro (%), detto anche coefficiente di trasmissione luminosa;
- R_m è il **coefficiente medio di rinvio** delle superfici interne dell'ambiente (%);
- ϵ è il **fattore finestra**, inteso come rapporto tra l'illuminamento della finestra e la radianza del cielo (%);
- Ψ è il **coefficiente di riduzione del fattore finestra**, in funzione diretta della posizione della finestra rispetto al bordo esterno del muro.

Sono quindi numerosi i parametri che servono per il calcolo del Fattore Medio di Luce Diurna, ma proprio per questo il processo diventa abbastanza lungo e complicato, anche se ormai non è più necessario seguirlo manualmente grazie all'utilizzo dei software di ultima generazione.

Nonostante sia stato impostato questo valore come limite standard, il suo rispetto non è condizione minima e necessaria per assicurare una buona quantità di luce naturale all'ambiente interno. Secondo uno studio del **Politecnico di Milano** ha dimostrato come in realtà questo non sia sufficiente a soddisfare le esigenze dell'utenza. Infatti una percentuale del 2% corrisponde ad una condizione di scarsa luminosità secondo la sensazione visiva. Per arrivare ad un livello accettabile, dove gli ambienti appaiono luminosi e l'illuminazione è gradevole, bisognerebbe porre come **soglia minima il 4%**, proprio come richiesto da alcune delle certificazioni energetiche più diffuse. Superata la soglia del 4% e andando verso quella del 7%, si arriva ad avere ambienti che danno una sensazione di grande luminosità e di apertura verso l'esterno.

Al fine ottimizzare il risultato ottenibile da una certa configurazione, è possibile attuare una serie di strategie ormai consolidate:

- Optare per delle **colorazioni chiare**, non solo per le superfici dei locali, ma anche degli arredi e delle finiture;
- **Eliminare oggetti fissi** che impediscono permanentemente l'ingresso della luce solare e prediligere invece le schermature movibili;
- Progettare l'ingresso della luce attraverso la **multidirezionalità**, cercando quindi di posizionare le aperture su tutte le superfici disponibili dei locali, favorendo soprattutto la luce zenitale.

Il Fattore medio di Luce Diurna quindi, nonostante sia già complesso e carico di informazioni, inizia ad essere sempre più considerato come **non sufficiente** alla soddisfazione dei requisiti di illuminazione minima, viene infatti affiancato da ulteriori parametri e grandezze per il calcolo della componente naturale. Questo avviene perché nella statistica la media è un concetto corretto che però tende a non mostrare la realtà dei fatti dal punto di vista percettivo. Infatti la stessa media può essere data sia da valori molto simili tra loro, come può avvenire nel caso di una stanza ben illuminata attraverso la multidirezionalità, sia da valori molto diversi tra loro con picchi di valori molto elevati e altri molto bassi, come può avvenire in una stanza illuminata monodirezionalmente.

Per evitare ciò bisogna fare entrare in gioco un altro parametro: l'uniformità. L'**indice di uniformità** si ottiene facilmente mettendo in rapporto il valore più basso con quello più alto di FD, in questo modo si riesce a capire se vi è omogeneità o meno all'interno della sequenza di valori.

Non in tutti i casi è necessario ottenere un valore di FLDm o di uniformità molto elevato, dipende da come deve essere utilizzato un determinato ambiente, se si devono imporre degli accenti tramite l'utilizzo di contrasti o se si deve ottenere un determinato tipo di **atmosfera**. L'uniformità diventa sicuramente fondamentale per quegli spazi fortemente funzionali, come luoghi di lavoro o di studio. Per ottenere un alto livello di uniformità la strategia più efficace è quella di puntare sulla multidirezionalità e aggiungere ove possibile aperture dall'alto che permettano di usufruire della luce zenitale.

2.5 Metodi di calcolo dinamici

Fino a qualche decennio fa gli unici metodi di calcolo disponibili erano quelli manuali, i quali prevedevano però una semplificazione poco curata di quella che è la realtà. Oggi con i **software di calcolo** le analisi sono più immediate e facilmente ripetibili in caso di risultati insoddisfacenti. Rispetto ai metodi precedenti viene studiata anche la componente diretta della luce e la variabilità e dinamicità di questo fenomeno nella sua interezza. Questo avviene tramite l'utilizzo di dati climatici alla cui base troviamo una serie di valori che possono far riferimento a vari parametri, tra cui: l'illuminamento (medio o puntuale), la luminanza, l'esposizione luminosa e gli indici di abbagliamento.

Questa tipologia di approccio prende il nome di **Climate-Based Daylight Modeling (CBDM)**, un metodo nato nel 2006 dagli studi di **John Mardaljevic** ^[n] che lo presentò per la prima volta al congresso ingegneristico della **Chartered Institution of Building Services Engineers** ^[n] in Inghilterra. Si tratta di un procedimento che, sia attraverso stime quantitative che qualitative, permette di conoscere le variazioni che interesseranno la luce naturale in una determinata località geografica, considerando l'esposizione dell'edificio in base al suo orientamento. Le analisi possono avvenire tramite delle simulazioni computerizzate che riducono notevolmente i tempi di calcolo e che forniscono come risultato indici e parametri, i quali permettono di ottenere un quadro della situazione più completo, senza dover ricorrere a modelli in scala difficili da modificare e applicare.

Il CBDM si basa su delle **banche dati climatiche locali** che forniscono informazioni in merito alle condizioni atmosferiche specifiche del luogo e hanno una base decennale o maggiore. In queste informazioni di partenza troviamo il numero di giorni a cielo coperto e quelli a cielo sereno, il che permette di considerare l'effettiva illuminazione diretta e diffusa che caratterizza l'area di progetto. In questo modo risulta più facile capire quando e quanta integrazione artificiale è necessaria, con la possibilità di fornire indicazioni molto specifiche sia su base annuale, che mensile o giornaliera.

Inizialmente vennero ideati i file denominati **TMY, Typical Meteorological Year** ^[n] che contenevano questa serie di dati distribuiti nell'arco di un anno, all'interno di complicati algoritmi di calcolo. Le analisi erano eseguite su una base decennale, ma con il tempo si è capito che andavano eliminati i mesi o i periodi anomali che non concorrevano alla realizzazione di un database fondato su un anno generico standard. A questo scopo vennero creati i **Typical Meteorological Month file**, i quali, attraverso un'analisi accurata dei mesi all'interno di vari anni, hanno contribuito alla ricostruzione del mese che più si avvicinava a quello tipico, calcolando una media dei dati raccolti.

Gli studi sono stati portati avanti e sono state inserite nuove metriche all'interno dei file di dati che permettono una consultazione più specifica dei valori di luminosità all'interno della giornata. Da qui venne aggiunta anche la possibilità di poter agire sulla componente diretta della luce solare con i file di nuova generazione TMY2 e si susseguirono una serie di innovazioni che hanno portato a delle analisi sempre più accurate e specifiche, come il TMY3, l'ASCII o l'IWEC. Tra gli ultimi arrivati e i più utilizzati troviamo il nuovo formato **EPW, Energy Plus Weather format** che deve la sua ampia diffusione all'utilizzo del sistema internazionale delle unità di misura, il quale permette una facile lettura e comprensione dei risultati.

Tra le novità troviamo anche il **Real – time Weather Data**, una nuova base di dati all'interno della quale si possono consultare, per le città più rilevanti, le informazioni derivanti dalle analisi, sia su base giornaliera che oraria. In questo modo è possibile studiare accuratamente le condizioni luminose ad ogni frazione oraria, consentendo una progettazione attenta al minimo dettaglio.

Le analisi, come preannunciato, vengono effettuate su software di modellazione all'interno dei quali è possibile inserire varie informazioni, tra cui anche la presenza di strutture schermanti, oggetti o altri elementi ostacolanti del contesto che influiscono sui livelli di illuminamento in-

terni. Attualmente il problema di questi programmi è che sono ancora troppo poco diffusi poiché il loro funzionamento non è immediatamente comprensibile, hanno un'interfaccia grafica complessa e i risultati che ne derivano non sempre sono presentati secondo schemi intuitivi. Per queste ragioni i metodi statici permangono quelli più utilizzati nonostante la loro incompletezza.

I nuovi parametri calcolabili con questi software sono davvero numerosi e ne esistono di vario genere, forniscono indicazioni sull'illuminazione naturale aiutando a stabilire se questa viene sufficientemente sfruttata e di quanto occorre integrarla con la componente artificiale.

2.5.1 Daylight Autonomy

Uno dei parametri fondamentali che possiamo ricavare attraverso il CBDM è la **Daylight Autonomy (DA)**. Questa metrica serve a indicare se la luce naturale a nostra disposizione è sufficiente a soddisfare gli standard di illuminamento necessari, in modo da poter risparmiare sui consumi energetici evitando l'utilizzo dell'integrazione artificiale durante le ore giorno. Essa viene rappresentata come rapporto percentuale delle ore di occupazione diurne nell'anno durante le quali non vi è bisogno dell'apporto dato dalla luce artificiale, poiché è sufficiente l'illuminazione fornita da quella naturale. Il calcolo viene fatto considerando una griglia di punti ad un'altezza tale da corrispondere a quella del piano di lavoro e generalmente vengono considerati ottimali i risultati che arrivano a coprire percentuali fra il **40 e il 60%**.

Per analizzare la daylight autonomy, solitamente vengono presi in considerazione **due momenti della giornata**, uno a metà mattinata e uno a metà pomeriggio. Per un calcolo più completo bisognerebbe cercare di considerare più giorni e più ore possibili all'anno, ma inizialmente è possibile anche procedere con degli studi meno dettagliati, considerando un giorno al mese, per avere un'idea del funzionamento dell'edificio nelle fasi iniziali della progettazione.

La Daylight Autonomy, o autonomia di luce naturale, presenta però alcune **problematiche**. L'indice fornisce informazioni sui livelli di autonomia, ma non rende possibile, da parte del progettista, il verificare la presenza di fenomeni di disagio visivo. Allo stesso tempo, però, aumentare i livelli di autonomia permette di ottenere tutti quei benefici che derivano dall'utilizzo della luce naturale sia per quanto riguarda l'uomo, come l'aumento della capacità di concentrazione o della produttività, sia per quanto riguarda l'ambiente, con una riduzione del consumo

delle risorse naturali. Per avere livelli di autonomia più elevati bisogna adottare una serie di **accorgimenti** per favorire un ingresso della luce naturale, quali:

- Aumentare la quantità di finestre;
- Aumentare la dimensione delle finestre;
- Favorire la multidirezionalità delle finestre, ovvero collocarle su tutti i fronti disponibili all'interno dei locali;
- Prediligere la luce zenitale.

2.5.2 Continuous Daylight Autonomy

Con lo sviluppo degli studi, a seguito dell'autonomia di luce diurna, venne presentata una nuova metrica: la **Continuous Daylight Autonomy (DAcon)**. La DAcon permette di conoscere i livelli di autonomia, mentre invece con la DAcon vengono studiati gli intervalli di tempo dove la luce naturale è insufficiente ed è necessaria l'**integrazione artificiale**. Questo avviene tramite l'attribuzione di punteggi parziali che permettono di capire qual è la quantità di luce artificiale necessaria per raggiungere gli standard.

Ad esempio, se lo standard è di 300 lux, ma in una determinata fascia oraria la luce naturale raggiunge solamente i 180 lux, allora avremo un punteggio parziale di $180\text{lux}/300\text{lux}=0,6$. Questo valore indica che abbiamo a nostra disposizione solo il 60% della luce necessaria e che quindi si avrà bisogno di un'integrazione pari al 40%. In questo modo non si avranno sprechi di energia come avverrebbe tramite il solo studio dell'autonomia diurna che, al di sotto della soglia di illuminamento minimo, non considera la luce naturale rimanente che contribuisce al raggiungimento degli standard minimi.

2.5.3 Maximum Daylight Autonomy

Un'altra metrica che permette di effettuare uno studio più dettagliato sui livelli di illuminazione naturale disponibili è la **Maximum Daylight Autonomy (DAmax)**. Se la DAcon tiene conto dei valori di illuminamento inferiori agli standard minimi, la DAmax si occupa invece dei valori superiori agli standard e che possono creare **fenomeni di disagio**. Si tratta sempre di una percentuale, ma in questo caso indica per quanto tempo i livelli di illuminazione eccedano in maniera negativa. Si pone come soglia disturbante un valore che supera di dieci volte quello minimo e si effettua la verifica.

Fenomeni quali l'abbagliamento e il surriscaldamento degli ambienti andrebbero evitati per non andare a intaccare il comfort dell'utente. Per fare ciò bisogna adottare appositi **sistemi di schermatura** o altri metodi di protezione per arrivare a ridurre questi livelli eccessivi di almeno il 5/10%.

2.5.4 Spatial Daylight Autonomy

La **Spatial Daylight Autonomy**, abbreviata sDA è una nuova metrica, utilizzabile dalla fine del 2012, che consente di valutare la Daylight Autonomy specifica di una determinata area. E' stata ideata per i **piani di lavoro** e di studio con il fine di specificare quali aree hanno una sufficiente illuminazione naturale e quali necessitano di un'integrazione artificiale.

Il calcolo si basa su un'analisi annuale considerando come orario di lavoro la fascia oraria che va dalle 8 alle 18 e consente di effettuare uno studio puntuale per ogni area per stabilire in quali di queste è raggiunto il valore minimo di 300 lux. La sDA viene indicata come sDA300 affiancata da un valore percentuale che indica per quanto tempo la superficie è illuminata a sufficienza. Recentemente questo parametro è stato inserito anche tra le richieste di alcune certificazioni energetiche ambientali, tra cui il **protocollo LEED**, rendendolo uno dei criteri valutabili dell'analisi.

2.5.5 Useful Daylight Illuminance

Lo **Useful Daylight Illuminance (UDI)** è un altro parametro che viene utilizzato per verificare i livelli di illuminamento naturale. Segue i dettami del CBDM, quindi si basa anch'esso sulle banche dati ambientali locali e considera tutte le variabili che condizionano entrambe le componenti, diretta e diffusa, dell'irraggiamento solare.

Rispetto alla DA, che indica in rapporto percentuale ogni quanto l'illuminazione naturale sia sufficiente a rispettare i livelli minimi di illuminamento, la UDI indica invece ogni quanto questa ricada all'interno di un **intervallo prestabilito** che permette di avere un ambiente illuminato né in maniera eccessiva né scarsa. Questo intervallo, compreso tra i 100 lux e i 3000 lux, viene ulteriormente suddiviso in due fasce più ristrette: la prima, che va dai 100 ai 500 lux, prende il nome di **"UDI – supplementary"** e rappresenta quell'intervallo in cui la luce naturale risulta sufficiente a illuminare lo spazio, ma può essere integrata con quella artificiale per raggiungere determinati livelli o standard; la seconda

invece, denominata **"UDI – autonomus"**, rappresenta i valori per cui non vi è necessità di utilizzare ulteriori fonti per illuminare gli ambienti. Un'ulteriore fascia può essere rappresentata dai valori che superano i 3000 lux, ma in quel caso sarebbero sicuramente presenti fenomeni di discomfort.

Al di sotto della UDI 100 la luce risulta insufficiente, al di sopra della UDI 3000 invece diventa abbagliante. Durante un anno bisognerebbe far sì che i valori di illuminamento ricadano in questa fascia per almeno il 70/80% del tempo. Si tratta di un intervallo molto ampio poiché l'occhio umano è capace di adattarsi a vari livelli di intensità luminosa, inoltre risulta più facilmente accondiscendente a bassi livelli di illuminamento naturale rispetto a quello artificiale. Questo comporta che per lo svolgimento di alcuni compiti è possibile restare sotto la soglia dei 500 lux senza dover per forza ricorrere all'utilizzo della luce artificiale portando ad un risparmio ancora maggiore delle risorse energetiche.

Esiste anche un'altra possibilità all'utilizzo della UDI, ovvero al **Daylight Saturation Percentage (DSP)**. Si tratta di un parametro meno usato che indica il valore percentuale di ore in cui su un ipotetico piano di lavoro si hanno valori che si aggirano fra i 430 e i 4300 lux.

2.5.6 Annual Sunlight Exposure

L'**Annual Sunlight Exposure (ASE)** è un parametro che serve a verificare l'eventuale eccessivo ingresso di luce all'interno dei locali. Esso indica quanta **luce incidente** e visibile si accumula in un determinato punto durante l'arco di un anno. Più precisamente si conteggiano tutti quei punti in cui è presente un illuminamento maggiore di 1000 lux per più di 250h all'anno.

Si tratta di una metrica che viene utilizzata per lo più in **ambito architettonico museale** per controllare la quantità di luce che può interessare un determinato oggetto esposto perché può risultare dannosa ai fini della conservazione.

Anche in questo caso troviamo numero applicazioni all'interno delle certificazioni e dei protocolli, come ad esempio il LEED e il BREEAM.

2.6 L'integrazione di luce naturale-artificiale

La tematica del consumo di energia elettrica è un problema che affligge la nostra società da molti decenni ormai, da quando il costo dell'elettricità ha iniziato ad aumentare sempre di più, l'attenzione al **risparmio energetico** è aumentata di conseguenza. In tutti i vari ambiti si è cercato di trovare un modo di ridurre sprechi, utilizzare energia rinnovabile e nuove tecnologie per ammortizzare questi costi e consumi con un'attenzione anche alla salvaguardia ambientale.

Tra i vari fattori, troviamo anche l'illuminazione, la quale gioca un ruolo molto importante nella definizione di un risparmio energetico effettivo. Uno dei compiti principali del **lighting designer** infatti deve essere proprio questo: proporre un prodotto di qualità che fornisca i giusti standard in quanto a benessere e sicurezza, ma che tenga conto anche della parte riguardante i consumi. In quest'ottica la parola chiave diventa **luce naturale**. Sono già stati elencati precedentemente i benefici derivanti dall'utilizzo di questo elemento gratuito, di massimo rispetto ambientale, ed è per questo che risulta necessario, da parte del progettista, cercare di ottimizzarne l'ingresso all'interno degli edifici.

Fortunatamente le nuove tecnologie del settore permettono di aumentare notevolmente questa componente e allo stesso tempo di diminuire l'utilizzo di quella artificiale che però risulta essere comunque indispensabile ai fini delle attività quotidiane. È necessario quindi calcolarne l'**integrazione** in base alla disponibilità di luce solare all'interno degli edifici, e per fra ciò la normativa **UNI EN 15193** del 2008 fornisce l'or-

mai più che diffuso **indice LENI** per il calcolo dei requisiti energetici per l'illuminazione.

2.6.1 L'indice LENI

Come preannunciato, l'indice LENI, ovvero il **Lighting Energy Numeric Indicator**, è un indicatore utilizzato per ricavare l'efficienza energetica degli edifici in campo illuminotecnico. A livello europeo lo si trova proposto nella EN 15193 del marzo 2008 mentre per la normativa italiana si fa riferimento alla **UNI EN 15193**.

Può essere utilizzato sia in caso di fabbricati già costruiti che per quelli nuovi e può essere calcolato con uno dei seguenti metodi:

- Rilevamento diretto dei consumi reali di corrente elettrica
- Valutazione veloce, basata su degli standard di riferimento
- Valutazione completa, basata su un'analisi più specifica

Per ottenere l'indice basta applicare la seguente formula:

$$LENI = W/A$$

Dove:

- L'indice LENI è espresso in kWh/m2anno;
- W indica il consumo energetico dato dall'illuminazione (kWh/anno);
- A è l'area dell'edificio da illuminare.

Il consumo energetico è ricavabile dalla somma di due parametri:

$$W = WL + WP$$

Con:

- WL rappresenta il consumo energetico annuale degli apparecchi di illuminazione utile a raggiungere gli standard richiesti da normativa (UNI EN 12464-1);
- WP rappresenta il consumo energetico dato dai dispositivi di regolazione e di controllo e sicurezza; se i consumi non sono reperibili vengono considerati pari a 6 kWh/anno.

Per quanto riguarda il WL è possibile calcolarlo tramite la seguente formula parametrica:

$$WL = P_n * F_c * F_o * (t_D * F_D + t_N) / 1000$$

Dove:

- P_n indica la sommatoria della potenza necessaria ad illuminare l'edificio (W);
- FC è il coefficiente di illuminamento costante, serve a tener conto dell'effetto degli eventuali sistemi di controllo per un illuminamento costante (-);
- FO è il coefficiente di dipendenza dall'occupazione, serve a tener conto dell'effetto che può provocare la presenza di persone all'interno dei locali (-);
- FD è il coefficiente di dipendenza dalla luce diurna, serve a tener conto della componente di luce naturale che irradia all'interno dell'edificio (-);
- tD indica per quante ore diurne resta in funzione il sistema di illuminazione (h);
- tN indica per quante ore notturne resta in funzione il sistema di illuminazione (h).

Ogni parametro ha le proprie specifiche tecniche per quanto riguarda il calcolo e i requisiti da rispettare, per un approfondimento più dettagliato si rimanda alla normativa di riferimento.

CAPITOLO 3

**IL PROGETTO
ILLUMINOTECNICO**

tra normativa, protocolli
e certificazioni energetiche



3.1 Introduzione

Nel processo di progettazione illuminotecnica, il professionista deve tener conto di innumerevoli fattori. A partire dalle esigenze, dalle richieste e dai vincoli posti dalla committenza, è necessario arrivare ad un prodotto finale che soddisfi i requisiti di **benessere, sicurezza e qualità**. Per fare ciò l'architetto o il lighting designer non può basarsi solo sul proprio gusto estetico personale, ma deve bensì rispettare gli standard legislativi che vengono imposti in merito a lighting e daylighting design.

In questo capitolo verrà trattata quindi la normativa attualmente vigente in Italia, il cui soddisfacimento, come verrà spiegato, non porta per forza alla riuscita del progetto. A livello nazionale infatti sono stati stabiliti degli standard abbastanza insoddisfacenti ai fini di benessere, sicurezza e qualità di progetto. Come si è visto nei capitoli precedenti, la luce ha una forte influenza sull'architettura, grazie ad essa gli ambienti diventano più aperti, più gradevoli, più vivibili.

Molto spesso, nonostante la sua evidente importanza, questo elemento viene messa in secondo piano all'interno della progettazione edilizia, il rischio è quello che il progettista, nel suo processo di creazione, si affidi alla semplice soddisfazione dei **valori minimi** imposti dalla legislazione, portando così a dei **risultati molto scarsi**.

Per ovviare, almeno in parte, a ciò, il progettista può decidere di affidarsi alle varie **normative UNI** o affidarsi a strumenti come l'**Allegato Energetico di Torino**, che implementano il discorso iniziato dalle leggi, e alle sempre più diffuse **certificazioni energetiche**, le quali possono essere

ottenute tramite la soddisfazione dei requisiti presenti nei relativi protocolli. In questi documenti è possibile trovare indicazioni sia in merito alla luce artificiale che la luce naturale, in alcuni casi anche riguardo alle nuove metriche legate al **CBDM**, le quali permettono una più corretta progettazione dal punto di vista luminoso.

Nel capitolo seguente, dopo aver presentato la normativa attuale, verranno quindi analizzati alcuni dei protocolli più diffusi, a livello italiano, come il protocollo **ITACA**, ma anche globale, quali i protocolli **LEED** e **BREEAM**. In ultimo si parlerà anche della certificazione **WELL**, un nuovo sistema di certificazione energetica che pone al centro del progetto i bisogni e le necessità dell'uomo.

Questa panoramica viene fatta al fine di informare il lettore sulle possibilità offerte da questi programmi e sui traguardi raggiungibili con il rispetto delle loro richieste.

3.2 La situazione attuale in Italia

Il progetto che verrà successivamente analizzato nella parte pratica di questo lavoro, prevede la costruzione di un prototipo residenziale all'interno del comune di Desio, Milano. Per questo motivo si è deciso di studiare e ricercare quali sono le normative attualmente attive sul territorio italiano e capire come queste vengano attuate.

In questa fase il lettore viene a conoscenza di quali sono gli obblighi e le prescrizioni da rispettare in materia illuminotecnica, sia per la componente naturale sia per quella artificiale. Nello specifico si partirà da un'analisi del **Decreto del Ministero della Salute del 1975**, attivo ancora oggi e con forza agente sulle quantità di luce diurna. A seguire verranno analizzate anche le normative UNI, in particolare:

- la **UNI 12464**, la quale si interessa prettamente di luce artificiale, ma che nel 2011 è stata implementata con delle indicazioni in merito anche a quella naturale;
- la **UNI 15193**, in cui si parla di performance energetica dell'edificio, con le metodologie di calcolo dell'indice LENI;
- la **UNI 17037**, attiva dal 2019, specifica della branca riguardante la luce diurna.

3.2.1 Decreto del Ministero della Salute 05.07.1975

Come già specificato, lo studio illuminotecnico gioca un ruolo fondamentale nella progettazione architettonica, poiché, la luce, oltre ad influire sulla forma, sulla composizione e sulla qualità degli spazi, può definire le condizioni di salute e benessere dell'utente. A causa di un'eccessiva o scarsa illuminazione si può incorrere facilmente in fenomeni di disagio visivo quali l'abbagliamento o la difficoltà nel riconoscere colori e dettagli. Fondamentale, anche se insufficiente in questo processo, è il rispetto della normativa nazionale vigente. In Italia in ambito illuminotecnico residenziale è presente il Decreto del Ministero della Salute del 5 luglio 1975, che all'**articolo 5, "Illuminazione naturale diretta"**, enuncia che:

"Tutti i locali degli alloggi, eccettuati quelli destinati a servizi igienici, disimpegno, corridoi, vani – scala e ripostigli debbono fruire di illuminazione naturale diretta, adeguata alla destinazione d'uso.

Per ciascun locale d'abitazione, l'ampiezza delle finestre deve essere proporzionata in modo da assicurare un valore del **Fattore Medio di Luce Diurna non inferiore al 2%** (0,02) e comunque la **superficie apribile** non dovrà essere inferiore a **1/8** della superficie del pavimento.

Per gli edifici compresi nell'edilizia pubblica residenziale occorre assicurare, sulla base di quanto sopra disposto e dei risultati e sperimentazioni razionali, l'adozione di dimensioni unificate di finestre e, quindi, dei relativi infissi."

Cit. Da Decreto del Ministero della Salute, 5 luglio 1975.

In alcuni casi questi valori possono cambiare in base alle destinazioni d'uso nelle varie regioni, infatti in Umbria, Toscana, Lazio e Liguria troviamo delle specifiche che impongono 1/16 come rapporto aeroluminante di verifica nelle soffitte, ma ad ogni modo le grandezze che vengono menzionate all'interno della normativa sono essenzialmente due, perché due sono i fenomeni da dover verificare:

- L'**illuminazione naturale**, da verificare con il fattore medio di luce diurna (FLDm pari allo 0,02) e l'ottavo di superficie;
- La **ventilazione naturale**, con la superficie apribile da progettare secondo la proporzione di 1/8 tra finestre e pavimento.

Con il tempo si è consolidata la prassi di utilizzare solamente la superficie apribile, non per ragioni tecniche, ma piuttosto pratiche. Questa proporzione ha preso il nome di "**rapporto aero-illuminante**", espressione che non compare all'interno della normativa e che rappresenta

una prassi errata della progettazione, in quanto il rispetto dell'ottavo del rapporto tra superficie apribile delle finestre e superficie del pavimento, non assicura il 2% del Fattore medio di luce diurna obbligatorio da normativa.

La legge quindi viene applicata arbitrariamente, in modo scorretto e incompleto, implicando una progettazione che porta a risultati di scarsa qualità. Per ottenere l'FLDm abbiamo a nostra disposizione la seguente formula parametrica

$$FDLm = (\sum A_{tv} \epsilon \Psi) / (S(1-R_m))$$

Per comprendere meglio come mai il rispetto del rapporto aeroilluminante non garantisce anche quello del FLDm, analizziamo le componenti che ci permettono di calcolarlo:

- A è l'area delle superfici trasparenti del locale (mq), mentre S è l'area delle superfici interne dell'ambiente (mq). Questi due parametri sono in rapporto e viene facile paragonarli al rapporto aeroilluminante tanto erroneamente diffuso. La prima differenza sostanziale che si può osservare è che in questo caso parliamo di superfici trasparenti, mentre nel rapporto si faceva riferimento a quelle apribili. La seconda differenza sta nel fatto che la superficie fenestrata non viene rapportata solamente a quella del pavimento, ma a tutte le superfici che compongono il locale, quindi anche le pareti ed il soffitto;
- t_v rappresenta il coefficiente di trasparenza del vetro (%), detto anche coefficiente di trasmissione luminosa. Indica la capacità di lasciar passare la radiazione solare visiva all'interno dell'ambiente. Può variare molto da un vetro ad un altro in quanto i vetri possono riflettere indietro più o meno luce di quella che li interessa;
- R_m è il coefficiente medio di rinvio delle superfici interne dell'ambiente (%). Rappresenta la capacità delle superfici (pareti, soffitto, pavimento, ma anche arredi) di assorbire la componente luminosa o, al contrario, di rifletterla, andando a considerare colore e texture del materiale. Colori più scuri e materiali ruvidi assorbono maggiormente rispetto a quelli chiari o lisci che invece tendono a riflettere la luce;
- ϵ è il fattore finestra, inteso come rapporto tra l'illuminamento della finestra e la radianza del cielo (%). ϵ è l'angolo di cielo visibile, in funzione della posizione della finestra. Maggiore è la porzione visibile, maggiore sarà la luce in ingresso;
- Ψ è il coefficiente di riduzione del fattore finestra, in funzione diretta della posizione della finestra rispetto al bordo esterno del muro. Più

arretrata sarà la finestra e maggiore sarà lo spessore del muro più la luce farà fatica a permeare all'interno dell'ambiente.

Sono quindi numerosi i parametri che servono per il calcolo del Fattore Medio di Luce Diurna e che ne ribadiscono la differenza con il rapporto aeroilluminante, ma proprio a causa di tutte queste informazioni necessarie il processo diventa abbastanza lungo e complicato, anche se ormai non è più necessario seguirlo manualmente grazie all'utilizzo dei software di ultima generazione.

Per ovviare a tutto ciò occorre studiare e capire le grandezze che permettono di comprendere appieno la realtà luminosa in progetto, ovvero quelle legate al **Climate-Based Daylight Modeling** spiegate nel capitolo precedente. Risulta però necessario ampliare la documentazione di riferimento a cui rivolgersi durante l'iter progettuale e proprio per questo entrano in gioco le norme tecniche UNI e le certificazioni energetiche, le quali spingono il progettista ad ampliare il proprio sguardo su queste tematiche di fondamentale importanza ai fini di qualità, comfort e sicurezza di progetto.

3.2.2 La normativa UNI

Come anticipato, per aumentare la sicurezza sulla riuscita di un progetto, il professionista può rivolgersi alle cosiddette norme tecniche, ovvero quei documenti che servono a fornire determinate specifiche riguardo a requisiti, termini, convenzioni o essere semplicemente una linea guida per il processo produttivo. Queste possono avere valenza nazionale, europea o anche internazionale e, per quanto riguarda il territorio italiano, occorre fare riferimento alla normativa **UNI, EN e ISO**. In ambito illuminotecnico troviamo un organico abbastanza ricco, nello specifico di questa tesi possiamo soffermarci soprattutto sulle seguenti norme:

UNI EN 12464-1:2011: Light and lighting - Lighting of work places

Sostitutiva dell'omonima norma emanata nel 2002, fornisce indicazioni e standard in merito all'illuminazione dei posti di lavoro. In base alla tipologia di lavoro svolto e alle necessità di progetto, vengono specificati dei **valori standard** a cui riferirsi per illuminamento (sia riferito alla

superficie di lavoro che attorno ad essa), uniformità (tenendo conto delle distribuzioni della luce all'interno dell'ambiente di progetto), resa cromatica e abbagliamento. Rispetto alla precedente, viene specificato che i valori di riferimento non sono attribuibili alla sola luce artificiale, ma anche a quella naturale, esplicitando livelli standard anche pareti, soffitti e illuminamento cilindrico.

Fra le varie indicazioni troviamo anche i criteri da seguire per una corretta progettazione della luce all'interno degli spazi costruiti ponendo come fine ultimo il raggiungimento di obiettivi di vitale importanza, ovvero il **benessere visivo**, il quale influisce particolarmente sullo stato di attività dell'utente e quindi sul suo livello di rendimento, la qualità visiva, la quale permettere di rendere più facile la lettura dell'ambiente da parte dell'utente affaticandolo il meno possibile, e la sicurezza

Entrando nello specifico, il primo coefficiente di cui si parla è quello di riflessione. Per le diverse facce dell'ambiente interno vengono stabiliti i seguenti valori di riferimento:

- soffitto: 0,7 – 0,9;
- muri: 0,5 – 0,8;
- pavimento: 0,2 – 0,4.

Per gli altri elementi del locale, o presenti in esso, si consiglia di mantenere valori che vanno dallo 0,2 al 0,7.

Sulle suddette aree occorre inoltre avere determinati livelli di illuminamento: per i soffitti bastano 30 lux con un'uniformità minima del 10%, mentre per i muri occorre avere 50 lux sempre al 10% di uniformità. Nel caso di luoghi di lavoro, studio o cura occorre aumentare il valore di illuminamento, studiare con attenzione come viene illuminato il piano di lavoro e valutare l'illuminamento cilindrico con il fine di ottenere un maggiore comfort e benessere per l'utente. Questi valori possono cambiare in base all'attività svolta all'interno dell'ambiente progettato sia per quanto riguarda l'illuminamento, l'uniformità che l'abbagliamento.

Per quanto riguarda la resa cromatica, questa parte da un minimo di 40 (su base 100) per le zone di servizio o di passaggio, mentre per gli ambienti principali si arriva fino ad un massimo di 90 in base alle necessità date dall'attività svolta.

UNI EN 15193-1:2017: Energy Performance of Building

Come specificato nel capitolo relativo alle metriche utilizzate in ambito di lighting e daylighting design, viene utilizzata per valutare la performance energetica dell'edificio attraverso il **calcolo dell'indice LENI**.

UNI EN 17037:2019: Daylight in buildings

Si tratta della prima normativa che si occupa in maniera mirata della luce naturale all'interno degli edifici. Esistono alcune norme precedenti che si soffermano anche sulla componente naturale, ma trattano per lo più quella artificiale. In questo caso invece vengono stabiliti dei veri e propri standard per la sola luce diurna. Nel particolare vengono specificate indicazioni in merito alle quantità e all'ingresso della luce diurna, al fattore di vista esterna e al rischio di abbagliamento.

Per quanto riguarda l'illuminamento vengono definite tre fasce caratteristiche per distinguere i vari livelli di prestazione:

- **“Minimo:** per il quale occorre avere un minimo medio di 300 lux in almeno il 50% dell'ambiente e 100 lux in almeno il 95% dell'ambiente per il 50% delle ore in cui è disponibile la luce naturale;
- **Medio:** per il quale occorre avere un minimo medio di 500 lux in almeno il 50% dell'ambiente e 300 lux in almeno il 95% dell'ambiente per il 50% delle ore in cui è disponibile la luce naturale;
- **Elevato:** per il quale occorre avere un minimo di medio 750 lux in almeno il 50% dell'ambiente e 500 lux in almeno il 95% dell'ambiente per il 50% delle ore in cui è disponibile la luce naturale.

Viene stabilito che questi valori siano riferiti alla metà delle **ore di luce diurna disponibile durante l'anno**, ovvero circa 2190, e vengono forniti dei valori di fattore di luce diurna minimo da superare per rientrare in uno dei livelli suddetti in base alla posizione geografica di progetto. Ad esempio per l'Italia, avendo un illuminamento esterno mediano di 19200 lux, occorrerà avere un DF del 0,5% per raggiungere i 100 lux, del 1,6% per i 300 lux, 2,6% per i 500 lux e 3,9% per i 750 lux.

All'interno della norma vengono fornite informazioni anche in merito al **fattore vista**: anche in questo caso abbiamo tre livelli che differiscono in base alla visibilità esterna, la quale dipende da quanto è distante la vista si prolunga verso l'orizzonte, dall'angolo di visione orizzontale e, infine, dall'oggetto della visione, per il quale è stata definita una stratigrafia ideale: volta celeste, panorama (artificiale o naturale) e suolo. I tre livelli sono i seguenti:

- **Minimo:** per il quale occorre avere un angolo maggiore di 14°, una distanza di almeno 6 m e consentire almeno la visione del panorama;
- **Medio:** per il quale occorre avere un angolo maggiore di 28°, una distanza di almeno 20 m e consentire almeno la visione del panorama e un altro elemento;
- **Alto:** per il quale occorre avere un angolo maggiore di 54°, una distanza di almeno 50 m e consentire la visione di tutti e tre gli elementi.

Le ultime due indicazioni riguardano la luce solare e l'abbagliamento. Della prima deve esserne garantito l'ingresso per almeno un'ora mezza per un livello minimo, 3 ore per un medio e 4 per uno alto in una giornata scelta nel lasso temporale che va dal 01/02 al 21/03. Per quanto riguarda l'abbagliamento invece, quest'ultimo non deve essere presente per più del 5% del periodo di occupazione dell'ambiente progettato, quindi i livelli che caratterizzano questo parametro sono: minimo 4,5%, medio 4% e alto 3,5%.

3.2.3 Un caso pratico locale: l'Allegato Energetico di Torino

Entrando in merito alla specificità locale, i professionisti devono interfacciarsi anche con le varie realtà caratteristiche del sito di progetto. Fra i vari documenti locali in ambito energetico edilizio, all'interno di questo lavoro, viene preso a esempio il caso pratico dell'**Allegato Energetico del comune di Torino** essendo uno dei documenti più ampi e specifici in questo ambito. Affiancato al Regolamento Edilizio comunale sin dal 20 marzo 2006, è stato creato per incentivare una produzione edilizia che punti non solo a soddisfare le norme attuali, ma che si spinga oltre in merito alle performance energetiche dell'edificio, affrontando nello specifico anche la tematica del daylighting design. All'interno dei **"Requisiti volontari"**, i quali permettono di ottenere una riduzione sugli oneri urbanistici, è infatti possibile trovare le schede 4 "Illuminazione naturale – Fattore medio di luce diurna" e 5 "Ombreggiamento estivo e irraggiamento invernale delle superfici trasparenti" dedicate appositamente a questa materia.

Scheda 4 "Illuminazione naturale Fattore medio di luce diurna"

In questo primo requisito, applicabile a qualsiasi tipologia edilizia (a parte per le strutture in cui sono presenti attività commerciali, di culto o industriali), viene richiesto che il **Fattore medio di luce diurna** FLDm sia maggiore o uguale al 3% per gli ambienti maggiori, non considerando quindi scantinati, servizi igienici, sgabuzzini e locali impianti. Questo requisito viene considerato come raggiunto nel momento in cui viene rispettato anche quello contenuto nella scheda 5 riguardante l'ombreggiamento della componente trasparente. Nel caso in cui il FLDm sia maggiore o uguale al 3% si otterranno 3 punti all'interno dell'allegato energetico, nel caso si superi il 4% i punti ottenuti saranno 5.

Scheda 5 "Ombreggiamento estivo e irraggiamento invernale delle superfici trasparenti"

La cui richiesta consiste nel garantire una schermatura almeno pari al 70% della componente trasparente presente sui vari lati dell'edificio (Nord escluso) nella stagione calda (nello specifico del 21.07 ore 11, 13, 15, 17) e una **schermatura** massima del 30% nella stagione fredda (nello specifico del 21.12 ore 10, 12, 14). Il requisito riguarda solamente la componente trasparente degli ambienti maggiori, non considerando quindi scantinati, servizi igienici, sgabuzzini e locali impianti.

3.3

I protocolli Energetici

Negli ultimi anni il tema della sostenibilità e dello sviluppo sostenibile sono andati a toccare anche e soprattutto il settore edilizio, uno dei più grandi divoratori di risorse ambientali. A seguito di numerose ricerche è stato constatato come ad esso si possa imputare circa il 40% del consumo delle risorse naturali ed energetiche di cui siamo a disposizione. Per ovviare a questo problema sono nate quindi molte sfide ambientali e il che ha portato alla creazione e allo sviluppo di quella che oggi è riconosciuta come **"architettura sostenibile"**.

Il processo edilizio richiede una strategia progettuale che porti ad una diminuzione dell'impatto ambientale dell'edificio riducendo l'utilizzo delle risorse ambientali necessarie alla sua realizzazione, gestione e utilizzo. Oggi infatti si parla in maniera sempre più frequente di **efficienza energetica, risparmio energetico e rispetto per l'ambiente**. Questi sono solo alcuni dei punti fondamentali che vengono trattati in vario modo all'interno dei metodi di analisi che valutano proprio il livello di impatto degli edifici. Andando ad analizzare quelli che sono i procedimenti, i risultati e i fabbricati edilizi nel loro complesso si arriva a constatare quanto questi siano promotori o meno di uno sviluppo architettonico ecocompatibile.

Dagli anni '90 circa, i professionisti hanno a loro disposizione svariati metodi di analisi e diverse certificazioni energetiche che consentono di mirare proprio a questo obiettivo. Ciò avviene tenendo conto di considerazioni quali le condizioni degli ambienti interni, l'influenza e l'effetto sull'ambiente esterno, l'utilizzo di energie e risorse, ecc. andando a

prendere in esame tutte le fasi edilizie, dalla progettazione alla realizzazione, finendo con l'utilizzo e il futuro smantellamento del manufatto.

Raggiungere gli obiettivi delle **certificazioni energetiche** permette, riducendo i consumi energetici e delle risorse, di valorizzare il progetto in tutte le sue componenti: sociale, ecologica ed economica. I protocolli consentono inoltre una facile comparazione degli edifici che ne seguono le linee guida, in modo da comprenderne appieno il valore intrinseco.

Nel particolare in questo capitolo verranno trattate alcune delle certificazioni più diffuse a livello globale, ovvero i protocolli LEED e BREEAM, ma ci si soffermerà anche sul caso italiano del protocollo ITACA. A seguito di una breve presentazione verranno analizzati nello specifico i criteri e le richieste in materia di lighting e daylighting design.

3.3.1 Protocollo LEED

Il protocollo LEED nasce dalla volontà dell'**US GBC (United States Green Building Council)** di fornire un metodo di valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici, considerandone la capacità e il rendimento energetico. Il primo frutto fu il progetto **LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)** del 1998, ma vi fu un susseguirsi di aggiornamenti e modifiche che si protrassero fino al 2009, anno in cui venne redatto il protocollo LEED 2009 il quale è diventato il più diffuso e riconosciuto a livello globale.

Il programma non si è evoluto solo nella sua forma specifica, ma ha dato spazio nel tempo a proposte che vanno a considerare la particolare destinazione d'uso dell'edificio, come **LEED for School, LEED for Retail o LEED for Healthcare**, e ha portato inoltre a considerare le specificità del luogo, dando spazio a progetti come **LEED Canada o LEED India**. Anche per l'Italia è stato pensato un protocollo locale, LEED Italia v.0.9b, successivamente aggiornato poi con la versione New Construction (NC) dedicata alle nuove costruzioni e ristrutturazioni, sostituita in seguito nel 2016 dal nuovo **LEED v.4 for Building Design and Construction (BD+C)**.

La struttura interna del protocollo è caratterizzata dalla suddivisione in diverse categorie dove vengono trattati **macro argomenti** di impatto ambientale edilizio e non solo. Rispetto ad altri protocolli in circolazione, LEED non tiene conto solo della costruzione in sé e del suo consumo

di risorse energetiche ed ambientali, ma anche di tutta la fase iniziale di progettazione, all'interno della quale vanno inserite le analisi e le configurazioni energetiche, la stima dell'arco di tempo di utilizzo del fabbricato, la gestione e l'eventuale smantellamento.

Oltre al BD+C esistono altre varianti ancora non attive in Italia: Interior Design + Construction, pensato per i progetti di interni, Building Operation + Maintenance, per gli edifici che devono essere posti a manutenzione o piccoli lavori di miglioramento, Home Design + Construction applicabile alle case mono o plurifamiliari, Neighborhood Development, pensato per i nuovi progetti urbani. Ogni protocollo si adatta alle esigenze della categoria d'intervento e alla zona climatica, quando creato nello specifico, e ha proprie regole o requisiti che può condividere o meno con le altre tipologie di certificazione.

In base alla sommatoria finale del punteggio ottenuto dalla verifica dei criteri soddisfatti, il progetto rientrerà in una delle seguenti certificazioni:

- LEED Certified, da 40 a 49 punti;
- LEED Silver, da 50 a 59 punti;
- LEED Gold, da 60 a 79 punti;
- LEED Platinum, da 80 a 110 punti;

Per quanto riguarda il nostro caso verrà analizzato nello specifico il protocollo BD+C andando a studiare quali sono i requisiti e le richieste per l'ambito illuminotecnico, andando a confrontare i valori anche con quanto richiesto dal protocollo HD+C, al momento ancora non attivo su territorio italiano, ma già disponibile in America e alcuni paesi Europei.

Di seguito verranno trattati i crediti direttamente riferiti all'illuminazione interna e al comfort visivo presenti all'interno del protocollo LEED BD + C.

Credito EQ – Illuminazione interna

Il primo criterio che va a considerare la luce come elemento fondamentale per l'ottenimento della certificazione LEED rientra nella categoria della **Environmental Quality (EQ)**. Nello specifico si parla di luce artificiale e vengono date a disposizione del progettista varie opzioni. Non si tratta di prerequisiti, quindi non sono obbligatori per l'ottenimento della certificazione, ma consentono di ottenere fino ad un massimo di due punti per la soddisfazione di entrambe le condizioni.

La prima opzione prevede che almeno il 90% degli ambienti sia caratterizzato dalla presenza di **dispositivi per la gestione** degli apparecchi, i quali devono poter essere impostati, in base alle necessità dell'utente, almeno su on, off e illuminazione media (la quale può essere inclusa fra un minimo del 30% ed un massimo del 70% della luce totale senza tener conto della componente data da sole e volta celeste). Nel caso dovessero esserci grandi ambienti con più utenti, occorrerà dare la possibilità di gestire l'illuminazione a zone più ristrette e provvedere ad altre piccole attenzioni specificate meglio all'interno della norma.

La seconda opzione riguarda invece la **qualità della luce**. Per ottenere il credito occorre soddisfare almeno quattro delle successive condizioni:

- Le luci adottate per l'illuminazione devono avere una luminanza minore di 2500 nit che devono essere disposti fra i 45° e i 90°;
- La loro resa cromatica non deve essere minore di 80 (a parte per i casi di illuminazione artistica o particolare);
- Devono essere caratterizzate da un periodo di utilizzo minimo di 24000 ore o L70 per luci LED;
- Un massimo del 25% dell'illuminazione deve essere di tipo top lighting negli spazi principali;
- Nel 90% degli ambienti il fattore di riflessione deve essere mediamente di 0,85 per i soffitti, 0,6 per i muri e 0,25 per la pavimentazione;
- I piani di lavoro devono avere un fattore di riflessione pari a 0,45;
- Nel 75% degli spazi, il rapporto che coesiste tra illuminazione del piano di lavoro e illuminazione ambientale deve essere inferiore all'1:10, rispettando le due condizioni precedenti.

Credito EQ – Luce naturale

Il secondo criterio che va a considerare la luce naturale: occorre garantire che una percentuale minima di luce diurna illumini gli ambienti principali, con il fine di risparmiare a livello energetico e far godere all'utente i benefici di questa componente. Per fare ciò, anche in questo caso, sono a disposizione del progettista varie opzioni.

Una prima possibilità è data dall'assicurare una **Spatial Daylight Autonomy** minima del 55% per l'ottenimento di un punteggio pari a 2, mentre del 75% per l'ottenimento di 3 punti. Garantendo inoltre una **Annual Sunlight Exposure**, pari a 1000 lux per 250 ore annuali, del 10%

La seconda opzione prevede la verifica della presenza di un **illuminamento minimo** di 300 lux e massimo di 3000 lux fra le 9 e le 3 del

pomeriggio del 21 settembre e del 21 marzo, considerando la volta celeste sgombra dalle nuvole. Se si rispetterà questa condizione per il 75% dell'area si otterrà un punto, con il 90% 2.

La terza opzione prevede una **misura in sito** dell'illuminamento, tenendo conto delle condizioni e delle percentuali del punto precedente. Le misure avverranno al livello dell'area di lavoro e dovranno seguire una griglia ben precisa in base alle caratteristiche dell'area oggetto di misurazione.

Credito EQ – Viste di qualità

Ultimo requisito in ambito illuminotecnico riguarda il fattore vista. Occorre infatti garantire all'utente una **vista esterna** da almeno il 75% dell'area dell'ambiente in tutti gli ambienti principali e far sì che questa vista non sia distorta rispetto alla realtà tramite colorazioni o elementi di protezione.

In più bisogna rispettare due, se non più, delle sottostanti condizioni:

- Garantire la visione esterna da più di una facciata; i due elementi trasparenti devono trovarsi a una distanza minima di 90°;
- Dalla visuale esterna devono essere visibili: natura, cielo, elementi dinamici e/o elementi a una distanza di 7,5 m dai componenti trasparenti;
- Assenza di ostruzioni esterne per almeno 3 volte la lunghezza che va dal punto più alto della finestra fino al piano di calpestio;
- Un fattore di vista minimo 3 secondo il "Windows and Offices; A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment".

3.2.2 Protocollo ITACA

Il protocollo ITACA nasce a seguito della decisione da parte dell'omonimo Istituto di porre ai progettisti l'obiettivo di una qualità migliore dei prodotti edilizi, favorendo il benessere, la massimizzazione dei risparmi energetici e uno sfruttamento delle risorse naturali che non risulti eccessivo, garantendo così un equilibrio tra il mondo antropico e quello naturale.

L'Istituto per la Trasparenza, l'Aggiornamento e la Certificazione degli Appalti (ITACA) nasce nel 1996 dal volere delle Istituzioni regionali

italiane. Si tratta di un'associazione che ha come obiettivo la garanzia e la promozione del coordinamento tecnico tra le regioni attuando operazioni e proposte comuni a tutto il sistema regionale, assicurando il consenso delle istituzioni statali e locali del campo. Nel tempo ha concesso alle Regioni di dialogare tra loro consentendo un flusso di dati e informazioni che hanno permesso la crescita di un processo edilizio con una strategia comune in termini di appalto e qualità.

Il protocollo prende come fonte principale di ispirazione il **Green Building Challenge (GBC)** e quindi il protocollo LEED, tenendo conto dell'organizzazione della struttura, suddivisa in settori e schede, per poter valutare ogni singolo argomento nella sua specificità. Nonostante ciò il metodo di valutazione è differente ed è contraddistinto dalla sua specificità regionale.

Il protocollo ITACA è uno strumento di valutazione della qualità e della sostenibilità ambientale edilizia. Inizialmente era stato pensato ed utilizzato solo in campo residenziale, successivamente sono state redatti altri modelli applicabili anche ad altri settori, soprattutto quello degli edifici per uffici, mentre ancora devono essere sviluppati modelli che vadano a toccare tematiche quali l'edilizia scolastica o quella commerciale. A oggi la prassi di riferimento è la **UNI/PdR 13.1:2019 "sostenibilità ambientale nelle costruzioni – Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità – Edifici residenziali"**.

Una delle peculiarità del protocollo ITACA è che, essendo così fortemente a contatto con la realtà regionale, è stato ideato in modo tale che ogni Regione potesse avere a propria disposizione la possibilità di modificare il modello originale e di usufruire di uno schema di valutazione più specifico. Grazie alla sua **flessibilità**, il protocollo riesce ad adattarsi facilmente alle caratteristiche climatiche locali e ad essere in questo modo il più efficace possibile. Questo avviene però mantenendo dei canoni comuni e dei criteri fissi che bisogna obbligatoriamente rispettare in tutte le sedi in cui il protocollo viene applicato.

Il modulo permette di esprimere, per alcuni termini in via quantitativa per altri qualitativa, il grado di sostenibilità energetico ambientale dell'edificio. La performance energetica del fabbricato viene valutata tramite il rispetto di alcuni criteri i quali sono suddivisi in categorie, a loro volta suddivise in aree di valutazione.

L'analisi, come già anticipato, rimanda al metodo della Green Building Challenge, il quale segue le direttive dell'**international initiative for a Sustainable Built Environment (iISBE)**. Partendo da dei canoni base si

arriva a quantificare il grado di sostenibilità dell'edificio attraverso una votazione finale che riassume sommariamente le valutazioni intermedie.

Le aree di valutazione comprendono una o più categorie, suddivise in ulteriori sottocategorie che contengono al loro interno i criteri che affrontano in maniera specifica un aspetto del proprio settore (impianti, materiali edili, trasporto, ecc.). Per facilitarne la valutazione quantitativa, ogni criterio è ricollegato ad una grandezza fisica che viene denominata "indicatore". Per le valutazioni dei criteri qualitativi invece si utilizzano indicatori che vengono codificati in numeri, permettendone l'inserimento nella sommatoria totale del punteggio.

Schema di valutazione dei criteri protocollo ITACA

La valutazione finale avviene innanzitutto grazie alla **normalizzazione dei criteri** (da -1 a +5) che vengono poi aggregati per arrivare ad un singolo punteggio che va poi conteggiato insieme a quello delle altre categorie per la valutazione finale. Ogni categoria e ogni criterio ha un proprio **peso** che incidono sul risultato finale. Questi variano in base alla destinazione d'uso, ma anche da regione a regione per rendere il protocollo più flessibile alle caratteristiche climatiche del luogo. Il punteggio finale varierà anche esso da un valore di -1 a +5 in base all'aggregazione dei punteggi delle diverse categorie.

Il documento finale che va redatto è la **relazione di valutazione**. Attraverso questo elaborato possiamo comprendere l'intervento e conoscere la valutazione finale. Al suo interno troviamo infatti una parte iniziale generale di presentazione dell'edificio (ubicazione, tipo di intervento, punteggio) con una piccola descrizione dell'intervento per contestualizzare il progetto. Successivamente vanno allegati i documenti relativi al progetto (elaborati grafici, relazioni tecniche, computo metrico, ecc.) con indicazione dei software che sono stati adoperati per la stesura di quest'ultimo. Infine è presente una tabella riassuntiva per ciascuna scheda di criterio con i rispettivi allegati.

All'interno delle categorie che vengono trattate nel protocollo, ritroviamo dei canoni che riguardano da vicino il daylight design e quindi anche la progettazione della componente trasparente dell'edificio. Le schede che riguardano questo ambito verranno trattate qui di seguito.

B.6.4 Controllo della radiazione solare

Partendo dalla tematica del consumo delle risorse, un ruolo importante viene giocato dal **controllo della radiazione solare**. Se si riesce a progettare correttamente questo parametro si può contribuire notevolmente ai livelli di efficienza energetica dell'edificio e quindi portare ad un risparmio energetico ed economico.

Secondo i dati climatici contenuti nella **UNI 10349-1**, si calcolano quelli che sono i pesi che corrispondono alle esposizioni inclusa quella orizzontale. Per ognuna di queste bisogna stimare l'irradiazione solare estiva incidente e successivamente calcolarne il peso. Nella radiazione solare giocano un ruolo fondamentale i fattori di ombreggiamento medi delle finestre e l'angolo azimutale che si crea, a partire dal Nord in senso orario, con ognuna delle facciate del fabbricato, seguendo la normativa **UNI/TS 11300**.

Viene richiesta poi la verifica della latitudine e l'esposizione della finestra secondo la UNI/TS 1300-1, considerando per ciascuna le ostruzioni o i fattori che creano fenomeni di ombreggiamento con i corrispondenti angoli di ombreggiamento a partire dal centro della finestra. Successivamente sono necessari i valori di trasmittanza solare totale e quello di trasmittanza solare effettiva ottenibili tramite la UNI/ST 11300-1:2014, controllando dove si trova il componente che crea ombreggiamento in relazione all'ambiente naturale.

D.4.1 Illuminazione naturale

Entrando invece nella tematica della **Qualità Ambientale Indoor**, alla scheda D.4.1 viene affrontata la tematica dell'illuminazione naturale. Qui, per ciascun locale, viene richiesto il fattore medio di luce diurna, calcolato senza contare le ostruzioni, ma tenendo presenti invece i sistemi di ombreggiamento fissi, la tipologia di vetro e di ambiente interno seguendo la norma UNI EN ISO 10840.

Il fattore FLDm va poi confrontato con i benchmark per essere aggiunto alle altre valutazioni ambientali in base ai valori della scala di prestazione. Qui di seguito vengono riportati i punteggi ottenuti in base alla percentuale di FLD calcolata:

- <2.0%: Negativo, -1 Punto;
- 2.0%: Sufficiente, 0 punti;
- 2.3%: Buono, 3 punti;
- 2.5% Ottimo, 5 punti.

3.3.3 3.3.3 Protocollo BREEM

Parlando di certificazioni energetiche non si può non menzionare il protocollo inglese BREEM della compagnia BRE (**Building Research Establishment**). Esistente dal 1990 e nato con l'intento di sostenere uno sviluppo sostenibile della progettazione e dei prodotti edilizi, il Building Research Establishment Environmental Assessment Method permette di valutare il livello di performance ambientale dell'edificio considerando sia le fasi di progettazione e costruzione che le fasi successive. Si tratta di un modello di certificazione volontaria che basa la stima dell'impatto ambientale su una serie di canoni che toccano tutti i vari aspetti della sostenibilità.

Nel tempo il metodo BREEM si è evoluto, inizialmente fu pensato principalmente per nuove costruzioni di carattere commerciale e residenziale, ma poi sono state sviluppate le sue varianti che vanno a toccare i campi delle infrastrutture, degli interventi urbanistici, degli edifici particolari in uso e delle ristrutturazioni.

Al fine di migliorare e di progredire nella progettazione architettonica la compagnia BRE ha dato vita anche a quella che è la **BRE Academy**. Si tratta di un istituto che si occupa di formare i professionisti con corsi e materiali didattici ottenibili sia attraverso lezioni tenute all'interno delle varie sedi BRE che online.

Ad oggi ben 77 paesi hanno fatto ricorso al protocollo BREEM e si possono contare quasi 17.500 progetti, fra edifici ed infrastrutture, che ne hanno ottenuto la certificazione.

La versione che si occupa delle strutture residenziali è, come già citato precedentemente, il protocollo **BREEM International NC**. Rilasciata nel 2016 ed aggiornata nel 2018 (anche se per ora valida solo nel Regno Unito), questa certificazione si occupa per lo più di edifici di nuova costruzione, andando a verificare i criteri di sostenibilità e impatto ambientale che vengono considerati durante la progettazione e la costruzione del manufatto edilizio.

Il protocollo è strutturato in maniera tale che se in una determinata area non si riescono a ottenere i punteggi necessari è possibile compensare in un'altra categoria per raggiungere il livello di certificazione opportuno. Ad ogni modo esistono dei criteri minimi da dover rispettare per la salvaguardia dell'ambiente, i cosiddetti "**standard minimi di rendimento**". La somma delle percentuali dei punteggi ottenuti da

questi standard portano all'ottenimento della valutazione minima della certificazione che corrisponde ai 30 punti percentuali, la "**Pass BREEM Certification**".

Per favorire l'utilizzo del protocollo a livello internazionale, sono state fatte nel tempo delle considerazioni sulla valutazione in base alle condizioni locali. A seguito della progettazione del primo edificio BREEM in un determinato paese o regione, un gruppo di esperti si è mosso con il fine di considerare le caratteristiche specifiche di quell'area, di modo da poter adattare il protocollo. Le considerazioni atte alla modifica del modello devono essere approvate direttamente dalla compagnia BRE e non possono andare a modificare quelle che sono le categorie fisse fondamentali.

Ogni categoria ha dei crediti corrispondenti che saranno più o meno elevati in base all'impatto che quella determinata categoria ha sulla sostenibilità ambientale. Il numero di crediti ottenuti dal progetto in una determinata sezione va considerato in percentuale rispetto al numero di crediti massimi ottenibili, questa percentuale andrà poi moltiplicata per il peso della categoria corrispondente.

La valutazione finale è data dalla somma dei punteggi percentuali delle varie sezioni e il progetto BREEM rientrerà quindi in uno dei seguenti livelli:

- **BREEM Outstanding >85%**
- **BREEM Excellent >70%**
- **BREEM Very good >55%**
- **BREEM Good >45%**
- **BREEM Pass >30%**
- **Unclassified <30%**

Osservando nel dettaglio le categorie del protocollo possiamo notare che nella sezione dedicata a Salute e Benessere troviamo una divisione interna che si occupa del comfort visivo. Nel totale in questa sotto categoria è possibile ottenere fino a un massimo di 6 punti con il fine di porre attenzione, da parte del progettista, ai bisogni e alla qualità della vita dell'utenza.

Nello specifico in questa sotto categoria troviamo quattro requisiti e un extra credit che permette raggiungere un punteggio maggiore e un livello esemplare presentati qui di seguito.

Controllo dell'abbagliamento da luce diurna

Occorre valutare quali sono gli ambienti in cui vi è rischio di **abbagliamento** analizzandone le possibilità. Una volta identificate le aree a rischio è necessario prendere provvedimenti, ovvero progettare una schermatura adeguata alle criticità di progetto. Questa però deve comunque essere concepita con il fine di non ostacolare l'ingresso della luce nei momenti in cui non vi è rischio di abbagliamento per puntare alla massimizzazione dell'ingresso della luce naturale all'interno dell'edificio e usufruire dei relativi effetti benefici.

Luce naturale

Le verifiche sulla luce naturale possono essere eseguite o andando a verificare il **fattore di luce diurna**, il quale deve essere almeno al 2% per l'80% della superficie negli ambienti principali (questi valori possono differire in base all'attività svolta o alla tipologia di edificio), o l'illuminamento medio e minimo delle stanze principali (i quali vanno dai 300 lux per quello medio ai 90 lux circa per quello minimo, sempre in base ad attività e tipologia edilizia). Per quanto riguarda gli edifici per uffici o quelli scolastici occorre garantire una visione del cielo da almeno l'80% della superficie degli ambienti principali, considerando di essere ad altezza piano di lavoro. Il numero massimo di crediti ottenibili dipende dalla tipologia edilizia del progetto oggetto di analisi.

Veduta esterna

Bisogna assicurarsi che dal 95% della superficie del 95% degli ambienti interni principali sia possibile **osservare l'esterno**. In base alla tipologia edilizia le richieste possono essere ampliate con specifiche condizioni soprattutto in ambito medico.

Illuminazione interna ed esterna, zonizzazione e controllo

Per quanto riguarda l'illuminazione interna occorre andare a verificare che siano rispettati i livelli minimi di illuminamento per le aree principali a seconda delle attività interne e in base a quanto riportato sul **SLL Code for Lighting 2012** con il fine di ricreare un ambiente adeguatamente illuminato per l'attività svolta e per mantenere delle condizioni di comfort visivo per l'utente.

Sul SLL Code, nello specifico, vengono forniti:

- I **fattori di riflessione** raccomandati per le superfici principali degli ambienti (0,7-0,9 per i soffitti, 0,5-0,8 per i muri e 0,2-0,4 per la pavimentazione);
- L'**illuminazione specifica** sulle superfici dell'ambiente interno (almeno 50 lux con un'uniformità del 10% per i muri e 30 lux con un'uniformità del 10% per i soffitti);
- I **livelli di illuminamento** per le aree di lavoro e le aree circostanti ad esso (le quali vanno dai 50 lux ai 750 lux in base all'attività svolta);
- L'**illuminamento cilindrico** nel caso in cui vi siano attività particolari da svolgere all'interno dell'ambiente.

Vengono inoltre fornite alcune indicazioni riguardanti l'abbagliamento e la riflessione nel caso in cui l'ambiente sia caratterizzato dalla presenza di schermi sui quali si può riflettere la luce, con la possibilità che si creino sensazioni di disagio visivo per l'utente.

Per l'illuminazione esterna invece bisogna tener conto di quanto detto nella **UNI EN 12464-2:2014 Light and lighting – Lighting of workplaces – Part 2**, all'interno della quale vengono specificati i vari livelli di illuminamento necessari nei diversi ambiti esterni, l'indice di resa cromatica e il grado di illuminamento molesto massimo consentito.

Per ultime vengono date alcune indicazioni che riguardano la gestione della luce nel caso in cui vi fosse un elevato numero di utenti all'interno dell'ambiente di progetto, considerando che occorre mettere al primo posto sia il risparmio energetico che il benessere dell'individuo. Per la stesura di questo punto si è fatto riferimento al **CIBSE Lighting Guide 5**.

Criteri per un livello esemplare

A seguito dei criteri generali per la materia illuminotecnica, viene fornita al progettista la possibilità di conseguire un livello esemplare, e quindi ottenere un punteggio più alto, rispettando almeno uno dei seguenti criteri:

- Per quanto riguarda la luce giorno il **fattore medio di luce diurna** viene spostato dal 2% al 3%, al 4% o addirittura al 5% in base alla tipologia edilizia in questione e all'attività svolta al suo interno, con un'uniformità di almeno 80%. Vengono inoltre inserite delle specifiche che variano da caso a caso e che riguardano anche il livello minimo di DF al di sotto del quale non si può scendere rispetto a una data percentuale di superficie;
- Per quanto riguarda la luce interna, esterna e la sua **gestione** inve-

ce, è possibile raggiungere la performance esemplare nel caso in cui sia possibile, da parte dell'utente, una **dimmerazione della luce** che può scendere fino al 20% della luce massima, garantendo un'ampia possibilità di scelta sul livello di illuminazione presente all'interno dell'ambiente.

3.3.4 Protocollo WELL

Negli ultimi anni i processi di certificazione si sono evoluti e sempre maggiori sono gli edifici appartenenti all' "architettura sostenibile". Oltre a considerare le caratteristiche tecniche degli edifici, alcuni metodi di valutazione energetica hanno ampliato i propri orizzonti andando a considerare anche quelli che sono i bisogni specifici degli individui che andranno ad usufruire dell'edificio stesso. E' questo il caso del protocollo WELL, un metodo di valutazione delle performance energetiche degli edifici che si pone come suo unico obiettivo proprio la salute e il benessere di quelli che saranno gli utenti finali del progetto.

La società che nell'ottobre 2014 ha dato vita a questo progetto è stata l'**International WELL Building Institute (IWBI)** che ha collaborato con numerosi sponsor, fra tutti spicca il Green Building Council, ideatore del protocollo LEED. Il progetto ha preso forma da uno studio, durato all'incirca 6 anni, sugli effetti che gli ambienti interni hanno sulla salute e sulla produttività dell'uomo, chiamando a partecipare non solo esperti in architettura, ma soprattutto dottori, psicologi e scienziati. Il percorso era finalizzato quindi alla protezione e alla salvaguardia della salute degli utenti, in modo da fornire ambienti confortevoli per mirare alla prevenzione e diminuire o ritardare la cura.

L'idea iniziale era quella di considerare oggetto di studio gli edifici per uffici e quelli commerciali di nuova costruzione, ma con il tempo si è arrivati a nuove versioni del programma, alcune ancora in via di sviluppo, che vanno ad analizzare anche altre tipologie edilizie, come quella residenziale, sanitaria o per la ristorazione. Avendo collaborato con il GBC, lo standard si sposa alla perfezione con la **certificazione LEED**, andando a completare i valori di sostenibilità ambientale dell'edificio con quelli di salute e benessere dell'utenza, ponendosi come obiettivo una qualità edilizia, ambientale e di vita migliore.

Ad oggi il protocollo è stato adottato in oltre 50 paesi e conta un organico di 1617 progetti certificati WELL tra edifici pubblici e privati.

La certificazione si basa sulla valutazione delle prestazioni dell'edificio tramite l'utilizzo di criteri precisi e misurabili da dover rispettare sin dalla progettazione. Le varie "**Features**", ovvero i criteri, sono suddivise in otto macro categorie denominate "**Concepts**", ognuna delle quali tratta un tema ben specifico che viene riportato qua di seguito: Aria, Acqua, Nutrizione, Luce, Fitness, Comfort, Mente e Innovazione.

All'interno delle varie categorie, oltre ai criteri semplici, si possono trovare anche dei prerequisiti che, a differenza dei precedenti, sono obbligatori da rispettare per l'ottenimento della certificazione. Mentre invece sono possibili delle **ottimizzazioni dello standard** che consentono di ottenere punteggi più elevati se approvate dalla commissione interna, questo consente inoltre di ottenere punteggi aggiuntivi nel caso in cui delle features non fossero applicabili ad un determinato progetto.

La valutazione dei progetti WELL avviene direttamente sul sito di progetto tramite l'intervento di alcuni professionisti, denominati **WELL Assessor**, che andranno a verificare il rispetto degli standard da parte dell'edificio. I test e le misurazioni opportune avvengono sia in loco che in laboratorio, infatti le analisi possono durare anche più di due giorni.

La valutazione finale dipende dalle valutazioni singole che sono indipendenti e basati su un fattore numerico e dalle ottimizzazioni che sono state attuate al progetto. I singoli punteggi saranno calcolati in base ad una formula specifica che tiene conto dei presupposti totali richiesti dal credito e di quelli raggiunti, mettendoli in rapporto tra loro. Il risultato ottenuto se sarà minore di 1 comporterà un mancato raggiungimento del credito, se uguale a 1 verrà sommato al numero totale di ottimizzazioni rapportate al numero di ottimizzazioni raggiunte. Il punteggio ottenuto andrà arrotondato al numero intero più vicino e più piccolo.

Per facilitare il conteggio finale è stata ideata la "**WELL Scorecard**", una tabella sulla quale possono essere segnati i vari punteggi delle categorie. Se il punteggio si aggirerà fra lo 0 e il 4, vorrà dire che l'edificio non è riuscito a raggiungere i prerequisiti obbligatori. Mentre per si otterranno le seguenti certificazioni in base ai corrispettivi punteggi:

- **Certificazione d'argento**, per un punteggio da 5 a 6;
- **Certificazione d'oro**, per un punteggio da 7 a 8;
- **Certificazione di platino**, per un punteggio da 9 a 10.

Un intero capitolo della certificazione WELL è dedicato alla luce, soprattutto quella naturale, e al benessere visivo. Qui questo elemento viene analizzato nello specifico delle funzioni degli ambienti, delle attività svolte e degli utenti che usufruiranno del progetto. Molti criteri sono

rivolti alla progettazione illuminotecnica per edifici per uffici, ma sono presenti anche indicazioni per edifici residenziali che verranno evidenziati qui di seguito.

Prerequisito_L01 – Esposizione ed educazione alla luce

Il primo prerequisito necessario a ottenere la certificazione e riguardante la materia illuminotecnica prevede che siano garantiti i seguenti criteri:

- Che per la **Spatial daylight autonomy** siano garantiti 200 lux per non meno del 40% delle ore annue di luce diurna per un minimo del 30% degli ambienti principali;
- Che la componente **trasparente** deve essere maggiore del 7% della superficie del locale e che sia caratterizzata da una trasmissione luminosa maggiore del 40%;
- Che sia soddisfatto almeno un requisito riguardante della sezione L03 sui **ritmi circadiani**;
- Che almeno il 30% della superficie di pavimento sia a meno di 6 m dall'**apertura verso l'esterno** garantendo sempre che questa sia caratterizzata da una trasmissione luminosa del 40% minimo.

Prerequisito_L02 – Progettazione della luce visibile

Il secondo prerequisito riguarda l'acuità visiva e si basa su quanto detto dalla norma **EN 12464-1: 2011**, dove vengono specificati anche i vari livelli di illuminamento per le diverse tipologie di attività. Viene consigliato al progettista di studiare le quantità e la qualità di luce presente all'interno degli ambienti considerandone tutti i relativi benefici. In generale si precisa che, in assenza di sorgenti sovrailluminanti, basta accertarsi di avere a disposizione **300 lux** per quasi tutti gli ambienti. Nel particolare invece si parla di acuità visiva negli ambienti in cui l'utente deve concentrarsi, vengono infatti fornite determinate indicazioni, ricordando che se il livello generale di illuminamento è di 300 lux, allora sul piano di lavoro occorrerà averne almeno 500.

Requisito_L03 Progetto di illuminazione circadiana.

Come già trattato in precedenza all'interno del capitoletto relativo alla luce e al benessere, anche all'interno del protocollo WELL viene ribadita l'importanza della luce e dei relativi effetti sui **ritmi circadiani**. Per evitare di disturbare questi ritmi occorre progettare un'illuminazione

interna che sia il più possibile vicina a quella naturale. Per fare ciò viene utilizzata una nuova metrica, la **EML (Equivalent Melanopic Lux)**. Le misurazioni avvengono sul piano verticale ad altezza occhi riguardano soprattutto i piani di lavoro. Con 150 EML di luce naturale si ottiene il punteggio minimo, mentre con 240 EML quello massimo. Questi livelli possono essere più bassi e raggiunti con la componente artificiale nel caso in cui siano rispettate le richieste del requisito L05 riguardante l'ingresso della luce naturale.

Requisito_L04 - Controllo dell'abbagliamento

Alti livelli di illuminamento non sempre portano ad una corretta progettazione dell'ambiente luminoso. È necessario infatti controllare che non ci siano **fenomeni di disagio e abbagliamento**, sia di tipo debilitante che fastidioso, e sia dati dalla luce solare che da quella artificiale, al fine di non intaccare le condizioni di benessere interno.

Per quanto riguarda la **componente naturale**, è necessario garantire che:

- La componente trasparente sia schermata e che la schermatura sia gestibile dall'utenza manualmente o automaticamente;
- L'Annual solar exposure non superi i 1000 lux in non più del 10% degli spazi per 250 ore all'anno.

Per quanto riguarda la **componente artificiale** invece, occorre far sì che le sorgenti siano caratterizzate dai seguenti angoli di schermatura:

- Schermatura non necessaria per le sorgenti a meno di 20.000 cd/m²;
- Angolo di schermatura a 15° per le sorgenti che vanno dalle 20.000 cd/m² alle 50.000 cd/m²;
- Angolo di schermatura a 20° per le sorgenti che vanno dalle 50.000 cd/m² alle 500.000 cd/m²;
- Angolo di schermatura a 15° per le sorgenti che vanno oltre le 500.000 cd/m²;

E' inoltre necessario garantire che le luci siano tutte disposte al di sopra del piano di calpestio e che vi sia un UGR massimo di 19 sui piani di lavoro nel caso in cui il soffitto sia alto 5 m, o di 22 nel caso l'altezza sia maggiore.

Requisito_L05 – Ingresso migliorato della luce giorno

Dati gli ormai noti benefici legati alla **luce diurna**, risulta necessario poter sfruttare al massimo questo elemento. Per fare ciò il protocollo WELL prevede le seguenti richieste:

- Che la **superficie trasparente** dei locali principali deve essere maggiore del 10% della superficie pavimentata con una trasmissione luminosa del 40%;
- Che sia garantita una **Spatial daylight autonomy** di 300 lux per almeno il 50% delle ore di luce diurna annue per almeno il 55% degli ambienti principali, per il punteggio minimo, o per il 75% degli ambienti principali, per il punteggio massimo;
- Per tutti gli ambienti occorre fare in modo che: per gli ambienti a piano terra le strade esterne siano ad una distanza maggiore di 7,5 m dai componenti trasparenti; sia garantito almeno un **fattore vista** 3; la vista esterna sia caratterizzata da un angolo verticale di 30° o che siano visibili direttamente o il suolo o il cielo.

Requisito_L06 – Equilibrio visivo

Per non creare contrasti che possono creare disturbi visivi per l'utente soprattutto nelle aree di lavoro, occorre rispettare quattro o più delle seguenti condizioni:

- La differenza di **luminanza** fra ambienti maggiori e minori deve essere al massimo 10 volte più grande o 10 volte più piccola, per evitare disturbi per l'utente negli spostamenti da un ambiente all'altro;
- Le varie superfici presenti all'interno di uno stesso ambiente non devono avere una **luminanza** maggiore o minore di 3 volte tanto la luminanza della superficie accanto, per evitare disturbi per l'utente nello spostare lo sguardo da un punto all'altro dello stesso ambiente;
- Le varie superfici presenti all'interno di uno stesso ambiente non devono avere una **luminanza** maggiore o minore di 10 volte tanto la luminanza delle superficie accanto, per evitare disturbi per l'utente nello spostare lo sguardo da un punto all'altro dello stesso ambiente;
- Nel modificare l'**intensità luminosa** negli ambienti occorre fare una pausa tra un cambiamento e l'altro di almeno mezz'ora per dare tempo all'occhio di abituarsi a tale cambiamento;
- Nelle aree di lavoro occorre avere un'**uniformità** minima del 40%;
- Sulla superficie del **soffitto** non vi devono essere grandi contrasti,

per cui la luminanza di in un qualsiasi punto non deve essere maggiore o minore di 10 volte la luminanza di qualsiasi altro punto appartenente alla superficie stessa.

Requisito_L07 – Qualità della luce elettrica

Le sorgenti di luce artificiale devono essere caratterizzate da una delle seguenti caratteristiche:

- Avere un **Indice di resa cromatica** superiore a 90;
- Avere un **Indice di resa cromatica** maggiore di 80 per la fascia da R1 a R8 e per gli R9, o superiori, maggiore di 50.

Per quanto riguarda lo sfarfallio le sorgenti devono avere almeno 90 Hz in tutti i vari livelli di intensità oppure, nel caso di sorgenti LED la probabilità di sfarfallio deve essere più bassa del 5%

Requisito_L08 – Gestione della luce da parte degli utenti

Con il fine di soddisfare appieno le esigenze degli utenti in qualsiasi momento di utilizzo degli spazi, occorre far sì che questi siano liberi di scegliere la quantità e la qualità della luce presente in ambiente. Per fare ciò il protocollo WELL prevede che siano presenti o dei **sistemi automatici** che simulino la luce diurna e la sua dinamicità con il fine di rispettare i ritmi circadiani degli utenti oppure che gli utenti stessi abbiano la possibilità di **gestire quantità, temperature e colore** in base alle loro esigenze. Vengono inoltre fornite apposite indicazioni per quanto riguarda le sorgenti aggiuntive che possono essere disposte sulle aree di lavoro per aumentare i livelli di luminosità in base alle esigenze dell'attività svolta.

PARTE II

4.1 Introduzione

Il Solar Decathlon è un concorso architettonico rivolto a tutte le università mondiali, le quali possono sfidarsi fra di loro nella realizzazione di un prototipo all'avanguardia soprattutto dal punto di vista energetico e sostenibile, sfruttando tutte quelle che sono le risorse rinnovabili e gratuite, a partire dalla radiazione solare. La prima edizione risale al 2002 nata da un'idea del **Dipartimento di Energia degli Stati Uniti**, successivamente, con cadenza biennale, si è svolta in vari paesi sparsi per il mondo, suddividendosi con il tempo nelle sue specifiche a regioni più ristrette. Nel 2007, grazie ad un accordo fra il governo spagnolo e quello statunitense, nasce anche la **Solar Decathlon Europe (SDE)**, dedicata alle nazioni appartenenti alla comunità europea.

Ad ogni concorso possono partecipare un massimo di 20 squadre, le quali, dopo essere state selezionate fra le varie candidate, dispongono di un anno e mezzo di tempo per portare a termine sia il progetto del prototipo nelle sue varie scale e specifiche che la sua realizzazione. La competizione è infatti divisa in due grandi capitoli principali: il primo di **progettazione** e il secondo di **realizzazione**. Questo perché si vuole legare la fase ideativa a quella pratica, la quale troppo poco spesso viene affrontata in ambito accademico dagli studenti.

Il fine generale del concorso è molto semplice: spingere i nuovi progettisti a puntare sempre più verso un'**architettura efficiente** e rispettosa dell'ambiente, senza inutili sprechi energetici, tenendo conto allo stesso tempo delle necessità e dei bisogni dell'uomo. Gli studenti possono così

sperimentare dal vivo ciò che hanno appreso durante il loro percorso universitario, affrontando in questo modo una quantità nuova di tematiche che possono prepararli ai problemi riscontrabili nella professione futura. L'organizzazione prevede anche dei corsi formativi, volti a fornire determinate istruzioni pratiche sulla progettazione e realizzazione del prototipo che vanno ad arricchire quel bagaglio culturale che ogni progettista deve possedere.

Non si tratta però di un concorso meramente didattico all'interno del quale solamente gli studenti possono apprendere qualcosa di nuovo, poiché i prototipi realizzati dalle 20 squadre vengono realizzati su di un terreno comune e disposti in modo da poter essere visitati da un pubblico esterno, creando quello che viene definito il "Solar Village", aperto per circa un mese dalla fine dei lavori. Qui il visitatore può informarsi sulle tecnologie e strategie architettoniche adottate e i relativi risparmi e benefici che ne derivano. Durante il periodo di apertura al pubblico vengono realizzati anche workshop, mostre e vengono tenuti dibattiti per aumentare l'interesse, la conoscenza, la consapevolezza e la sensibilizzazione nei riguardi di tematiche che diventano sempre più di rilievo per la società globale data la condizione critica ambientale.

4.2 Il concorso SDE 2019

Con la partecipazione al concorso ogni squadra è obbligata a rispettare un regolamento istituito apposta per la competizione. Si tratta di una serie di codici suddivisi in cinque differenti capitoli:

- Le **regole generali** devono essere rispettate a prescindere da tutti i partecipanti e sono condizione utile e necessaria per prendere parte all'esame finale;
- I **requisiti di concorso** non sono obbligatori, ma servono a guadagnare punti per la valutazione finale e vincere la competizione e vengono suddivisi per contest interni;
- Le **regole di consegna** intermedia vanno seguite durante la fase di progettazione e contengono informazioni riguardanti i file e i documenti da inviare durante l'intero periodo di competizione;
- Le **regole di costruzione** devono essere seguite durante la fase di realizzazione e contengono informazioni riguardanti la fase pratica della competizione;
- Le **regole aggiuntive** riguardano temi supplementari e/o complementari riguardo sia la prima che la seconda fase della competizione.

Per quanto riguarda le regole generali, la Solar Decathlon prevede che ogni squadra realizzi il proprio edificio come se stesse progettando all'interno di un'ipotetica area sul proprio **paese di provenienza**, tenendo conto quindi di determinate condizioni climatico-ambientali. Allo stesso tempo però, il progetto dovrà soddisfare i requisiti anche con-

siderando il sito di progetto deciso per la competizione. Questo significa che il prodotto dovrà risultare flessibile e adattabile a varie località geografiche, caratterizzate ognuna da un determinato clima regionale.

Il Solar Decathlon Europe 2019 si è tenuto a **Szentendre**, in Ungheria. Questa edizione ha avuto come focus principale la rivitalizzazione urbana e ogni team aveva a disposizione la possibilità di realizzare un prototipo che andasse a seguire una delle seguenti tematiche:



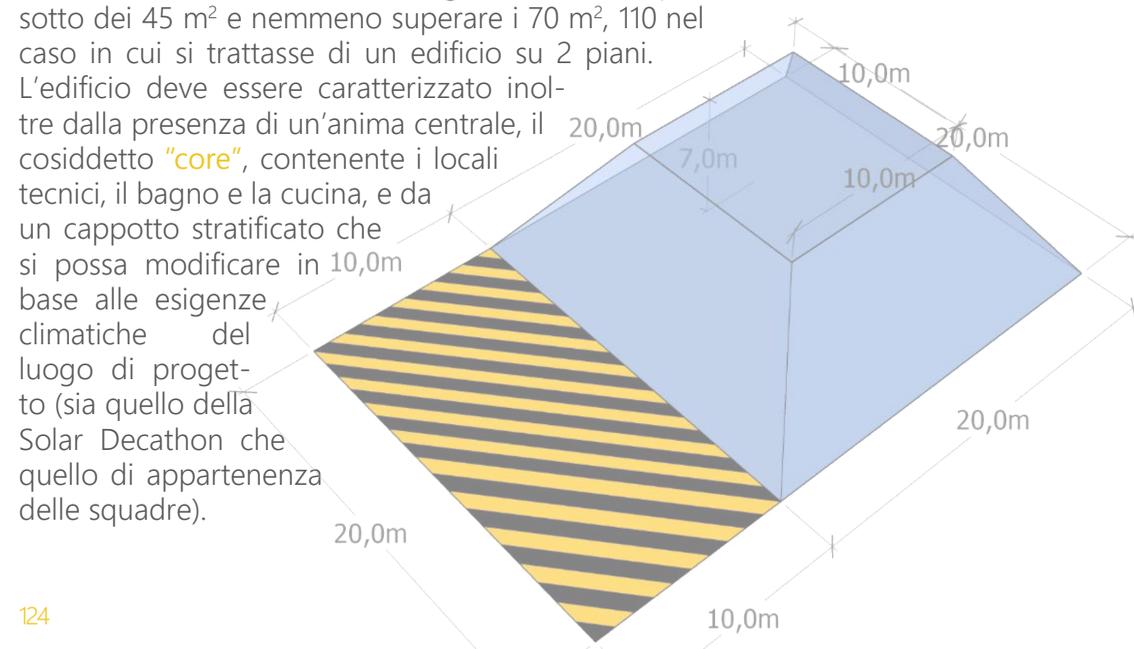
- Prototipo basato sul rinnovo del tradizionale **edificio ungherese** (edificio con pianta semplice a livello del terreno, senza sopraelevazioni, caratterizzato da mura in mattoni e pavimento in calcestruzzo);
- Prototipo basato sulle **roof-top houses** (per un incremento della densità urbana senza utilizzo di nuovo terreno);

- Prototipo basato sul rinnovo dell'**edificio tradizionale** del proprio paese di provenienza;
- Prototipo **innovativo**, non contemplato nelle scelte precedenti, che possa essere di ispirazione per le future scelte architettoniche e tecnologiche.

Per gestire meglio lo spazio a disposizione per il Solar Village, ogni prototipo dovrà rispettare determinate **dimensioni** per non invadere le aree di transito e di progetto delle altre squadre. La costruzione dovrà rientrare in un rettangolo di base con area 20 m per 20 m rispettando un'altezza massima di 7 m. In ogni caso non si potrà scendere al di sotto dei 45 m² e nemmeno superare i 70 m², 110 nel caso in cui si trattasse di un edificio su 2 piani. L'edificio deve essere caratterizzato inoltre dalla presenza di un'anima centrale, il cosiddetto "**core**", contenente i locali tecnici, il bagno e la cucina, e da un cappotto stratificato che si possa modificare in 10,0m base alle esigenze climatiche del luogo di progetto (sia quello della Solar Decathlon che quello di appartenenza delle squadre).

Figura 42.
Szentendre
Fonte: pinterest.it

Figura 43.
Area di progetto
Fonte: delivarable 3
SDE



La Solar decathlon è una competizione che ha come focus principale il risparmio energetico e il rispetto per l'ambiente. Proprio per questo motivo i prototipi presentati dovranno soddisfare i requisiti che l'**Unione Europea** ha dichiarato di voler stabilire per il **2030**, ovvero:

- Una riduzione del consumo dell'energia primaria del 30%;
- Una riduzione delle emissioni di gas serra del 40%;
- Una produzione di energia da fonti rinnovabili aumentata del 27%.

Il concorso, come preannunciato, prevede che i progetti presentati dai concorrenti soddisfino determinati requisiti appartenenti a differenti tematiche, definite contest di concorso. In totale vi sono 10 macro temi ognuno dei quali, se soddisfatto nella sua interezza, permette di acquisire 100 punti, per un totale di **1000 punti**. Il progetto vincitore sarà quello che riuscirà ad ottenere il punteggio più alto, distinguendosi dagli altri progetti in gara per i suoi valori di efficienza, risparmio e sostenibilità.

Più nello specifico verranno valutate le seguenti **tematiche**:

- Prestazioni energetiche dell'edificio;
- Progettazione e costruzione architettonica;
- Progettazione dei sistemi ingegneristici (impiantistici) e strutturali;
- Modalità di comunicazione sia all'interno che all'esterno del team di progetto;
- Integrazione e impatto con il contesto urbano;
- Novità strategiche e tecnologiche adottate;
- Grado di sostenibilità del progetto e sistemi di architettura circolare;
- Condizioni di benessere per l'utente;
- Funzioni accessorie del prototipo;
- Bilancio Energetico.

4.2.1 Richieste specifiche per il lighting e daylight design

Nello specifico di questa tesi sono state analizzate le richieste della Solar Decathlon Europe 2019 che toccavano i problemi e le necessità collegate alla luce.

Fin dalla prima tematica di concorso, ovvero il **Contest numero 1, Architettonico (regola n.15)**, troviamo delle condizioni in ambito di lighting design. Viene qui precisato che occorre garantire una determinata qualità e quantità di luce interna ai fini di soddisfare le esigenze

degli utenti sia durante le ore diurne che durante quelle notturne, come se il prototipo venisse realmente utilizzato come residenza e non per il solo fine di esibirlo durante il periodo della competizione. La luce, sia essa naturale che artificiale, deve essere studiata nello specifico, tramite software, per valorizzare le qualità dell'edificio a livello architettonico, con il fine di ottenere una valutazione più elevata.

Nel **contest numero 6, Innovazione e fattibilità (regola n. 20)**, viene specificato che verranno valutate le innovazioni proposte, che siano esse di natura impiantistica, tecnologica o di altro tipo. Dal punto di vista architettonico, otterranno un punteggio migliore i prototipi che prevedono l'utilizzo di materiali nuovi o sperimentali, nuove strutture e un utilizzo consapevole e innovativo della luce. Per quanto riguarda quella naturale, vengono valutati in maniera positiva le tecnologie che riescono a sfruttare la componente solare con il fine di portare una quantità maggiore di luce all'interno degli ambienti.

Una ulteriore specifica viene riportata anche all'interno del **contest numero 7, Circolarità e sostenibilità (regola n. 21)**. Per ovviare al problema dell'impatto ambientale è necessario che i prototipi utilizzino materiali, tecnologie, strategie e sistemi che non vadano a influire negativamente su di esso. Fra le strategie bioclimatiche rientra quella dell'utilizzo della luce naturale, con il fine di risparmiare le risorse energetiche sfruttando al meglio questa componente completamente gratuita. Occorre quindi studiare le tecniche del daylight design e rendere il più possibile accessibile la luce naturale, controllando però i fenomeni di abbagliamento e i guadagni termici. Viene precisato inoltre che in merito all'efficienza energetica, occorre andare a scegliere le sorgenti artificiali che consumano di meno e che durano di più, senza perdere di vista i requisiti di qualità visiva e comfort.

All'interno del **contest numero 8, Condizioni di comfort (regola n. 22)** si trovano delle specifiche in merito alla luce naturale. Il requisito richiede che sia garantito un Fattore di luce diurna fra il 2,5% e il 4%, maggiore sarà la percentuale, maggiore sarà il punteggio ottenuto (in base alla figura sottostante). La misurazione avviene una volta costruito il prototipo, durante il periodo di allestimento, in presenza di una giornata caratterizzata da cielo coperto. La verifica prevede di prendere in considerazione un punto che si trova a 90 cm dal pavimento e a una distanza minima di 2 m dalla finestra, tenendo conto che non possono esserci luci dirette sullo strumento di misura (sia naturali che artificiali).

L'ultimo contest che tratta della luce riguarda il **Bilancio energetico (contest 10, regola n. 24)**. Qui viene specificato che occorre valutare

quelli che sono i consumi del prototipo tenendo conto degli apporti solari dati dai sistemi di captazione. Per fare ciò viene fornita la seguente formula di valutazione:

$$EL = EV/A + EF/C$$

Dove :

- EL è il carico elettrico;
- EV è il consumo dato dal sistema di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e acqua calda;
- EF è il consumo dato dalla componente elettrica (luce, elettrodomestici, sistemi di automazione);
- C è la superficie media misurabile di tutti i prototipi (regola 6.3);
- A è la superficie misurabile del prototipo.

Per ottenere pieno punteggio bisogna realizzare il prototipo che consuma meno rispetto agli prototipi in gara, altrimenti il punteggio verrà assegnato facendo un paragone con l'edificio più efficiente. Le costruzioni che avranno un consumo energetico più alto di 2 volte e mezzo il consumo di quella migliore verranno squalificate dal concorso.

Figura 44.
Casa scorrevole, Berlino
Fonte: archdaily.it



4.3 Il progetto SEED Italy

Fra le squadre partecipanti alla Solar Decathlon Europe 2019 vi era anche la squadra italiana, capitanata, in questa edizione, dal **Politecnico di Milano**, in collaborazione con il Politecnico di Torino, l'Università dell'Insubria, quella di Genova, di Firenze, di Pescara, di Catania, di Siracusa e di Reggio Calabria. Questa tesi rientra fra i lavori che hanno deciso di contribuire alla condivisione delle idee di progetto, con il fine di realizzare un prototipo che fosse funzionale sotto tutti i punti di vista, in questo caso trattando problematiche riguardanti il comfort visivo e il risparmio energetico, contribuendo non solo ad una progettazione più efficiente, ma anche ad una maggiore attenzione alle esigenze e ai bisogni dell'uomo.

Figura 45.
Desio, Milano
Fonte: wikipedia.it



Per questa edizione il concorso si è svolto a Szentendre, in Ungheria, non lontano da Budapest, la capitale. Fra le grandi tematiche proposte dal bando, il team italiano ha deciso di affrontare i problemi riguardanti la costruzione delle **roof-top houses**, con il fine di aumentare la densità urbana, e quelle di innovazione e rigenerazione dell'**architettura tradizionale** locale.

Dovendo progettare un prototipo che funzionasse innanzitutto se realizzato nel proprio paese di origine, si è deciso di prendere in considerazione, come area di progetto ideale, alcuni edifici residenziali a **Desio**, a pochi chilometri dal capoluogo lombardo. Questa scelta è stata dettata dal fatto che, a se-

guito di ricerche specifiche nel settore, è stato manifestato un interesse, sia da parte del Comune di Milano che da parte dei comuni periferici, di voler **densificare** vari centri urbani. È emersa quindi la possibilità di ripensare alla progettazione delle coperture di edifici già esistenti con il fine di evitare di aumentare il suolo consumato e sfruttare al meglio quello già urbanizzato.

Il Politecnico si è comunque posto l'obiettivo di realizzare un prototipo che fosse adattabile non solo a questi due siti di progetto, ma anche a tutte le regioni climatiche a cui appartengono le città delle università partecipanti in collaborazione con quella di Milano.

Il team si è posto come obiettivi principali **5 topic**, riguardanti tematiche architettoniche che potessero contribuire al raggiungimento di un elevato punteggio all'interno della competizione, ovvero:

- Risparmio energetico ed economico;
- Riadattabilità climatica del prototipo;
- Facile assemblaggio delle parti;
- Previsione del funzionamento energetico
- Utilizzo di tecnologia ibrida.

Da questi propositi nasce il progetto **SEED Italy**. Seguendo le regole imposte dalla SDE 2019, SEED si presenta come un prototipo residenziale i cui elementi possono essere facilmente assemblati, modificati, tolti e aggiunti con il fine di renderlo riadattabile a qualsiasi condizione climatico-ambientale esterna. Il prototipo quindi presenta la stessa struttura sia per Szentendre che per Milano, ma è caratterizzato da una stratificazione differente e da impianti su misura (es. solare fotovoltaico) date le diversità geoclimatiche.

L'unico elemento che non varia da prototipo a prototipo è, come stabilito nel bando di partecipazione, il **core centrale**. Questo, visto come una sorta di cervello artificiale del prototipo, contiene tutte le utenze di gestione e controllo e gli impianti principali, è inoltre fondamentale nella definizione della struttura dell'intero edificio. Anche gli spazi presenti all'interno e all'esterno del prototipo possono cambiare da regione a regione, come ad esempio può essere prevista l'aggiunta di una veranda o un atrio aperto nel limite degli spazi disponibili stabiliti dalla SDE.

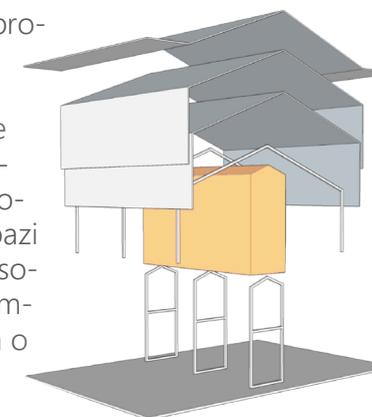


Figura 45.
Concept di progetto stratigrafia
Fonte: deliverable 3 SDE (rielaborato)

Obiettivo fondamentale è rimasto comunque quello di realizzare un prototipo edilizio che fosse a **basso costo**. Per fare ciò è stato previsto che tutte le parti dell'edificio fossero realizzate con materiali e tecnologie reperibili localmente, l'unico elemento più costoso, poiché più innovativo e realizzabile solo in laboratorio o comunque industrialmente, rimane il core centrale.

4.3.1 Strategie di progetto

Il nome del progetto, SEED, nasce dall'idea che questo prototipo sia una sorta di seme che può essere piantato ovunque vi sia necessità d'intervento. Si utilizza una **metafora vegetale** per riferirsi al fatto che si tratta di un elemento con un impatto quasi zero sull'ambiente, sia naturale che urbano, e che i suoi consumi sono notevolmente bassi grazie alle strategie e alle tecnologie utilizzate.

Dovendo progettare su suolo europeo si è costretti ad affrontare la realtà sociale del momento. Si tratta di un periodo in cui l'innovazione fa da padrona, comunicare con il resto del mondo è sempre più facile e i costumi sono in continua trasformazione. Per questo motivo vi è la necessità di piantare nuovi semi, perché così come cambia la società anche la città ha bisogno di innovazione, trasformazione ed evoluzione. Al fine di poter essere applicata ovunque, l'architettura deve essere flessibile ed essere caratterizzata da un determinato tempo di utilizzo che dipende dalle necessità della società.

Il team spiega che il progetto viene proposto in un ambito urbano con necessità reali e, una volta che queste vengono soddisfatte, il progetto viene metabolizzato dall'area critica su cui è stato piantato. L'atto del costruire è infatti una sorta di flusso costante che modifica la realtà urbana su cui agisce. Per spiegare meglio il concetto, il progetto viene assimilato ad una sorta di **catalizzatore**, il quale dopo essere intervenuto nella reazione chimica e averne modificato lo stato di transizione della reazione, accelerandolo, ne riduce l'energia di attivazione (la quale porta ad innescare la reazione stessa) restando comunque inalterato una volta terminato il processo. Il progetto quindi agisce sull'area urbana nella quale viene piantato accelerandone il processo di rigenerazione. Una volta terminata la reazione questo può essere ripiantato altrove più e più volte, per questo motivo si parla di architettura temporanea.

SEED non nasce solo da una metafora legata al mondo vegetale, ma è anche un acronimo: **Sustainable Energy Efficient Design**. Questo

perché il progetto getta le sue basi sulla sostenibilità e l'efficienza, in modo da poter essere riutilizzato in vari ambiti e soprattutto in differenti regioni climatiche. Proprio seguendo questi punti cardine, il team ha deciso di analizzare le diverse realtà che appartengono alle località di appartenenza delle università italiane partecipanti, con il fine di avere uno sguardo più vasto sin da subito e avere un campo di sperimentazione abbastanza ampio essendo le università sparse da nord a sud della penisola, dando la possibilità di studiare **"soluzioni locali per problemi globali"**.

Nei comuni attorno a Milano, o anche solo in periferia, sono presenti molti alloggi che restano **invenduti e sfitti** per moltissimi anni, se non per sempre. La situazione è molto simile a quella presente in altre regioni italiane. Il tasso di natalità è in continua diminuzione e questo significa che non sono richieste le nuove abitazioni ormai costruite. Allo stesso tempo, guardando dal lato produzione, il nostro paese non riesce a coprire le **nessità alimentari**, riuscendo a soddisfare solamente l'80% del fabbisogno totale. Il terreno per la produzione al posto di aumentare diminuisce e non si riescono a trovare grandi soluzioni a questo problema.

Il team SEED si propone quindi come oggetto promotore della densificazione urbana ma non solo. Il progetto non prevede la sola costruzione nell'ambito dell'edilizia residenziale per la rigenerazione urbana, ma si allaccia anche ad un discorso di produzione alimentare. Questo grazie al fatto che i semi che si intende piantare portano anche alla nascita di **greenfam urbane** annesse a prototipi residenziali. Si tratta di serre, orti e giardini all'interno dei quali viene prodotta frutta e verdura e in cui è possibile allevare anche il pollame per la produzione di uova. Possono essere costruite sfruttando lo spazio sul tetto affianco alle **roof-top houses** o creando o sfruttando del verde comune all'interno dei cortili condominiali. Questo dovrebbe, nel tempo, portare l'uomo ad aumentare la sua assunzione di frutta e verdura, influenzandone così la dieta e rendendola più sana e ambientalmente sostenibile.

Queste scelte sono legate al fatto che le nuove costruzioni non possono essere solamente soddisfacenti a livello estetico, ma devono avere delle fondamenta che siano robuste anche dal punto di vista energetico, ambientale e sociale.

Il progetto portato alla Solar Decathlon 2019 sarà di tipo residenziale, ma il prototipo è pensato per essere utilizzato in vari ambiti, quello agricolo, sanitario, sociale, educativo o altri ancora. Grazie alla sua **flessibilità e adattabilità** può trasformarsi ad esempio in aule extra per le

scuole, piccoli centri ambulatori, centri di ricovero per gli sfollati o di produzione per gli artigiani.

L'ultima specifica pensata dal team del SEED Italy riguarda di nuovo l'**involucro** del prototipo. Questo, oltre ad essere composto da strati per aumentarne l'adattabilità, ha uno stato di finitura superficiale creato con la canapa che, oltre ad aumentare le **prestazioni termiche** dell'edificio, permettono una personalizzazione artistica da parte dell'utente e della comunità. È infatti possibile utilizzare questa superficie finale come una sorta di tela per la **street-art** urbana e divenire così anche mezzo di comunicazione artistica temporanea data sia la temporaneità dell'edificio stesso che fa facile rimpiazzabilità degli strati a feltro.

4.3.2 Presentazione del progetto

L'analogia con il mondo agricolo si sposa molto bene con l'idea di **flessibilità** del progetto: il prototipo è il seme, mentre il territorio italiano è il campo agricolo su cui si vuole sperimentare la sua applicabilità. Rigenerazione e riqualificazione non possono essere attuate però se non si conosce bene il **contesto** su cui si intende agire.

In generale la strategia prevedere di aggiungere un nuovo modulo che possa contribuire a questo processo di rinnovamento portando alla definizione di una **nuova copertura altamente efficiente**, a livello di energia e comfort, che vada a sostituire quella vecchia. Nello specifico però le tattiche adottate varieranno da regione a regione, quindi il seme piantato cambierà in base al terreno che lo accoglie. Per questo motivo sono state eseguite alcune analisi sul contesto urbano di inserimento.

A **Milano**, come a **Torino**, data la conformazione degli edifici, si ha la possibilità di piantare sia sui tetti delle case che all'interno dei cortili tipici presenti all'interno degli isolati. Il problema principale di queste due città, soprattutto per il capoluogo lombardo, è l'accessibilità al mercato immobiliare: i costi troppo elevati fanno sì che una buona parte dei possibili affittuari o compratori vengano esclusi o allontanati dalle zone centrali, creando così una grande distinzione sociale fra centro e periferia. Per questo è necessaria la realizzazione di prototipi a basso costo che vadano a densificare le zone centrali, permettendo un più facile accesso a queste zone anche da parte delle classi meno agiate a livello economico.

A differenza delle due realtà precedenti, **Firenze** è caratterizzata non da un'espansione periferica che permetta a tutti di potersi permettere una residenza seppur lontana dal centro, dalle attività e dai servizi, ma da una vera e propria fuga degli abitanti dettata da un costo della vita troppo elevato. Questo ha portato ad un abbandono delle abitazioni le quali necessitano sempre di più di un intervento riqualificante e rigenerante.

Anche le altre città hanno delle problematiche specifiche differenti dalle precedenti: **Genova** ha una densità urbana molto elevata, ma scarseggia di aree verdi che ne riducano l'inquinamento, **Pescara** è contrassegnata da una bassa percentuale di servizi per l'infanzia e **Reggio Calabria** ha un altissimo tasso di disoccupazione, una bassissima domanda immobiliare, aree industriali in disuso e servizi in continua diminuzione. Questo significa che per ogni città, per ogni campo da coltivare, occorre scegliere accuratamente i semi da piantare e le strategie da adottare, in modo da favorire nel modo più semplice possibile la catalisi data dal prototipo SEED progettato.

Figura 46.
Cocept d'intervento
Fonte: deliverable 3
(rielaborato)



In ogni caso gli elementi cardine, a prescindere dal sito di progetto e dalla tipologia edilizia per cui verrà costruito, restano il **core centrale**, ovvero il cervello intelligente del prototipo con tutti gli impianti, e le due ali ai suoi fianchi, ovvero l'**unità di progetto** con l'involucro-filtro e la **greenhouse** dedicata alla coltivazione di frutta e ortaggi.

Entrando nello specifico del progetto, qui di seguito viene presentata la rielaborazione grafica di quanto consegnato in corrispondenza dell'ultimo deliverable rispettato dal team italiano per la SDE 2019. Il progetto non risulta completamente nei minimi dettagli poiché, a seguito di questa consegna il team, ha deciso di ritirarsi dalla competizione a causa di motivi prettamente organizzativi ed economici. Nonostante ciò il prodotto consegnato risulta essere molto vicino a quello definitivo, è stato quindi possibile analizzarlo da un punto illuminotecnico, al fine di fornire delle critiche utili ad un eventuale ripresa del progetto futura.

4.3.3 Il Contesto

Come anticipato, dovendo affrontare la richiesta di duplice adattabilità del prototipo ai siti di progetto (sia all'interno della competizione, quindi a Szentendre, in Ungheria, sia nel proprio paese di origine, quindi in Italia), il team ha selezionato come area di progetto il comune di **Desio**, ad una ventina di chilometri di distanza da Milano. Si tratta di un paesino con poco più di 40 mila abitanti in provincia di Monza e Brianza, cresciuto soprattutto grazie alle industrie presenti e caratterizzato dalla presenza di un mercato immobiliare non troppo attivo, con edifici vuoti a prezzi mediamente accessibili.

Qui si è deciso di prendere come edificio di riferimento il palazzo condominiale che si trova all'angolo fra **via Cristoforo Colombo** e via XX settembre, tra il civico 29 e 33. Il fabbricato è stato scelto poiché si presenta come un edificio su 3 piani, con cantina e mansarda, la quale viene utilizzata come locale di deposito sola da pochi residenti. L'unità immobiliare è completamente adibita al residenziale e non tutti gli alloggi risultano occupati. All'esterno è presente un cortile parzialmente adibito a parcheggio privato, con una buona parte dedicata al verde comune.

La tematica scelta fra quelle proposte dalla SDE2019 sono state quelle relative alle **roof-top houses** e al rinnovamento di un edificio tradizionale locale.



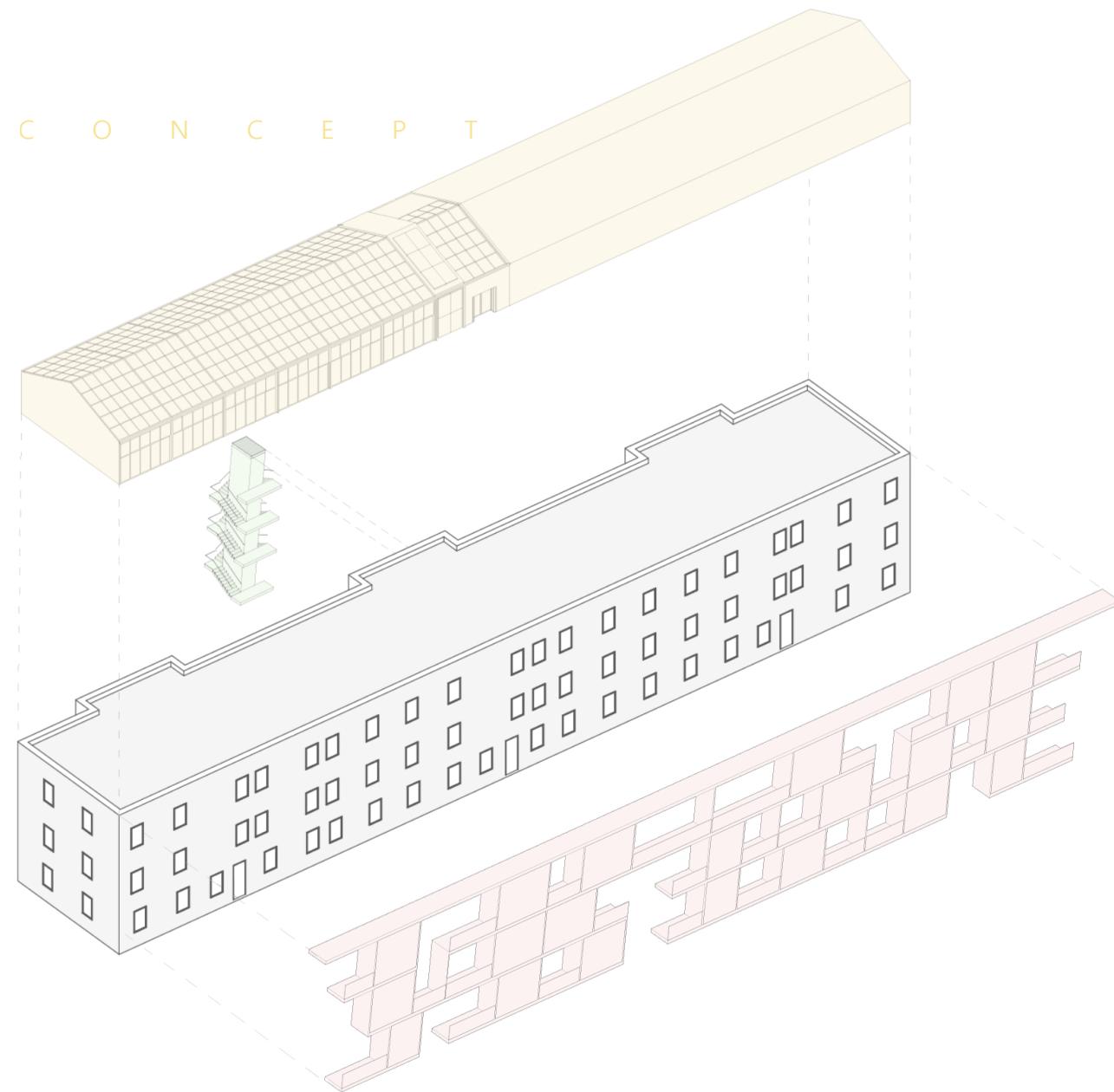
Figura 47.
Veduta aerea area di progetto
Fonte: googleearth.com

L'intervento riguarda soprattutto il volume superiore dell'edificio: al fine di attivare il fenomeno di rigenerazione urbana, il tetto mansardato ora esistente viene completamente sostituito dalla nuova **copertura tecnologica**, la quale è composta principalmente dal prototipo edilizio, nuova unità abitativa che si aggiunge a quelle esistenti, e dalla greenfarm, la quale viene costruita con l'obiettivo di aumentare la produzione alimentare locale.

L'accessibilità al nuovo ampliamento verticale è garantita grazie all'aggiunta di un **corposcale** esterno che va a sostituire quello già esistente, poichè privo di ascensore e da restaurare nel completo. Viene inoltre eseguita un'operazione di **retrofit** alla facciata posta a nord.

Anche il cortile interno subisce alcune modifiche. L'area verde viene completamente ridisegnata e rifunzionalizzata, con la costruzione di **orto urbano** di uso comune del condominio che si va ad aggiungere a quello presente all'interno della greenfarm. Viene aggiunta ulteriore vegetazione e alcuni posti bici al fine di evitare l'accatastamento in uno degli angoli del cortile come avviene al momento.

Figura 48.
Veduta aerea area di progetto.
Fonte googleearth.com



L'intervento prevede la realizzazione di **due prototipi** affiancati l'uno all'altro, aventi le stesse caratteristiche tecniche e compositive. Sul fianco libero invece vengono disposte invece le due greenfarm, con una porzione privata, alla quale è possibile accedere solamente dall'unità abitativa stessa, e una pubblica a disposizione dell'intero condominio, raggiungibile tramite il pianerottolo di arrivo del nuovo corpo scale.

Ciascun prototipo è pensato per ospitare una o al massimo due persone data la sua dimensione ridotta. L'unità abitativa è data dalla somma dello spazio disponibile all'interno del core centrale più quello dato

Figura 49.
Concept di progetto
Fonte: Deliverable 3
SDE (rielaborato)

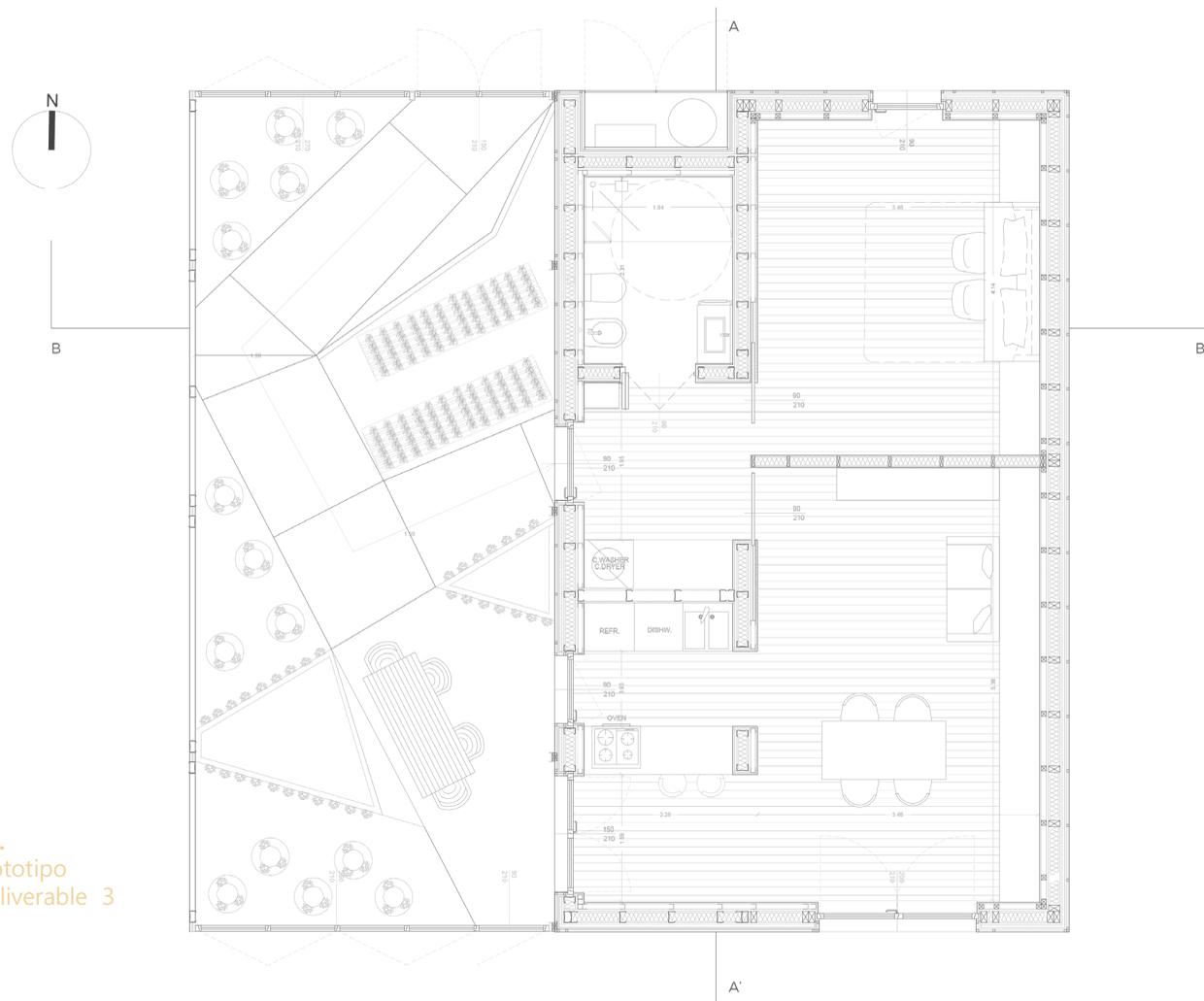


Figura 50.
Pianta prototipo
Fonte: deliverable 3
SDE

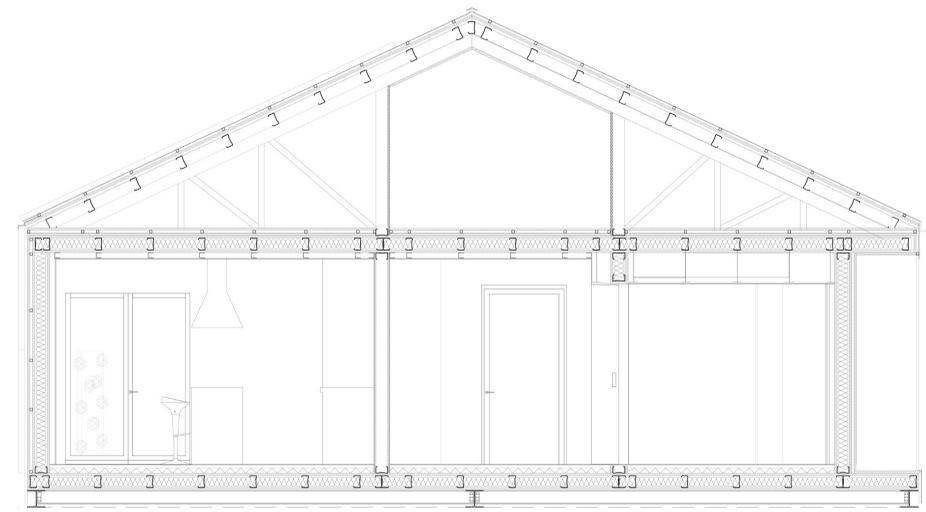


Figura 52.
Sezione trasversale
Fonte: deliverable 3
SDE

dall'ala residenziale, per un totale di **64,75 m²**. L'ingresso è caratterizzato da una zona giorno open space, in cui troviamo il salotto e la cucina, dalla quale è possibile accedere alla serra privata. Al centro del prototipo troviamo un disimpegno che viene utilizzato sia come collegamento alle altre stanze e all'esterno, che come antibagno. Infine sono presenti un bagno e la camera matrimoniale.

Oltre al prototipo, il team ha deciso di rendere anche l'arredamento flessibile. E' possibile infatti richiudere il letto nella zona notte per aprire l'ambiente e utilizzarlo eventualmente come studio. All'interno della serra invece è possibile trovare un tavolo da pranzo, poichè la zona giorno d'estate può essere aperta e consentire agli utenti di mangiare all'esterno. Nel sottotetto troviamo un'area divisa in due: nella parte compresa all'interno del core vi sono tutti gli impianti che servono gli ambienti, mentre nella zona restante è presente un'altra piccola serra bioclimatica con piante a vaso.

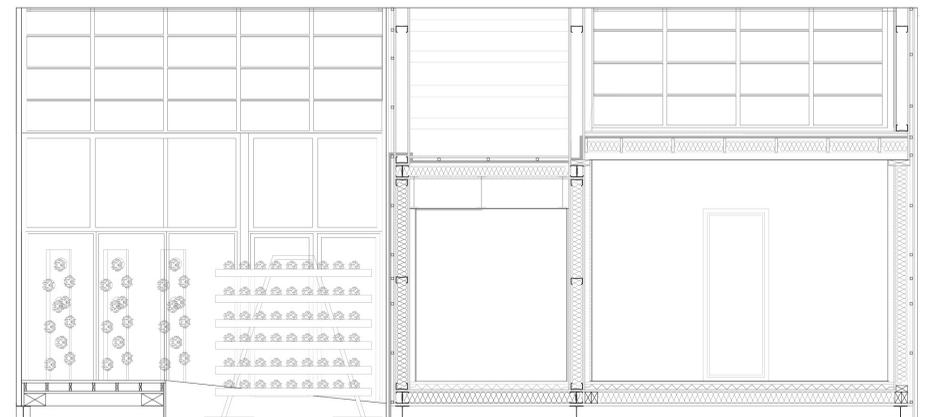


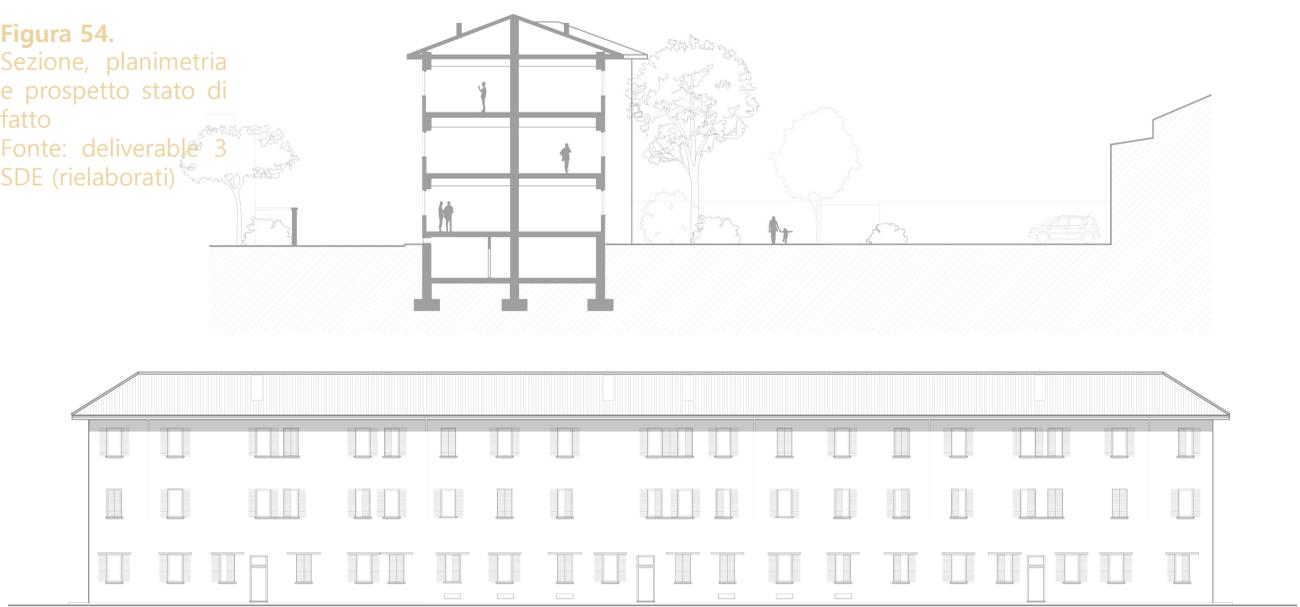
Figura 53.
Sezione longitudinale
Fonte: deliverable 3
SDE



Figura 51.
Sezione prospettica
Fonte: deliverable 3
SDE

S T A T O D I F A T T O

Figura 54.
Sezione, planimetria
e prospetto stato di
fatto
Fonte: deliverable 3
SDE (rielaborati)



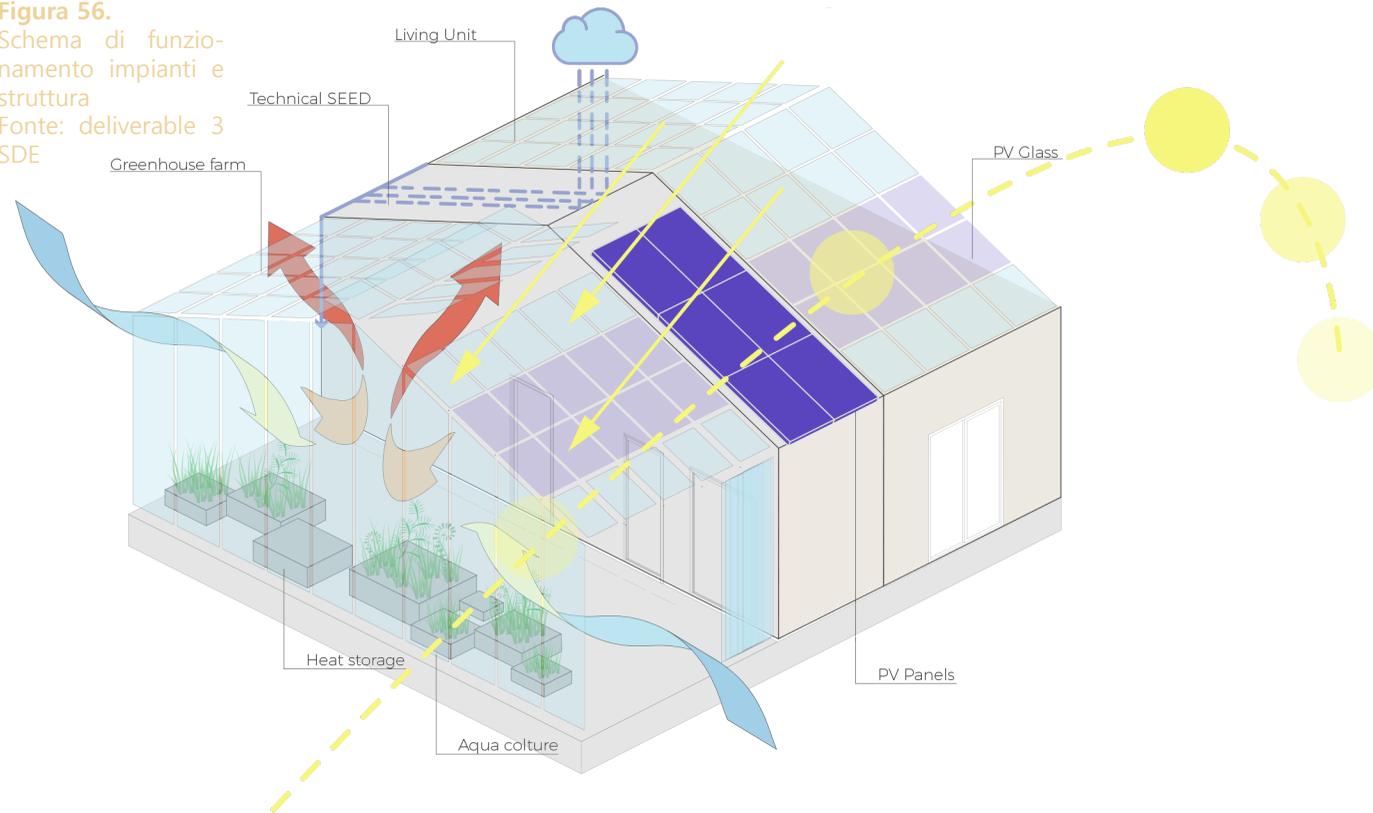
P R O G E T T O S E E D

Figura 55.
Sezione, planimetria
e prospetto di pro-
getto
Fonte: deliverable 3
SDE (rielaborati)



Figura 56.

Schema di funzionamento impianti e struttura
Fonte: deliverable 3 SDE



Il prototipo è caratterizzato da un core centrale intelligente, all'interno del quale è possibile trovare sia gli **impianti** principali che servono l'intero edificio, sia la struttura in acciaio che serve a sorreggerlo, sia gli impianti per il risparmio energetico e la raccolta delle risorse naturali disponibili nell'ambiente esterno.

Sopra la falda del core esposta a sud sono stati sistemati dei **pannelli fotovoltaici**. Ad essi sono stati aggiunti sulla vetrata delle due serre, sia quella nel sottotetto che quella esterna, dei vetri con pellicola fotovoltaica per aumentare la quantità di elettricità ricavabile. Il tetto è dotato di un sistema di **raccolta dell'acqua piovana** con il fine di poterla riutilizzare all'interno del sistema idrico casalingo.

La **greenfarm**, infine, è caratterizzata da una struttura per lo più trasparente per poter sfruttare al meglio l'irraggiamento solare sia per le piante sia per poterlo sfruttare con **sistemi di accumulo**. Le vetrate laterali sono completamente apribili per eliminare il calore eccessivo. Per evitare una dispersione troppo elevata del flusso termico cumulato durante il periodo invernale è possibile aprire la parte sommitale della copertura trasparente sia nella serra maggiore sia in quella minore.

Figura 57.

Vista esterna lato sud est

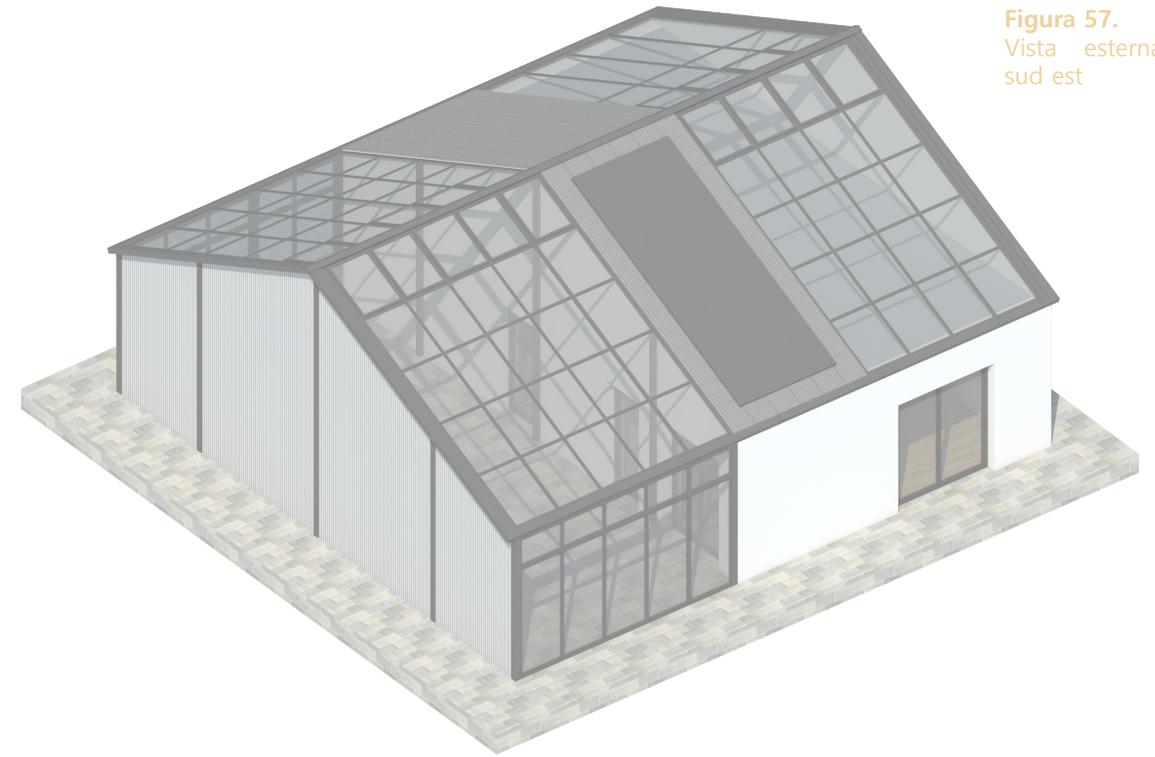


Figura 58.

Vista prospettica lato nord ovest

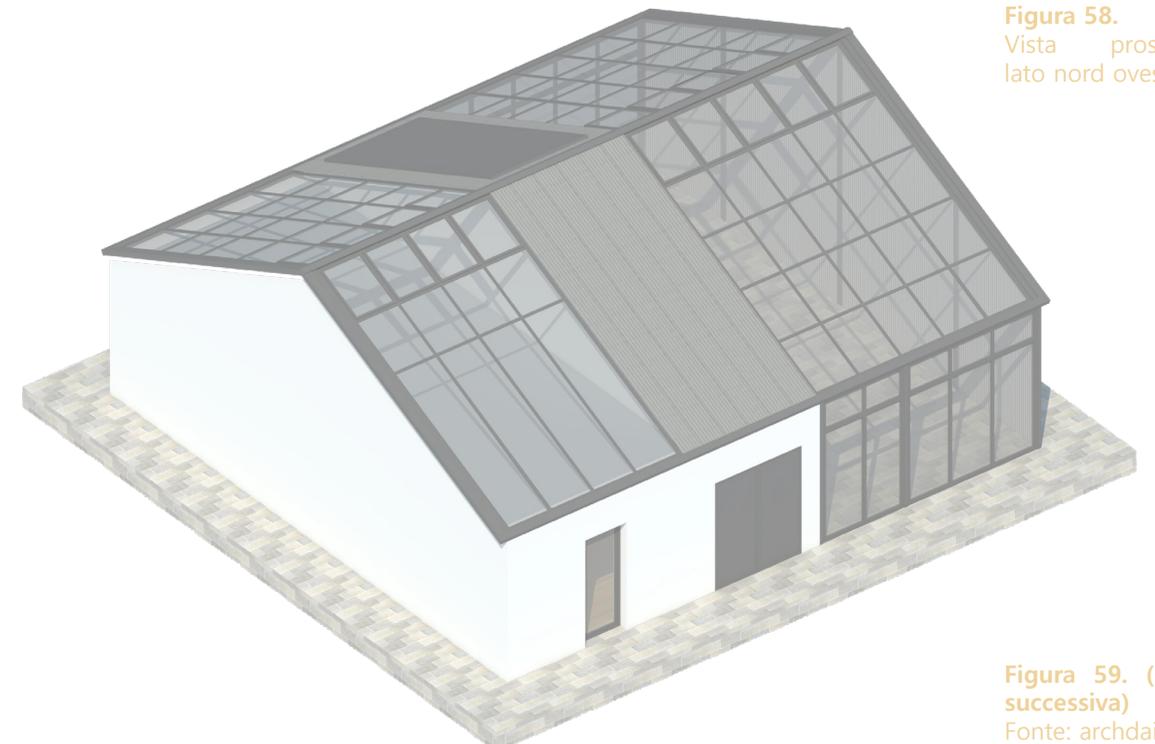


Figura 59. (pagina successiva)

Fonte: archdaily.it

CAPITOLO 5

PROPOSTA PROGETTUALE

Analisi critica e proposta progettuale
per la Solar Decathlon Europe 2019

5.1 Introduzione

Il percorso di questa tesi nasce dalla volontà di approcciarsi ad un mondo che non sempre viene approfondito a sufficienza all'interno della formazione accademica. La **luce** è uno degli elementi che più influisce sulla qualità della progettazione di edifici e strutture, se non addirittura l'elemento più influente di tutti, data la quantità di materie architettoniche e non a cui è tangente.

Questo lavoro volge al termine con un'applicazione pratica di quanto appreso nella ricerca teorica in materia illuminotecnica. Si è deciso di prendere parte al percorso Solar Decathlon con un **laboratorio di tesi** creato da vari docenti del Politecnico di Torino e di fornire una proposta progettuale che potesse essere d'ispirazione dal punto di vista del comfort visivo e del risparmio energetico per i partecipanti attivi del Politecnico di Milano.

Il capitolo seguente si suddivide essenzialmente in quattro fasi:

- Nella prima si tratta di **daylighting design**, viene analizzato in chiave critica il prototipo SEED con una conseguente proposta progettuale che ne possa migliorare i punti deboli;
- Nella seconda sarà possibile osservare il progetto di **lighting design** pensato per la proposta, successivamente paragonato a quello ufficiale;
- Una terza parte sarà dedicata all'**analisi energetica** per comprendere le scelte progettuali effettuate dal team Italy e controllare l'efficienza dell'alternativa presentata;

- Infine verranno confrontati i due prototipi sia dal punto dei **requisiti** necessari alla partecipazione alla **Solar Decathlon Europe 2019**, sia dal punto di vista delle **certificazioni e protocolli energetici** trattati nei capitoli precedenti.

Le scelte riguardanti la proposta progettuale sono dettate dal volerne migliorare il benessere visivo e aumentare il risparmio energetico, al fine di renderlo ancora più efficiente di quanto non sia già. Dal punto di vista illuminotecnico la qualità del progetto SEED, come si potrà vedere, si può definire appena accettabile, mentre a livello energetico ci troviamo in una fascia energetica molto alta, il che significa che le proposte alternative devono essere all'altezza di quanto deciso in sede di progettazione architettonica ed energetica.

Ai fini dello studio della luce diurna sono state inoltre eseguite delle ricerche sui possibili software utilizzabili in questo ambito e sono state riportate le conseguenti considerazioni per fornire al lettore una possibilità di scelta sul percorso da intraprendere ai fini del daylighting design.

5.2 Lo studio della luce ed il workflow

Il progetto SEED Italy, presentato nel capitolo precedente, viene qui di seguito analizzato in chiave critica dal punto di vista del daylighting design. In base alle nuove metriche derivanti dal Climate-Based Daylight Modeling spiegate nella prima parte della tesi, si presenta al lettore un **esempio pratico** dell'applicazione di quanto studiato nell'approccio teorico.

Le modifiche apportate al prototipo riguardano soprattutto il design, la qualità e la quantità della **componente trasparente** dell'involucro, ma sono stati effettuati dei cambiamenti anche riguardanti la **composizione architettonica**. Analizzando il progetto ci si è accorti di come le quantità di luce fossero insufficienti a soddisfare le condizioni di comfort visivo, ma anche che dal punto di vista architettonico vi erano alcune problematiche di accessibilità. Questo probabilmente è stato dato dal fatto che il prototipo analizzato puntava soprattutto all'ottimizzazione energetica e che non si tratta di quello della consegna finale (non avvenuta, come spiegato in precedenza), ma della penultima deliverable consegnata dal team di progetto del Politecnico di Milano.

Prima di procedere al lavoro di analisi vero e proprio e della conseguente proposta progettuale, si è deciso di valutare le possibili alternative riguardanti i **software di simulazione e calcolo** da utilizzare per ottenere i risultati più soddisfacenti. La scelta finale del software da utilizzare nell'ambito di questa tesi è avvenuta in base alle metriche di daylighting

design calcolabili, in base alla precisione e alla tipologia dei risultati di output basandosi su quanto richiesto dalla competizione architettonica e dalle certificazioni energetiche.

5.2.1 Software di simulazione

Con lo sviluppo tecnologico sono arrivati a nostra disposizione sempre più strumenti che hanno reso lo studio della luce naturale veloce e preciso, riducendo i tempi di calcolo e verifica dei metodi di calcolo manuale. I software che sono stati pensati con questo scopo lavorano attraverso **algoritmi** che permettono di ricavare facilmente la maggior parte delle metriche utili alla progettazione illuminotecnica.

Questi si basano per lo più su due tecniche di simulazione della luce: il ray tracing e la radiosity:

- **Ray tracing:** Si tratta di un algoritmo di calcolo che si basa sulla riflessione dei raggi di luce e di come questi interagiscono con le superfici che incontrano. Le simulazioni prendono forma partendo dalla visuale della telecamera virtuale e calcolano i percorsi effettuati dai raggi solari fornendo ottimi risultati per quanto riguarda riflessione e rifrazione. Tramite questo algoritmo vengono forniti output qualitativi di elevato livello;
- **Radiosity:** rappresenta un algoritmo di calcolo che studia soprattutto la diffusione della luce e l'illuminazione globale all'interno degli ambienti virtuali. Questo procedimento considera solamente i raggi che partono dalla fonte di luce e che arrivano all'occhio come luce diffusa. La simulazione si basa sulla suddivisione dell'ambiente in varie scene a seconda delle aree investite dalla luce, studiandole una per una in base alla riflessione e rifrazione della stessa. Tramite questo algoritmo vengono forniti output quantitativi sulla luce tramite schemi grafici o tabellari.

E' difficile per i software di analisi simulare la componente diffusa, infatti nella maggior parte dei casi si può ricorrere all'utilizzo di fonti di luce ambientale che emulano questo parametro attraverso un illuminamento continuo che può variare in base alle caratteristiche del luogo da studiare. In questo modo si possono ottenere dei risultati molto fedeli alla realtà a livello di immagine, ma che però non rispettano appieno le leggi della fisica.

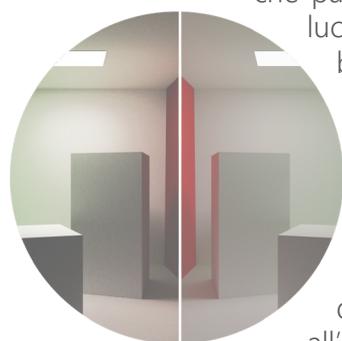
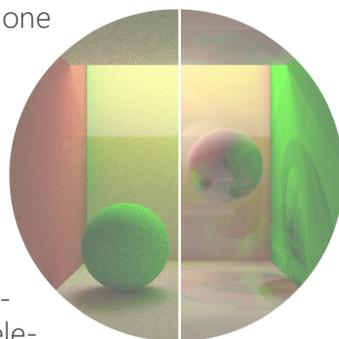


Figura 60.
Ray tracing
Fonte: gaming.com

Figura 61.
Radiosity
Fonte: virtualmode.com

Con il tempo i programmi di simulazione si stanno evolvendo sempre più. Con lo studio di nuove tecnologie e algoritmi, la precisione sugli studi è quindi più accurata e rispecchia sempre più quella che è la realtà. Inoltre si sta puntando a software che non si concentrino solo sulla qualità o sugli esiti quantitativi del processo, ma che possano dare sia ottimi risultati a livello di **qualità grafica**, con prodotti fotorealistici, sia output numerici che permettono un'**analisi più precisa**.

Esistono ormai numerosi programmi di simulazione disponibili in commercio, alcuni scaricabili gratuitamente, la maggior parte a pagamento, che permettono di eseguire analisi sull'illuminazione naturale. Alcuni di questi permettono di effettuare direttamente le verifiche necessarie a soddisfare gli standard e i criteri delle certificazioni ambientali analizzate all'interno del capitolo precedente.

Di seguito verranno studiati alcuni dei software più diffusi, analizzando i dati input, output e il metodo di calcolo, per capire quale fornisce i migliori risultati in base alle esigenze del progettista.

1. VELUX Daylight Visualizer

VELUX Daylight Visualizer (VIZ) è un software di simulazione che permette di studiare l'illuminazione naturale in modo semplice e veloce, ma proponendo comunque un'analisi che tiene conto di tutte le componenti che influiscono su di essa. E' stato ideato dall'omonima casa produttrice per agevolare i professionisti nelle scelte progettuali che interessano il daylight design.

Tramite il software si può analizzare il proprio progetto attraverso alcune semplici operazioni che permettono di:

- Ricavare luminanza, illuminamento e il **fattore medio di luce diurna (FmLD)**, che, come visto nei capitoli precedenti, è richiesto dalla normativa italiana;
- Studiare come viene ripartita la luce all'interno degli ambienti;
- Evidenziare eventuali fenomeni di **abbagliamento** che comportano un discomfort visivo;
- Eseguire la **renderizzazione** del modello in immagini che rappresentano la realtà illuminotecnica durante le ore giorno.

Il VIZ si presenta in maniera semplice e intuitiva sin dall'interfaccia grafica. Il **modello tridimensionale** si può creare direttamente all'interno del programma, anche se per lavorare su progetti complicati bisogna fare affidamento su altri programmi di modellazione 3D. Non tutti i formati



Figura 61.
Logo VIZ
Fonte: velux.com

vengono letti da Daylight Visualizer, il che lo rende meno papabile come programma di simulazione per progetti troppo complessi.

Il programma imposta automaticamente i valori di luce naturale tramite l'assegnazione da parte dell'utente di una località di progettazione e dell'orientamento, ma non è possibile lo studio o l'integrazione delle sorgenti artificiali. Il programma si basa su degli algoritmi relativamente semplici che non richiedono grandi capacità prestazionali da parte del computer, quindi non ha bisogno di plug-in o di un supporto da cloud esterni riuscendo a fornire i risultati delle analisi in tempi piuttosto brevi.

Per quanto riguarda le condizioni del cielo è possibile impostare tre **tipologie di cielo**: coperto, parzialmente coperto o sereno. Il progettista può inoltre scegliere il mese e l'orario da tenere in considerazione per effettuare l'analisi.

Con la configurazione del **rendering**, si arriva a definire che tipologia di output vogliamo ottenere. Sono a disposizione del progettista 3 possibili tipologie di simulazione: "Still Image", "Annual Overview" o "Animation". In particolare:

- **Still Image** permette di simulare le condizioni di luce in un particolare giorno dell'anno ad una determinata ora;
- **Annual Overview** permette di ottenere non solo un'immagine, ma 12, una per ogni mese dell'anno, in questo modo consente di monitorare le condizioni di luce durante tutto l'arco di un anno. E' possibile stabilire l'orario a cui eseguire le misurazioni, mentre invece la data resta fissa al 21 di ogni mese;
- **Animation** consente di creare cideo che mostrano le condizioni di luce in un determinato periodo della giornata, scegliendo la fascia oraria e il mese in cui eseguire l'analisi.

Gli output possono essere rappresentati in falsi colori o rilevazione ISO imponendo valori di minimo e di massimo in base alle proprie esigenze. Si può inoltre consultare la griglia di punti di rilevazione o cliccare su un determinato punto per conoscerne il valore in base al parametro scelto.

Figura 62.
Esempio render VIZ
Fonte velux.com

Autodesk 3DS MAX + V-Ray

3DS Max è un prodotto della famiglia Autodesk realizzato per lavorare su modelli 3D e fornire prodotti fotorealistici sia in immagini sia a video. Si tratta di un software in commercio ormai da molti anni ed è diventato popolare nel suo settore perché permette di modellare facilmente qualsiasi oggetto, portando a risultati di qualità molto elevata. Questo è possibile grazie ad una serie di plug-in quali Mental Ray e V-Ray.

Mental Ray, realizzato da Nvidia, è un programma di renderizzazione che veniva spesso usato in passato anche per la realizzazione di film grazie alle sue capacità tecniche. Anche se ora è stato messo in ombra da sistemi molto più veloci e precisi, fra i quali troviamo **V-Ray**. Si tratta di un prodotto marchiato Chaos Group che permette di ottenere prodotti fotorealistici ad altissimo dettaglio grafico.

Figura 63.
Logo 3DS
Fonte 3ds.com

Tra le funzioni che lo caratterizzano alcune riguardano da vicino la materia illuminotecnica:

- La **Irradiance Map**, che consente di creare degli schemi per l'illuminazione delle viste da studiare grazie ai quali si possono modificare alcuni parametri che influenzano la quantità di luce in esse;
- "**Illuminazione Globale**" e "**Occlusione Ambientale**", parametri che permettono di simulare la luce diffusa della sorgente solare e l'ombreggiatura;
- Il **Ray-tracing**, tecnica di simulazione dell'illuminamento di cui si è parlato all'inizio del capitolo;
- La capacità di tener conto della **riflessione** e della **rifrazione** derivante da fonti indirette quali materiali lucidi o traslucidi.
- I Sistemi di **Sole e Cielo**: con il Sistema Sole viene data la possibilità di posizionare una sorgente di luce che possiede le stesse caratteristiche del sole e può essere spostata in base alle esigenze di simulazione; Il Sistema Cielo invece permette di ricreare le condizioni di cielo con una luce ambientale.

Queste funzioni permettono di arrivare ad un prodotto finale che riesce a rispecchiare facilmente la realtà consentendo di osservare, in fase di progettazione, quello che sarà il risultato visivo una volta realizzato il lavoro. Questo è possibile grazie al fatto che sono stati ideati materiali e luci apposta per il sistema V-Ray che permettono di lavorare al meglio la realtà virtuale, velocizzando i tempi di renderizzazione e aumento la qualità del risultato.

Si tratta di un programma più complicato rispetto al Daylight Visualizer, perché permette di lavorare su più aspetti della progettazione. 3DS Max

Figura 64.
Logo V-ray
Fonte: V-ray.com



Figura 65.
Esempio render 3DS
fonte: vray.com

è un programma di modellazione tridimensionale molto sofisticato infatti è possibile creare oggetti con qualsiasi forma, anche se per molti utenti risulta comunque un processo lungo e macchinoso.

Uno degli aspetti che hanno fatto sì che 3DS Max diventasse un programma così ampiamente utilizzato è sicuramente la personalizzazione e **caratterizzazione dei materiali**. Si possono infatti modificare centinaia di parametri che portano la qualità grafica ai massimi livelli. Grazie al plug-in di V-Ray sono definibili parametri base come la riflessione, la rifrazione e la trasparenza del materiale o come la rugosità, il glossiness (tendenza del materiale ad essere simile al vetro), l'IOR, la traslucidità o l'auto illuminamento (capacità del materiale di emettere luce o caratteristica dei materiali fluorescenti). All'interno della scheda materiale sono caricabili anche le texture del materiale, modificabili anche con le mappe di "bump", ovvero immagini che definiscono in quali punti il materiale è più sporgente o rientrante. In questo modo è possibile ad esempio ricreare e definire le linee di fuga delle mattonelle, le quali hanno caratteri di riflessione e rifrazione diversi rispetto alla mattonella stessa.

V-ray inoltre permette di creare delle sorgenti pensate apposta per la simulazione realistica della luce naturale. Questo è possibile grazie alla **Sun Light**, luce che emula l'illuminamento solare, e la **Dome Light**, luce che emula l'illuminamento dato dalla volta celeste. Si tratta di strumenti parametrizzati da settare in base alle condizioni di luce che si vogliono ricreare. I parametri che si possono modificare nella sorgente ambientale vi sono: colore, intensità, illuminazione globale e "light map". Mentre per il sole si può cambiare il livello di: diffusione, torbidità dell'aria, intensità, dimensione, colore, ombreggiamento e fotoni emessi. Nella sorgente solare si può scegliere anche il modello di cielo da prendere in considerazione per la renderizzazione: Hosek et al, Preetham et al, CIE Sereno, CIE Coperto

Per l'analisi della luce naturale su 3DS Max bisogna fare affidamento sul "**Lighting Analysis Assistant**". Si tratta di un utile strumento che permette di eseguire analisi della luce che permette di valutare in maniera



efficace i livelli di luminosità una volta impostati materiali, luci e camera. Permette, attraverso la creazione di una griglia di punti, di calcolare: **illuminamento**, sia quello totale, data dalla somma di illuminamento diretto e indiretto, sia una sola delle due componenti; **fattore di luce diurna**, si basa sulle richieste del criterio 8.1 del protocollo LEED nella categoria Qualità Ambientale Interna, assumendo condizioni di cielo coperto secondo le indicazioni CIE.

E' possibile visualizzare i valori direttamente sull'area di lavoro del programma: le frecce che compaiono sui punti di rilevamento indicano la direzione da cui arriva la luce, che dipende da dove si trova la sorgente, il valore di illuminamento o di FLD e i falsi colori riguardanti l'area di studio. Il file di output finale viene generato in formato CSV (Comma-Separated Value). Si tratta di un documento testuale all'interno del quale si trova l'elenco dei dati raccolti sullo studio della luce. E' inoltre possibile esportare le immagini in falsi colori delle viste 3D su cui sono state eseguite le analisi.

3. Autodesk Revit + Insight

Rimanendo sempre all'interno della famiglia Autodesk, un altro programma molto utile che permette di effettuare delle analisi sull'illuminazione naturale è Revit. Si tratta di un programma che permette di unire il 2D con il 3D attraverso la **modellazione parametrica**. Si sviluppa attorno ad un database di informazioni che consentono di unire più aspetti che fanno parte del processo edilizi, è possibile infatti programmare, monitorare e aggiornare le fasi di progettazione, di realizzazione e in seguito anche di gestione.

Come per 3DS, anche in questo caso il motore di renderizzazione porta ad ottimi risultati grazie all'implementazione di Mental Ray, ma sostituendolo con V-Ray si hanno delle possibilità in più rispetto di modifica dei parametri illuminotecnici durante le fasi di rendering. Per quanto riguarda invece le analisi sulla luce diurna Revit fornisce la possibilità di effettuare studi sul **percorso solare** per osservare gli effetti che ha sugli edifici e sulle ombre. Per una visione più completa dello stato di illuminazione naturale dell'edificio bisogna invece ricorrere all'utilizzo di un plug-in che permette di eseguire vari studi sulle performance dell'edificio: **Insight**. Questo software consente di effettuare analisi sulla luce diurna e sul comportamento termoisolante dell'edificio garantendo un feedback diretto nel caso in cui vengano modificati degli aspetti del progetto per ottimizzare il risparmio energetico. I calcoli avvengono velocemente perché il programma fa affidamento su di un cloud ester-



Figura 66.
Logo Revit
fonte: revit.com

Figura 67.
Logo Insight
fonte:revit/insight.com



no al quale ci si può facilmente collegare tramite una connessione ad internet.

Il programma di modellazione lavora per componenti parametriche denominate "famiglie". Questi elementi sono modificabili tramite i parametri che li caratterizzano e che riducono i tempi di realizzazione del modello, poiché le modifiche che vengono effettuate in pianta avvengono automaticamente anche su tutte le altre viste e viceversa. Per quanto riguarda i materiali, il software consente di crearli e modificarli secondo determinati parametri caratterizzandoli e rendendoli il più possibile simili alla realtà.

Tra i dati di input bisogna anche inserire quelli relativi all'orientamento e posizione di progetto. Questo è possibile indicando una delle città principali inserite all'interno dell'elenco predefinito di Revit o inserendone le coordinate geografiche. Nel caso non fossero disponibili città limitrofe alla zona di progetto è possibile caricare file climatici EPW scaricabili da fonti esterne o utilizzare il servizio di localizzazione interno se si è connessi ad una rete internet. Dalla scheda di gestione è possibile gestire le impostazioni sul sole, scegliere la data e l'orario a cui eseguire le misurazioni, impostare se lo studio sulla luce deve essere riferito ad un preciso momento di un determinato giorno, se deve essere eseguito durante l'arco di una o più intere giornate e se si vuole effettuare lo studio su tutti o solo determinati piani dell'edificio.

Per quanto riguarda le impostazioni sul cielo e sulla tipologia di analisi, è possibile effettuare le scelte opportune all'interno della scheda della Lighting Analysis che si apre una volta avviato il plug-in di Insight. Alle analisi sulla luce naturale si possono aggiungere quelle sulla luce artificiale per avere una visione globale sull'illuminazione dell'edificio e per calcolare al meglio i suoi livelli di performance.

Insight, come già anticipato, consente di calcolare vari parametri illuminotecnici portando ad una valutazione accurata delle performance dell'edificio. Il modello viene creato all'interno di Revit, i parametri sono impostati sul plug-in e il calcolo avviene tramite NetApp Cloud. Si tratta di un cloud esterno al quale si può facilmente accedere con una connessione ad internet, permette di monitorare il progetto in base alle modifiche effettuate al modello su Revit. Il cloud raccoglie i dati

inviati, li analizza, risolve gli eventuali problemi e ottimizza costi e performance. E' possibile visualizzare uno storico delle modifiche eseguite per valutare i miglioramenti, per ogni parametro analizzato inoltre sono visualizzabili le possibili alternative che si presentano al progettista in caso di modifica. L'utilizzo del cloud permette di ridurre i tempi di calcolo e nell'attesa dei risultati è possibile utilizzare Revit per continuare a lavorare.

Le analisi effettuabili sono le seguenti:

- **Illuminance Analysis:** utilizzata per calcolare i livelli di illuminamento dell'edificio;
- **Daylight Autonomy** (sDA preview): è possibile calcolare la spatial Daylight Autonomy per verificare che questa sia pari a 300 lux per almeno il 50% delle ore giorno annuali;
- **LEED 2009 IEQc8 opt1:** consente di calcolare l'autonomia di luce diurna in footcandles secondo le richieste del credito LEED omonimo;
- **LEED v4EQc7 opt2:** consente di calcolare l'autonomia di luce diurna in lux secondo le richieste del credito LEED omonimo;
- **Solar Access:** permette di conoscere se un locale viene irradiato da una quantità di luce sufficiente durante le ore diurne.

Una volta eseguita l'analisi sul cloud è possibile caricarne i risultati all'interno del file Revit. Qui verranno create delle nuove viste: una in pianta per ogni piano analizzato in falsi colori con la legenda, una in prospettiva, anch'essa in falsi colori sui piani analizzati, e una vista con all'interno le tabelle riassuntive delle analisi. E' possibile inoltre creare delle viste 3D di illuminamento e luminanza in falsi colori che permettono di osservare il comportamento della luce all'interno dei locali durante le ore diurne.

All'interno del cloud è possibile visualizzare altri dati che riguardano le analisi svolte e che offrono dei suggerimenti al progettista su come migliorare il proprio progetto. Sono molti gli input dati da Insight, tra quelli che riguardano la luce troviamo i seguenti argomenti:

- **La storia del modello:** consente di osservare quanto è migliorato nel tempo l'edificio in base alle analisi svolte; ogni volta che viene effettuata una nuova analisi questa viene messa a confronto con le precedenti per osservare i miglioramenti o i peggioramenti;
- **Orientamento dell'edificio:** consente di visualizzare se con un orientamento diverso si può migliorare la performance energetica;
- **Window-Wall-Ratio:** indice riferito alla proporzione tra muro e aperture sul muro che influiscono sulla quantità di luce in ingresso e sul comportamento termico dell'edificio. Ne esiste uno per ogni



Figura 68.
Render tramite Revit
fonte: revit.it

- orientamento;
- **Ombreggiamento finestra:** consente di ridurre i fenomeni di abbagliamento, ma se impostato sulla facciata sbagliata riduce anche negativamente gli apporti di illuminazione necessaria. Ne esiste uno per ogni orientamento;
- **Vetro finestra:** indicatore della performance della componente trasparente. Ne esiste uno per ogni orientamento;
- **Efficienza luminosa:** rappresenta il consumo elettrico per metro quadro dato dagli apparecchi di illuminazione;
- **Controlli sul Daylight e sull'occupazione:** rappresentano gli elementi per l'ombreggiamento e i sensori che rivelano la presenza di utenti nei locali.



4. Rhino + Diva

Rhino è programma di modellazione free-form 3D che si basa sull'utilizzo delle **NURBS**, Non Uniform Rational Basis-Splines, ovvero un genere di curve capaci di rappresentare facilmente qualsiasi tipo di superficie senza alcun tipo di vincolo. Lavorando così bene con i modelli e le curve, viene spesso utilizzato non solo in ambito architettonico, ma soprattutto nel campo dell'animazione grafica, della modellazione industriale e di design.

Grazie alle sue features è diventato un programma molto diffuso, sono stati ideati anche molti plug-in che permettono implementare le sue funzionalità nel rendering, nell'animazione e in molti altri campi. Per quanto riguarda le analisi energetiche viene utilizzato **Diva**, un software realizzato dalla compagnia Solemma che permette di eseguire varie tipologie di calcolo dell'efficienza energetica degli edifici. Fra le varie analisi possibili vi sono anche quelle sulla luce diurna basati sul Climate Based Daylight Modelling consentendo di calcolare la maggior parte delle metriche di luce diurna esistenti, tra cui la Daylight Autonomy e la Useful Daylight Illuminance.

Per quanto riguarda i materiali all'interno di Rhino esiste un editor che permette di caricarli da librerie esterne e di modificarne i parametri principali. Fra le varie caratteristiche che possono essere modificate troviamo anche aspetti che influenzano le analisi illuminotecniche, ovvero il colore, la riflessione, la trasparenza, l'IOR, la finitura e la lucentezza. E' inoltre possibile aggiungere dei file immagine per le texture e modificare le caratteristiche di bump. Per le analisi illuminotecniche occorre specificare anche sul plug-in di Diva i materiali del modello. Per un'assegnazione corretta è necessario aver impostato bene per ogni elemento

il proprio layer, perché i materiali verranno assegnati proprio in base a questi ultimi.

Le sorgenti di luce naturale possono essere impostate tramite il comando "Sole" fra le azioni di scelta rapida. Il sole può essere impostato manualmente all'interno della scena o inserendo informazioni riguardo:

- La **posizione del sole:** bisogna inserire l'angolo di azimuth rispetto al Nord e altitudine rispetto all'equatore;
- La **data** e l'ora;
- La **posizione del progetto:** è necessario impostare la città più vicina ad esso tramite selezione su mappa o scegliendo fra quelle presenti nell'elenco base, in questo modo verranno specificati luogo, latitudine, longitudine e zona oraria;
- L'**orientamento:** occorre inserire l'orientamento del progetto, di default viene impostato con il nord verso l'alto.

Per inserire ulteriori informazioni riguardanti gli input per le analisi di luce diurna bisogna utilizzare il plug-in di Diva che permette di caricare il file climatico per le **simulazioni CBDM**, mentre per il Fattore di Luce Diurna viene utilizzata l'impostazione standard di cielo coperto secondo direttiva CIE. Il file climatico per essere caricato deve trovarsi all'interno della libreria apposita di Diva nel percorso file, una volta scelta la località verranno creati automaticamente dei layer appositi per le analisi sulla luce. Successivamente è necessario delineare la griglia di punti, i cosiddetti nodi, che verranno analizzati. Sempre dal plug-in bisogna anche specificare se le sorgenti di luce artificiale vanno incluse o escluse dai calcoli.

Le analisi che si basano sulla griglia di punti ci permettono di calcolare:

- **Fattore di luce diurna:** è possibile impostare i parametri sulla radianza, decidere se considerare gli ombreggiamenti dinamici o meno e gestire la densità geometrica delle superfici;
- **Illuminamento:** è possibile calcolare l'illuminamento classico (impostando le condizioni cielo a propria discrezione, la data e l'ora) o calcolare quello necessario a soddisfare le richieste del credito LEED 2009 – Addendum IEQ 8.1.
- **Daylight Autonomy:** è possibile impostare il numero di ore di occupazione, il target di illuminamento da raggiungere (solitamente impostato a 300 lux), le unità di misura (lux o footcandles), gestire le simulazioni sull'abbagliamento e anche in questo caso è possibile impostare i parametri sulla radianza e gestire la densità geometrica delle superfici;
- **Continuous Daylight Autonomy**, per la quale è possibile modificare le stesse impostazioni della DA;

Figura 69.
logo rhinoceros
fonte rhino.com

Figura 70.
logo Diva
fonte: diva.com



- **Daylight Availability**, per la quale è possibile modificare le stesse impostazioni della DA;
- **Useful Daylight Illuminance**, per la quale è possibile modificare le stesse impostazioni della DA;
- **Spatial Daylight Autonomy**, di cui si possono impostare i parametri sulla radianza, gestire la densità geometrica delle superfici e le simulazioni sull'abbagliamento;
- **LEED v4 sDA + ASE**, di cui si possono impostare i parametri sulla radianza, gestire la densità geometrica delle superfici e le simulazioni sull'abbagliamento andando a verificare le richieste dell'omonimo credito LEED;
- **NECHPS IEQ P2**: dove è possibile impostare gli stessi parametri del punto precedente per andare a verificare gli standard per le scuole stabiliti dal Collaborative for High Performance School;
- **MACHPS IEQ P2**: un'altra possibilità di verifica degli standard stabiliti dalla CHPS.
- **Mappa delle radiazioni**: In quest'ultima scheda è possibile gestire le impostazioni per i rendering in falsi colori per la rappresentazione della radianza. E' possibile utilizzare il Cumulative Sky Method o il Daysim – based Hourly Method, impostare l'ora di partenza, l'ora di fine e il range di ore tra un rendering e l'altro per arrivare ad ottenere uno studio che va ad analizzare ciò che accade durante l'arco di una giornata. Anche in questo caso è possibile impostare i parametri sulla radianza, decidere se considerare gli ombreggiamenti dinamici o meno e gestire la densità geometrica delle superfici.



Una volta finito il processo di calcolo è possibile scaricare i risultati in maniera immediata. Alcuni risultati possono essere visualizzati direttamente all'interno del modello e poi essere esportati come immagine, mentre altri si ritrovano all'interno delle apposite cartelle che sono state create a seguito dell'analisi. I file di rendering, una volta terminato il calcolo, potranno essere modificati secondo alcuni parametri e poi esportati in formato immagine.

Conclusioni

A seguito dell'analisi sul workflow dei vari programmi per il calcolo delle metriche di daylighting design, è stata costruita una tabella riassuntiva relativa alle loro caratteristiche. Qui vengono indicati con una codificazione grafica la capacità di lettura degli input esterni, la facilità

Figura 71.
Render Rhino
fonte: rhino.com

di lettura dell'interfaccia grafica, la qualità dei render realizzabili con il programma, la facilità nella modellazione 3D e l'interoperabilità con altri programmi. Vengono inoltre indicati in maniera semidiscorsiva quali sono i possibili output, tenendo conto sia delle metriche calcolate che dei file immagine ottenibili, l'accessibilità, nel caso si tratti o meno di un software gratuito, la necessità di una connessione ad internet per il calcolo e la simulazione del daylighting design e infine la possibilità di lavorare anche con la luce artificiale.

Come è possibile osservare il Daylight Visualizer di Velux risulta essere quello meno adatto al calcolo completo riguardante la luce naturale. Può essere però utilizzato molto facilmente per le preliminari di progetto, perchè grazie alla sua semplicità e velocità di calcolo, fornisce comunque dei risultati molto validi ed attendibili.

Per quanto riguarda 3DS Max e Revit, questi due software si trovano più o meno allo stesso livello. Il primo si distingue per l'elevatissima qualità grafica dei render, i quali sfiorano la realtà grazie alla forte compatibilità del programma con il plug-in V-ray. Il secondo invece consente di monitorare facilmente i progressi fra una fase e l'altra della progettazione, consigliando al progettista quali tecniche adottare per aumentare le prestazioni dell'edificio. Entrambi però non risultano abbastanza soddisfacenti nel calcolo delle nuove metriche di luce diurna, poichè consentono al progettista di calcolarne solamente una parte.

Il programma che è stato scelto per la simulazione della luce diurna all'interno di questa tesi è quindi Rhino accompagnato dal plug-in Diva. Insieme questi due software consentono di calcolare in maniera efficace e precisa tutte le metriche relative al Climate-Based Daylight Modeling e simulare con una qualità grafica molto buona le condizioni di luce interna senza aver bisogno di potenti cloud esterni e con delle tempistiche relativamente ridotte.

Figura 72.
tabella di confronto
software

Programma	Letture input	Interfaccia grafica	Output	Qualità render	Modellazione 3D	Accessibilità	Connessione internet	Luce artificiale	Interoperabilità
VELUX Daylight Visualizer	●	●●●●●	FmLD, luminanza, illuminamento, false color, ISO	●●●	●●	gratuito	non necessaria	no	●
3DS MAX + V-ray	●●●●	●●●	FmLD, illuminamento, false color	●●●●●	●●●●	a pagamento	non necessaria	si	●●●
Revit + Insight	●●●	●●●	illuminamento, DA, sDA, Solar Access, LEED, False color, gestione e controllo, schermatura	●●●●	●●●	a pagamento	necessaria	si	●●●●●
Rhino + Diva	●●●●	●●●	FmLD, illuminamento, DA, cDA, sDA, UDI, LEED, NECHPS, MACHPS	●●●●	●●●●●	a pagamento	non necessaria	si	●●●●

5.

5.2

Daylight analysis

Il primo step per la presentazione di una proposta progettuale per la Solar Decathlon è stato quello di analizzare il prototipo portato dal team italiano, SEED Italy. Per effettuare le analisi si è ricreato il modello 3D a partire dal **software Sketchup**, il quale permette di realizzare in maniera semplice anche complessi elementi con tempistiche ridotte. Una volta riportato il prototipo nell'ambiente virtuale è stato possibile effettuare l'analisi importandolo su Rhino.

Il prototipo è composto da un primo spazio open space in cui è possibile trovare la zona giorno, con salotto, sala pranzo e cucina. Sono presenti inoltre un bagno e una camera da letto, collegati all'ambiente principale tramite un disimpegno che funziona da antibagno. In figura è possibile osservare anche la serra bioclimatica annessa alla casa, esente dai calcoli illuminotecnici.

Grazie al **plug-in Diva**, sono state impostate le caratteristiche dei materiali in base alle scelte progettuali effettuate dagli studenti del Politecnico di Milano. Per procedere con l'analisi è stato necessario creare dei piani di riferimento per il calcolo illuminotecnico. Le **superfici di calcolo** si trovano a 76 cm dal pavimento, ovvero a livello del piano di lavoro convenzionale, come richiesto nelle verifiche per i protocolli e le certificazioni energetiche trattate in precedenza. È stato inoltre eseguito un offset di 60 cm dai muri principali per considerare l'ingombro dei mobili che non sono stati importati su Rhino per alleggerirne i processi di calcolo.

Diva per procedere alle daylight simulations ha bisogno di creare una griglia di punti su cui lavorare. La griglia è stata posizionata a livello delle superfici di calcolo e i suoi nodi sono stati disposti ad una distanza di 20 cm l'uno dall'altro al fine di ottenere un risultato dettagliato.

Ogni ambiente è stato analizzato in un **calcolo specifico** escludendo gli altri piani di lavoro, al fine di poter analizzare stanza per stanza e confrontarla singolarmente con le richieste della competizione e dei protocolli. In questo modo è stato possibile osservare nel dettaglio le zone critiche di progetto su cui intervenire e, successivamente, paragonarli in maniera diretta con i risultati provenienti dalle analisi della nuova proposta progettuale. I piani sono osservabili nella planimetria qui di seguito e sono stati indicati tramite un opacizzazione dell'area da analizzare.

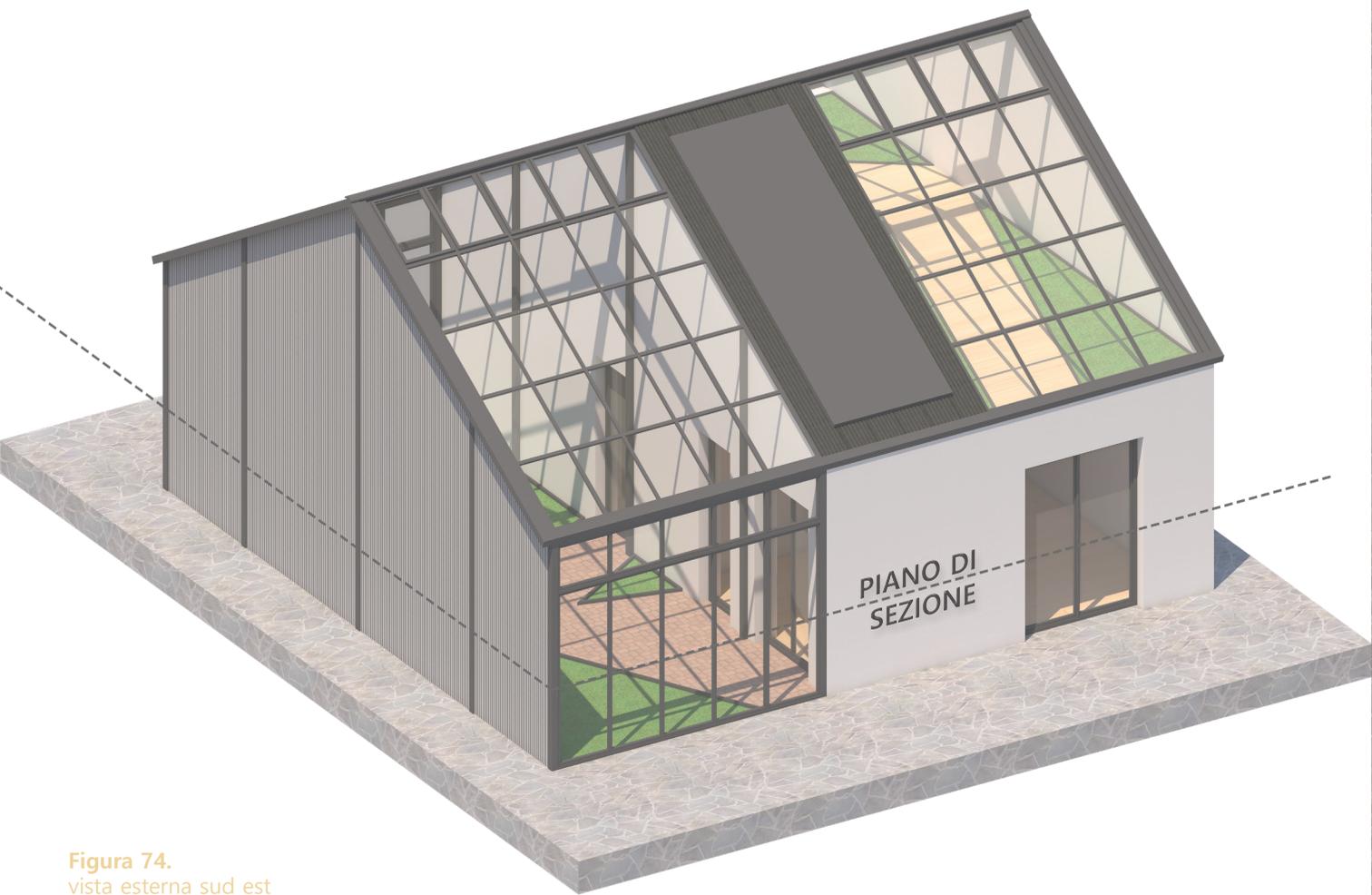
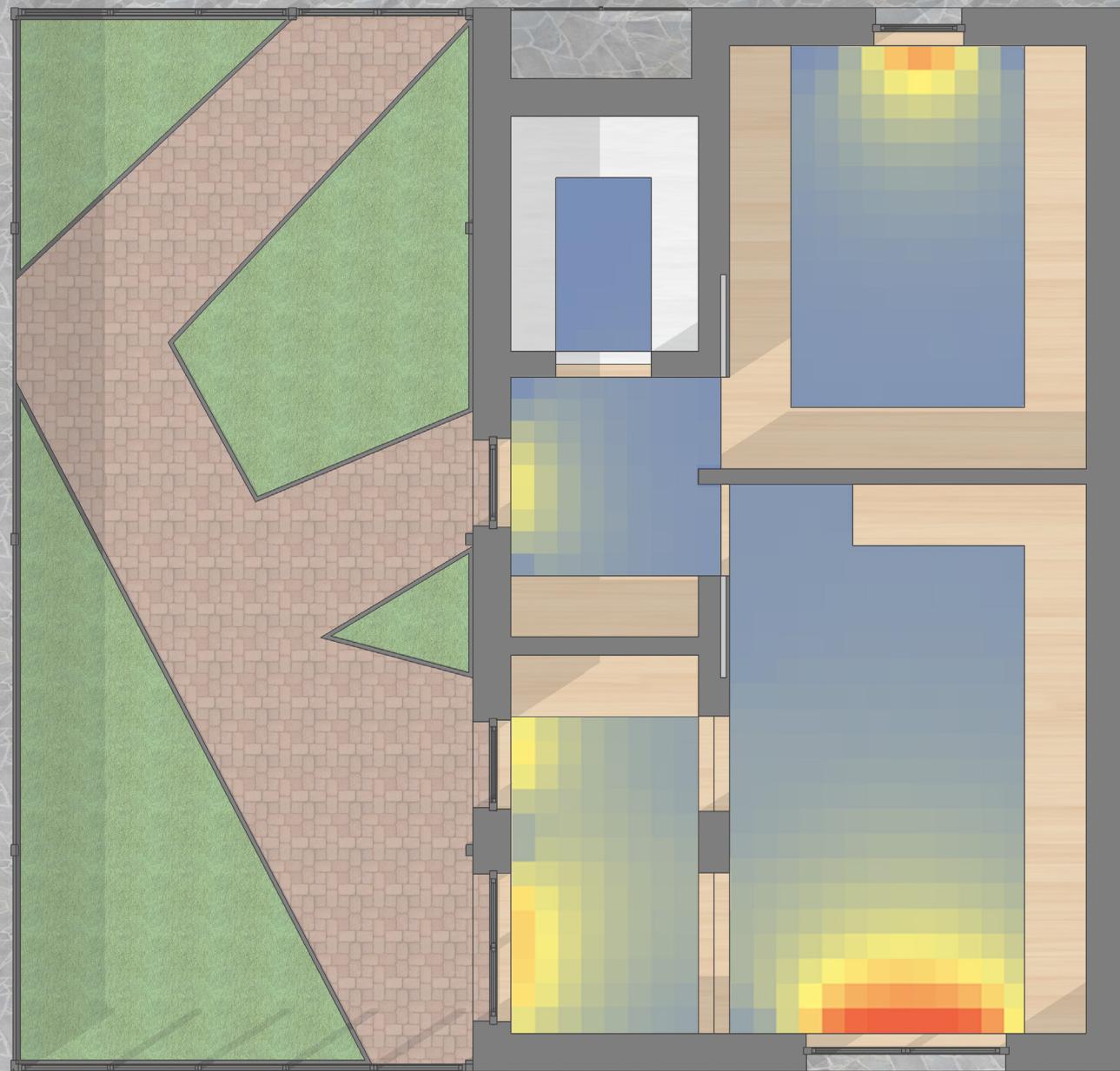


Figura 74.
vista esterna sud est





Daylight Factor

Daylight Factor

Bagno

0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
0.1	0.2	0.3	0.3	0.3
0.2	0.3	0.4	0.4	0.4

Disimpegno

0.5	1.1	1.2	1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5
1.4	1.8	1.5	1.2	1	0.8	0.6	0.5	0.5
3.1	2.4	1.8	1.3	1	0.8	0.6	0.5	0.5
4.5	3	2.1	1.5	1.1	0.8	0.7	0.6	0.5
5.6	3.5	2.4	1.6	1.2	0.9	0.7	0.7	0
5.5	3.5	2.4	1.7	1.2	0.9	0.7	0.7	0.6
4.6	3.2	2.3	1.7	1.3	1	0.8	0.7	0.6
2.8	2.5	2	1.5	1.2	1	0.8	0.7	0.6
1	1.8	1.6	1.4	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6

Camera

0.4	0.7	2.4	5.3	8.6	9.8	8.7	5.5	2.5	0.7
0.8	1.5	2.8	4.3	5.8	6.6	5.9	4.4	2.8	1.6
1.1	1.7	2.5	3.3	4.1	4.5	4.2	3.4	2.5	1.8
1.2	1.6	2.1	2.6	3	3.1	3	2.6	2.1	1.6
1.1	1.4	1.7	2	2.2	2.3	2.3	2	1.7	1.4
1	1.2	1.4	1.6	1.7	1.8	1.7	1.6	1.4	1.2
0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1
0.8	0.9	1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1	1
0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1	0.9	0.9
0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6
0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Cucina

6.1	4.6	3.5	2.7	2.2	1.8	1.7	1.6
6.8	4.8	3.6	2.8	2.3	1.9	1.7	1.6
5.8	4.3	3.3	2.7	2.3	2	1.8	1.6
3.7	3.4	3	2.7	2.4	2.2	1.8	1.7
2.4	3	3.1	2.8	2.6	2.4	2.1	1.9
2.4	3.6	3.4	3.2	2.8	2.6	2.4	2.1
4.9	4.5	4.1	3.6	3.1	2.7	2.4	2.3
7.2	5.5	4.5	3.7	3.2	2.7	2.5	2.4
7.9	6	4.8	3.8	3.2	2.8	2.4	2.3
7.8	6.2	4.8	3.7	3.1	2.7	2.4	2.2
7.8	5.9	4.5	3.5	2.9	2.5	2.2	2
7.2	5.6	4.2	3.3	2.7	2.3	2	1.8
5.5	4.4	3.6	2.9	2.4	2	1.8	1.6

Daylight Autonomy

Bagno

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Disimpegno

0	6	9	8	7	5	0	0	0
11	31	28	20	14	4	0	0	0
49	42	34	25	16	9	0	0	0
57	49	39	29	18	11	1	0	0
59	53	43	31	21	12	3	0	0
59	52	44	33	21	13	6	1	0
56	50	42	33	23	13	2	1	0
45	43	36	28	19	11	6	0	0
0	23	22	19	9	5	2	0	0

Camera

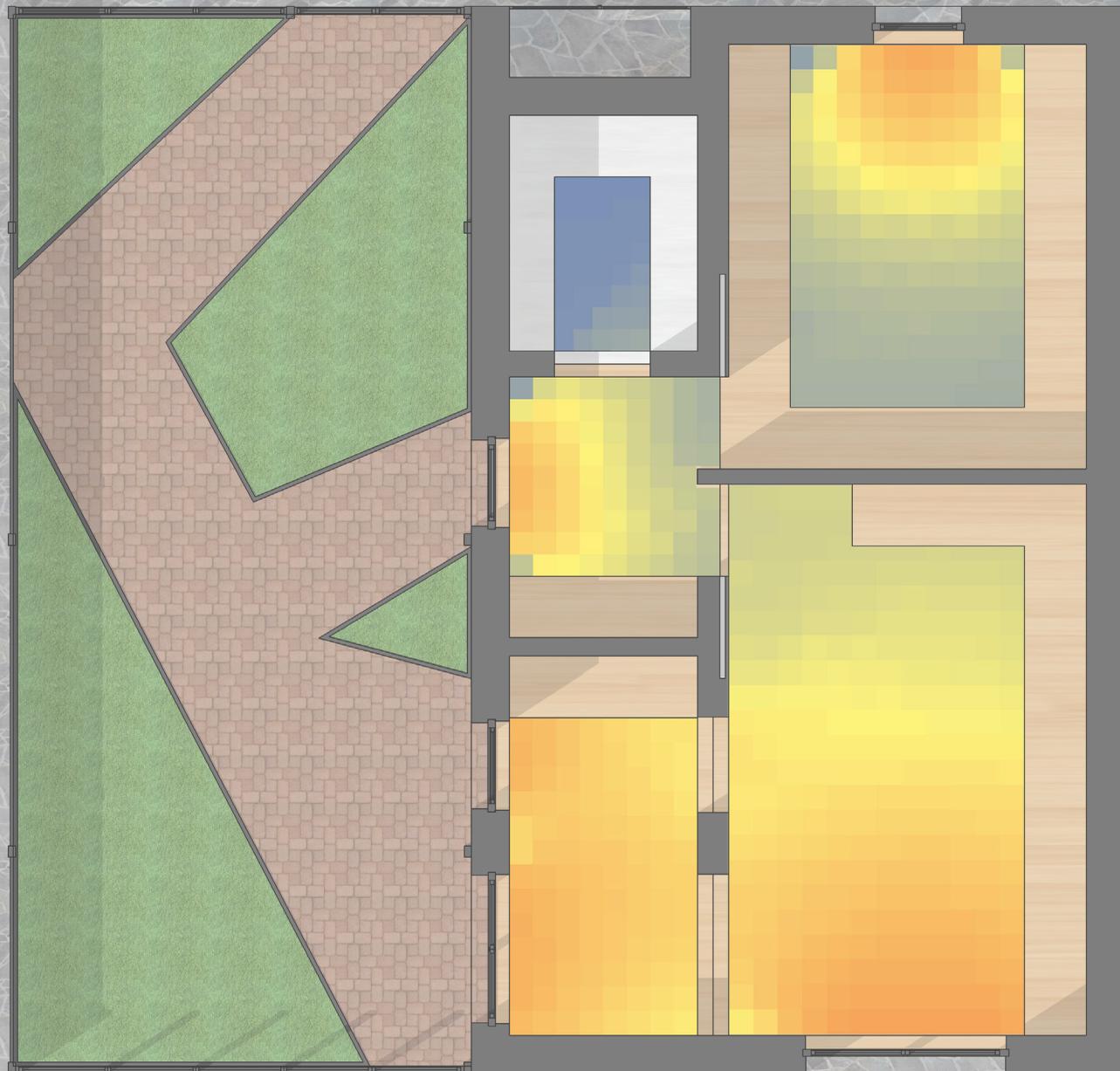
0	0	40	59	66	68	66	60	43	0
3	20	45	56	61	63	61	56	47	20
10	24	41	51	55	57	56	52	44	26
9	19	33	43	48	50	49	45	38	20
6	11	21	33	37	40	39	35	23	10
1	5	9	16	21	22	22	16	8	4
0	0	2	4	5	6	5	3	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cucina

62	58	55	51	46	41	38	38
63	58	55	51	48	41	38	35
60	57	54	50	48	46	39	35
55	53	52	50	50	46	44	37
46	52	53	53	51	50	47	41
46	55	56	54	54	51	51	48
59	59	58	56	54	53	51	50
64	61	59	57	55	52	52	50
64	62	59	57	55	53	51	50
64	62	59	56	53	51	50	49
64	61	58	55	52	49	48	46
64	60	56	53	50	47	43	41
59	57	54	50	46	43	39	35

Zona giorno

4	4	4	3	3								
3	3	3	3	3								
3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	2	2	1
5	5	4	4	5	4	4	5	4	4	3	3	2
5	4	5	5	6	7	7	9	7	7	6	5	3
6	5	5	7	8	9	12	11	11	10	12	11	9
9	9	11	15	14	15	14	14	15	15	14	12	11
14	15	18	19	20	17	19	17	17	15	15	14	14
24	24	26	28	27	26	26	22	22	20	20	17	16
34	31	30	30	27	27	26	26	25	25	24	23	22
38	34	32	29	29	30	28	29	28	28	27	27	25
39	37	36	34	35	35	36	36	36	36	35	33	32
36	37	38	39	40	40	42	41	42	41	41	40	38
39	40	41	42	43	44	45	45	46	45	44	44	42
42	42	44	46	47	49	49	50	50	49	49	47	46
47	49	50	51	52	53	54	55	54	53	52	51	49
51	51	52	54	55	57	58	58	58	57	56	55	54
51	52	55	57	58	59	60	60	60	59	59	58	56
52	53	57	59	60	61	62	63	62	62	61	60	58
51	55	58	61	63	64	65	66	66	65	64	63	60
48	55	60	63	66	68	69	69	69	68	68	66	63
37	45	59	66	69	70	71	71	71	71	70	69	64



Continous Daylight Autonomy

Continous Daylight Autonomy

Bagno

2	2	2	2	2
2	2	2	3	3
3	3	3	3	3
3	3	3	3	4
3	3	3	4	7
3	4	4	8	9
4	4	10	11	11
4	10	13	14	15

Disimpegno

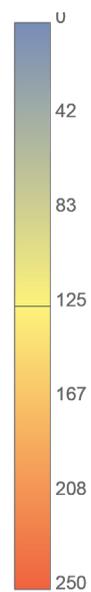
0	6	9	8	7	5	0	0	0
11	31	28	20	14	4	0	0	0
49	42	34	25	16	9	0	0	0
57	49	39	29	18	11	1	0	0
59	53	43	31	21	12	3	0	0
59	52	44	33	21	13	6	1	0
56	50	42	33	23	13	2	1	0
45	43	36	28	19	11	6	0	0
0	23	22	19	9	5	2	0	0

Camera

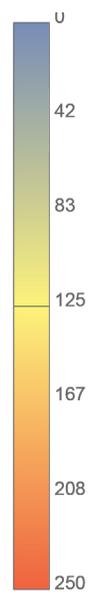
11	27	59	69	74	75	74	70	60	27
31	49	61	67	71	72	71	68	62	50
41	52	59	64	67	68	67	65	60	54
42	49	56	60	63	64	63	61	57	51
39	45	51	56	58	59	58	57	53	47
36	41	45	50	52	53	53	51	47	43
32	34	40	43	45	46	45	44	40	36
27	31	32	36	35	37	35	37	34	32
26	27	29	30	31	31	32	31	30	29
23	24	25	27	26	28	27	28	26	26
21	22	23	23	24	24	24	24	24	23
18	20	21	22	22	23	22	22	21	21
19	20	21	20	21	20	20	20	20	19
19	19	19	19	19	19	19	19	18	18
18	18	18	18	18	18	18	17	17	17

Cucina

62	58	55	51	46	41	38	38
63	58	55	51	48	41	38	35
60	57	54	50	48	46	39	35
55	53	52	50	50	46	44	37
46	52	53	53	51	50	47	41
46	55	56	54	54	51	51	48
59	59	58	56	54	53	51	50
64	61	59	57	55	52	52	50
64	62	59	57	55	53	51	50
64	62	59	56	53	51	50	49
64	61	58	55	52	49	48	46
64	60	56	53	50	47	43	41
59	57	54	50	46	43	39	35



4	4	4	3	3											
3	3	3	3	3	Zona giorno										
3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	2	2	1			
5	5	4	4	5	4	4	5	4	4	3	3	2			
5	4	5	5	6	7	7	9	7	7	6	5	3			
6	5	5	7	8	9	12	11	11	10	12	11	9			
9	9	11	15	14	15	14	14	15	15	14	12	11			
14	15	18	19	20	17	19	17	17	15	15	14	14			
24	24	26	26	27	26	26	22	22	20	20	17	16			
34	31	30	30	27	27	26	26	25	25	24	23	22			
38	34	32	29	29	30	28	29	28	28	27	27	25			
39	37	36	34	35	35	36	36	36	36	35	33	32			
36	37	38	39	40	40	42	41	42	41	41	40	38			
39	40	41	42	43	44	45	45	46	45	44	44	42			
42	42	44	46	47	49	49	50	50	49	49	47	46			
47	49	50	51	52	53	54	55	54	53	52	51	49			
51	51	52	54	55	57	58	58	58	57	56	55	54			
51	52	55	57	58	59	60	60	60	59	59	58	56			
52	53	57	59	60	61	62	63	62	62	61	60	58			
51	55	58	61	63	64	65	66	66	65	64	63	60			
48	55	60	63	66	68	68	69	69	68	68	66	63			
37	45	59	66	69	70	71	71	71	71	70	69	64			



UDI < 100 lux

UDI < 100 lux

Bagno

100	100	100	100	100
100	100	100	100	100
100	100	100	100	100
100	100	100	100	100
100	100	100	100	100
100	100	100	100	100
100	100	100	100	99
100	100	94	93	90

Disimpegno

97	48	45	49	54	60	64	72	76
43	40	42	45	50	58	64	73	78
34	36	40	44	50	57	65	74	77
30	34	38	44	49	57	63	73	75
29	32	37	43	48	54	62	65	100
29	33	37	42	47	53	56	62	62
30	33	37	42	45	51	56	57	64
35	36	39	43	46	51	54	61	64
56	41	43	45	49	52	57	61	64

Camera

100	62	36	28	24	23	24	28	36	60
56	42	35	30	27	26	27	29	34	42
47	41	36	32	30	29	30	32	35	40
45	41	38	35	33	32	33	35	38	41
47	43	41	38	37	36	36	38	40	43
50	45	43	41	40	40	40	41	42	44
53	51	46	44	43	43	43	43	45	48
57	53	52	49	49	47	49	47	49	51
59	58	54	54	53	53	51	53	53	54
63	60	60	57	58	55	56	56	57	58
67	66	64	63	60	61	60	61	61	62
76	70	69	66	66	64	65	65	67	67
75	74	70	71	69	70	70	71	71	72
76	75	75	75	73	74	74	75	76	75
78	77	77	77	78	78	78	80	79	81

Cucina

27	30	33	35	38	40	41	41
27	30	33	35	37	40	41	42
28	31	34	35	38	39	41	42
32	34	35	36	37	39	39	41
38	34	34	34	36	37	39	40
37	33	33	34	34	36	37	39
29	30	31	32	34	35	37	37
28	28	30	32	33	35	36	38
25	27	30	32	34	35	37	38
25	27	30	32	34	36	37	39
25	28	31	33	35	37	39	40
28	29	31	34	36	38	40	41
29	31	33	35	38	40	41	42

Zona giorno

57	55	55	55	54								
57	55	55	55	55								
57	55	55	55	55	54	54	53	53	53	52	53	53
53	55	55	54	53	53	52	52	51	51	51	52	52
54	54	54	52	51	51	50	50	50	50	50	50	51
52	52	52	50	50	49	49	49	49	49	49	49	50
50	50	49	47	47	47	47	46	47	47	46	46	46
48	48	48	45	45	45	45	46	46	46	46	47	47
44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	45	45
42	42	42	42	43	43	43	43	43	43	43	43	44
41	42	42	42	42	42	42	42	41	42	41	42	42
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
41	41	41	40	39	39	39	39	39	39	39	40	40
40	40	39	39	38	38	37	37	37	37	38	38	39
39	39	38	37	36	36	36	35	35	35	36	36	37
38	37	36	35	34	33	33	33	33	33	34	35	35
38	38	36	33	32	31	31	31	31	31	32	33	33
38	35	33	31	30	29	29	29	29	29	30	31	32
35	34	31	30	28	28	27	27	27	27	28	29	30
36	32	30	28	26	25	25	25	25	25	25	27	29
38	32	29	26	24	23	23	23	23	23	23	25	27
42	38	30	25	22	21	21	21	21	21	21	23	26



UDI 100 - 300 lux

UDI 100 - 300 lux

Bagno

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	1
0	0	6	7	9

Disimpegno

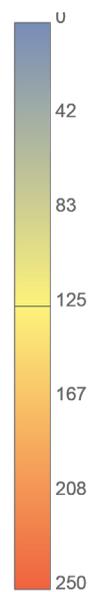
3	46	46	43	39	35	36	28	24
46	29	30	35	36	38	36	27	22
17	22	26	31	34	34	35	26	23
13	17	23	27	33	32	36	27	25
12	15	20	26	31	34	35	35	0
12	15	19	25	32	34	38	37	38
14	17	21	25	32	36	42	42	36
20	21	25	29	35	38	40	39	36
44	36	35	36	42	43	41	39	36

Camera

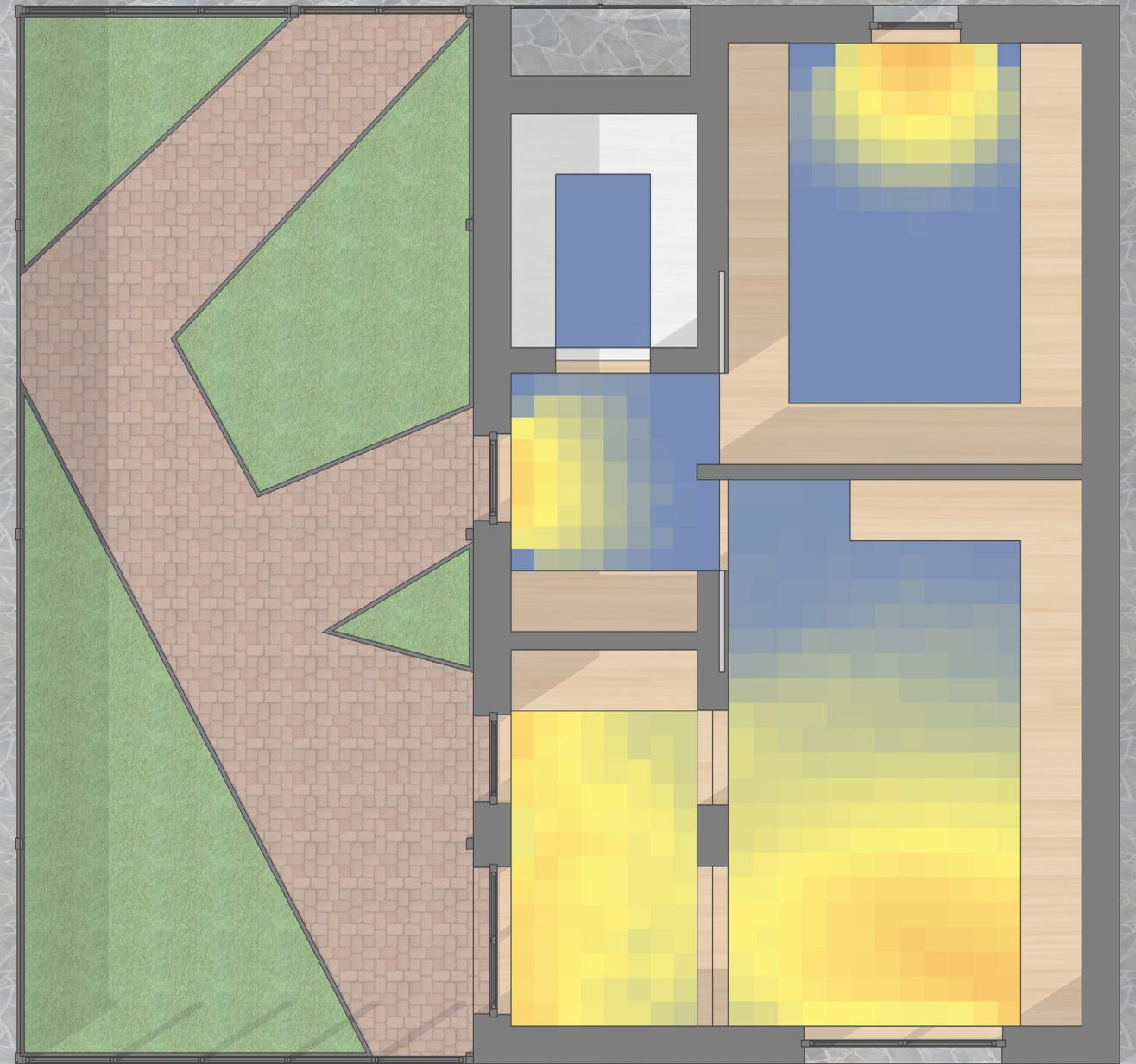
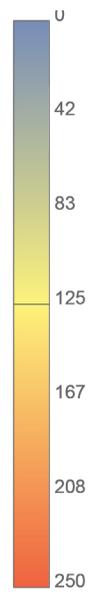
0	38	24	13	10	9	10	12	21	40
41	38	20	14	12	11	12	15	19	38
43	35	23	17	15	14	14	16	21	34
46	40	29	22	19	18	18	20	24	39
47	46	38	29	26	24	25	27	37	47
49	50	48	43	39	38	38	43	50	52
47	49	52	52	52	51	52	54	54	52
43	47	48	51	51	52	51	53	51	49
41	42	46	46	47	47	49	47	47	46
37	40	40	43	42	45	44	44	43	42
33	34	36	37	40	39	40	39	39	38
24	30	31	34	34	36	35	35	33	33
25	26	30	29	31	30	30	29	29	28
24	25	25	25	27	26	26	25	24	25
22	23	23	23	22	22	22	20	21	19

Cucina

11	12	12	14	16	19	21	21
10	12	12	14	15	19	21	23
12	12	12	15	14	15	20	23
13	13	13	14	13	15	17	22
16	14	13	13	13	13	14	19
17	12	11	12	12	13	12	13
12	11	11	12	12	12	12	13
10	11	11	11	12	13	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12
11	11	11	12	13	13	13	12
11	11	11	12	13	14	13	14
10	11	13	13	14	15	17	18
12	12	13	15	16	17	20	23



39	41	41	42	43										
40	41	41	42	42	Zona giorno									
40	41	41	42	41	43	42	44	44	44	45	45	46		
42	40	41	42	42	43	44	43	45	45	46	45	46		
41	42	41	43	43	42	43	41	43	43	44	45	46		
42	43	43	43	42	42	38	41	41	41	38	40	41		
41	41	40	38	38	38	38	38	38	38	35	40	40		
38	37	38	38	38	37	38	37	37	39	39	39	39		
32	32	30	30	29	30	30	34	34	38	35	38	39		
24	27	28	28	30	30	31	31	32	32	33	34	34		
21	24	28	29	28	28	30	30	30	31	31	31	33		
20	22	23	25	24	24	23	23	23	23	24	26	27		
23	22	21	21	21	21	19	20	19	20	20	20	22		
21	20	20	19	18	18	18	18	17	18	18	18	19		
19	19	18	17	17	18	16	16	16	18	15	17	17		
15	14	14	14	14	14	13	12	13	14	14	14	16		
13	13	13	13	13	12	11	11	11	12	12	12	13		
13	13	12	12	12	12	11	11	11	12	11	11	12		
13	13	12	11	12	11	11	10	11	11	11	11	12		
13	13	12	11	11	11	10	9	9	10	11	10	11		
14	13	11	11	10	9	9	8	8	9	9	9	10		
21	17	11	9	9	9	8	8	8	8	8	8	10		



UDI 300 - 3000 lux

Bagno

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Disimpegno

0	6	9	8	7	5	0	0	0
11	31	28	20	14	4	0	0	0
49	42	34	25	16	9	0	0	0
57	49	39	29	15	8	1	0	0
59	53	43	31	21	9	3	0	0
59	52	44	33	21	13	6	1	0
56	50	42	33	23	13	2	1	0
45	43	36	28	19	11	6	0	0
0	23	22	19	9	5	2	0	0

Camera

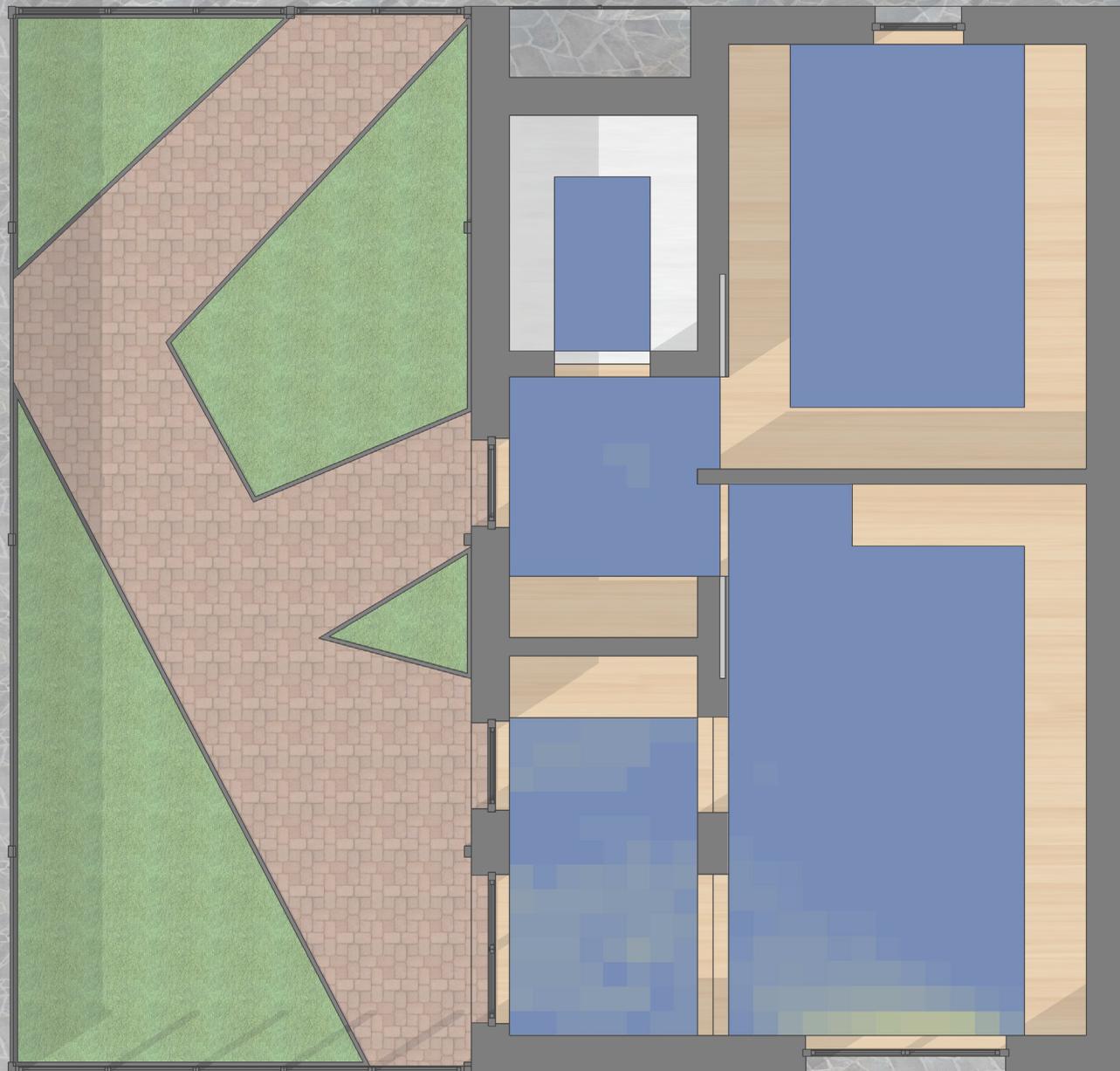
0	0	40	59	66	68	66	60	43	0
3	20	45	56	61	63	61	56	47	20
10	24	41	51	55	57	56	52	44	26
9	19	33	43	48	50	49	45	36	20
6	11	21	33	37	40	39	35	23	10
1	5	9	16	21	22	22	16	8	4
0	0	2	4	5	6	5	3	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cucina

58	54	51	48	41	36	35	35
59	52	49	46	43	36	36	35
54	53	50	46	44	46	39	35
55	53	52	50	50	46	44	37
48	52	53	51	49	46	47	41
48	55	56	54	52	46	49	44
53	57	53	50	49	46	46	44
58	54	52	50	49	46	46	47
58	58	53	53	51	47	44	44
57	55	52	53	47	41	43	45
58	55	52	50	52	45	47	42
57	55	51	46	43	40	43	38
59	57	51	47	43	43	36	32

Zona giorno

4	4	4	3	3								
3	3	3	3	3								
3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	2	2	1
5	5	4	4	5	4	4	5	4	4	3	3	2
5	4	5	5	6	7	7	8	7	7	6	5	3
8	5	5	7	8	9	12	11	11	10	12	11	9
9	9	11	15	14	15	14	14	15	15	14	12	11
14	15	18	19	20	17	18	17	17	15	15	14	14
24	24	26	26	27	26	26	22	22	20	20	17	16
34	31	30	30	27	27	26	26	25	25	24	23	22
38	34	32	29	29	30	28	29	26	26	27	27	26
39	38	38	34	35	35	36	35	35	36	35	33	32
38	37	38	38	40	40	42	41	42	41	41	40	38
39	40	41	42	43	44	45	45	46	45	44	44	42
40	42	44	46	47	49	49	50	50	49	49	47	46
44	47	49	51	52	53	54	55	54	53	52	51	49
48	48	50	54	55	57	58	58	58	57	56	55	54
51	50	52	54	57	58	60	60	60	59	59	58	56
50	48	52	54	57	57	61	63	62	62	61	60	58
47	50	52	56	57	58	60	62	64	65	64	63	60
45	47	51	54	56	57	59	61	62	65	65	62	62
38	39	47	50	51	50	49	46	45	46	46	42	43



UDI > 3000 lux

UDI > 3000 lux

Bagno

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Disimpegno

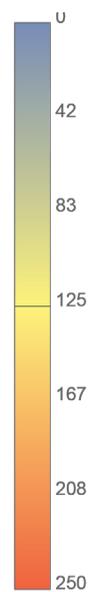
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	3	3	0	0	0
0	0	0	0	0	3	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Camera

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cucina

4	4	4	5	5	5	3	3
4	6	6	5	5	5	0	0
6	4	4	4	4	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	2	2	2	0	0
0	0	0	0	2	5	2	4
6	2	5	6	5	7	5	6
8	7	7	7	6	6	6	3
6	6	6	4	4	6	7	6
7	7	7	3	6	10	7	4
6	6	6	5	0	4	1	4
7	5	5	7	7	7	0	3
0	0	3	3	3	0	3	3



2. Riassunto dei risultati ottenuti

Il prototipo è stato dunque analizzato tramite il software Rhino con il plug-in Diva secondo le suddette metriche. Da come si è potuto già notare per via grafica, il prototipo progettato per il Solar Decathlon 2019 risulta essere **insufficientemente illuminato**.

Al fine di controllare nel dettaglio quali fossero i punti critici dell'edificio, sono state analizzate tutte le griglie di punti paragonandole innanzitutto alla normativa e ai requisiti di concorso, in seguito anche ai protocolli e alle certificazioni energetiche per verificarne i crediti ottenibili.

Da come si può notare dalla tabella qui riportata, quasi l'intero edificio, tralasciando momentaneamente le certificazioni, risulta insoddisfatto sia dal punto di vista normativo che competitivo. I **punti critici** sono molteplici, primo fra tutti il bagno, caratterizzato dall'assenza totale di aperture verso l'esterno di alcun tipo. Altri punti di possibile intervento sono anche il salotto e la camera da letto, i quali rappresentano gli ambienti più profondi e difficili da illuminare data l'impossibilità di aprire la componente opaca verso est, causa la presenza del prototipo gemello confinante su quel lato (scelta progettuale del team). Anche il disimpegno ha bisogno di un respiro maggiore, mentre invece risulta già abbastanza positiva la cucina, la quale riesce ad attingere luce dal lato della serra.

LOCALE	DF				DA				cDA				ASE1000, 250	sDA300
	2% Decreto Ministeriale 1975	2.5% ITACA, SDE	4% Allegato Energetico Torino, SDE	5% BREEAM	55% LEED, WELL	75% LEED, WELL	55% LEED, WELL	75% LEED, WELL	UDI < 100 lux	UDI 100-300 lux	UDI 300-3000 lux	UDI 3000 lux		
Bagno	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	99.40%	0.57%	0.03%	0%	0%	0.27%
Disimpegno	19.75%	13.58%	4.94%	2.47%	4.93%	0%	20.98%	0%	51.86%	30.10%	17.93%	0.11%	0.05%	26.35%
Camera da letto	22.0%	14.70%	8.70%	5.30%	8.00%	0%	22.00%	0%	52.97%	33.63%	13.40%	0%	0%	21.07%
Cucina	82.69%	61.54%	25.00%	13.46%	29.80%	0%	93.00%	0%	34.60%	13.69%	48.04%	3.95%	65.79%	75.20%
Zona giorno	40.00%	31.85%	18.52%	12.96%	22.22%	0%	46.30%	2.59%	40.23%	25.56%	32.83%	1.38%	0.30%	34.33%
	32.89%	24.33%	11.43%	7.93%	12.99%	0.00%	36.46%	0.00%	55.81%	20.71%	22.45%	1.09%	13.23%	31.44%
									76.52%		23.53%			

Figura 75. tabella dei risultati di simulazione

In tabella troviamo evidenziati in rosso i valori critici riguardanti i requisiti normativi e di concorso, mentre in azzurro le caratteristiche positive. Sono stati evidenziati quindi il FmLD e la UDI, la quale molto spesso risulta essere sotto ai **300 lux minimi** necessari a fornire un'illuminazione confortevole senza dover ricorrere all'utilizzo della luce artificiale. E' possibile vedere anche quali sono le zone a rischio di **abbagliamento**, i risultati sono evidenziati in rosa.

5.3 La proposta di daylighting design

Dalle critiche mosse in ambito di daylighting design sul prototipo, e dopo quanto affrontato nella prima parte più teorica di questa tesi, sono nate delle suggestioni evolute successivamente in una **proposta progettuale** per la Solar Deathlon 2019 da sottoporre ai partecipanti attivi del Politecnico di Milano.

Il modello è stato mantenuto molto simile a quello di partenza soprattutto per rispettare sia i **vincoli del concorso** sia l'**idea iniziale del team di progetto**. Non ci sono stati notevoli stravolgimenti, ma il cambiamento è sostanziale e riconoscibile, sia dal punto di vista della luce sia dal punto di vista architettonico compositivo.

Il primo punto d'intervento è stato l'ambiente principale dell'edificio, ovvero la **zona giorno**. Qui si è deciso di aumentare la percentuale di componente trasparente sul lato sud per ovviare, almeno in parte alla carenze date dall'impossibilità di aprire sul lato est di questo spazio. Questo è stato possibile grazie all'aggiunta di una nuova apertura nella zona cucina e l'ingrandimento di quella già esistente nel salotto, ma soprattutto con la progettazione di una **scala a chiocciola** che potesse creare un collegamento diretto, prima inesistente, con il sottotetto.

Con questa soluzione si può innanzitutto sfruttare la grande quantità di **luce zenitale** proveniente dalla serra, facendola penetrare attraverso il corposcala, e, in secondo luogo, fornire all'utente un maggiore con-

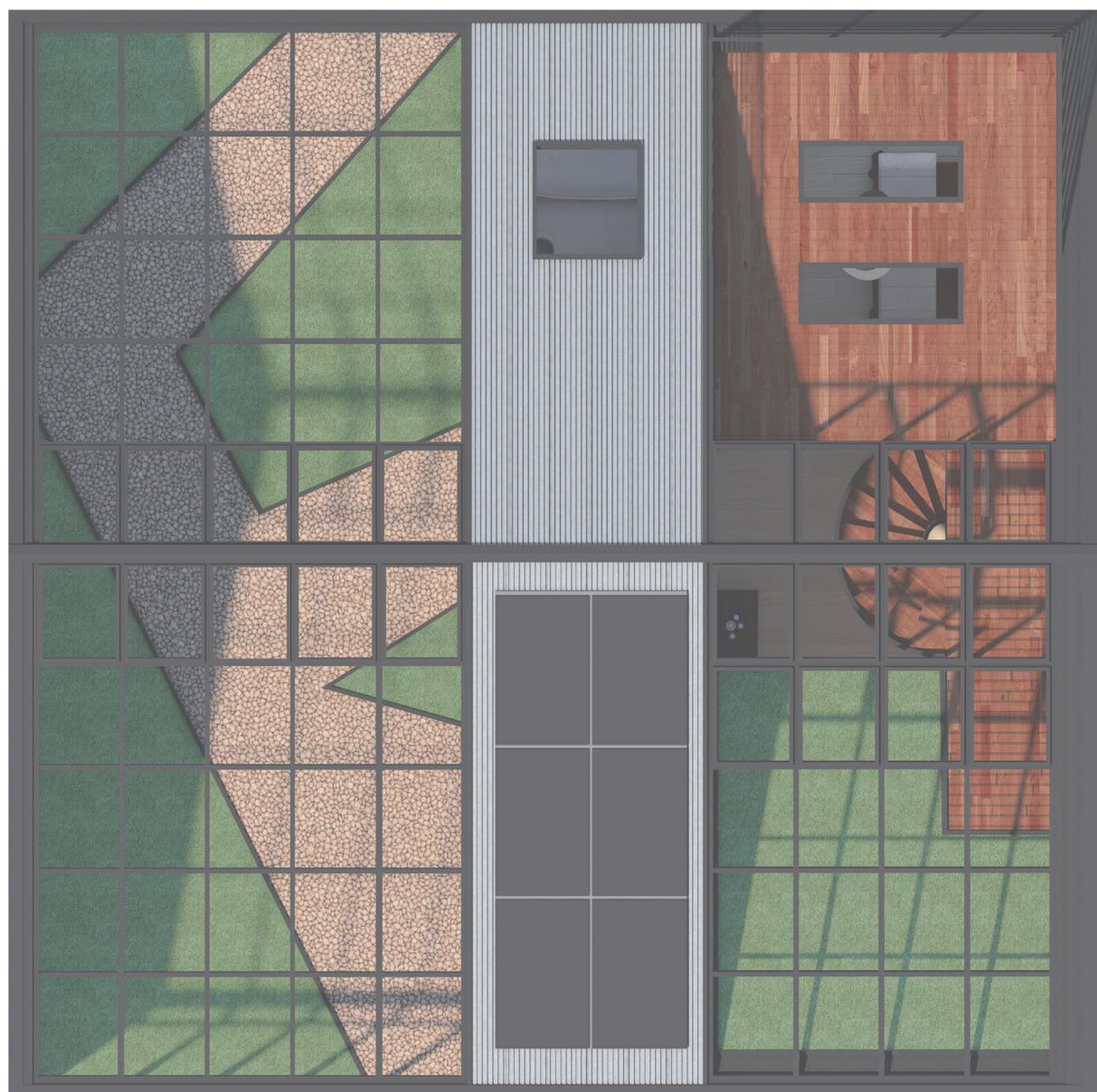


Figura 76.
pianta del tetto

tatto con l'ambiente esterno. La serra bioclimatica, che nel progetto iniziale occupava l'intero spazio presente a questo piano, è stata ora dimezzata. All'arrivo del pianerottolo delle scale è possibile collegarsi o alla parte restante di questa zona verde o accedere al **terrazzo esterno** posizionato direttamente al di sopra della zona notte.

Sulla superficie di questo nuovo spazio sono stati posizionati due **lucernari** che aumentano la quantità di luce diurna che permea all'interno della zona notte sfruttando nuovamente la componente zenitale natu-

rale. Anche nella camera da letto, come negli altri locali del prototipo, è stato deciso di aumentare la superficie fenestrata, sostituendo la precedente porta finestra singola con una doppia.

Per sfruttare al meglio la luce proveniente sia dal top lighting delle nuove aperture, sia dal side lighting delle finestre perimetrali, si è deciso di eliminare la partizione interna che separava la zona giorno da quella notte e di sostituirla con una grande **vetrata scorrevole** che chiudesse l'intero spazio permettendo allo stesso tempo ai due ambienti di condi-

Figura 77.
pianta del prototipo



vedere la luce da cui venivano bagnati.

Ultime due aree di intervento sono state il disimpegno ed il bagno. All'interno del primo, come per la camera da letto, la porta finestra singola è stata sostituita da una doppia, mentre invece nel bagno l'iter di progetto è stato più complicato rispetto agli altri ambienti. Questo ambiente infatti è attorniato da pareti cieche: una comunica con il disimpegno, una con la camera da letto e un'altra con il locale impianti. L'ultima parete libera rimaneva quella comunicante con la serra, ma, trattandosi di un bagno e dovendo rispettare la privacy dell'utente non era possibile procedere con la progettazione di aperture sufficientemente grandi. Per questo motivo si è deciso di ricorrere nuovamente al **top lighting**.

Inizialmente, data l'ampia ricerca effettuata nel campo delle nuove tecnologie e strategie per il daylighting design, si è pensato di procedere con l'utilizzo dei tunnel solari o delle fibre ottiche. A causa della difficile modellazione e simulazione delle fibre all'interno dell'ambiente virtuale si è deciso di optare per l'utizzo dei **solar tube**. I risultati però non sono stati quelli sperati.

Per procedere con questo tentativo si è deciso di creare, nella maniera più semplice possibile, un prototipo del tunnel da inserire all'interno del progetto. Si trattava semplicemente di un corpo cilindrico, bucato alle due sommità, che penetrava dall'esterno, attraverso il sottotetto, e raggiungeva il locale.

L'interno del solido è stato rivestito completamente con un materiale altamente riflettente, simile allo specchio, che potesse riflettere in tutte le direzioni i raggi di sole e farli penetrare all'interno del cilindro stesso.

Le prime prove sono state fatte direttamente all'interno del prototipo, ma non riuscendo ad arrivare ad un risultato soddisfacente si è deciso di semplificare l'ambiente di applicazione e provare ad eseguire qualche simulazione dentro un semplice cubo trapassato dal solo tunnel solare. Purtroppo i tentativi si sono rivelati fallimentari poiché per poter penetrare all'interno del tubo come avviene nella realtà occorreva aumentare eccessivamente i valori di **bounce** della luce. Per questo motivo si è deciso di procedere con l'apertura del sottotetto con un lucernaio che potesse far entrare la luce naturale anche in questo ambiente.

Una volta riprogettato l'intero edificio, ripercorrendo le criticità emerse

dallo studio del prototipo, è stato possibile procedere con l'analisi degli stessi parametri, metterli a confronto e osservare le linee di cambiamento e miglioramento, verificando infine le richieste presenti all'interno delle certificazioni e dei protocolli energetici studiati nella parte teorica della tesi.

Come verrà spiegato meglio nelle pagine successive, a seguito delle analisi condotte in merito alla luce diurna, è risultato che sulla maggior parte delle superfici calpestabili della casa vi era una **Annual Solar Exposure** elevata. Per ovviare a questo problema si è deciso di aggiungere al progetto delle **componenti schermanti** al fine di ridurre i probabili fenomeni di abbagliamento dati dall'irraggiamento diretto della luce. Oltre a posizionare delle tende oscuranti interne, si è deciso di costruire sul lato sud una pensile, la quale ha ridotto questo fenomeno in maniera consistente.

Figura 79.
test illuminamento
cubo di prova

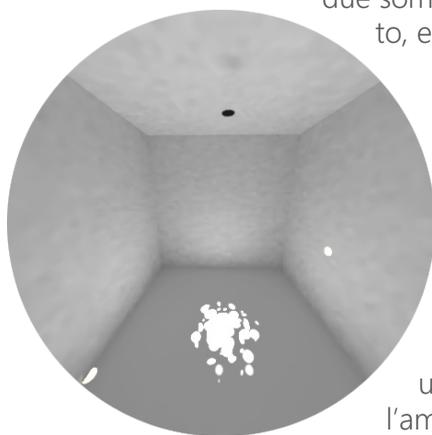
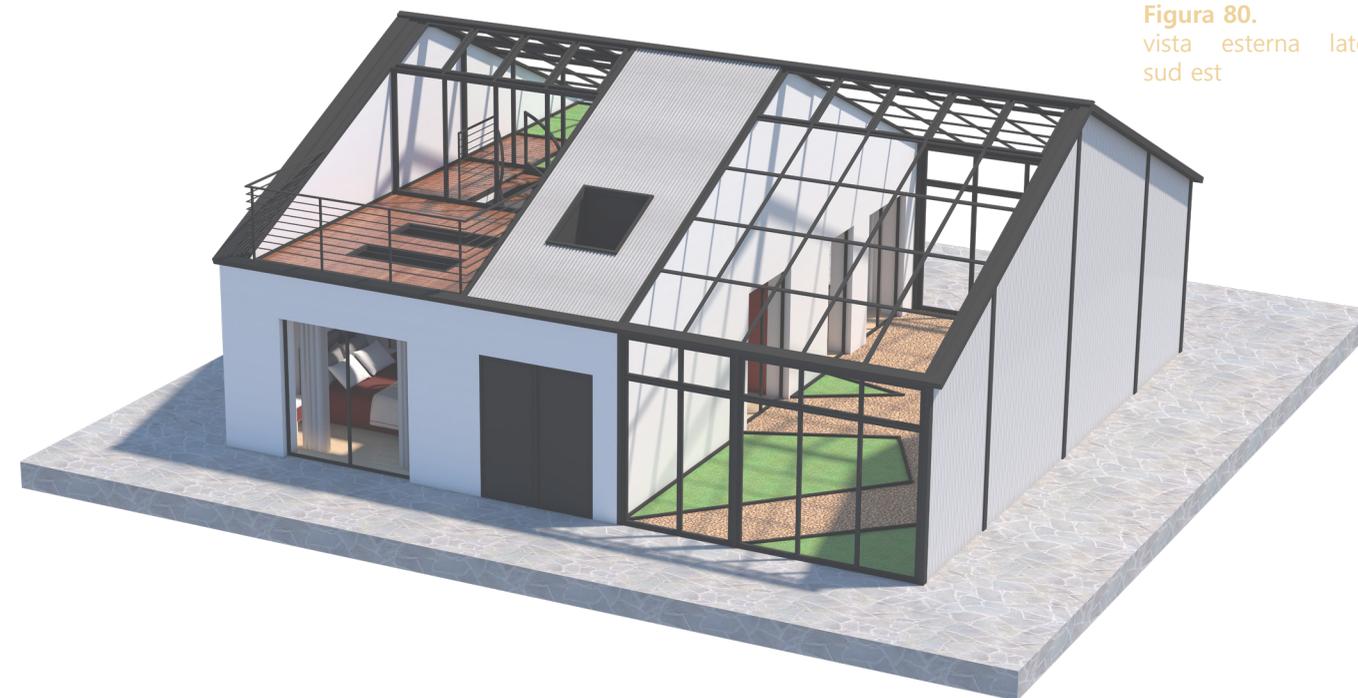
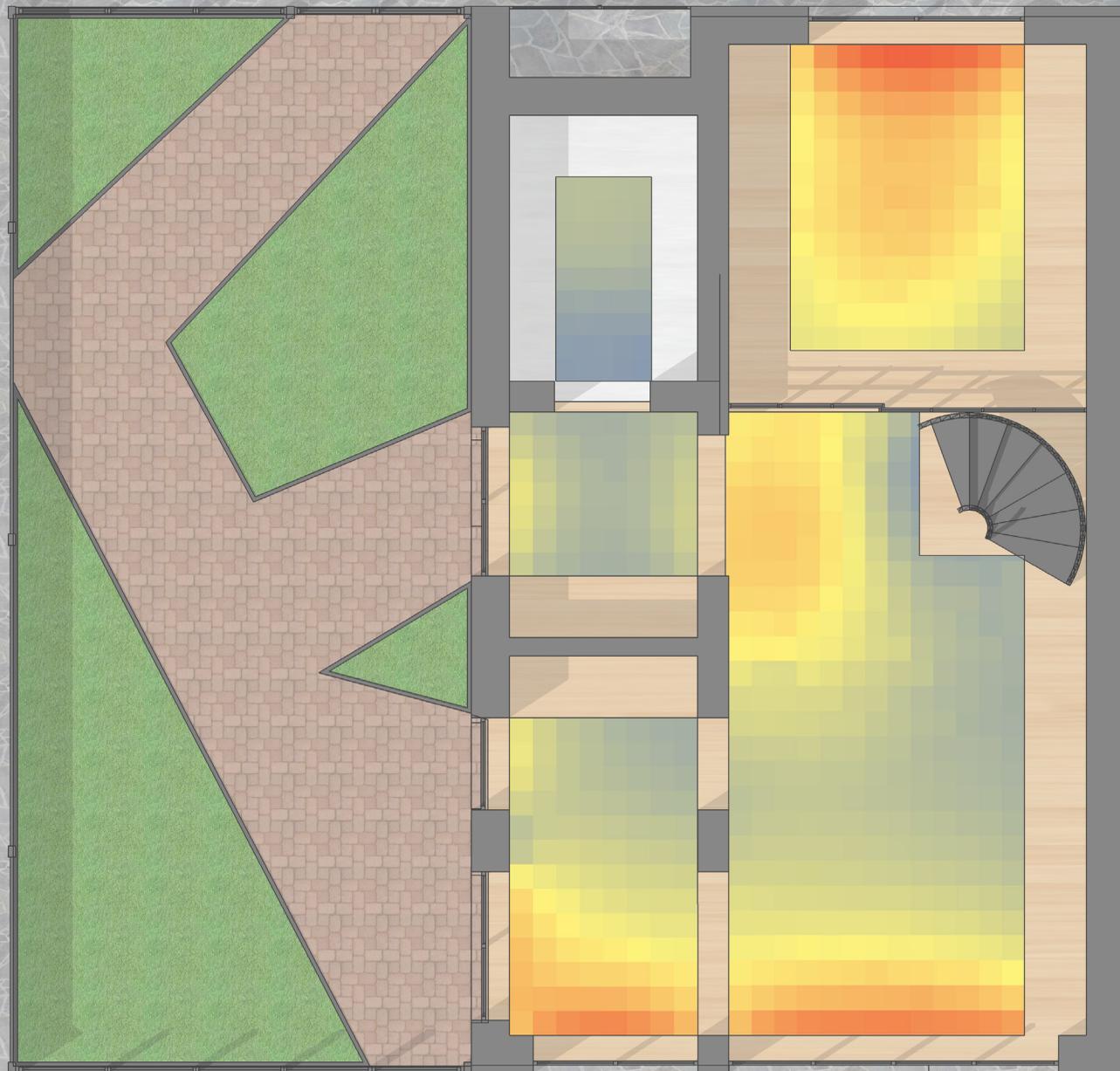


Figura 80.
vista esterna lato
sud est





Daylight Factor

Daylight Factor

Camera

15.8	18	19	19.5	19.8	19.9	19.4	18.5	16.6	13.3
13.8	15.6	16.6	17.4	17.7	17.5	17	16.1	14.6	12.4
12.4	13.9	14.8	15.6	15.9	15.8	15.4	14.5	13.2	11.7
11.5	12.7	13.6	14.2	14.6	14.6	14.1	13.5	12.5	11.2
11.1	12.2	13.1	13.7	14	14.1	13.8	13	12.1	11.1
11	11.9	13.2	13.5	13.8	13.7	13.8	12.9	12.2	11.3
10.9	12.3	12.7	13.4	13.9	14	13.6	13.1	12.2	11.2
10.6	11.5	12.5	13	13.6	13.4	13.5	12.9	12.3	11.7
10.2	11.2	11.9	12.6	13.2	13.2	13	12.5	11.9	11
9.8	10.5	11.5	11.9	12.4	12.3	12.5	12.1	11.4	10.6
9	9.9	10.6	11.3	11.3	11.9	11.8	11.4	10.9	10.3
8.6	9.2	10.1	10.7	10.9	11.1	11.1	11	10.5	10.1
8	8.7	9.1	9.8	10.1	10.4	10.4	10.1	10	9.7

Bagno

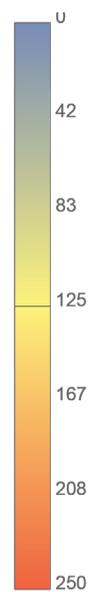
6.4	6.5	6.4	6.3	6.2
6.3	6.4	6.4	6.3	6.2
6.2	6.3	6.2	6.1	6
5.9	6	5.9	5.9	5.6
5.2	5.3	5.3	5.3	5.1
4.5	4.6	4.5	4.5	4.5
4	4	3.9	3.9	3.9
3.6	3.5	3.6	3.5	3.4
3.4	3.5	3.5	3.4	3.2

Cucina

9.6	8.1	6.9	6.4	5.7	5.4	5.2	5.1
9.9	8.1	7.1	6.5	6	5.7	5.5	5.2
9.3	8	7.1	6.6	6.3	6	5.8	5.5
8.1	7.6	7.2	6.9	6.7	6.4	6.1	6
6.7	7.6	7.6	7.5	7.2	7	6.9	6.8
7.3	8.5	8.5	8.2	8	7.7	7.6	7.4
10.7	10	9.4	9	8.7	8.3	8.3	8.1
12.6	11.1	10.5	9.7	9.4	9	9	8.9
13.2	12	11.2	10.6	10.3	10	9.7	9.7
14.1	12.8	12.1	11.7	11.4	11	10.7	10.5
14.3	13.6	13.2	12.9	12.9	12.6	12	11.7
14.8	14.8	15	14.9	14.8	14.4	13.7	12.9
14.3	16.1	17.1	17.5	17.5	17	16.1	14.5

Disimpegno

6.9	6.1	5.4	5.2	5.2	5.6	6.1	6.3
8	6.8	6	5.4	5.4	5.7	6.4	7
9.1	7.3	6.3	5.8	5.4	5.9	6.6	7.5
9.6	7.8	6.5	5.8	5.7	5.9	6.7	7.6
9.2	7.5	6.3	5.7	5.7	5.9	6.9	7.8
8.7	7	6	5.5	5.4	5.7	6.5	7.6
7.6	6.3	5.6	5.2	5.2	5.4	6.1	7



Daylight Autonomy

Bagno

58	58	59	58	57
58	58	57	58	57
57	57	57	57	56
56	56	56	56	56
55	55	55	54	54
53	53	52	52	53
50	51	50	50	51
50	50	49	49	50
50	52	53	51	49

Camera

72	73	74	74	74	74	74	73	72	71
71	72	72	73	73	73	73	72	71	70
70	71	71	72	72	72	71	71	70	69
69	70	71	71	71	71	71	70	70	69
69	70	70	71	71	71	70	70	69	69
69	69	70	70	71	71	70	70	69	69
68	69	70	70	70	71	70	70	69	69
68	69	70	70	70	70	70	70	69	69
68	68	69	70	70	70	70	70	69	69
67	68	68	69	69	70	69	69	69	69
66	67	68	68	69	69	69	69	68	68
66	66	67	68	68	68	68	68	68	68
65	65	66	67	67	67	68	68	67	67

Cucina

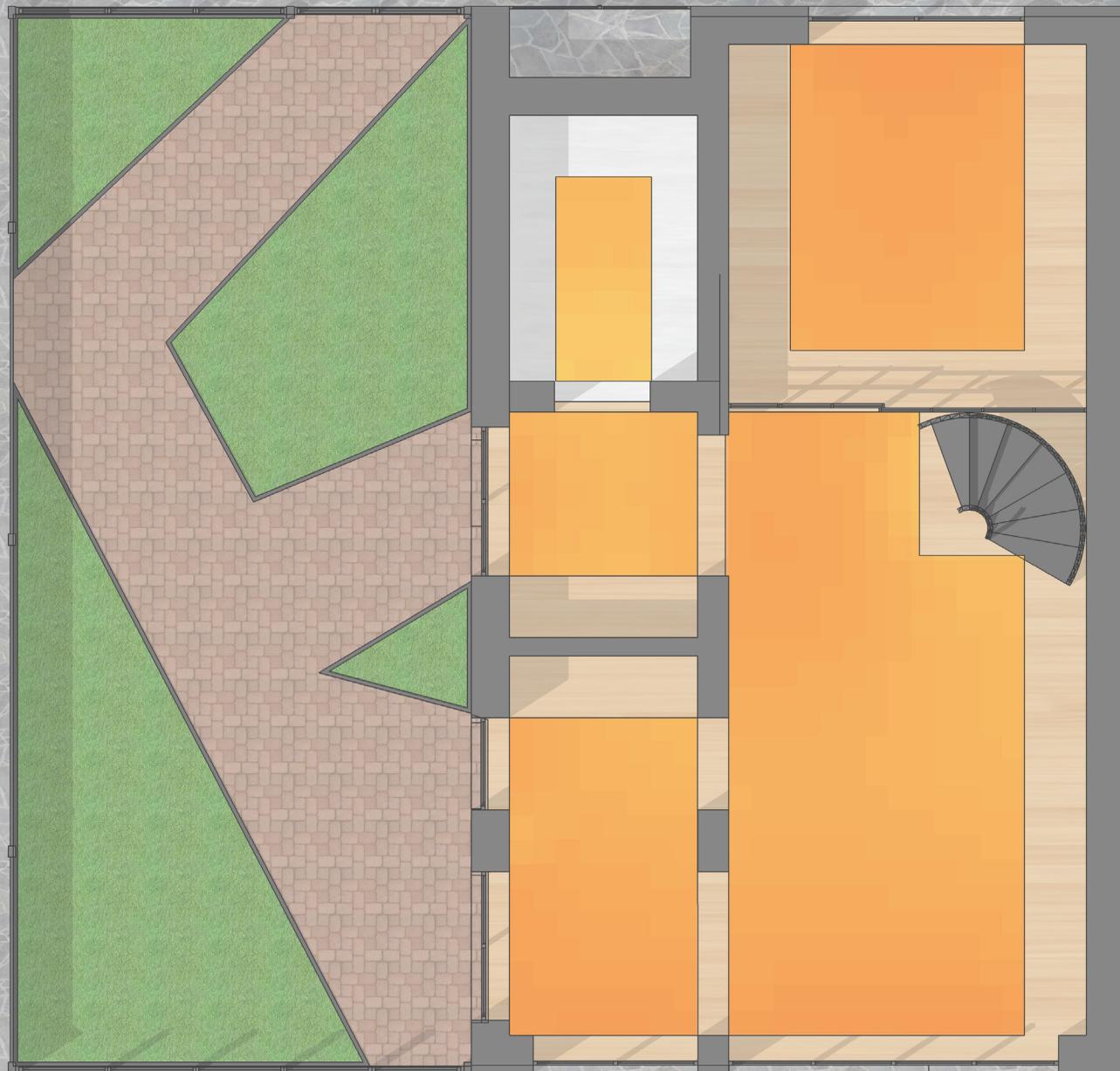
68	66	65	64	63	62	62	61
68	66	65	64	63	63	62	62
68	66	65	64	64	64	63	62
66	66	65	65	65	64	64	64
64	66	66	66	65	65	65	65
65	67	68	67	67	66	66	66
69	69	68	68	67	67	67	67
70	70	69	69	69	68	68	68
71	70	70	69	69	69	69	69
71	71	70	70	70	70	70	69
71	71	71	71	71	71	71	70
71	72	72	72	72	72	72	71
71	73	73	73	74	73	73	72

Disimpegno

64	63	61	61	60	61	62	63
66	64	62	61	61	61	63	63
67	65	63	62	61	61	63	64
68	65	63	62	61	62	63	64
67	65	63	62	61	61	63	64
66	64	62	61	61	61	62	64
65	63	61	60	60	60	61	63

Zona giorno

69	69	69	69	69	67	66	62	69				
68	69	69	69	69	67	64	60	67				
69	70	69	69	68	67	64	59	68				
70	70	70	70	69	67	64	60	68				
70	70	70	70	69	68	65	61	69				
70	70	70	70	69	68	65	62	61	59	69	69	
70	70	70	69	69	68	66	64	62	61	60	60	59
69	69	69	69	68	67	66	65	63	62	60	60	60
69	69	69	69	68	67	66	65	63	63	61	61	60
68	69	69	69	67	67	66	65	64	63	62	62	61
67	68	67	67	67	66	65	64	64	63	62	61	61
68	68	67	68	68	66	65	64	64	63	62	61	61
68	69	68	68	65	65	64	64	63	63	62	62	61
65	65	65	65	65	64	64	63	63	62	62	62	62
65	65	65	65	65	64	64	64	63	63	63	62	62
64	64	65	65	65	64	64	64	64	64	63	63	63
65	65	66	66	65	65	65	64	64	64	64	64	63
65	66	66	66	66	66	65	65	65	65	65	64	64
67	67	67	67	67	66	66	66	66	65	65	65	65
68	68	68	68	68	68	68	67	67	67	67	66	66
69	69	69	69	69	69	69	69	69	68	68	67	67
70	69	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69	68
70	70	70	71	71	71	71	71	71	71	71	70	70
71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	71	71
71	72	73	73	73	73	74	74	73	73	73	73	73



Continous Daylight Autonomy

Continuous Daylight Autonomy

Camera

78	79	79	79	79	79	79	79	78	77
77	78	78	79	79	79	79	78	78	76
76	77	78	78	78	78	78	77	77	76
76	77	77	77	77	78	77	77	76	76
76	76	77	77	77	77	77	77	76	76
76	76	76	77	77	77	77	77	76	76
75	76	76	77	77	77	77	77	76	76
75	76	76	77	77	77	77	76	76	76
75	75	76	76	76	77	76	76	76	76
74	75	75	76	76	76	76	76	76	75
74	74	75	75	76	76	76	75	75	75
74	74	75	75	75	75	75	75	75	75
73	73	74	74	75	75	75	75	75	74

Bagno

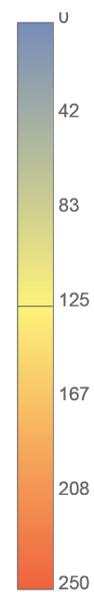
70	70	70	70	69
69	69	69	69	68
68	68	68	68	68
68	69	68	68	68
67	67	67	67	67
66	66	65	65	66
64	64	64	64	64
64	64	64	64	64
63	65	65	64	63

Cucina

75	74	73	72	71	71	70	70
75	74	73	72	72	71	71	70
75	74	73	72	72	72	71	71
74	73	73	73	73	72	72	72
72	73	73	74	73	73	73	73
73	74	75	74	74	74	74	73
76	76	75	75	75	75	74	74
77	76	76	75	75	75	75	75
77	77	76	76	76	76	75	75
77	77	77	76	76	76	76	76
78	77	77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78	78	77
78	78	79	79	79	79	78	78

Disimpegno

72	71	70	70	69	70	71	71
74	72	71	70	70	70	71	72
74	73	71	71	70	70	71	72
75	73	72	71	70	71	71	72
74	73	71	71	70	70	72	72
74	72	71	70	70	70	71	72
73	71	70	70	69	69	71	72



UDI 100 lux

Bagno

27	27	27	27	28
28	28	28	28	28
28	28	28	28	28
28	28	29	28	29
29	29	29	29	29
30	30	31	31	30
32	32	32	32	32
32	32	32	32	33
33	32	32	33	33

Camera

20	19	19	19	18	18	19	19	19	21
20	20	19	19	19	19	19	19	20	21
21	21	20	20	20	20	20	20	21	22
22	21	21	20	20	20	20	21	21	22
22	21	21	21	20	20	21	21	22	22
22	22	21	21	21	20	21	21	21	22
22	22	21	21	21	21	21	21	22	22
23	22	21	21	21	21	21	21	21	22
23	22	22	21	21	21	21	21	22	22
24	23	22	22	22	21	22	22	22	23
24	24	23	23	22	22	22	23	23	23
25	24	23	23	23	23	23	23	23	23
25	25	24	24	23	23	23	23	23	24

Cucina

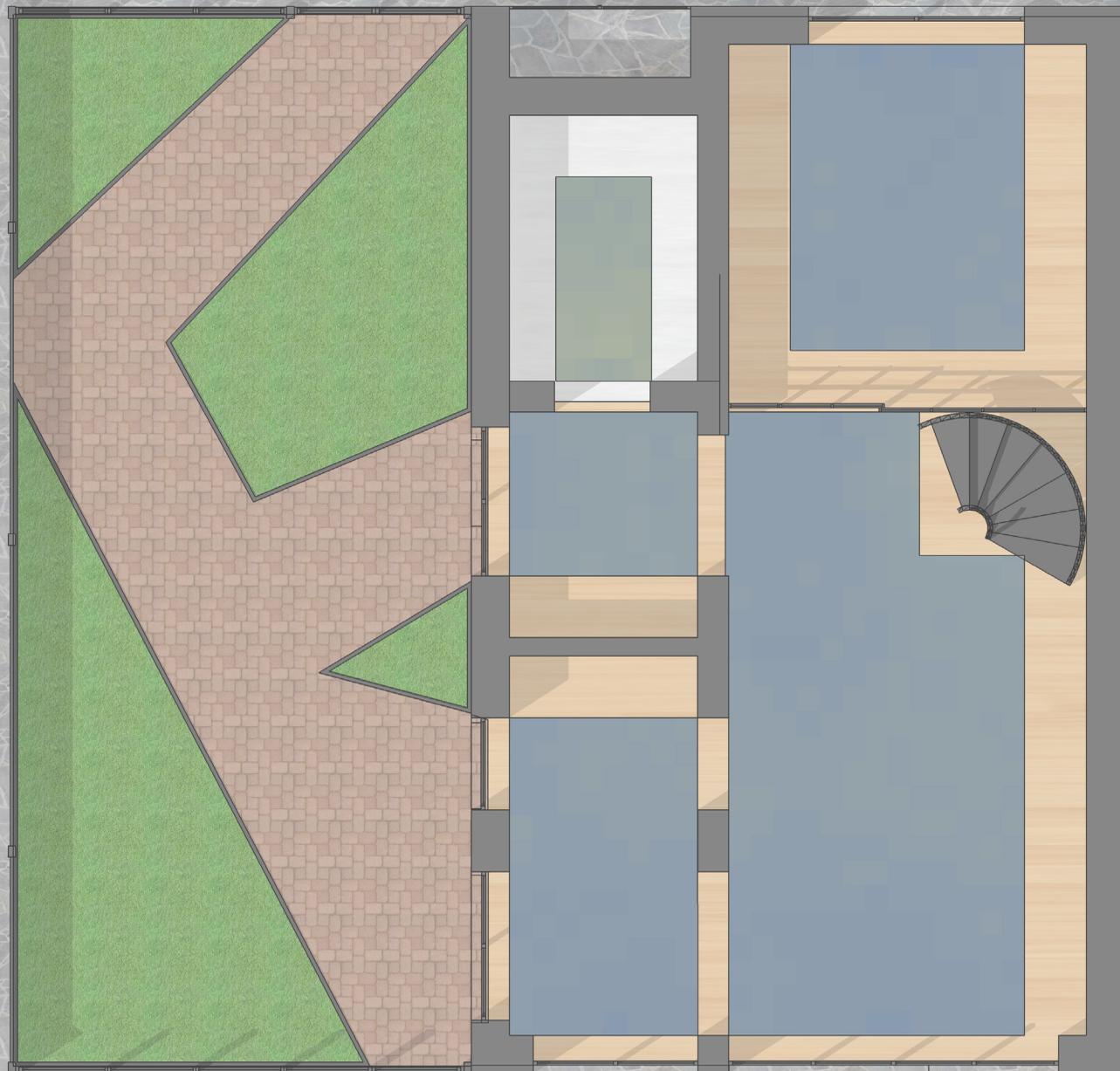
23	25	25	26	27	27	28	28
23	24	25	25	26	27	27	28
23	25	25	25	26	26	27	27
25	25	25	25	25	26	26	26
25	25	25	25	25	25	25	25
25	24	23	24	24	24	25	25
22	22	23	23	24	24	24	24
21	22	22	23	23	23	23	23
21	21	22	22	22	22	22	22
20	21	21	21	21	22	22	22
20	20	20	21	21	21	21	21
20	20	20	20	20	20	20	21
20	19	19	19	19	19	19	20

Disimpegno

26	27	28	28	29	28	27	26
25	26	27	28	28	27	27	25
24	25	27	27	28	27	26	25
23	25	26	27	28	27	27	25
24	25	27	27	28	27	26	25
24	25	27	28	28	27	27	25
25	26	28	28	29	29	27	26

Zona giorno

22	22	22	22	23	23	25	27	29				
25	22	22	22	23	24	25	29	31				
22	21	22	22	23	23	25	29	31				
21	21	21	21	22	23	25	29	30				
21	21	21	21	22	23	25	28	29				
21	21	21	21	22	23	25	27	28	29	30		
21	21	21	21	22	23	24	25	27	28	29	29	
21	22	22	22	23	23	24	25	26	27	28	29	29
22	22	22	22	23	23	25	25	26	27	28	28	29
23	23	23	23	23	24	25	25	26	26	27	27	28
23	23	24	24	24	25	25	25	26	27	27	28	28
24	24	24	24	25	25	25	25	26	27	27	28	28
25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	27	27	28
25	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26	27	27
25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26	27
25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
24	24	24	24	24	24	24	25	25	25	25	25	25
23	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	25	25
22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22
21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19



UDI 100 - 300 lux

UDI 100 - 300 lux

Camera

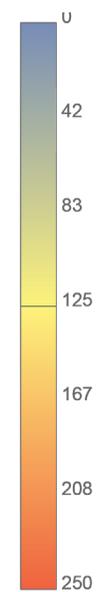
8	8	7	7	8	8	7	8	9	8
9	8	9	8	8	8	8	9	9	9
9	8	9	8	8	8	9	9	9	9
9	9	8	9	9	9	9	9	9	9
9	9	9	8	9	9	9	9	9	9
9	9	9	9	8	9	9	9	10	9
10	9	9	9	9	8	9	9	9	9
9	9	9	9	9	9	9	9	10	9
9	10	9	9	9	9	9	9	9	9
9	9	10	9	9	9	9	9	9	8
10	9	9	9	9	9	9	8	9	9
9	10	10	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	9	10	10	9	9	10	9

Bagno

15	15	14	15	15
14	14	15	14	15
15	15	15	15	16
16	16	15	16	15
16	16	16	17	17
17	17	17	17	17
18	17	18	18	17
18	18	19	19	17
17	16	15	16	18

Cucina

9	9	10	10	10	11	10	11
9	10	10	11	11	10	11	10
9	9	10	11	10	10	10	11
9	9	10	10	10	10	10	10
11	9	9	9	10	10	10	10
10	9	9	9	9	10	9	9
9	9	9	9	9	9	9	9
9	8	9	8	8	9	9	9
8	9	8	9	9	9	9	9
9	8	9	9	9	8	8	9
9	9	9	8	8	8	8	9
9	8	8	8	8	8	8	8
9	8	8	8	7	8	8	8

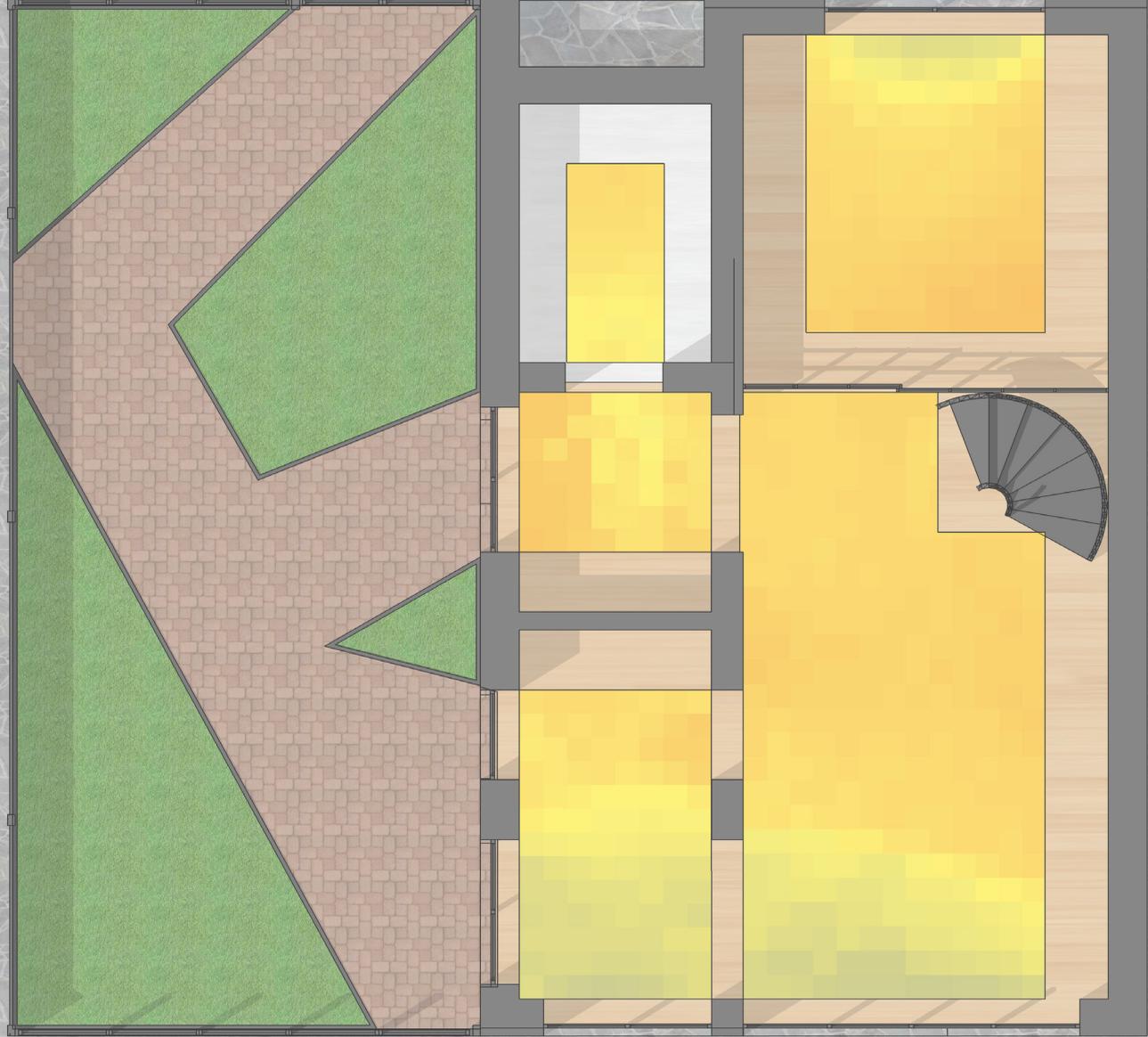
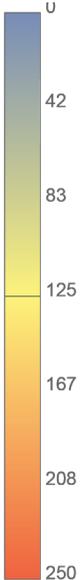


Disimpegno

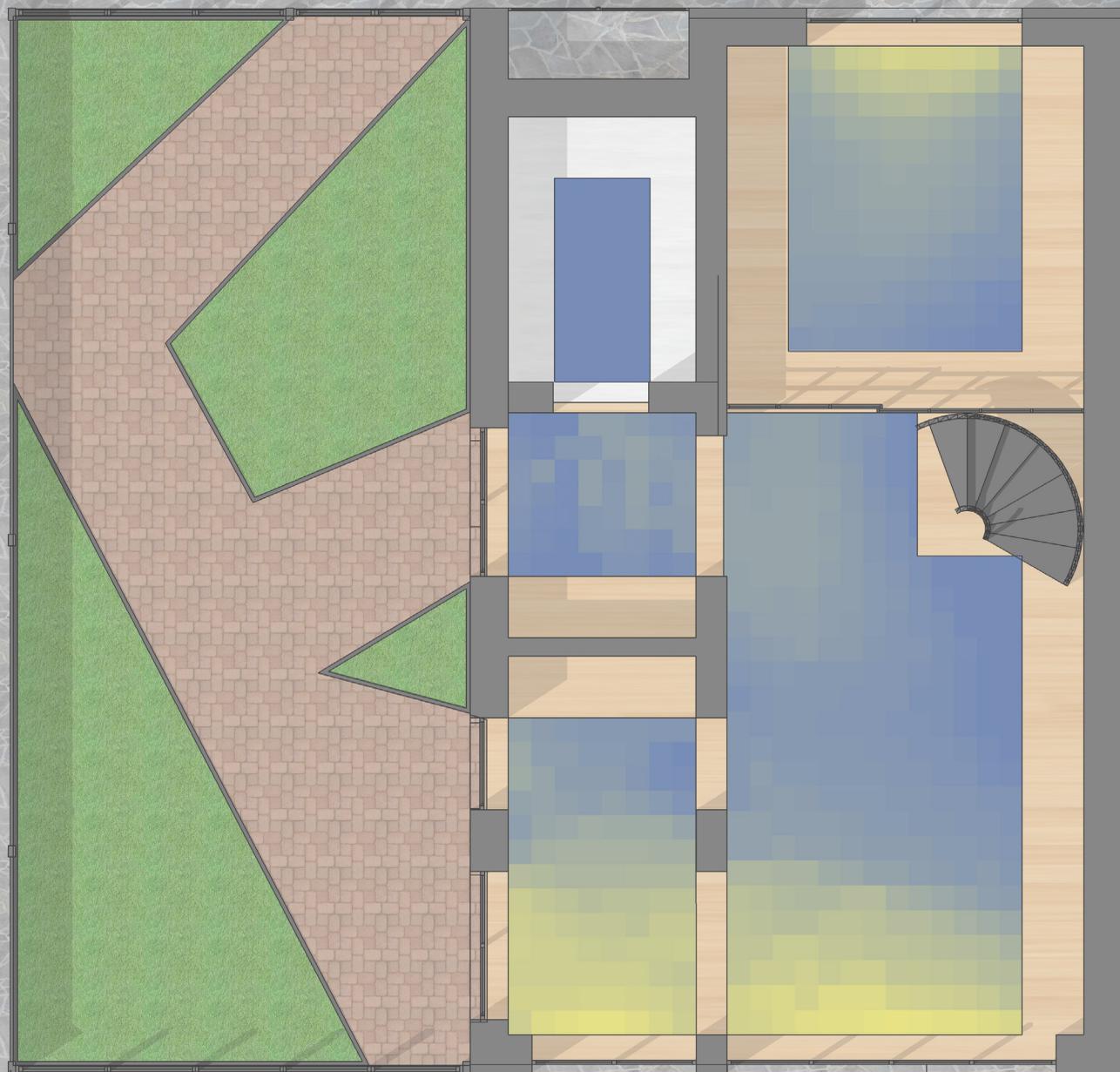
10	10	11	11	11	11	11	11
9	10	11	11	11	12	10	12
9	10	10	11	11	12	11	11
9	10	11	11	11	11	10	11
9	10	10	11	11	12	11	11
10	11	11	11	11	12	11	11
10	11	11	12	11	11	12	11

Zona giorno

0	0	0	0	0	8	10	10	11	12				
0	0	0	0	0	0	0	11	11	12				
0	0	0	0	0	0	10	11	12	13				
0	0	0	0	0	0	10	11	11	12				
0	0	0	0	0	0	0	10	11	12				
0	0	0	0	0	0	0	10	11	11	12	12	12	11
0	0	0	10	0	0	0	10	11	11	11	11	11	12
10	0	0	0	0	0	10	10	10	11	11	11	11	11
0	0	0	0	0	0	10	0	10	11	10	11	11	11
0	8	8	8	10	0	0	0	10	11	11	11	11	11
10	0	0	0	0	0	0	10	11	10	10	11	11	11
10	10	0	10	0	10	10	11	10	10	11	11	11	11
10	10	10	0	10	10	11	11	11	11	11	11	10	11
10	10	10	10	10	10	11	10	11	11	11	11	11	10
10	10	10	10	10	11	11	10	11	11	11	11	11	11
11	11	10	10	10	11	11	11	10	10	11	11	11	10
10	10	0	0	10	10	10	10	11	11	10	10	10	11
10	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	11	10
0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	10	10	10	10
0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	10	0
8	0	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0
0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	0	8
8	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0
0	0	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	8	8



UDI 300 - 3000 lux



UDI > 3000 lux

UDI 3000 lux

Camere

23	31	33	34	34	35	32	30	24	18
17	22	26	28	27	28	28	24	20	15
12	15	19	21	23	22	21	18	16	13
10	12	14	16	17	17	16	16	13	12
9	10	13	14	15	15	14	13	12	11
8	10	12	13	13	14	13	12	11	11
7	9	11	12	13	13	13	12	11	10
6	8	10	11	12	12	12	11	11	10
6	6	7	9	10	11	11	10	10	10
4	5	6	7	8	9	9	9	9	9
1	2	4	5	6	7	8	8	8	8
0	1	3	3	4	6	6	7	7	8
0	0	1	2	3	4	5	5	6	5

Bagno

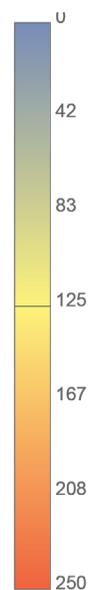
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Cucina

11	8	7	6	6	6	5	5
14	9	9	7	7	6	2	0
15	12	8	8	8	5	2	1
11	12	10	9	11	9	7	4
9	13	14	16	15	15	15	12
13	17	18	18	18	18	17	17
23	22	20	20	20	21	21	21
31	28	26	24	25	25	26	26
32	31	29	28	28	28	29	29
33	32	32	30	29	30	30	31
32	32	32	32	32	32	29	28
34	34	34	35	35	34	33	31
32	38	40	41	41	39	36	32

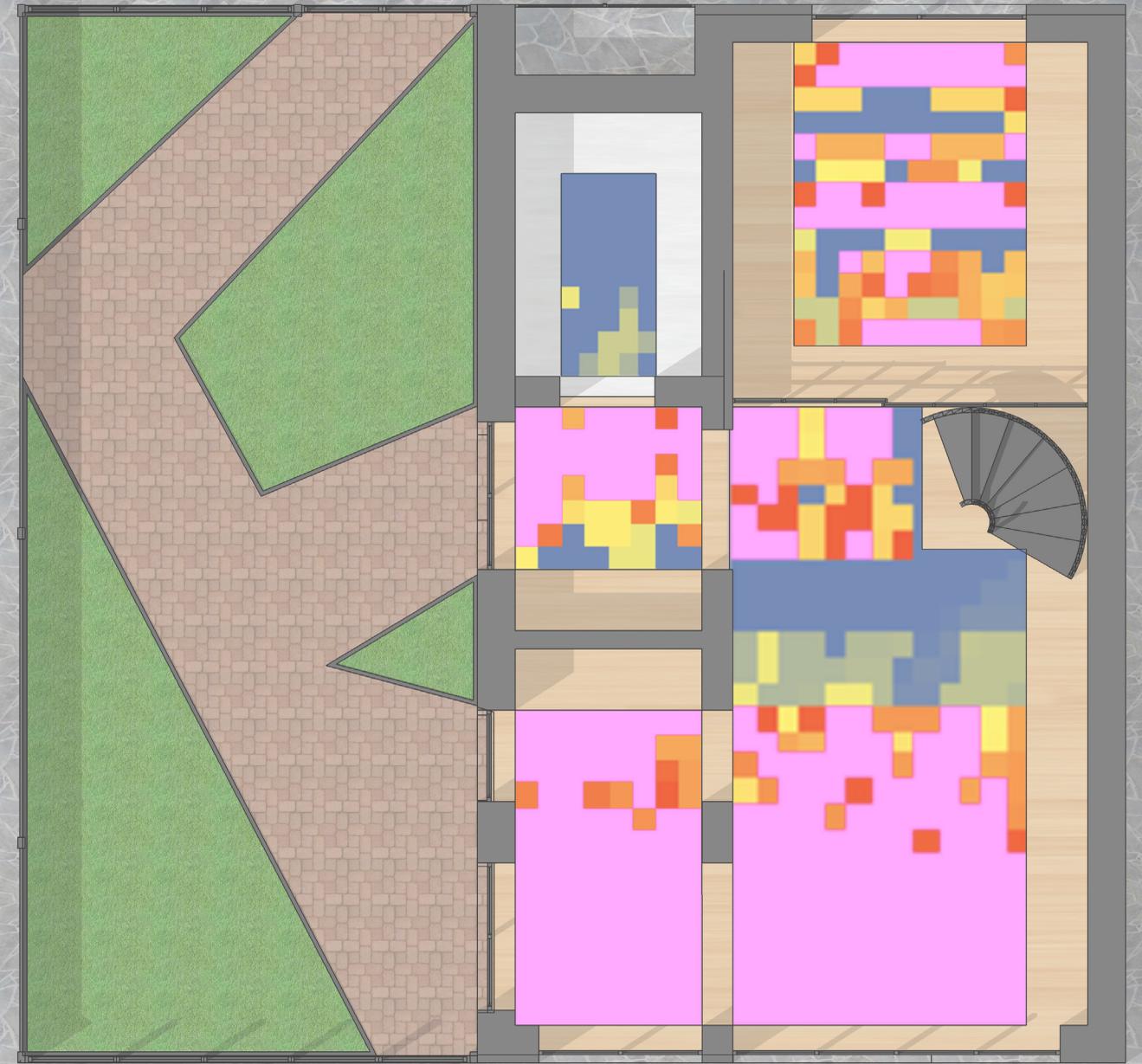
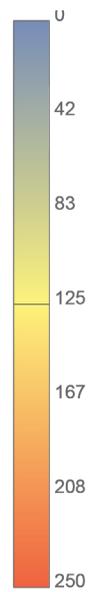
Disimpegno

1	0	0	10	10	8	6	5
3	1	6	6	10	12	9	7
5	8	1	10	6	11	8	9
5	3	1	10	7	11	5	9
4	2	1	6	7	10	8	8
3	1	0	6	6	5	3	8
1	0	0	0	4	4	1	3



Zona giorno

0	10	11	11	9	7	5	2	0				
0	11	11	11	9	7	4	2	0				
10	11	11	11	10	8	4	2	0				
12	11	12	12	11	8	5	3	0				
12	12	12	12	10	9	6	4	0				
12	12	12	12	11	9	6	4	3	0	0	0	0
11	12	12	12	10	9	7	5	3	0	0	0	0
11	11	10	11	9	9	7	6	4	1	0	0	0
8	10	10	10	9	8	7	5	4	3	0	0	0
7	8	9	10	8	8	6	5	3	2	0	0	0
5	8	7	8	8	6	5	5	4	3	1	0	0
3	5	6	6	6	5	5	5	3	3	1	0	0
0	5	6	6	5	5	5	4	4	3	1	0	0
0	7	6	6	6	5	5	4	4	3	1	0	0
0	9	7	7	6	6	5	5	4	4	2	1	0
6	8	9	8	7	7	7	6	6	5	5	4	4
10	10	9	9	9	8	7	7	6	6	5	5	4
10	10	12	10	10	9	8	8	8	7	7	6	5
20	20	19	19	15	14	11	11	9	8	7	6	6
25	24	22	21	21	23	23	18	16	14	12	9	8
28	25	24	24	28	25	23	23	21	18	16	14	14
27	27	30	30	28	28	28	25	24	23	22	19	19
28	31	31	33	33	32	32	28	28	27	26	24	23
34	35	37	34	38	38	38	34	33	32	31	29	28
34	35	37	39	40	40	41	42	41	40	40	38	38



ASE 1000 lux per 250h

Riassunto dei risultati ottenuti

Da come si è potuto già notare per via grafica, la proposta progettuale ha portato a dei risultati sostanzialmente migliori rispetto al progetto di partenza. Anche in questo caso gli output sono stati messi a paragone prima con la normativa e i requisiti di consorzio ed in seguito anche ai protocolli e alle certificazioni energetiche, come avvenuto per lo "stato di fatto".

Dalla tabella riportata qui sotto, si desume l'azione avvenuta sulle precedenti aree critiche portandole ad essere dei **punti di forza** per il progetto. Guardando nello specifico i risultati, si può notare come siano diminuite le aree con un'illuminamento minore a quello necessario da normativa, ovvero quelle sottostanti i 300 lux e come siano stati raggiunti la maggior parte dei requisiti previsti sia dalla competizione che dalle certificazioni energetiche.

L'aumento della superficie trasparente, soprattutto quella esposta a sud e a est, ha fatto sì che insorgesse un altro tipo di problema, quello relativo all'abbagliamento. Da come si può notare, i valori in rosa della tabella indicano le aree in cui si ha una **ASE elevata**.

LOCALE	DF				DA				cDA				ASE _{1000, 250}	sDA ₃₀₀
	2% Decreto Ministeriale 1975	2.5% ITACA	4% Allegato Energetico Torino	5% BREEAM	55% LEED, WELL	75% LEED, WELL	55% LEED, WELL	75% LEED, WELL	UDI < 100 lux	UDI 100-300 lux	UDI 300-3000 lux	UDI 3000 lux		
Bagno	100%	100%	68.89%	55.56%	44.44%	0%	100%	0%	29.76%	16.18%	54.07%	0%	0%	91.30%
Disimpegno	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	0%	26.55%	10.77%	57.43%	5.25%	54.57%	91.35%
Camera da letto	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	73.07%	21.44%	8.90%	57.3%	12.35%	35.38%	91.40%
Cucina	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	41.34%	23.13%	9.13%	46.97%	20.37%	97.37%	90.60%
Zona giorno	100%	100%	99.02%	96.39%	100%	0%	100%	28.85%	24.04%	9.60%	54.42%	11.94%	53.77%	87.38%
	100.00%	100.00%	93.58%	90.39%	88.89%	0.00%	100.00%	28.65%	24.98%	10.92%	54.04%	9.98%	48.22%	90.41%
									35.90%		64.02%			

Figura 39.
Fonte: oculistanizzo-la.it

Partendo da questa constatazione, si è deciso di progettare una **componente schermante**, come già specificato ad inizio capitolo, in modo tale da ridurre i fenomeni di discomfort, ma senza ridurre le condizioni di comfort e risparmio energetico ottenute grazie all'attuale configurazione dell'edificio.

Lo studio è avvenuto tenendo conto della variabilità del fenomeno della luce naturale durante l'arco dell'anno. Per la stagione estiva si è deciso di ricorrere ad una componente schermante opaca per ridurre sia i fenomeni di abbagliamento che quelli riguardanti il flusso termico in ingresso. Con questo obiettivo è stata aggiunta una **pensilina** sull'in-

gresso a sud che coprisse le due porte finestre. Si è deciso di non costruire una struttura totalmente fissa ma con una copertura per metà scorrevole sul piano orizzontale. In questo modo si ha la possibilità, durante il periodo invernale, di ridurre la schermatura per favorire un maggiore ingresso di luce e flusso termico all'interno dell'edificio. Sulla porzione fissa schermante le lamelle sono caratterizzate dall'aver un **pannello fotovoltaico integrato** che permette di aumentare la superficie captante totale del prototipo, in questo modo il risparmio energetico derivante dall'utilizzo di questa tipologia di schermatura risulta ancora più elevato ed efficiente.

Per le finestre presenti sulla parete est, comunicanti con la serra, si è deciso di optare per una **struttura lamellare a scorrimento**, mentre per le aperture zenitali sono stati disposti dei sistemi automatici di schermatura, i quali si attivano quando vengono rilevati dei livelli di illuminamento eccessivi dai dispositivi di controllo.



Figura 81.
Fonte: miolitic.com

Per quanto riguarda la stagione fredda, per evitare la consistente riduzione degli apporti solari gratuiti per il riscaldamento derivante dall'utilizzo dei suddetti sistemi opachi di schermatura, si è deciso di adottare delle componenti di protezione più appropriata. Sono infatti state disposte delle tende semi oscuranti nella maggior parte delle stanze al fine sia di tutelare la privacy degli utenti sia di ridurre i fenomeni di abbagliamento senza modificare i flussi termici naturali.

Sono state quindi eseguite nuovamente le analisi riguardanti la luce diurna a partire dallo studio della Annual glare. In base a quanto rilevato sono state disposte **3 diversi tipi di configurazione**:

- Se non si era in presenza di abbagliamento, ovvero avendo come valori limite i 1000 lux, tutte le schermature erano disattivate;
- In presenza di un abbagliamento ridotto, fra i 1000 e i 2500 lux venivano attivate le schermature leggere, ovvero le tende;
- In presenza di un abbagliamento superiore ai 2500 lux venivano attivate in automatico le schermature opache più le tende dove non vi era alta schermatura presente.



Figura 82.
Fonte: velux.com

5.4 Il progetto di lighting design

La tesi qui presentata ha come obiettivi principali sia il comfort visivo, facilmente raggiungibile tramite l'utilizzo della luce naturale, a cui l'occhio umano è abituato, sia il **risparmio energetico**. Per quanto riguarda questo secondo punto, occorre tenere presente che la luce diurna deve sì essere sfruttata il più possibile al fine di ridurre i consumi energetici, ma si tratta pur sempre di un fenomeno variabile e dinamico. Per questo motivo è necessario progettare un **impianto di luce artificiale** che possa sopperire alle mancanze date dalla componente naturale tenendo presente che gli obiettivi fondamentali di questo progetto restano sempre gli stessi.

Con quest'ottica è stato analizzato in chiave critica il progetto di **lighting design** presentato dal team del politecnico di Milano, proponendo successivamente una riprogettazione delle sorgenti luminose. Entrando nello specifico non è stato reperito alcun dato in merito al posizionamento esatto delle luci. Questo può essere dedotto solamente da alcune visualizzazioni e renderizzazioni realizzate dal team di progetto, ma alla consegna della terza deliverable, il team di progetto aveva già ipotizzato quali potessero essere le sorgenti di luce utilizzabili all'interno del prototipo.

Fra i vari documenti presentati troviamo infatti il "**Project Manual**". Qui alla sezione dedicata al bilancio energetico, troviamo anche la sezione riguardante i consumi energetici riguardanti l'impianto elettrico. E' pos-

sibile leggere l'elenco e la tipologia di sorgenti utilizzate per il progetto di illuminazione d'interni:

- quattro lampadine compatte **fluorescenti** da 15 W ciascuna, con un consumo di 91,2 kWh/anno in totale;
- due lampadine **alogene** da 50W ciascuna, con un consumo di 151,2 kWh/anno in totale;
- quattro lampadine **neon** da 30 W ciascuna, con un consumo di 181,2 kWh/anno.

Le sorgenti sopra elencate sono state ipotizzate come accese per 4,5 ore al giorno, durante i sette giorni settimanali, per un totale di 4 settimane al mese. Il consumo energetico totale risulta essere di 423,6 kWh/anno.

Nel regolamento relativo alla Solar Decathlon non vi sono precisazioni in merito a questa componente, quindi si è deciso di procedere al lighting design seguendo le richieste normative, quali la norma 12464 e calcolando l'**indice LENI**, con riferimento alla norma 15193, per conoscere esattamente il fabbisogno energetico dell'edificio in base alla quantità di luce già disponibile dalla componente naturale. Per fare ciò si è deciso di utilizzare un ulteriore software diverso da quelli utilizzati fino a questo momento: **Dialux**. Qui è stato rircreato il prototipo e sono state decise la quantità, la qualità e la tipologia di sorgenti di luce da adottare.

Il progetto, come già anticipato, si fonda innanzitutto sul risparmio energetico. Per procere in questa direzione sono state sostituite tutte le tipologie di sorgenti utilizzate con delle **sorgenti LED a basso consumo**, ognuna con delle caratterisitiche specifiche per l'utilizzo proposto in sede di progetto. Qui di seguito è possibile osservare la disposizione in pianta del nuovo progetto di lighting design. Successivamente vengono presentati i prodotti scelti con le relative specifiche tecniche.

E' stato ipotizzato che l'intero impianto fosse collegato ad sistema di regolazione intelligente e di dimmerazione personalizzabile, in modo da aumentare il comfort visivo riducendo i costi di utilizzo e i consumi delle risorse energetiche.

Pianta prototipo disposizione luci

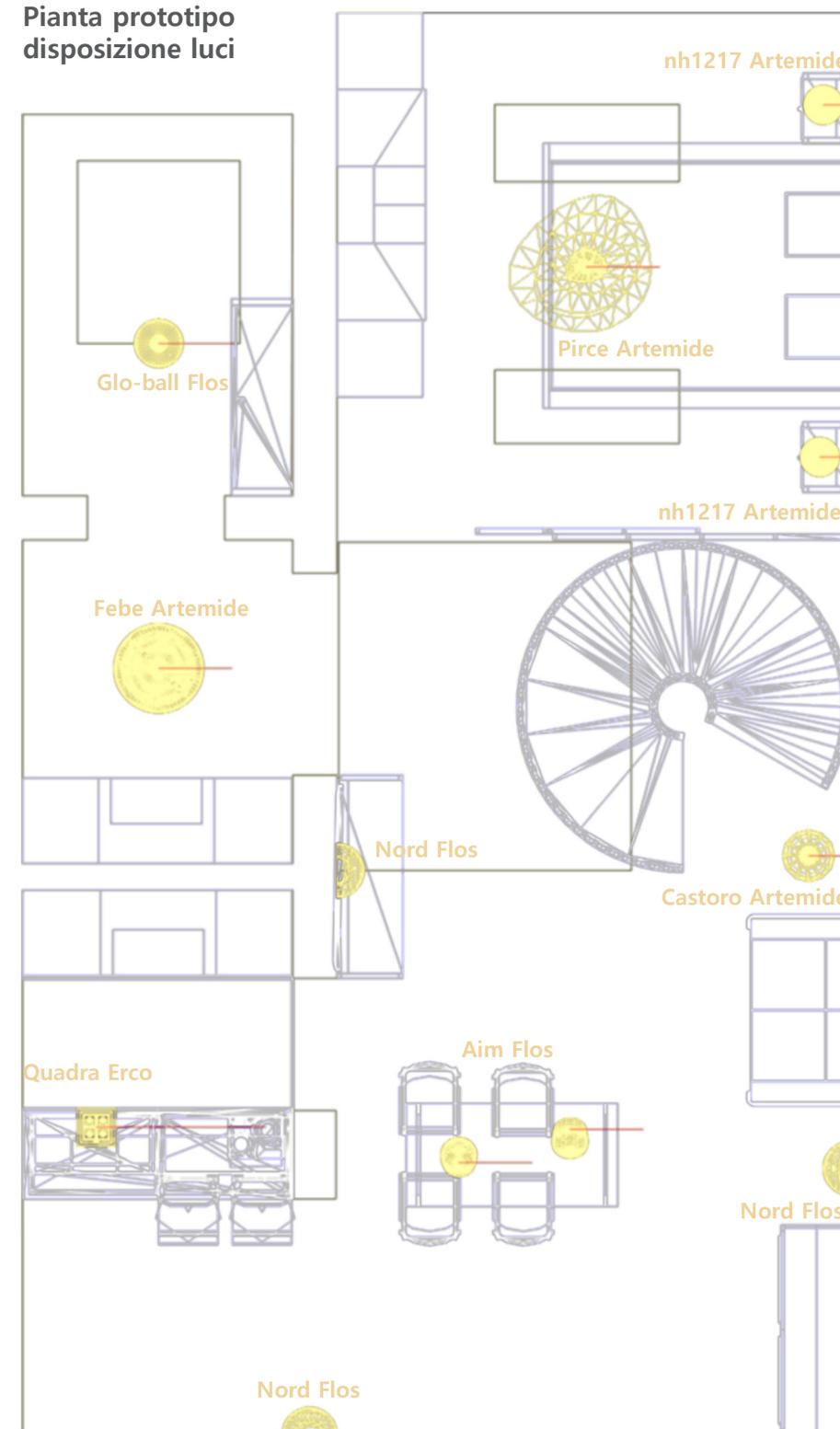


Figura 81.
progetto delle sorgenti

Figura 82.
planimetria sorgenti

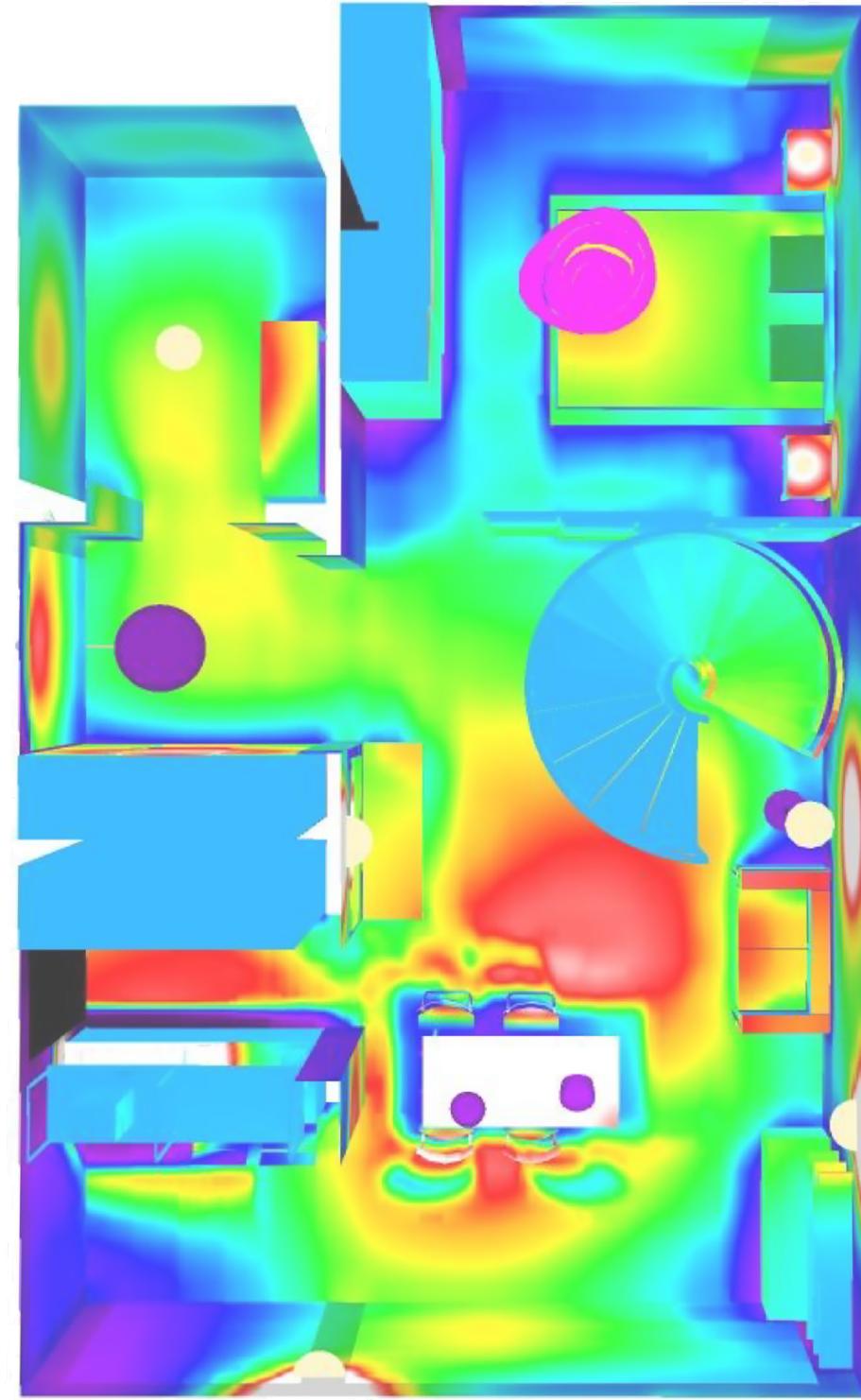
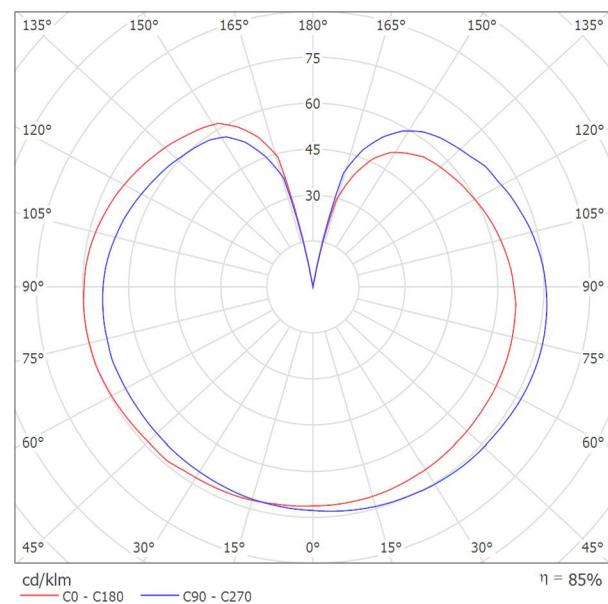


Figura 83.
planimetria in falsi
colori

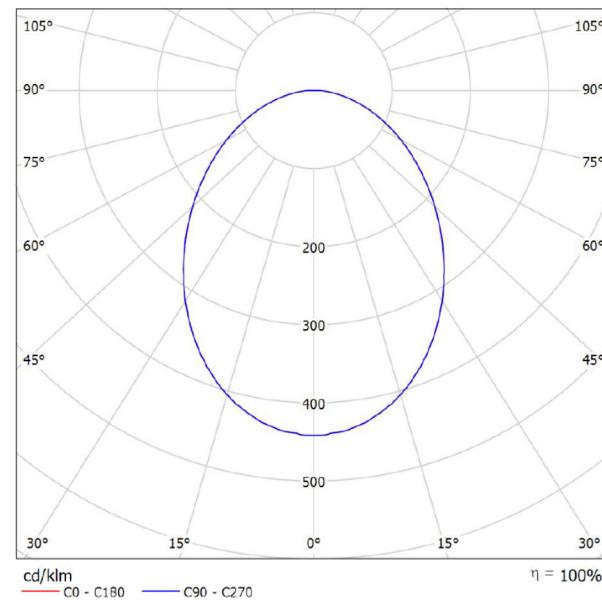


Figura 84.
Fonte: artemide.com



Artemide CASTORE TERRA

Articolo No.: 1055010A
 Flusso luminoso (Lampada): 1064 lm
 Flusso luminoso (Lampadine): 1255 lm
 Potenza lampade: 16.5 W
 Classificazione lampade secondo CIE: 54
 CIE Flux Code: 25 50 75 54 85
 1 pezzo
 LED

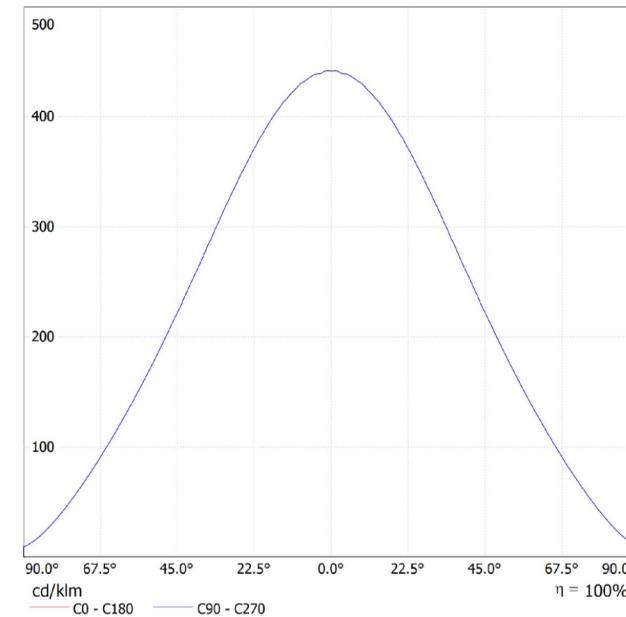
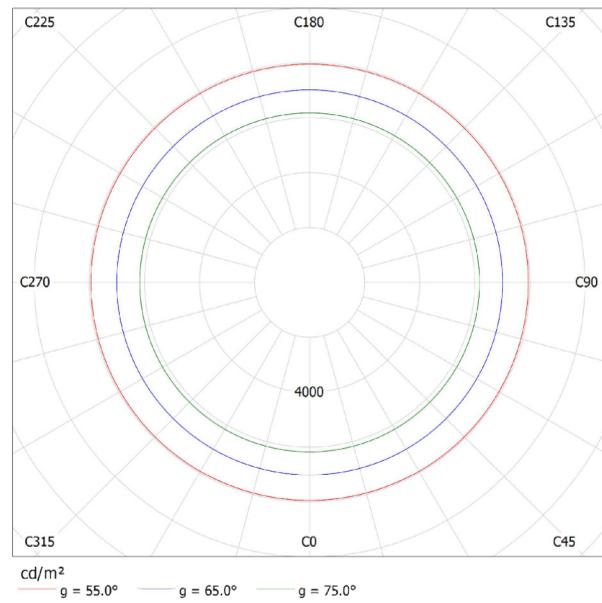
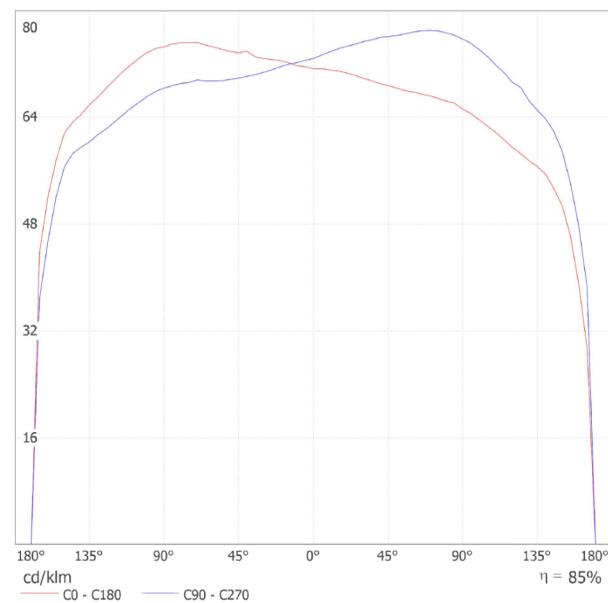
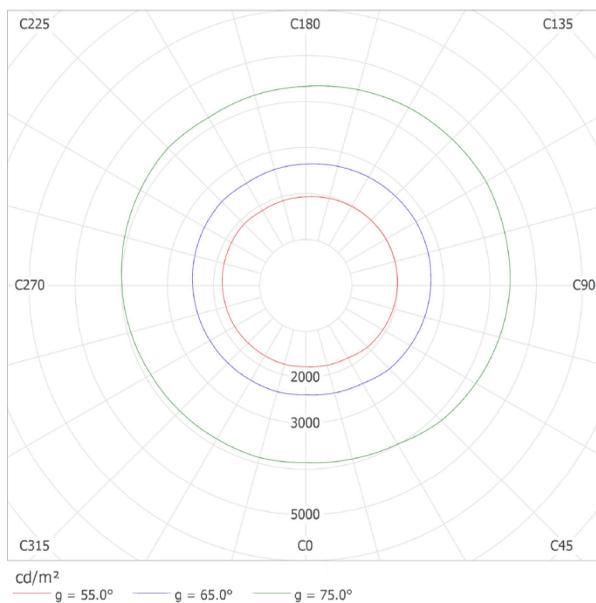


FLOS AIM

Articolo No.: F0090009
 Flusso luminoso (Lampada): 1150 lm
 Flusso luminoso (Lampadine): 1150 lm
 Potenza lampade: 16.0 W
 Classificazione lampade secondo CIE: 100
 CIE Flux Code: 53 82 96 100 100
 2 pezzi
 LED



Figura 85.
Fonte: flos.com



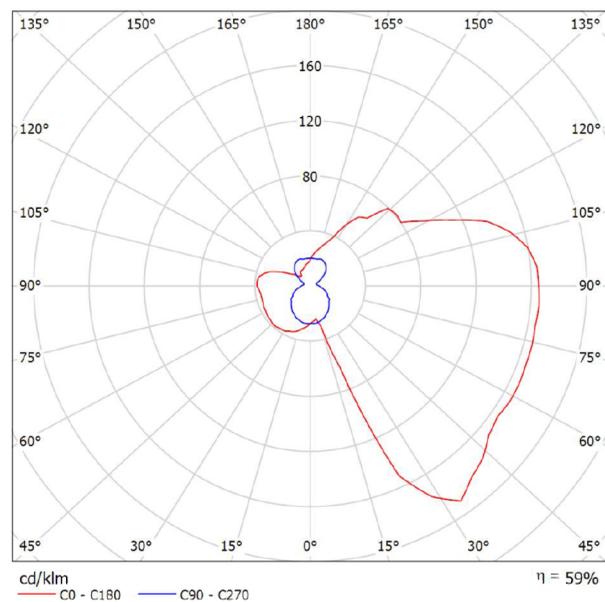
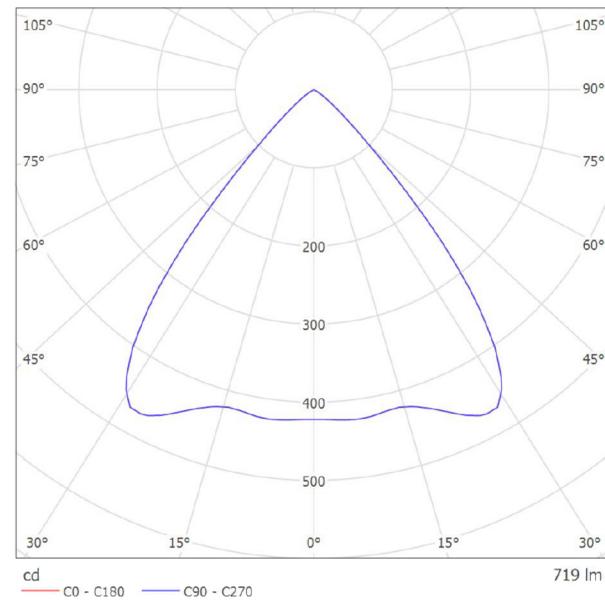


Figura 86.
fonte: flos.com

FLOS NORD FL

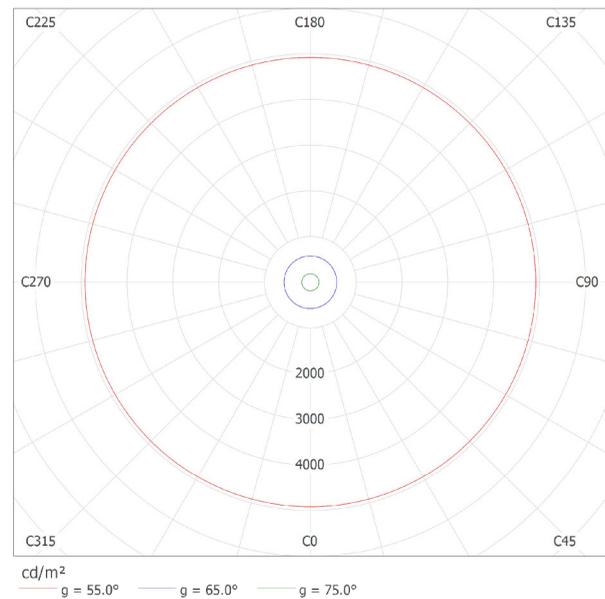
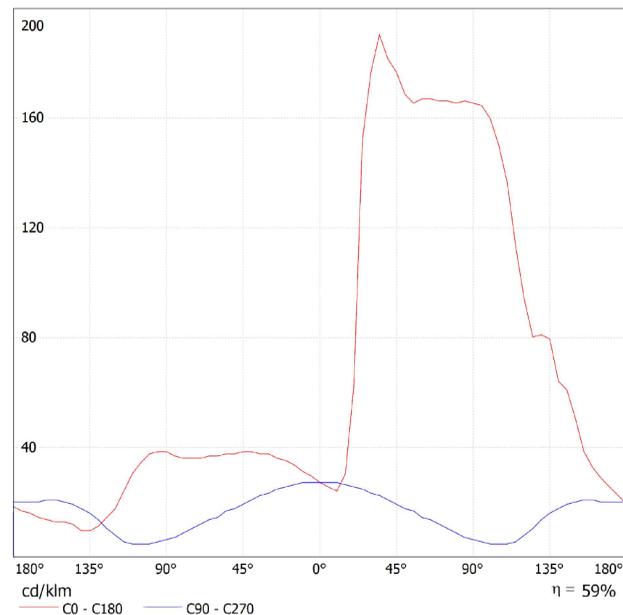
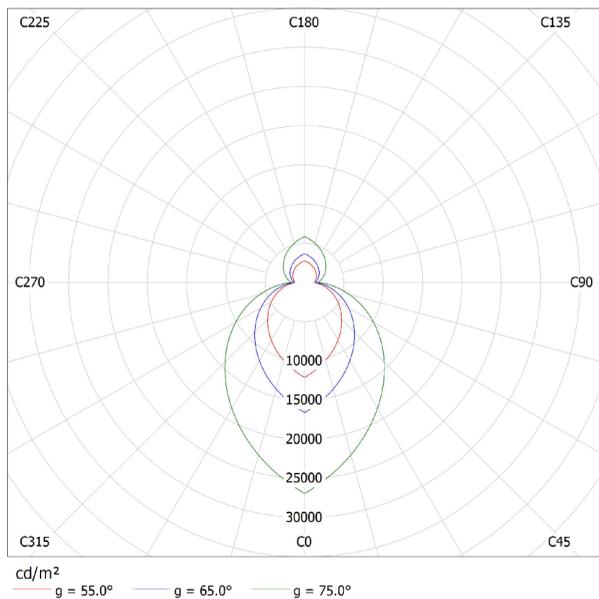
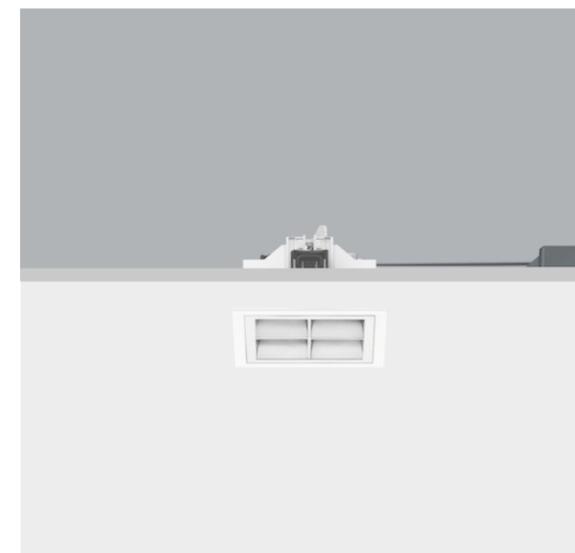
Articolo No.: F4728071
 Flusso luminoso (Lampada): 796 lm
 Flusso luminoso (Lampadine): 1350 lm
 Potenza lampade: 16.0 W
 Classificazione lampade secondo CIE: 61
 CIE Flux Code: 24 51 76 61 59
 3 pezzi
 LED



ERCO Quadra Downlight warm white

Articolo No.: 83213000
 Flusso luminoso (Lampada): 835 lm
 Flusso luminoso (Lampadine): 835 lm
 Potenza lampade: 6.0 W
 Classificazione lampade secondo CIE: 100
 CIE Flux Code: 88 100 100 100 100
 1 pezzo
 LED

Figura 87.
Fonte: erco.com



Valutazione di abbagliamento secondo UGR													
p. Soffitto		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30		
p. Pareti		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30		
p. Pavimento		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
Dimensioni del locale		Linea di mira perpendicolare all'asse delle lampade					Linea di mira parallela all'asse delle lampade						
X	Y	2H	3H	4H	6H	8H	12H	2H	3H	4H	6H	8H	12H
2H	2H	21.0	21.8	21.3	22.0	22.2	21.0	21.8	21.3	22.0	22.2	21.0	21.8
	3H	20.9	21.6	21.2	21.8	22.1	20.9	21.6	21.2	21.8	22.1	20.9	21.6
	4H	20.8	21.5	21.1	21.7	22.0	20.8	21.5	21.1	21.7	22.0	20.8	21.5
	6H	20.8	21.4	21.1	21.6	21.9	20.8	21.4	21.1	21.6	21.9	20.8	21.4
	8H	20.7	21.3	21.1	21.6	21.9	20.7	21.3	21.1	21.6	21.9	20.7	21.3
	12H	20.7	21.2	21.0	21.5	21.8	20.7	21.2	21.0	21.5	21.8	20.7	21.2
4H	2H	20.8	21.5	21.1	21.7	22.0	20.8	21.5	21.1	21.7	22.0	20.8	21.5
	3H	20.7	21.2	21.0	21.5	21.8	20.7	21.2	21.0	21.5	21.8	20.7	21.2
	4H	20.6	21.1	21.0	21.4	21.8	20.6	21.1	21.0	21.4	21.8	20.6	21.1
	6H	20.5	20.9	21.0	21.3	21.7	20.5	20.9	21.0	21.3	21.7	20.5	20.9
	8H	20.5	20.9	20.9	21.2	21.6	20.5	20.9	20.9	21.2	21.6	20.5	20.9
	12H	20.5	20.8	20.9	21.2	21.6	20.5	20.8	20.9	21.2	21.6	20.5	20.8
8H	4H	20.5	20.9	20.9	21.2	21.6	20.5	20.9	20.9	21.2	21.6	20.5	20.9
	6H	20.4	20.7	20.9	21.1	21.6	20.4	20.7	20.9	21.1	21.6	20.4	20.7
	8H	20.4	20.6	20.8	21.0	21.5	20.4	20.6	20.8	21.0	21.5	20.4	20.6
	12H	20.3	20.5	20.8	21.0	21.5	20.3	20.5	20.8	21.0	21.5	20.3	20.5
12H	4H	20.5	20.8	20.9	21.2	21.6	20.5	20.8	20.9	21.2	21.6	20.5	20.8
	6H	20.4	20.6	20.8	21.0	21.5	20.4	20.6	20.8	21.0	21.5	20.4	20.6
	8H	20.3	20.5	20.8	21.0	21.5	20.3	20.5	20.8	21.0	21.5	20.3	20.5

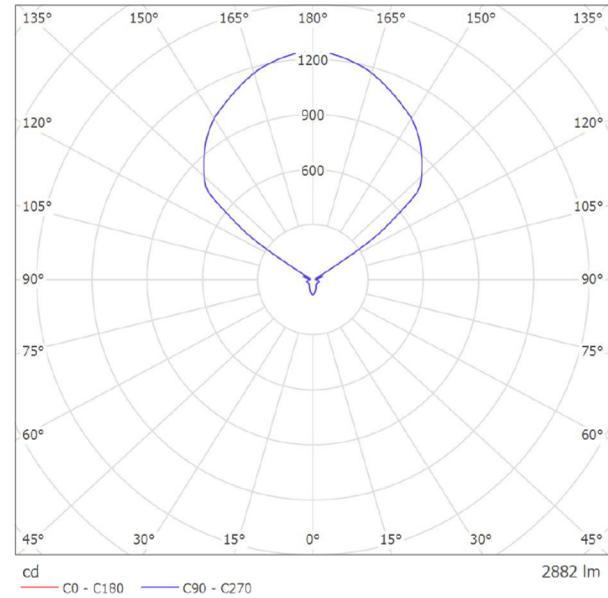
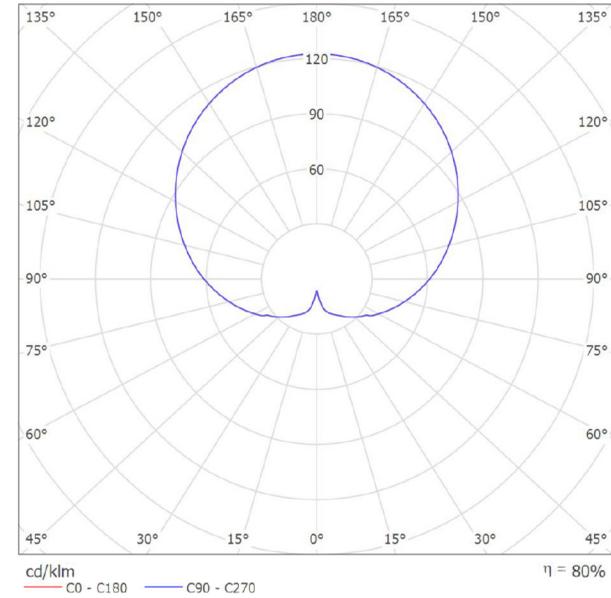


Figura 88.
Fonte: Artemide.com

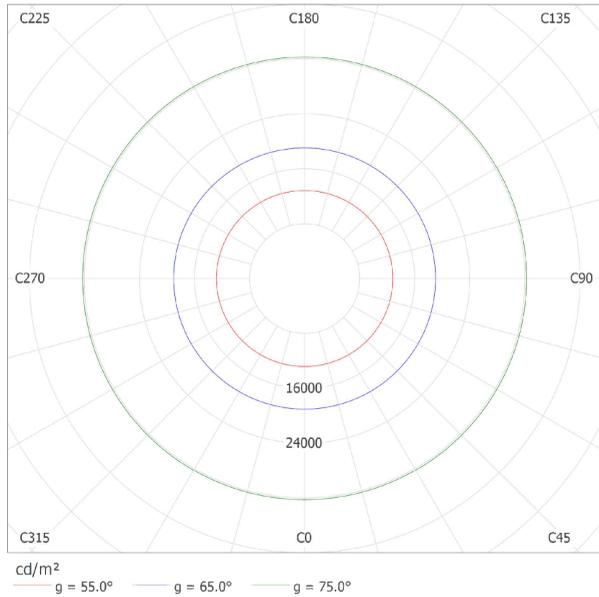
ARTEMIDE Pirce sospensione
 Articolo No.: 1254110A
 Flusso luminoso (Lampada): 1950 lm
 Flusso luminoso (Lampadine): 1950 lm
 Potenza lampade: 19.5 W
 Classificazione lampade secondo CIE: 7
 CIE Flux Code: 32 55 81 07 100
 1 pezzo
 LED



ARTEMIDE nh1217 T
 Articolo No.: 1217010A
 Flusso luminoso (Lampada): 277 lm
 Flusso luminoso (Lampadine): 345 lm
 Potenza lampade: 3.0 W
 Classificazione lampade secondo CIE: 30
 CIE Flux Code: 14 36 64 30 80
 2 pezzi
 LED

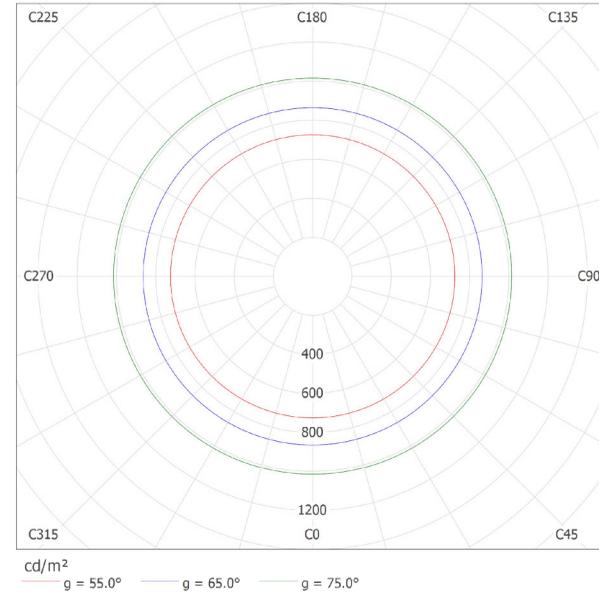


Figura 89.
Fonte: artemide.com



Distanza [m]	Diametro cono [m]	Illuminamento [lx]
3.0	7.60	E(180°) 137 E(C0) 17
2.5	6.33	E(180°) 198 E(C0) 24
2.0	5.06	E(180°) 309 E(C0) 38
1.5	3.80	E(180°) 549 E(C0) 67
1.0	2.53	E(180°) 1236 E(C0) 151
0.5	1.27	E(180°) 4943 E(C0) 602

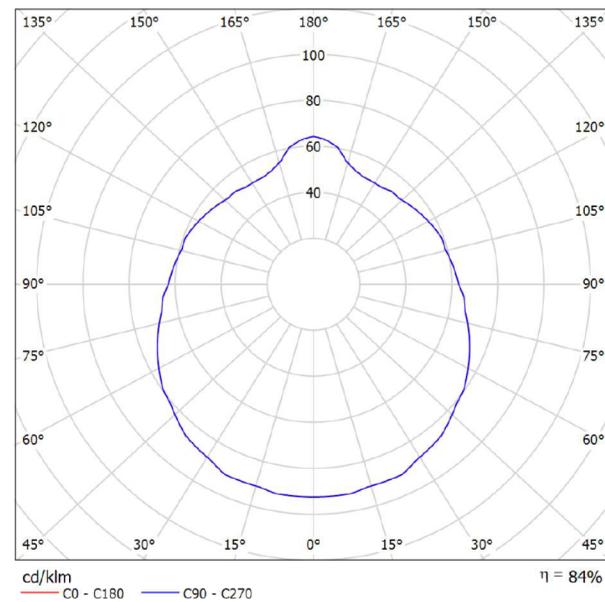
— C0 - C180 (Angolo di dimezzamento: 103.4°)



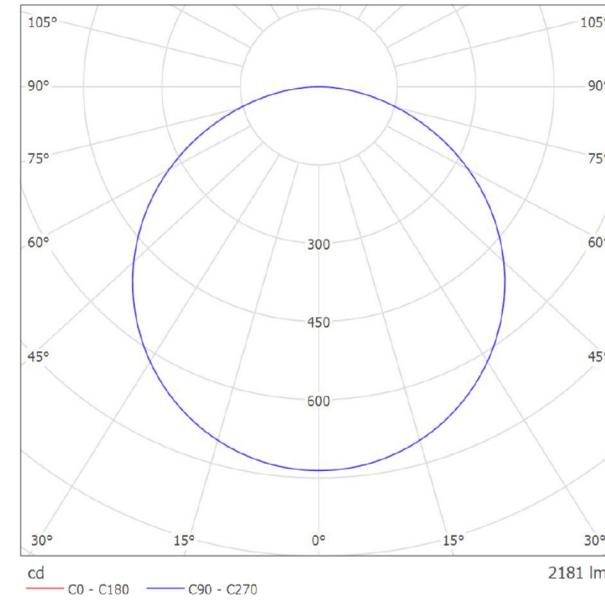
Valutazione di abbagliamento secondo UGR													
		70	70	50	50	30	70	70	50	50			
p Soffitto		50	30	50	30	30	50	30	50	30			
p Pareti		20	20	20	20	20	20	20	20	20			
p Pavimento		20	20	20	20	20	20	20	20	20			
Dimensioni del locale		Linea di mira perpendicolare all'asse delle lampade					Linea di mira parallela all'asse delle lampade						
X	Y	2H	3H	4H	6H	8H	12H	2H	3H	4H	6H	8H	12H
2H	2H	5.7	6.5	6.7	7.5	9.0	5.7	6.5	6.7	7.5	9.0	5.7	6.5
	3H	8.9	9.6	9.9	10.7	12.2	8.9	9.6	9.9	10.7	12.2	8.9	9.6
	4H	10.5	11.2	11.6	12.3	13.8	10.5	11.2	11.6	12.3	13.8	10.5	11.2
	6H	12.2	12.8	13.3	13.9	15.4	12.2	12.8	13.3	13.9	15.4	12.2	12.8
	8H	13.0	13.6	14.1	14.7	16.2	13.0	13.6	14.1	14.7	16.2	13.0	13.6
	12H	13.8	14.3	14.9	15.5	17.0	13.8	14.3	14.9	15.5	17.0	13.8	14.3
4H	2H	6.7	7.4	7.8	8.5	10.0	6.7	7.4	7.8	8.5	10.0	6.7	7.4
	3H	10.0	10.6	11.1	11.7	13.2	10.0	10.6	11.1	11.7	13.2	10.0	10.6
	4H	11.8	12.3	12.9	13.4	15.0	11.8	12.3	12.9	13.4	15.0	11.8	12.3
	6H	13.5	14.0	14.7	15.1	16.7	13.5	14.0	14.7	15.1	16.7	13.5	14.0
	8H	14.4	14.8	15.6	16.0	17.6	14.4	14.8	15.6	16.0	17.6	14.4	14.8
	12H	15.3	15.7	16.4	16.8	18.4	15.3	15.7	16.4	16.8	18.4	15.3	15.7
8H	4H	12.4	12.8	13.5	14.0	15.5	12.4	12.8	13.5	14.0	15.5	12.4	12.8
	6H	14.4	14.8	15.6	15.9	17.5	14.4	14.8	15.6	15.9	17.5	14.4	14.8
	8H	15.4	15.8	16.6	16.9	18.5	15.4	15.8	16.6	16.9	18.5	15.4	15.8
	12H	16.5	16.8	17.7	17.9	19.5	16.5	16.8	17.7	17.9	19.5	16.5	16.8
12H	4H	12.5	12.9	13.7	14.1	15.6	12.5	12.9	13.7	14.1	15.6	12.5	12.9
	6H	14.6	15.0	15.8	16.1	17.7	14.6	15.0	15.8	16.1	17.7	14.6	15.0
	8H	15.6	16.0	16.9	17.2	18.8	15.6	16.0	16.9	17.2	18.8	15.6	16.0
Variazione della posizione dell'osservatore per le distanze delle lampade S													
S = 1.0H		+0.1 / -0.1					+0.1 / -0.1						
S = 1.5H		+0.2 / -0.2					+0.2 / -0.2						
S = 2.0H		+0.4 / -0.4					+0.4 / -0.4						
Tabella standard Addendo di correzione		BK12					BK12						
		0.6					0.6						
Indici di abbagliamento corretti riferiti a 320lm Flusso luminoso sferico													



Figura 90.
Fonte: artemide.com



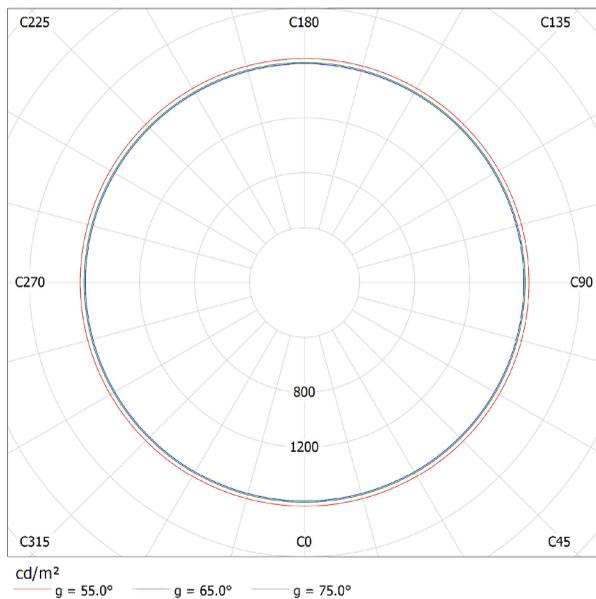
FLOS GLO-BALL S1
 Articolo No.: F3005061
 Flusso luminoso (Lampada): 913 lm
 Flusso luminoso (Lampadine): 1085 lm
 Potenza lampade: 9.0 W
 Classificazione lampade secondo CIE: 58
 CIE Flux Code: 29 55 79 58 84
 1 pezzo
 LED



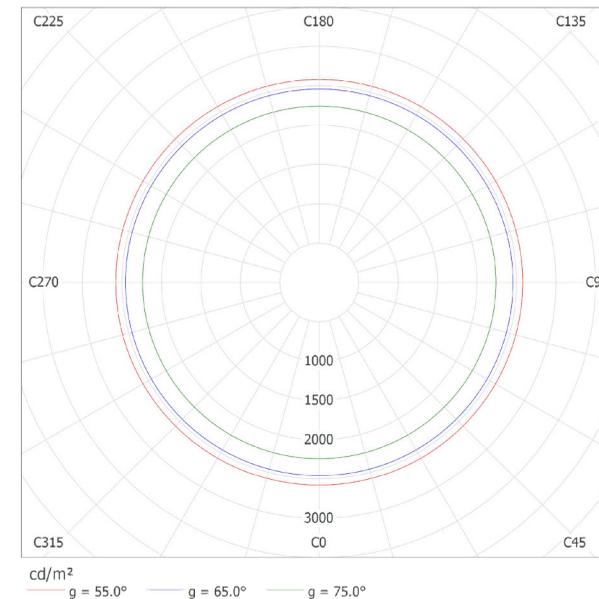
ARTEMIDE FEBE W/C
 Articolo No.: 0241W00A
 Flusso luminoso (Lampada): 1275 lm
 Flusso luminoso (Lampadine): 1275 lm
 Potenza lampade: 13.5 W
 Classificazione lampade secondo CIE: 100
 CIE Flux Code: 46 77 95 100 100
 CIE Flux Code: 53 82 96 100 100
 1 pezzo
 LED



Figura 91.
Fonte: artemide.com



Valutazione di abbagliamento secondo UGR													
ρ Soffitto	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	30	30	
ρ Pareti	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	50	30	
ρ Pavimento	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Dimensioni del locale		Linea di mira perpendicolare all'asse delle lampade						Linea di mira parallela all'asse delle lampade					
X	Y	2H	11.3	12.3	12.2	13.2	14.2	11.3	12.3	12.2	13.2	14.2	
		3H	13.6	14.5	14.4	15.4	16.4	13.6	14.5	14.4	15.4	16.4	
		4H	14.7	15.6	15.6	16.5	17.6	14.7	15.6	15.6	16.5	17.6	
		6H	15.9	16.7	16.7	17.6	18.7	15.9	16.7	16.7	17.6	18.7	
		8H	16.4	17.2	17.3	18.1	19.2	16.4	17.2	17.3	18.1	19.2	
		12H	17.0	17.7	17.9	18.6	19.8	17.0	17.7	17.9	18.6	19.8	
		4H	12.1	13.0	12.9	13.8	14.9	12.1	13.0	12.9	13.8	14.9	
		3H	14.5	15.3	15.4	16.2	17.3	14.5	15.3	15.4	16.2	17.3	
		4H	15.8	16.5	16.7	17.4	18.6	15.8	16.5	16.7	17.4	18.6	
		6H	17.1	17.7	18.1	18.7	19.9	17.1	17.7	18.1	18.7	19.9	
		8H	17.8	18.3	18.7	19.3	20.5	17.8	18.3	18.7	19.3	20.5	
		12H	18.5	19.0	19.4	19.9	21.1	18.5	19.0	19.4	19.9	21.1	
		8H	16.3	16.9	17.2	17.8	19.0	16.3	16.9	17.2	17.8	19.0	
		6H	17.9	18.3	18.8	19.3	20.5	17.9	18.3	18.8	19.3	20.5	
		8H	18.7	19.1	19.6	20.1	21.3	18.7	19.1	19.6	20.1	21.3	
		12H	19.5	19.9	20.5	20.9	22.1	19.5	19.9	20.5	20.9	22.1	
		12H	16.4	16.9	17.3	17.9	19.1	16.4	16.9	17.3	17.9	19.1	
		6H	18.0	18.5	19.0	19.4	20.7	18.0	18.5	19.0	19.4	20.7	
		8H	18.9	19.3	19.9	20.3	21.5	18.9	19.3	19.9	20.3	21.5	
Variazione della posizione dell'osservatore per le distanze delle lampade S		S = 1.0H		+0.1 / -0.1		+0.1 / -0.1		S = 1.5H		+0.2 / -0.2		+0.2 / -0.2	
		S = 2.0H		+0.3 / -0.4		+0.3 / -0.4				+0.3 / -0.4			
Tabella standard		BK11						BK11					
Addendo di correzione		3.6						3.6					
Indici di abbagliamento corretti riferiti a 2500lm Flusso luminoso sferico													



Valutazione di abbagliamento secondo UGR													
ρ Soffitto	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	30	30	
ρ Pareti	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	50	30	
ρ Pavimento	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Dimensioni del locale		Linea di mira perpendicolare all'asse delle lampade						Linea di mira parallela all'asse delle lampade					
X	Y	2H	15.9	17.3	16.2	17.5	17.8	15.9	17.3	16.2	17.5	17.8	
		3H	17.6	18.8	17.9	19.1	19.4	17.6	18.8	17.9	19.1	19.4	
		4H	18.3	19.4	18.6	19.7	20.0	18.3	19.4	18.6	19.7	20.0	
		6H	18.8	19.9	19.2	20.2	20.5	18.8	19.9	19.2	20.2	20.5	
		8H	19.0	20.0	19.4	20.3	20.7	19.0	20.0	19.4	20.3	20.7	
		12H	19.1	20.1	19.5	20.4	20.8	19.1	20.1	19.5	20.4	20.8	
		4H	16.7	17.8	17.0	18.1	18.4	16.7	17.8	17.0	18.1	18.4	
		3H	18.5	19.5	18.9	19.8	20.1	18.5	19.5	18.9	19.8	20.1	
		4H	19.3	20.2	19.7	20.5	20.9	19.3	20.2	19.7	20.5	20.9	
		6H	20.0	20.7	20.4	21.1	21.5	20.0	20.7	20.4	21.1	21.5	
		8H	20.2	20.9	20.7	21.3	21.7	20.2	20.9	20.7	21.3	21.7	
		12H	20.4	21.1	20.9	21.5	21.9	20.4	21.1	20.9	21.5	21.9	
		8H	19.6	20.4	20.1	20.8	21.2	19.6	20.4	20.1	20.8	21.2	
		6H	20.5	21.0	20.9	21.5	21.9	20.5	21.0	20.9	21.5	21.9	
		8H	20.8	21.3	21.3	21.8	22.2	20.8	21.3	21.3	21.8	22.2	
		12H	21.1	21.5	21.6	22.0	22.5	21.1	21.5	21.6	22.0	22.5	
		12H	19.7	20.3	20.1	20.7	21.2	19.7	20.3	20.1	20.7	21.2	
		6H	20.5	21.1	21.0	21.5	22.0	20.5	21.1	21.0	21.5	22.0	
		8H	20.9	21.4	21.4	21.8	22.3	20.9	21.4	21.4	21.8	22.3	
Variazione della posizione dell'osservatore per le distanze delle lampade S		S = 1.0H		+0.1 / -0.1		+0.1 / -0.1		S = 1.5H		+0.2 / -0.2		+0.2 / -0.2	
		S = 2.0H		+0.3 / -0.4		+0.3 / -0.4				+0.3 / -0.4			
Tabella standard		BK05						BK05					
Addendo di correzione		3.5						3.5					
Indici di abbagliamento corretti riferiti a 2181lm Flusso luminoso sferico													

Figura 92.
simulazione 3D



Figura 94.
pianta prospettica
apparecchi

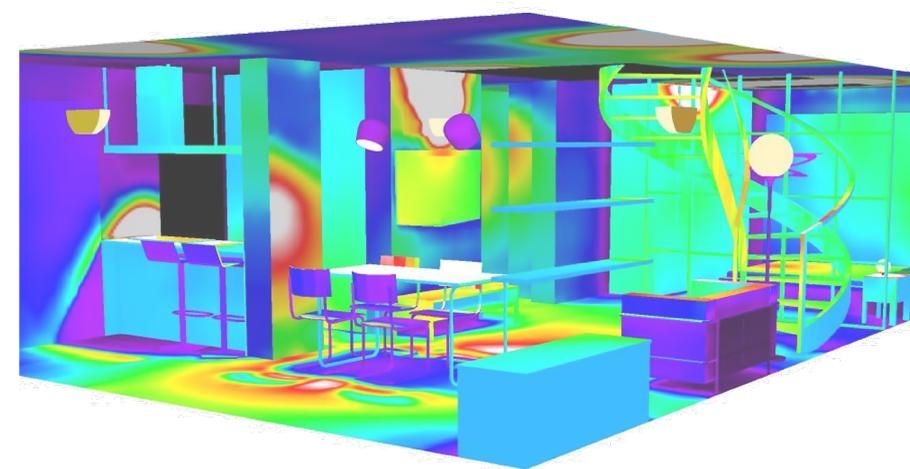


Figura 93.
simulazione 3D in fc

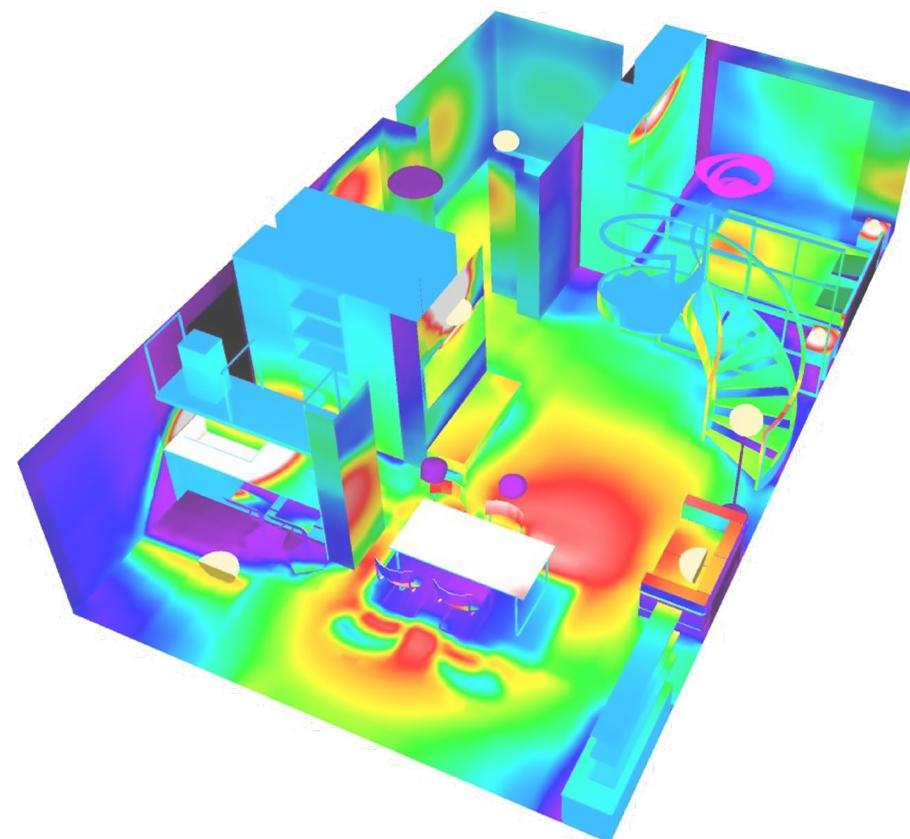


Figura 95.
pianta prospettica
in fc

Per ogni ambiente sono state analizzate le esigenze di utilizzo e di conseguenza sono state prese decisioni in merito alle scelte progettuali di lighting design. Si è optato per apparecchi che avessero un **colore bianco**, abbastanza neutro (2700K - 3000 K), per soddisfare i requisiti di visione e sicurezza visiva per l'utente, ma prediligendo una tonalità tendente al caldo. Questo perchè, trattandosi di un edificio di tipo residenziale, non vi erano necessità specifiche in merito alla cromaticità delle sorgenti. In questo modo è stato possibile creare un ambiente caratterizzato da un'illuminazione familiare, accogliente, per evitare un affaticamento dell'occhio durante le ore serali e non influenzare i ritmi di sonno-veglia con delle sorgenti troppo fredde.

Figura 96.
sistema intelligente
gorth
Fonte: philips.com



L'intero impianto è pensato per ovviare ai bisogni e alle necessità dell'individuo, ma anche per risparmiare il più possibile a livello energetico. Proprio per questo motivo il prototipo è caratterizzato da un sistema di **smart lighting integrato all'IoT**, che consente all'utente di impostare e dimmerare manualmente i livelli di luce in base alle esigenze del momento. Le impostazioni possono anche essere impostate automaticamente dal sistema grazie a dei sensori di rilevamento sia delle quantità di luce presenti nella scena, sia della presenza di utenti all'interno di un determinato ambiente. Queste strategie permettono di ridurre i consumi energetici fino al 90%, consentendo di elevare la classe energetica dell'edificio, ottenere certificazioni con punteggi più elevati e soprattutto contribuire al rispetto ambientale.

Grazie al programma Dialux è stato calcolato l'**indice LENI**, il quale permette di valutare il fabbisogno energetico elettrico dell'edificio. Al momento, lo stato di fatto, ovvero il progetto consegnato dal team di Milano, prevedeva un consumo di energia totale da illuminazione di **537.01 kWh/anno**, con un relativo indice **LENI di 10.64 kWh/axm²**. Grazie alle tecnologie adottate e ai miglioramenti apportati il consumo totale è sceso a **213.79 kWh/anno**, mentre l'indice **LENI risulta di 4.23 kWh/axm²**, con una risparmio di più del 60% sui costi dovuti alla componente elettrica.

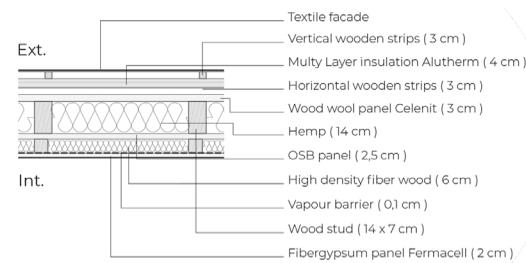
5.5 L'analisi energetica

Durante l'elaborazione di questo nuovo progetto ci si è domandati quali fossero le motivazioni che avessero spinto il team del politecnico a prediligere un prototipo più chiuso, dal punto di vista dell'involucro e meno performante dal punto di vista illuminotecnico. Le risposte sono arrivate attraverso la simulazione energetica e si è quindi deciso di analizzare anche questo aspetto della proposta progettuale.

Per la stesura di questo nuovo capitolo ci si è rivolti ad un ulteriore software di analisi, Termolog. Questo programma, dall'interfaccia grafica molto semplice, permette di ricreare all'interno dell'ambiente virtuale l'intero edificio, o parte di esso, e di analizzarlo dal punto di vista energetico.

All'interno del programma sono state inserite le coordinate geografiche, la tipologia d'intervento e tutte le informazioni riguardanti sia il prototipo che gli ambienti con cui comunicava termicamente.

Come già specificato, l'area di progetto è situata in Italia, a Desio, nei pressi di Milano. Trattandosi di nuova costruzione di un ampliamento di un edificio esistente con l'aggiunta di un impianto termico novo che andasse a migliorare quello già esistente, la normativa di riferimento è stata la L 90/2013 -D. M. Requisiti minimi, utilizzando per la verifica i valori relativi alla stessa e i dati climatici UNI 10349:2016.



La capacità termica è stata calcolata per via analitica, come anche i dati riguardanti le unità e le zone confinanti. L'ambiente circostante è stato lasciato su generico, poichè non si trattava di una qualche zona particolare, ma di uno degli isolati appartenenti all'area residenziale del comune.

Figura 97.
stratigrafia interna
pavimento da deli-
verable 3 SDE

Figura 98.
stratigrafia interna
muro da deliverable
3 SDE

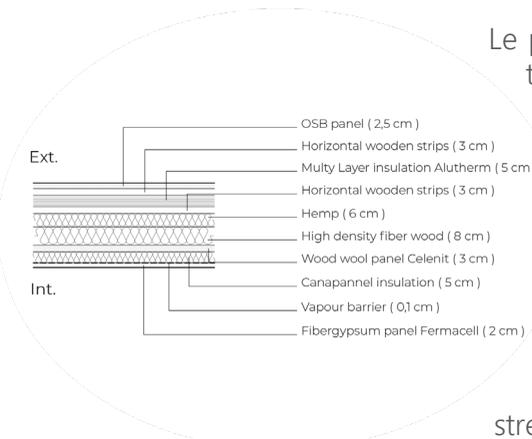


Figura 99.
stratigrafia interna
soffitto da deli-
verable 3 SDE

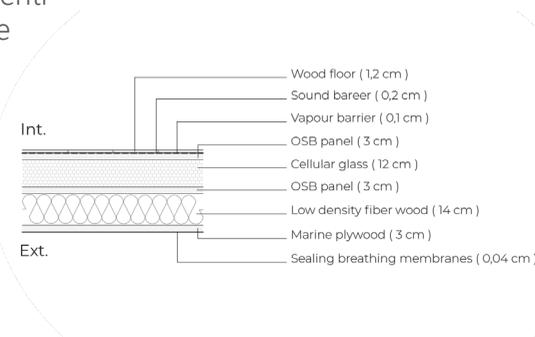
Per quanto riguarda la stratigrafia di progetto, il team ha deciso di optare per una struttura portante in acciaio piegato a freddo e, per l'isolamento, è stata impegnata la canapa da sola o con altri elementi di stratificazione in base all'utilizzo per interni o esterni. La finitura costituita da un intonaco fibroso è stata completata su dei pannelli OSB di chiusura.

Le pareti esterne hanno raggiunto quindi una trasmittanza termica di $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ e uno spessore di 38 cm, il pavimento $0,136 \text{ W/m}^2\text{K}$ e 36,5 cm mentre il soffitto $0,134 \text{ W/m}^2\text{K}$ e 37,6 cm di spessore. Le pareti interne, non essendo specificate, sono state assunte pari a 20 cm con una trasmittanza termica di $0,687 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Per quanto riguarda la componente trasparente, le due serre sono caratterizzate da una struttura in acciaio con vetri a singolo layer, mentre le finestre o elementi vetrati presenti all'interno dell'involucro del prototipo sono caratterizzati da una stratigrafia a triplo vetro a bassa emissione. Il vetro è stato assunto con una trasmittanza pari a $1,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ con stratigrafia 6-8-6-8-4 cm utilizzando come gas separatore l'aria.

Si tratta di una roof-top house, quindi non in diretto contatto con il terreno, bensì confinante con il solaio del soffitto dell'edificio sottostante. Si è ipotizzato che quest'ultimo, trattandosi di un fabbricato edilizio residenziale, che gli ambienti interni fossero riscaldati a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

I lati nord e sud del prototipo sono completamente liberi, ma sulla parte est troviamo la serra, fonte di guadagno termico, mentre a ovest vi è un prototipo gemello con le stesse identiche caratteristiche energetiche di



quello in analisi, quindi i cui ambienti interni sono stati posti nuovamente a $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Il locale impianti del core centrale è stato considerato come privo di sistemi di raffrescamento e riscaldamento, quindi ha assunto di volta in volta una temperatura diversa calcolata dal programma.

Una volta elaborato il prototipo nell'ambiente virtuale inserendo le sue proprietà fisiche, si sono definiti i sistemi di impianto. Il team di progetto ha deciso di utilizzare dei pannelli radianti a parete per il riscaldamento degli ambienti (13 m^2 in totale), aggiungendo inoltre un'unità di trattamento aria utilizzata per il controllo della qualità dell'aria e per raffrescare l'ambiente. La decisione di utilizzare dei pannelli a parete e non a soffitto o a pavimento è data dal fatto che mantengono sempre le stesse prestazioni. Il problema riguarda la formazione di condensa durante l'estate, ma è risolvibile grazie alla deumificazione attuabile grazie all'UTA. Il sistema è dotato di una pompa di calore con unità di condensazione esterna. Durante il periodo invernale è possibile sfruttare i guadagni solari provenienti dalla serra, mentre in estate questa può essere completamente aperta per ridurre gli stessi.

Nel progetto vengono inserite anche le utenze, per tenerne conto nel consumo energetico, le quali hanno una richiesta totale di 3024 kWh. Nel computo vanno aggiunte anche le sorgenti di luce calcolate al capitolo precedente. All'interno del programma è possibile indicare sia per le utenze sia per le luci, il numero di dispositivi, il consumo, e il corno-programma di utilizzo.

Successivamente si è passati a calcolare i fabbisogni di energia per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento, il raffrescamento e le relative performance energetiche del prototipo per poi paragonarlo con la proposta progettuale. Tramite Termolog questo passaggio risulta molto facile, infatti è stato possibile stabilire che per i $64,75 \text{ m}^2$ di edificio:

- Il fabbisogno di ACS equivale a $1686,3 \text{ kWh/a}$, con un EP_{ACS} pari a $16,01 \text{ kWh/m}^2\text{a}$;
- Il fabbisogno relativo al riscaldamento è di $2087,5 \text{ kWh/a}$, con EP_H di $19,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$;
- Il fabbisogno relativo al raffrescamento è di 3188 kWh/a , con EP_C pari a $29,26 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Da qui è stato possibile ricavarne la performance globale, equivalente alla somma dei fabbisogni di acqua calda sanitaria e riscaldamento, ovvero $35,31 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Dall'output è possibile visualizzare che l'edificio risulta essere in classe energetica A3

Figura 100.
classe energetica
prototipo



Figura 101.
classe energetica
proposta proget-
tuale

Con le modifiche apportate al prototipo anche i fabbisogni energetici si sono modificati. Grazie alle grandi aperture trasparenti è possibile aumentare le quantità di luce in ingresso risparmiando sulla luce artificiale, ma si aumentano i flussi termici provenienti dall'esterno. Studiando il prototipo e ricreandolo su Termolog si sono ottenuti i seguenti risultati:

- Il fabbisogno di ACS equivale a 1740,1 kWh/a, con un EP_{ACS} pari a 15,85 kWh/m²a;
- Il fabbisogno relativo al riscaldamento è di 2613,44 kWh/a, con EP_H di 25,38 kWh/m²a;
- Il fabbisogno relativo al raffrescamento è di 4957,85 kWh/a, con EP_C pari a 48,41 kWh/m²a.

In questo caso EP_{gl} risulta essere di 41,23 kWh/m²a, il che permette comunque all'edificio rimanere, anche se al limite, in classe A3. Questo significa che, nonostante i cambiamenti apportati, il prototipo rispetta le caratteristiche di efficienza energetica preposte dal team di progetto originale e che le proposte progettuali elaborate risultano qualitativamente ottimali per un miglioramento del prototipo sia sotto il punto di vista del comfort visivo, come dimostrato precedentemente, sia dal punto di vista energetico.

Come anticipato, all'interno del programma è possibile inserire sia le sorgenti di luce artificiale sia le utenze elettriche utilizzate. Un'ultima analisi effettuata riguarda quindi l'impianto fotovoltaico e il miglioramento di efficienza dal punto di vista dei consumi.

Sul prototipo è stato installato un impianto che va a coprire in parte il tetto del prototipo, in parte le vetrate delle serre. Il primo è costituito da una struttura monocristallina e avente le seguenti dimensioni 160 cm x 100 cm. Di questa tipologia sono stati installati 6 pannelli sul tetto, ognuno dei quali con un'inclinazione di 30° e 300 Wp, 1,8kWp nel complesso.

La seconda tipologia è invece composta da pannelli semitrasparenti, i quali lasciano passare parzialmente la radiazione solare. Si trovano su entrambe le serre e hanno grandezza uguale a quelle dei monocristallini, ciò significa che possono esserne integrati 9 sulla falda della serra sopra il prototipo e 12 su quella della serra confinante. Ogni pannello, composto da 45 celle, ha una potenza di 200 Wp, 4,2 kWp nel complesso. Sommando tutti i pannelli si arriva a 6 kWp, superando così i 5 kWp richiesti dalla competizione.



I pannelli sono caratterizzati da un'inclinazione di 30° e l'irradiazione solare sul piano orizzontale è pari a 1246,8 kWh/m². La potenza nominale risulta quindi essere 8453,30 kWh/anno considerando un coefficiente correttivo di 1,13 con azimuth a 0°. E' necessario però tenere conto delle riduzioni dovute alle perdite, le quali vengono assunte nel complesso pari a 21,30%. In questo modo il guadagno scende a 6652,74 kWh/anno.

Dal calcolo dei consumi ricordiamo che le utenze corrispondono a una domanda di 3024 kWh/anno mentre le sorgenti di luce a 537,01 kWh/anno, per un totale di 3561,01 kWh/anno.

In un'ipotesi di autarchia totale il fabbisogno, essendo minore dell'energia raccolta, viene completamente ricoperto dalla componente solare e la restante parte può essere rivenduta per rientrare dell'investimento iniziale di realizzazione dell'impianto. I pannelli hanno prezzo pari a circa 1000€/m², ma grazie alle sovvenzioni del 50% nell'area milanese è possibile ridurre i costi di costruzione. Tenendo conto anche delle sorgenti luminose, possiamo ipotizzare un investimento iniziale pari a 10000 €. Considerando inoltre un tasso di interesse di 0,04 e una vendita dell'energia solare pari a 0,10 €/kWh, troviamo che si rientrebbe dell'investimento dopo 11 anni.

Considerando invece il nuovo progetto, bisogna innanzitutto tenere conto che le sorgenti hanno un consumo ridotto rispetto a prima, ovvero di 213,75 kWh/anno, che sommato a quello delle utenze risulta essere 3237,75 kWh/anno. In secondo luogo si è pensato di introdurre sulla schermatura che è stata aggiunta all'ingresso sulla parete a sud delle lamelle con sistema fotovoltaico integrato e in modo da eliminare i pannelli fotovoltaici sul tetto utilizzandone di direzionabili, quindi più efficienti, e abbinarli alla componente schermante, così da non dover realizzare entrambi gli elementi e di conseguenza dover affrontare un costo maggiore.

Le lamelle da 21,5 cm x 120 cm possono essere montate sulla porzione di schermatura fissa, è quindi possibile costruire 2 file di schermi da 8 elementi ciascuno. Ogni elemento ha una potenza di 27 Wp, per un totale di 4,3 kWp. Ripercorrendo lo stesso iter di prima troviamo che:

- La potenza totale di progetto è di 8,5 kWp;
- I guadagni di energia solare, con la detrazione delle relative perdite, arrivano a 9424,72 kWh/anno;
- Il periodo di rientro si avrebbe dopo 9 anni.

Figura 102.
lamelle solari
Fonte: solarmet.com



6 Conclusioni

Uno degli obiettivi di questa tesi è stato innanzitutto quello di creare una linea guida da utilizzare come introduzione o approfondimento alle tematiche riguardanti il daylighting ed il lighting design, al fine di fornire al progettista degli strumenti utili alla progettazione illuminotecnica, ma anche alla progettazione architettonica. L'architettura d'altronde è uno dei tanti mezzi, se non il mezzo principale, con cui si può diffondere la luce nello spazio costruito. Quello che è stato fatto durante il percorso di tesi è stato proprio questo: capire come sfruttare al massimo questo elemento naturale e gratuito ai fini di creare un ambiente che fosse qualitativamente apprezzabile a livello visivo, ma che fosse soprattutto quantitativamente efficiente in ambito di comfort e risparmio energetico.

Queste due grandi tematiche sono state affrontate e approfondite sia a livello teorico nella prima parte del lavoro, sia a livello pratico con gli studi effettuati sul caso del prototipo SEED Italy per la Solar Decathlon 2019. In questo caso l'obiettivo è stato quello di fornire un caso studio di riferimento a quanto detto nella prima parte dell'elaborato, ma soprattutto di analizzare in chiave critica il progetto portato avanti dal team italiano, capitanato in questa edizione dal Politecnico di Milano, per poi fornire un adeguato feedback che potesse essere utile ai fini della progettazione della roof-top house.

A seguito di una prima analisi, le critiche mosse sono state trasformate in una proposta progettuale vera e propria che non ha stravolto le idee iniziali del team di progetto, ma che le ha assecondate, proponendo delle modifiche atte a rendere maggiormente efficiente il prototipo sia dal punto di vista del benessere, sia del consumo energetico.

Il nuovo progetto rispetta tutti i vincoli stabiliti dalla SDE 2019 in ambito di daylighting e lighting design e tiene conto anche di quanto richiesto dalla normativa italiana, dalle norme UNI di questo ambito e di alcuni dei requisiti previsti all'interno delle certificazioni energetiche presentate nei capitoli teorici, ovvero ITACA, BREEAM, LEED e WEEL, confrontando i risultati anche con l'allegato energetico di Torino.

I primi risultati ottenuti sono stati ottimali per la maggior parte delle metriche ad eccezione della Annual Solar Exposure, questo perchè le grandi aperture disposte all'interno dell'involucro hanno comportato un aumento eccessivo della luce diurna in ingresso, con un conseguente rischio di abbagliamento. Per ovviare a ciò sono state progettate varie componenti schermanti per eliminare i fenomeni di discomfort visivo ed attenuare i relativi flussi termici.

I nuovi livelli di luce risultano essere migliorati dal punto di vista dell'Annual Glare e le condizioni di comfort sono state rispettate. Alcuni dei traguardi raggiunti con la precedente configurazione sono stati persi, ma è diventato possibile ottenere i punteggi relativi alla schermatura, richiesti dalla maggior parte delle certificazioni per mantenere il benessere visivo degli ambienti interni sotto controllo.

Il lavoro nel complesso risulta essere soddisfacente data anche la riduzione dei consumi ottenuta con il nuovo progetto di lighting design e al miglioramento del sistema solare fotovoltaico. Il prototipo rispetta la classe energetica di partenza, nonostante l'aumento dei consumi dal punto di vista energetico. Uno degli approfondimenti possibili riguarda proprio questo aspetto. Con una scelta stratigrafica differente dei componenti utilizzati, un diverso tipo di schermatura o materiale trasparente delle vetrate, si potrebbero ottenere dei risultati energetici migliori i quali comporterebbero una riduzione dei consumi e a dei traguardi più alti dal punto di vista della certificazione.

Bibliografia

Libri:

- BONOMO Mario, Teoria e tecnica dell'illuminazione d'interni, Santarcangelo di Romagna, Maggiore Editore, 2009;
- BIANCHI Francesco, L'architettura della luce, Roma, Edizioni Kappa, 1991;
- AGHEMO Chiara, LO VERSO Valerio, Guida alla progettazione dell'illuminazione naturale, Milano, AIDI, 2003;
- ALCAMO Giuseppina, Illuminazione naturale e simulazioni energetiche, Firenze, Abita – Centro Universitario, 2007;
- AGHEMO Chiara, AIZZOLINO Cristina, Illuminazione naturale: Metodi ed esempi di calcolo, Beinasco, Celid, 1995;
- FORCOLINI Gianni, Illuminazione LED funzionamento caratteristiche prestazioni applicazioni, Milano, Hoepli, 2011;
- FORCOLINI Gianni, Lighting lampade apparecchi impianti progettazione per ambienti interni ed esterni, Milano, Hoepli, 2004;
- MOTTURA Giovanna, PENNISI Alessandra, Progettazione tecniche e materiali. Progetti di luce. Luce naturale e luci artificiali in ambienti interni ed esterni. Schede di progetto con disegni prospettici immagini a colori, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2010;
- PALLADINO Pietro, COPPEDE' Cesare, La luce in architettura. Guida alla progettazione, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2012;
- PALLADINO Pietro, Manuale di illuminotecnica, Milano, Tecniche nuove, 2005;
- RAVIZZA Donatella, Progettare con luce, Milano, FrancoAngeli, 2011;
- FORCOLINI Gianni, Led e oled. Le nuove tecnologie al servizio del lighting design, Milano, Editoriale Delfino, 2016;
- DE ANGELIS Enrico, Luce naturale e artificiale (Ulrike Brandi Licht), Torino, UTET Scienze Tecniche, 2007;
- MANDELLI Emma, Colore luce e materia in architettura, Firenze, Alinea, 2000;
- GHERRI Barbara, Daylight assessment: il ruolo della luce naturale nella definizione dello spazio architettonico e protocolli di calcolo, Milano, FrancoAngeli, 2013;
- TORRICELLI Maria Chiara, SALA Marco, SECCHI Simone, Daylight = la luce del giorno: tecnologie e strumenti per la progettazione, Firenze, Alinea, 1995;
- CREMONINI Lorenzo, Luce: luce artificiale, luce naturale, Firenze, Alinea, 1992;
- ROGORA Alessandro, Luce naturale e progetto, Santarcangelo di Romagna, Maggioli, 1997;

- CAPANNI Fabio, Architettura e luce: principi elementari per progettare con la luce naturale, Siracusa, Lettera Ventidue, 2017;
- LANTSCHNER Norbert, CasaClima: il piacere di abitare, Bolzano, Athesia, 2007;
- PAVESI Angela Silvia, VERANI Elena, Introduzione alla certificazione LEED: progetto, costruzione gestione: ottimizzazione del processo edilizio secondo i principi della sostenibilità, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2012;
- MARCHETTINI Nadia, TIEZZI Enzo, Che cos'è lo sviluppo sostenibile? Le basi della sostenibilità e i guasti del pensiero unico, Roma, Donzelli, 1999;
- GUAZIN-MULLER Dominique, Architettura sostenibile, Milano, Ed. Ambiente, 2003;
- GBC Italia association, GREEN BUILDING Nuove Costruzioni e ristrutturazioni, Manuale LEED Italia 2009 NC, Rovereto, GBC Italia, 2009;
- CUMO Fabrizio, ITACA Applicazione critica del protocollo per la valutazione della sostenibilità energetica e ambientale degli edifici, Roma, Gangemi, 2012;
- UNI, Luce diurna negli edifici UNI EN 17037, 2019;

Articoli o altra documentazione:

- SEED Italy - SDE19 - Press Kit D.3, Politecnico di Milano, 2019;
- SEED Italy - SDE19 - Project Manual D.3, Politecnico di Milano, 2019;
- SEED Italy - SDE19 - Press Release D.3, Politecnico di Milano, 2019;
- SDE19 Rules version 1.0, Solar Decathlon Europe 2019, 2017;
- Partecipazione italiana al Solar Decathlon Europe 2019, Politecnico di Milano, 2019;

Tesi:

- LO VERSO Valerio, Indici di benessere visivo: aspetti teorici e sperimentali, Politecnico di Torino, 1998;
- FIORE Gianluca, Un approccio dinamico per la progettazione dell'illuminazione naturale, Politecnico di Torino, 2008;
- BOSTICA Alessandro, Un'architettura come esperienza di luce: progetto per l'International Velux Award, Politecnico di Torino, 2010;
- MELONE Nicola, CORTI Andrea, Lighting design: un'esperienza formativa tra Rio e Roma, Politecnico di Torino, 2017;
- CORSO Alessandro, Tecnologie per il controllo della luce naturale, Politecnico di Torino, 1999;
- MASSA Francesca, Integrazione tra luce naturale e luce artificiale: po-

- tenzialità e limiti di risparmio energetico, Politecnico di Torino, 2007;
- CAPOCETTI Fabio, Il progetto della luce naturale : l'uso del cielo artificiale per la progettazione di una biblioteca, Politecnico di Torino, 2004;
- SAVIO Valeria, Progetto green school : la luce naturale come risorsa per il comfort visivo e l'efficienza energetica : Istituto Maxwell, Politecnico di Torino, 2014;
- BERDONARO Elettra Samira, La progettazione della luce naturale attraverso simulazioni fisiche e numeriche : limiti e potenzialità nell'applicazione di strumenti di calcolo avanzato, Politecnico di Torino, 2002;
- ROMAGNOLI Elisa, Modelli statistici per la previsione della disponibilità di luce naturale e dei LENI in ambito illuminotecnico, Politecnico di Torino, 2015;
- OTTATI Ilenia, Certificazione di sostenibilità in una "casa passiva" : il controllo della luce naturale e l'influenza sull'efficienza energetica, Politecnico di Torino, 2011;
- CARRARO Simone, Sistemi di illuminazione LED, Università degli studi di Padova, 2010;7
- BIANCO Valentina, Volare a colori: La percezione del colore in cabina come elemento influenzante il benessere durante il volo, Politecnico di Torino, 2018;
- BOGLIO Francesca, Abitare rispettando l'ambiente: l'autosufficienza dell'edificio cambierà il modo di vivere, Politecnico di Torino, 2019.

Sitografia:

- CARLETTI Cristina, Benessere visivo ed illuminotecnico, Dip. TAeD Università di Firenze, da <http://web.taed.unifi.it/fisicatecnica/BENESSERE%20VISIVO.pdf> ;
- PENNISI Alessandra, L'importanza della luce per il comfort ambientale, Maggioli Editore, da <http://sanpaoloimprese.com/portallmpn0/pdf/doss0805.pdf> ;
- MORACA Sara, Luce buio e design sono la chiave di benessere e produttività, Wired.it, da https://www.wired.it/lifestyle/design/2018/02/13/luce-buio-design-produttivita/?refresh_ce= ;
- ROSATI Massimo, L'importanza della corretta illuminazione in un ambiente wellness, Design Street, da <https://www.linealight.com/it-it/blog/l-importanza-della-corretta-illuminazione-in-un-ambiente-wellness/23815> ;
- MUSSI Gaia, Luce naturale: soluzioni per illuminare gli ambienti chiusi, Infobuild Energia, da <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/illuminazione-naturale-138.html#> ;
- MARRA Alessandra, La luce zenitale in architettura, EdilPortale, da

https://www.edilportale.com/news/2017/02/focus-architettura-e-luce/la-luce-zenitale-in-architettura_56594_69.html ;

- Illuminazione naturale: cosa sapere per una corretta progettazione, Infobuild Energia, <https://www.infobuild.it/approfondimenti/illuminazione-naturale-cosa-sapere-corretta-progettazione/#> ;

- Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975, Ministro per i lavori pubblici di concerto con il Ministro per la pubblica istruzione, da http://anagrafeediliziascolastica.regione.marche.it/mappla/documentiedilizia/DM_18121975.pdf ;

- UNI EN 12464-1 "Illuminazione dei Luoghi di Lavoro", 2011 da <http://www.amstra.it/documenti/UNI%20EN%2012464-1.pdf> ;

- CANTINI Andrea, Color design, il colore è alleato del progetto architettonico per interni, da <https://www.architetti.com/color-design-il-colore-e-alleato-del-progetto-architettonico-per-interni.html> ;

- TAMBURRINI Vittorio, L'uso del colore in architettura di interni: Colore, percezione e salute, Libera Scuola Rudolf Steiner, da <http://www.liberascuola-rudolfsteiner.it/2017/12/30/luso-del-colore-in-architettura-di-interni-colore-percezione-e-salute/> ;

- BELLIA Laura, L'influenza della luce artificiale sul ritmo circadiano, Luce e Design, da <http://www.lucenews.it/linfluenza-della-luce-artificiale-sul-ritmo-circadiano/> ;

- FORNASIERO Andrea, Luce naturale progettata e benessere ambientale negli edifici, Menens-Tifs ingegneria da <https://www.ediltecnico.it/wp-content/uploads/2017/05/2017-05-09-Futurebuild-Torino-Afornasiero-v66.pdf> ;

- INTINI Elisabetta, Come funziona il nostro orologio biologico, Focus, da <https://www.focus.it/scienza/salute/bioritmi-come-funziona-lorologio-biologico?gimg=52454#img52454> ;

- Prodotti Captatori, Brixia Solar, da <http://www.brixiasolar.com/prodotti.html>

- Illuminare le stanze della casa sfruttando la luce naturale, Eco-Network, da <https://www.eco-network.it/luce-naturale-per-casa/>

- FORCOLINI Gianni, L'illuminazione nell'era dell'IoT: cos'è la Smart Lighting?, Elettrico Magazine, da <https://elettromagazine.it/attualita-news/illuminazione-iot-smart-lighting/>

- PERON Fabio, Luce naturale: fattore di luce diurna, Università IUAV da <http://www.iuav.it/Ateneo1/docenti/architettura/docenti-st/Fabio-Pero/materiali-elementi-d/08b-luce-naturale-DF--modalita-compatibilit-.pdf>

- AROSIO Barbara, LO BIANCO Francesca, Ottimizzazione del progetto illuminotecnico energetico e degli scenari di incendio di una RSA, Politecnico di Milano, da https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/58181/3/2012_07_Arosio_Lo%20Bianco.pdf

- IULIANO Giuseppe Fabio, L'illuminazione naturale per il risparmio

energetico ed il comfort visivo, analisi teorica e sperimentale, Università degli Studi di Napoli Federico II, da <http://www.fedoa.unina.it/3632/1/G.F.IULIANO.pdf>

- CARBONE Rocco, Cromoterapia e cromopuntura: curare con i colori, da <https://www.naturafelicitas.it/blog/cromoterapia-e-cromopuntura-curare-con-i-colori/>

- CECCARELLI Antonio, Fondamenti di illuminotecnica, ITIS G. Marconi Forlì, da <http://www.itisforli.it/materiale/elettrotecnica/secondobiennio/fondamenti%20di%20illuminotecnica.pdf>

- Illuminazione naturale – normative e protocolli, Officine Green Building, da <https://www.officinegb.com/illuminazione-naturale-normativa-protocolli/>

- RINALDI Sergio, Il progetto della luce naturale, Università degli Studi di Napoli Federico II, da <http://www.architettura-old.unicampania.it/docenti/areaprivata/43/documenti/luce%20naturale%20e%20architettura.pdf>

- Manuale illuminotecnico pratico, Zumtobel, da <https://www.zumtobel.com/PDB/teaser/IT/Lichthandbuch.pdf>

- Come progettare l'illuminazione naturale, VELUX, da <https://sapere.velux.it/lp-progetta-luce-velux-guida>

- GHEZZI Simona, La progettazione dell'illuminazione naturale. Confronto tra metodi semplificati e modelli, Politecnico di Milano, da https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/45/1/2010_05_Ghezzi.pdf

- MONTI L. , BISEGNA F., GUGLIERMETTI F., Linee guida per l'utilizzazione della luce naturale, Università Sapienza di Roma, da https://www.academia.edu/2874933/Linee_guida_per_l_utilizzazione_della_luce_naturale

- RIZZATO Vanessa, Caratteristiche qualità e cromaticità della luce a LED, Università degli studi di Padova, da http://tesi.cab.unipd.it/44200/1/TE-SINA_COMPLETA.pdf

- BERTOZZI Marco, Analisi fabbisogno energetico: come illuminare gli edifici, Infobuild Energia, da <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/analisi-dei-fabbisogni-energetici-per-l-illuminazione-degli-edifici-105.html>

- LECCESE Francesco, Il risparmio energetico nell'ambito dell'illuminazione artificiale degli ambienti, Università di Pisa, da <http://greencityenergy.it/pisa/files/9-Francesco-Leccese.pdf>

- Elioterapia - Terapia con la luce del sole: Benefici Applicazioni da <https://www.my-personaltrainer.it/salute-benessere/elioterapia.html>

- Prassi di riferimento UNI/PdR 13.0:2015 Sostenibilità ambientale nelle costruzioni – strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità. Inquadramento generale e principi metodologici, UNI, da http://www.itaca.org/documenti/news/uni_pdr_13_0_2015.pdf

- Prassi di riferimento UNI/PdR 13.1:2015 Sostenibilità ambientale nelle

costruzioni – strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità. Edifici residenziali, UNI, da http://www.itaca.org/documenti/news/uni_pdr_13_0_2016.pdf

- LEED v4 for Building design and construction, GBC Italia, 2016, da https://www.certificazioneleed.com/blogcl/wp-content/uploads/2017/10/LEED-v4-BDC-Italian_0.pdf
- POZZI Alberto, Progettazione HVAC e analisi del sistema leed per il conseguimento della classe gold per un complesso immobiliare ad uso commerciale, Politecnico di Milano, 2011, da https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/51201/1/2012_04_Pozzi.pdf
- AGENZIA ENERGIA E AMBIENTE DI TORINO, Allegato energetico- ambientale al regolamento edilizio della città di Torino, da http://www.comune.torino.it/regolamenti/302/Allegato%20Energetico%20%5B2011%5D_2.pdf
- FAVARETTI Piero, Incremento della Prestazione Energetica degli Edifici attraverso l'Uso Efficiente dell'Illuminazione Artificiale e lo Sfruttamento Intensivo della Luce Naturale, Politecnico di Milano, da <https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/20729/3/Tesi%20Favaretti.pdf>
- VIVONA Alessandra, PERON Fabio, Illuminazione naturale e attore di luce diurna, Università IUAV di Venezia, da <http://www.iuav.it/Ateneo1/docenti/architetto/docenti-st/Fabio-Pero/materiali-/elementi-d/scheda-01-fmld.pdf>
- BREEAM UK New Construction, BRE Group, 2018, da https://www.breeam.com/NC2018/content/resources/output/10_pdf/a4_pdf/print/nc_uk_a4_print_mono/nc_uk_a4_print_mono.pdf
- WELL v2, WELL Building Institute, da <https://v2.wellcertified.com/v/en/overview>
- Solar Decathlon Europe, da <https://www.solardecathlon.gov/international-europe.html>