

La verifica delle condizioni di illuminamento in ambienti confinati: approcci semplificati vs. approcci avanzati

Candidata: Maddalena Martina
Relatori: Valerio Roberto Maria Lo Verso
Marianna Nigra
Anna Pellegrino





Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale
Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea
A.A. 2019-2020

La verifica delle condizioni di illuminamento in ambienti
confinati: approcci semplificati vs. approcci avanzati

Candidata: Maddalena Martina

Relatori: Valerio Roberto Maria Lo Verso
Marianna Nigra
Anna Pellegrino

*Quando, infine, un architetto scopre che la luce
è il cardine dell'architettura, solo allora inizia a
capire qualcosa, a essere un vero architetto*

Alberto Campo Baeza

INDICE

1. L'importanza della luce naturale nell'architettura

- 1.1 Benefici sulla salute ed impatto sul ritmo circadiano
- 1.2 Benefici sul comfort indoor (visivo, termico, acustico)
- 1.3 Benefici energetici: la luce naturale ed il risparmio energetico
- 1.4 La luce naturale come materiale dell'architettura

2. L'approccio alla quantificazione della luce naturale

- 2.1 Le regole dei pollici
- 2.2 L'evoluzione storica del Daylight Factor DF
- 2.3 Le simulazioni su base climatica_Climate-Based Daylight Modelling CBDM
 - 2.3.1 Daylight Autonomy DA,
Continuous Daylight Autonomy DAcon,
Maximum Daylight Autonomy DAMax,
Spatial Daylight Autonomy SDA
 - 2.3.2 Useful Daylight Illuminances UDI
 - 2.3.3 Metriche di verifica dell'abbagliamento
Annual Sunlight Exposure ASE
Daylight Glare Probability DGP

3. Normativa e regolamentazione tecnica in tema di luce naturale

- 3.1 Quadro normativo vigente
 - 3.1.1 La situazione europea
EN 15193-1: 2017
EN 17037: 2018
 - 3.1.2 La normativa italiana
Circolare del Ministero dei Lavori pubblici n° 3151 del 22/5/1967
Circolare del Ministero dei Lavori pubblici n° 13011 del 22/11/1974
Decreto del Ministero della Sanità del 5/7/1975
Decreto del Ministero della Sanità del 18/12/1975

UNI 10840 "Locali scolastici - criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale", marzo 2000

- 3.1.3 Regolamenti edilizi ed allegati energetici ambientali
- 3.2 Protocolli, regolamentazioni e raccomandazioni
 - 3.2.1 BREEAM
 - 3.2.2 LEED
 - 3.2.3 Procollo ITACA

4. Re-Coding Window

- 4.1 Il sistema normativo della Città di Torino
- 4.2 Il progetto Re-Coding ed il Re-Coding Window
- 4.3 La metodologia di ricerca
- 4.4 I risultati
- 4.5 La proposta per il nuovo Allegato Energetico-Ambientale per la Città di Torino

5. Conclusioni

Bibliografia e sitografia

Iconografia e sitografia

Il seguente lavoro di ricerca muove i suoi passi dal ruolo fondamentale che la luce naturale riveste nella vita dell'uomo. I benefici della luce naturale sono notevoli sulla salute dell'uomo, sulla sua produttività e capacità di concentrazione; sono rilevanti anche sotto l'aspetto del risparmio energetico. Le caratteristiche principali sono senza dubbio la sua estrema variabilità cromatica e la disponibilità continua di risorsa illimitata.

In architettura, la luce contribuisce a creare lo spazio, a definirne le forme e le texture, a donare carattere ad un ambiente. Per l'architetto, la luce naturale è un'immensa risorsa e può essere utilizzata come strumento funzionale, espressivo o simbolico.

Si è sempre cercato di progettare attraverso la luce naturale e per questo motivo vi sono delle metriche capaci di calcolare il reale apporto luminoso interno all'ambiente. Fondamentalmente vi sono tre grandi distinzioni tra queste. Vi sono le regole dei pollici, empiriche e basate sulle proporzioni degli ambienti; vi sono le metriche statiche, come il Daylight Factor, che prendono in considerazione diversi aspetti quali le ostruzioni, la trasmissione del vetro e la posizione dell'apertura nella parete, con il limite però della condizione di cielo coperto, escludendo quindi le reali potenzialità della luce naturale; infine vi sono alcune metriche più innovative che sfruttano delle simulazioni basate sulle

reali condizioni climatiche del sito di progetto, più realistiche sebbene siano più complesse delle precedenti.

Dal punto di vista normativo, si sono susseguiti negli anni differenti tentativi di unificare queste metriche per stabilire dal punto di vista della progettazione il corretto apporto di luce naturale interno all'ambiente. In Europa possiamo soffermarci sulle recenti EN 15193-1: 2017 ed EN 17037: 2018 per avere un quadro completo su come progettare sfruttando appieno l'apporto di luce diurna, benefit sia energetico che prestazionale. Il primo standard introduce la metodologia LENI per valutare l'efficienza energetica degli impianti di illuminazione, mentre il secondo introduce un indicatore per valutare l'abbagliamento. Sul territorio italiano troviamo delle discrepanze a livello comunale su come poter calcolare la luce naturale.

Questa tesi si basa sull'esperienza vissuta insieme al gruppo di ricerca FULL del Politecnico di Torino che si è proposto di supportare il Comune di Torino nella revisione del proprio Allegato Energetico, nel tentativo di ridefinirlo e semplificarlo. Infatti, si è elaborato un nuovo indicatore capace di mediare tra il RAI (Rapporto Aereo-Illuminante) di 1/8, attualmente utilizzato anche per le verifiche illuminotecniche, ed il FLD_m (Fattore Medio di Luce Diurna, versione italiana del Daylight Factor DF), considerato

troppo complesso da verificare e quindi spesso non utilizzato.

Con questo scopo è stato effettuato uno studio parametrico in cui il FLD_m è stato calcolato analiticamente su un ambiente preso come campione in cui variano la trasmissione del vetro e la dimensione della superficie vetrata e, di conseguenza, il RAI. Sono state considerate ostruzioni di diverso tipo e sono state poste a distanze differenti, prendendo in considerazione lo scenario urbanistico torinese, in modo da considerare diversi angoli di ostruzione fino ad ottenere 900 differenti configurazioni. Come risultato della ricerca è stato elaborato un nuovo indice, definito "Indice di luce diurna" DI Daylight Index, capace di rispondere alle esigenze della Città di Torino.

Sentiti ringraziamenti a Valerio Roberto Maria Lo Verso, Marianna Nigra e Anna Pellegrino.

The following research moves from the significant role that daylight plays in human life. The daylight's advantages are considerable (substantial) for human health, productivity and concentration capacity. They are also relevant for energy saving. The daylight's main qualities are its extreme chromatic variability and the continuous availability of unlimited resource.

In architecture, light helps to create space, to define its shapes and textures and to give character to an environment. For an architect, daylight is a resource that can be used as a functional, expressive or symbolic tool.

Natural light has always been employed as a method to design and for this reason there are three major distinctions between these: rules of thumbs, that are empirical principles based on room proportions; static metrics, such as the Daylight Factor, that take into account different aspects such as obstructions, glass transmission and the position of the opening in the wall, with the limitation of the overcast sky condition, thus excluding the real potential of natural light; finally, there are some more innovative metrics which take advantage of simulations based on the real climatic conditions of the project site, more realistic, although they are more complex than the previous ones.

From a regulatory point of view, different

attempts have been made over the years to unify these metrics in order to establish from a design point of view the correct contribution of natural light inside the environment. In Europe we can dwell on the recent EN 15193-1: 2017 and EN 17037: 2018 to get a complete picture of how to design taking full advantage of daylight, both energy and performance benefits. The first standard introduces the LENI methodology to evaluate the energy efficiency of lighting systems, while the second introduces an indicator to evaluate glare. At the Italian level we find discrepancies at municipal level on how to calculate natural light.

This thesis is based on the experience shared with the FULL research group of the Polytechnic of Turin that has proposed to support the City of Turin in the revision of its Energy Annex, in an attempt to redefine and simplify it. In fact, a new indicator has been developed to mediate between the RAI (Rapporto Aereo-Illuminante) of 1/8, currently also used for lighting checks, and the DF_m (Daylight Factor), which is considered too complicated to check and for this reason is often not used.

For this purpose, a parametric study was carried out in which the DF_m was analytically calculated on an environment taken as a sample in which the transmission of the glass and the size of the glass surface vary. Different types

of obstructions were considered and they were placed at different distances, taking into consideration the Turin urbanistic scenario, in order to consider different obstruction angles until 900 different configurations were obtained. As a result of this research a new index is created: it is called "Daylight Index" DI.

I express my grateful thanks to Valerio Roberto Maria Lo Verso, Marianna Nigra and Anna Pellegrino.

**L'IMPORTANZA
DELLA LUCE NATURALE
NELL'ARCHITETTURA**

La luce promuove la vita.

L'uomo è attratto dalla luce sin dalla nascita. La luce naturale è fondamento vero e proprio dell'esistenza, è una parte necessaria per la vita di numerosissime specie animali e vegetali oltre a quella umana.

La luce naturale è la fonte luminosa proveniente dal Sole e dalla volta celeste. Infatti, la radiazione solare globale è data dalla somma della componente diretta, di quella diffusa dalla volta celeste e di quella riflessa dall'atmosfera o dal terreno; inoltre dipende anche dalla posizione del Sole rispetto alla superficie ed alla condizione degli strati atmosferici.

La luce naturale è caratterizzata dalla variabilità nel tempo, sia per quanto riguarda l'intensità che la temperatura di colore, in base alle ore del giorno ma anche ai giorni dell'anno, alla sua vicinanza o lontananza dal Sole: cambia lo strato di atmosfera attraversato dai raggi solari che va ad incidere sul contenuto energetico

della radiazione incidente (se maggiore è lo strato da attraversare allora saranno maggiori l'assorbimento e la diffusione e quindi minore il contenuto energetico finale). La componente diretta dipende strettamente dalla posizione del Sole e quindi della sua altezza solare, dell'Azimut e dello Zenit; la componente diffusa invece trova una classificazione nello standard CIE che riporta modelli di cielo sereno, cielo coperto a luminanza costante e cielo coperto a luminanza variabile.

La luce è caratterizzata da un insieme di colori corrispondenti a diverse lunghezze d'onda. La luce solare dell'alba è una luce calda, di circa 2200 K ed è preferibile negli ambienti domestici volti al relax; per molti aspetti è diversa dalla luce bianca che presenta invece una temperatura attorno ai 5500 K – 6500 K, maggiormente indicata per gli ambiti lavorativi per la propria capacità nell'esaltare ogni dettaglio dell'ambiente ed essere percepita dall'occhio umano come luce neutra.

LE TEMPERATURE DI COLORE ⁽¹⁾



1.1 Benefici sulla salute ed impatto sul ritmo circadiano

Le conoscenze sugli effetti della luce diurna come fattore di regolazione dei nostri processi fisici (motori ed ormonali) e psicologici si evolvono andando incontro ad una migliore progettazione della luce naturale degli edifici. Infatti, è noto come la presenza della luce naturale all'interno degli ambienti di vita favorisca una migliore resa dal punto di vista lavorativo ed una generale condizione di benessere e stabilità emozionale, stimolando l'appetito, regolando lo stress ed il sonno.

Svegliarsi con la luce naturale consente di iniziare bene la giornata, essere più energici e di buon umore. La sera invece è importante avere livelli di luce naturale più bassi, motivo per cui i locali destinati alla zona notte dovrebbe essere il più bui possibili in modo da poter garantire il buio completo nel momento del sonno. Un'eccessiva esposizione alla luce artificiale nelle ore serali infatti può provocare più facilmente disturbi e alterazioni del sonno.

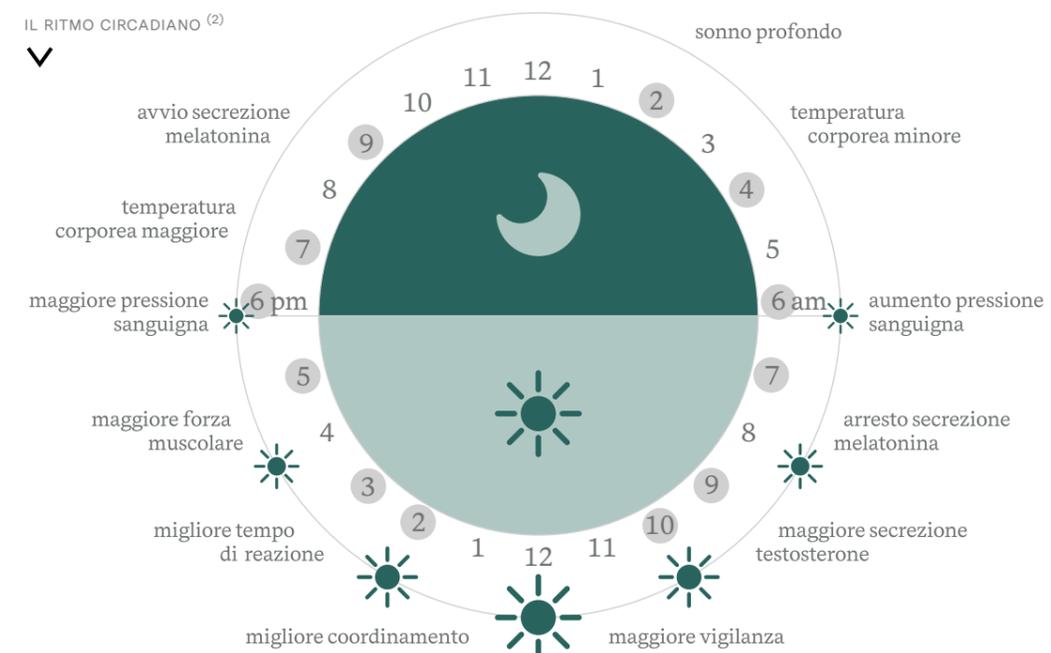
Più nello specifico, vi sono delle tappe fondamentali durante la giornata legate all'impatto della luce naturale sul nostro ritmo circadiano, quali per esempio il momento di arresto della secrezione della melatonina al mattino alle 7 circa e quello di avvio della secrezione della melatonina

alla sera alle 21. La melatonina è una sostanza prodotta dalla ghiandola pineale che agisce sull'ipotalamo con il compito di regolare il ciclo sonno-veglia, con effetti benefici sulla salute, sull'umore e sul rendimento lavorativo; viene sintetizzata al buio.

Il nostro "orologio biologico" sincronizza le proprie funzioni vitali alle fasi della giornata. È noto come l'abuso di luce artificiale o di un livello costante di luce sia causa di discomfort. La luce naturale è una luce dinamica, stimolante, consente di mantenere il contatto con il mondo esterno, di percepire l'evolversi delle giornate e l'alternarsi delle stagioni.

La luce stimola il ritmo circadiano influenzando sulla prestazione globale dell'uomo, sia sotto l'aspetto fisico che psicologico. La luce stimola anche il sistema visivo andando a determinare in quali occasioni ci troviamo in una situazione di benessere oppure proviamo disagio per un'eccessiva quantità di luce oppure la temperatura di calore sbagliata.

In una visione più olistica, i principali ritmi circadiani vengono utilizzati come criteri per la progettazione architettonica. Per questo motivo è importante aumentare la relazione con lo spazio esterno, attraverso aperture più numerose, capaci di favorire un maggiore ingresso della luce naturale, strategiche, volte ad instaurare un maggior contatto con il mondo esterno.



1.2 Benefici sul comfort indoor (visivo, termico, acustico)

Il comfort ambientale è un requisito fondamentale per la progettazione degli edifici. È bene prestare particolare attenzione alla qualità dell'ambiente in casa dal momento che si trascorre mediamente più del 90% della giornata indoor.

Il livello di comfort è strettamente personalizzato ed, essendo basato sulla percezione individuale di benessere, non vi sono formule tecniche per definirlo poiché non si potrebbe valutare scientificamente una sensazione puramente soggettiva.

Il comfort indoor è dato dalla combinazione di diversi elementi, tra cui il benessere visivo, il benessere termico, il benessere acustico e la salubrità dell'aria; un maggior livello di comfort percepito permette una migliore resa lavorativa ed un migliore umore, agendo sulla concentrazione e sul senso di stanchezza.

I due componenti principali del comfort visivo sono il livello di illuminamento e quello di abbagliamento. Il livello di illuminamento si calcola in lux, fa riferimento agli oggetti illuminati (per esempio il piano di lavoro) e non alla sorgente e deve essere sufficiente per svolgere l'attività richiesta in quel preciso

ambiente (può infatti variare dalla cucina al bagno al soggiorno per esempio). È necessario, dunque, avere un livello ottimale di luce che ci consenta la migliore percezione visiva dell'ambiente ma anche una possibilità di schermatura da eventuali fonti di luce esterne che possano disturbare il nostro occhio. Infatti, come già osservato precedentemente, la luce ha la capacità di interferire con il nostro ritmo circadiano e, per esempio, durante le ore serali la presenza della luce esterna dei lampioni potrebbe ostacolare il naturale rilassamento di fine giornata.

Il comfort visivo però è composto anche da altre caratteristiche importanti. L'uniformità della luce per esempio è data dalla presenza di aperture su due pareti opposte piuttosto che su una singola parete. Una corretta ed uniforme distribuzione di luminanza evita che si affatichi inutilmente l'occhio durante lo svolgimento del compito visivo e che si giunga ad una condizione di discomfort relativa all'abbagliamento. Viene prestata particolare attenzione al fenomeno del contrasto soprattutto in ambienti scolastici o lavorativi, in cui è richiesto di eseguire compiti relativi alla lettura ed alla scrittura, sia su monitor che su carta. È bene porre attenzione anche alla direzionalità del fascio di luce che potrebbe interferire o favorire determinate azioni. Infine, la resa cromatica possibile grazie ad una sorgente di luce naturale è qualitativamente superiore a qualsiasi fonte artificiale; per questo motivo, pu

sorgere disagio qualora si percepisca una bassa fedeltà alla restituzione dei colori da parte di una sorgente artificiale.

Inoltre, la presenza di superfici vetrate che consentano la vista verso l'esterno permette agli occupanti di un ambiente di mantenere il rapporto con il mondo esterno, di orientarsi grazie alla vista del sole e dell'orizzonte, di ricevere continui stimoli. Alcuni studi hanno dimostrato inoltre come la vista di elementi naturali, quali alberi, colline, montagne, influisca positivamente sulla capacità di concentrazione e sull'umore degli individui, contribuendo ad aumentarne la sensazione di benessere.

Il giusto apporto di luce naturale favorirebbe l'aumento del 25% della capacità di concentrazione e del 30% della resa lavorativa, la riduzione del 30% delle malattie influenzali e del 60% dell'assenteismo (dovuto anche alla SBS, la sindrome dell'edificio malato) oltre che ovviamente la regolarizzazione dei ritmi circadiani e la riduzione di malattie depressive.

Per quanto riguarda il comfort termico, è importante sentirsi a proprio agio nell'ambiente in cui si vive, non provare freddo né caldo, a prescindere dalla temperatura presente. Bisogna quindi prestare attenzione alle caratteristiche degli elementi di confine, quali appunto i serramenti, ma anche alla tecnologia di isolamento della parete che divide

l'interno dall'esterno, al clima esterno, alla presenza di sorgenti di calore e di vapore interne all'ambiente così come di impianti di condizionamento e raffrescamento.

Un aspetto a cui prestare attenzione dal momento che può fare la differenza nell'ambito del comfort termico consiste nell'attività svolta all'interno di quell'ambiente. Uno studio dell'Università Tecnologica di Helsinki e del Laboratorio Nazionale Lawrence Berkeley afferma che il rendimento ottimale all'interno di un ufficio avviene quando la temperatura interna è tra i 21° ed i 22° C.

Il benessere acustico invece richiede la protezione da sorgenti di rumore di diversa natura e diversa intensità che minano la tranquillità indoor se vi producono un rumore superiore ai 35 dB(A), provocando un'inevitabile condizione di stress e discomfort.

Vi sono alcune grandezze psicoacustiche che mettono in relazione i rumori con le percezioni personali: il tono, il timbro e l'intensità. Il tono dipende dalla frequenza: si ha un tono acuto con un'alta frequenza ed un tono grave con una bassa frequenza. Il timbro invece permette di distinguere suoni con uguale intensità e tonalità ma diversa sorgente. L'intensità invece varia in base alla pressione sonora ed alla composizione spettrale del suono.^[1]

Infine, la qualità dell'aria è l'ultima condizione necessaria per il comfort indoor; la salubrità dell'aria può migliorare grazie ad una costante ventilazione dei locali (almeno 3 volte al giorno per 5-10 minuti) in modo che vi sia la possibilità di eliminare l'inquinamento interno, dato dalla presenza di apparecchi di riscaldamento o raffrescamento ma anche dalla respirazione umana, dai cibi, ecc.

- ☀ benessere visivo
 - ☀ livello di illuminamento + livello di abbagliamento
 - ☀ uniformità, distribuzione di luminanza, contrasto, direzionalità del fascio di luce, resa cromatica
 - ☀ vista verso l'esterno
- ☀ benessere termico
 - ☀ attenzione agli elementi di confine (serramenti) ed all'attività svolta in ambiente
- ☀ benessere acustico
 - ☀ protezione da sorgenti di rumore > 35 dB(A) + attenzione alle grandezze psicoacustiche
- ☀ qualità dell'aria
 - ☀ migliorabile grazie ad una costante ventilazione (garantire frequenti ricambi di aria)

1.3 Benefici energetici: la luce naturale ed il risparmio energetico

La luce migliore è senza dubbio quella naturale, è bene però imparare ad utilizzarla consapevolmente per sfruttarla al massimo ed allo stesso tempo evitarne però lo spreco. La luce solare è infatti illimitata e gratuita, una progettazione attenta e corretta è utile sia per controllare che per limitare gli impianti di illuminazione artificiale e di raffrescamento estivo (in termini di risparmio energetico ma anche di minori emissioni in atmosfera di agenti inquinanti).

Idealmente, la luce naturale potrebbe essere sufficiente per soddisfare le esigenze durante le ore del giorno, se progettata correttamente. Inoltre, durante la stagione invernale, si riesce a sfruttare anche la componente termica della radiazione solare oltre che quella luminosa e avere quindi un doppio vantaggio.

Massimizzare l'apporto della luce solare comporta una diminuzione sensibile del consumo di energia elettrica per l'illuminazione ma può portare anche ad episodi di discomfort legati all'abbagliamento ed all'elevato apporto termico oltre che ad una distribuzione non uniforme dell'illuminamento interno.

L'orientamento degli edifici è un altro aspetto indispensabile per il risparmio energetico ed una massima esposizione

alla luce naturale. Il percorso del Sole – differente in base alla latitudine ed alla longitudine del sito, alle ore del giorno, alle stagioni – si può facilmente prevedere attraverso la lettura delle carte solari, in cui sono rappresentati con dei cerchi concentrici le varie altezze solari i cui raggi rappresentano linee di uguale azimut. Tramite queste carte si può avere conferma di come l'esposizione a Nord sia priva di radiazione diretta mentre quella a Sud ne sia maggiormente esposta; l'esposizione a Nord per contro offre la presenza di una luce diffusa e uniforme in tutte le ore del giorno, utile per determinate azioni e funzioni e positiva dal momento che non crea situazioni di disagio legate all'abbagliamento come invece accade per quella diretta, se non correttamente progettata o oscurata.

L'altezza solare a Sud è maggiore rispetto all'altezza solare presente ad Est e Ovest, infatti bisogna prevedere dei sistemi di schermatura differenti in base all'orientamento che però consentano nelle stagioni fredde la penetrazione dell'energia termica. La mensola orizzontale risulta efficace a Sud poiché riesce a schermare i raggi diretti solari in estate ma consente a quelli invernali di penetrare in ambiente, essendo questi ultimi più inclinati con una posizione solare relativamente più bassa. Le mensole verticali invece sono indicate per un orientamento Est-Ovest mentre le schermature miste per la combinazione Est-Ovest-Sud. Con un orientamento a

Nord non sono necessarie schermature solari.

In situazioni particolarmente ostruite oppure quando non si riesce ad ottenere una buona illuminazione grazie alle aperture laterali, si può ricorrere all'utilizzo di sistemi di conduzione e di

ridirezionamento della luce, quali per esempio i camini solari, le light-shelves o le guide di luce. Così facendo, si può contribuire all'apporto di luce naturale, disponibile e gratuita, non ricorrendo all'ausilio di apparecchi artificiali, energivori e spesso impattanti.



^
CARTA SOLARE: TORINO (3)



^
CARTA SOLARE: MILANO (3)



^
CARTA SOLARE: ROMA (3)



^
CARTA SOLARE: PALERMO (3)

1.4 La luce naturale come materiale dell'architettura

Architectura sine luce, nulla architectura est.
Aberto Campo Baeza

La luce naturale, intesa come materiale dell'architettura, diventa sempre più un elemento dominante per la progettazione, un materiale da costruzione mutevole ed ammaliante. La luce ci permette di fare esperienza dello spazio. Il rapporto tra luce e spazio diventa la materia prima della progettazione; è un rapporto che cambia durante le ore del giorno e viene investito di significati assai diversi.

La luce con un preciso ruolo costruttivo esalta e sottolinea texture e forme.

La luce è uno strumento che affascina e dalle infinite potenzialità; infatti, oltre a quelle già nominate legate al miglioramento della resa lavorativa e del benessere ed al risparmio energetico, aumenta anche il valore dell'immobile.

Progettare correttamente con la luce significa anche creare le condizioni ottimali di comfort abitativo.

Di seguito, il contatto tra la luce e l'architettura lungo le varie epoche architettoniche.

Infine, un excursus circa le tipologie di dialogo tra la luce e l'edificio.^[2]

EPOCA ROMANA

Nella storia dell'architettura, i Romani furono i primi a realizzare spazi abitati e toccati dalla luce. Basti pensare al complivium delle domus, all'eclatante oculo della cupola del Pantheon, agli ambienti termali caratterizzati da specifiche aperture oppure all'architettura del mercato coperto.

La luce crea l'architettura.

Si parla in questo caso di luce funzionale, pensata e progettata per consentire all'uomo di utilizzare al meglio quell'ambiente.

PANTHEON, ROMA ⁽⁴⁾



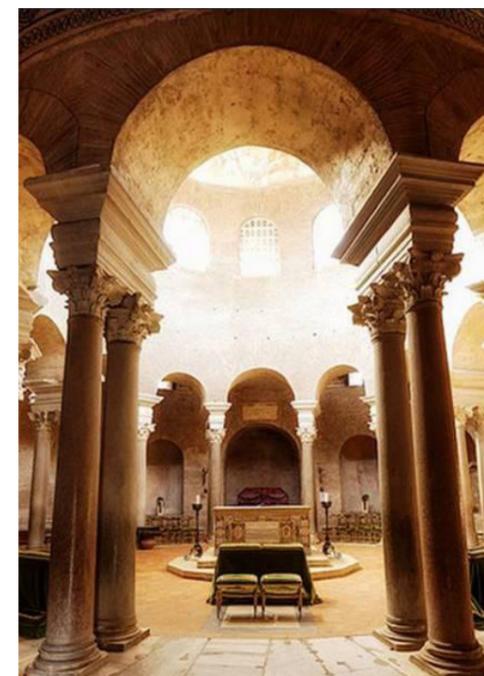
EPOCA PALEOCRISTIANA

La luce diventa simbolo della presenza divina e si costruisce uno spazio che si qualifica come luce assoluta. Ogni ombra è dissolta.

Con l'influenza dell'arte bizantina, si giunge all'annullamento della corporeità dell'immagine nell'astrattezza di un fondo d'oro: la membratura architettonica perde la sua consistenza materica.

L'architettura diventa luce pura nel fondo d'oro dei ricchi e vari mosaici.

MAUSOLEO DI SANTA COSTANZA, ROMA ⁽⁵⁾

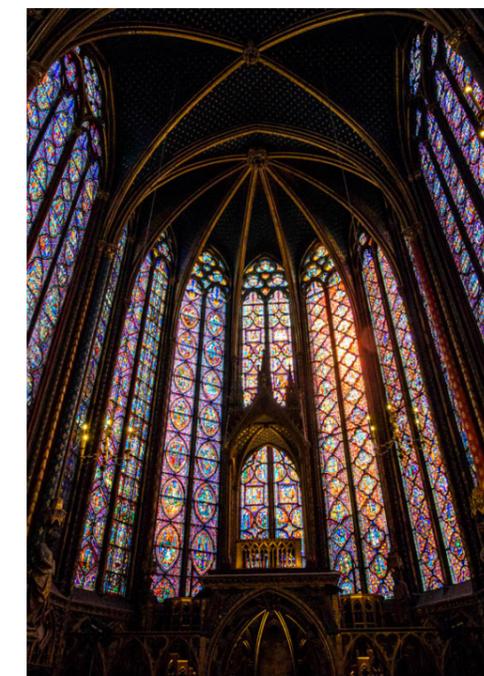


EPOCA MEDIEVALE

Dalla limitata luce che filtra attraverso le semplici monofore della massiccia massa muraria spoglia, nuda e austera dell'epoca altomedievale, si giunge ad una luce forte e densa che riempie lo spazio.

Le immense vetrate policrome delle finestre e dei rosioni gotici, che emulano la pittura murale, prendono il posto della muratura e permettono ad una luce immensa, densa e colorata di invadere lo spazio di culto.

SAINTE CHAPELLE, PARIGI ⁽⁶⁾



EPOCA RINASCIMENTALE

La luce è nuovamente uniforme ed equilibrata, come nell'epoca classica. E' una luce funzionale, serve per poter leggere l'architettura; è rigorosa, sottolinea e scandisce il suo ritmo; è libera, inonda la navata e si potenzia nel colore dei marmi.

BASILICA DI SANT'ANDREA, MANTOVA,
LEON BATTISTA ALBERTI ⁽⁷⁾



EPOCA BAROCCA

L'architettura barocca, costituita da forme plastiche, concave e convesse, potenzia in modo eccellente la forza della luce naturale. La luce si integra nella scenografia diventandone la protagonista.

CAPPELLA DELLA SACRA SINDONE, TORINO,
GUARINO GUARINI ⁽⁸⁾



EPOCA OTTOCENTESCA

La semplificazione e tipizzazione delle forme nell'architettura neoclassica produce una luce chiara e diretta. Questa luce infatti non è più strettamente religiosa, deve rispondere a nuove esigenze. Nasce il concetto di urbanistica e, di conseguenza, le grandi strutture civili in ferro e vetro in cui la luce regna sovrana.

GALLERIA VITTORIO EMANUELE II, MILANO ⁽⁹⁾



EPOCA CONTEMPORANEA

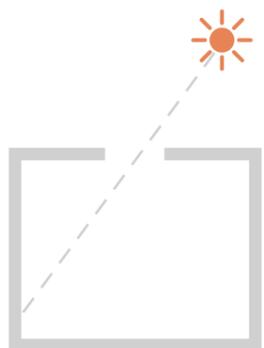
Nell'epoca contemporanea, l'attenzione dei progettisti e la sperimentazione con la luce si attua nel campo museale. La luce inonda l'ambiente, viene gestita, deviata, riflessa, amplificata dalle innovazioni tecnologiche. La luce naturale travolge la sala ma non svela allo spettatore la sorgente.

MENIL COLLECTION, HOUSTON, RENZO PIANO ⁽¹⁰⁾



LUCE DIRETTA

Il raggio luminoso colpisce una superficie senza ostacoli creando ombre nette, contrasti decisi e uno spazio dinamico.

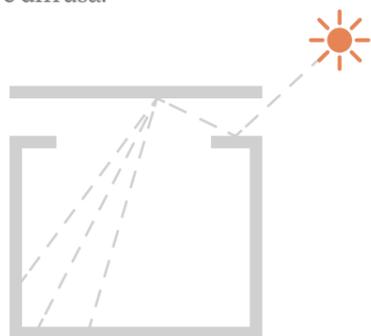


MAUTO, TORINO, CINO ZUCCHI ⁽¹¹⁾



LUCE INDIRECTA

Il raggio luminoso incontra una superficie dopo una deviazione. La luce può essere riflessa (vetro) oppure diffusa (cielo nuvoloso). Lo spazio è statico solo se la luce è diffusa.

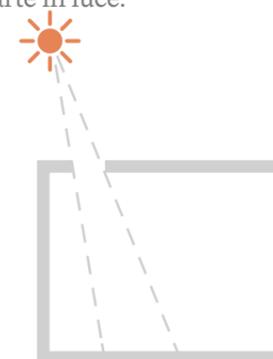


JATIYA SANGSAD BHABAN, DACCA, LOUIS KAHN ⁽¹²⁾



LUCE CONCENTRATA

Il raggio luminoso colpisce una piccola porzione dello spazio. Genera un forte contrasto luce-ombra. Dona importanza alla parte in luce.

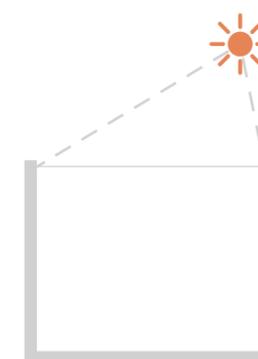


CONTEMPORARY ARTS CENTER, CÓRDOBA, NIETO SOBEJANO ARQUITECTOS ⁽¹³⁾

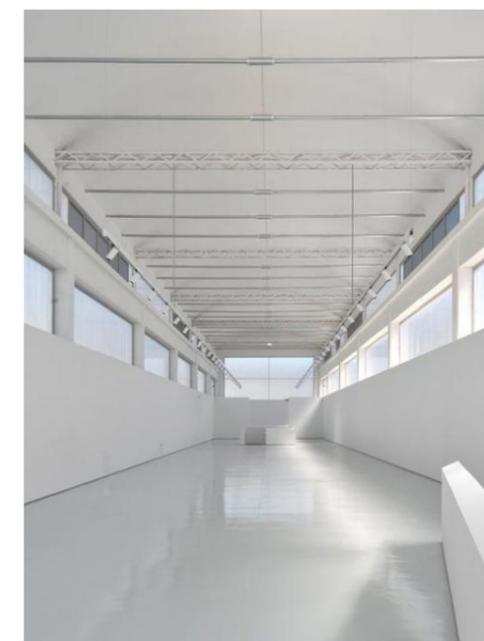


LUCE UNIFORME

Lo spazio è illuminato in modo omogeneo. Non vi sono soggetti privilegiati.

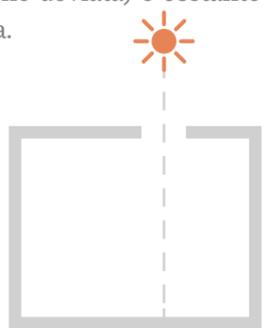


MUSEO ETTORE FICO, TORINO, ALEX CEPERNICH ⁽¹⁴⁾



LUCE ZENITALE

La luce è uniforme e proviene dalla volta celeste. Vi è una maggiore intensità luminosa. L'illuminazione è diretta (né riflessa né deviata) e costante durante la giornata.

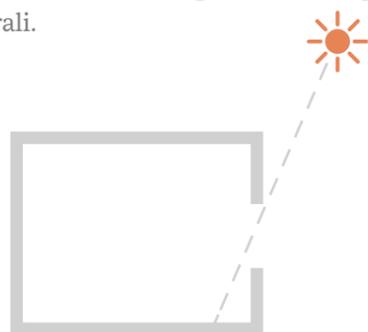


CASA KU, BRIONE, WESPI DE MEURON ⁽¹⁵⁾



LUCE LATERALE

In presenza di sorgente laterale, se possibile, preferire il doppio affaccio. In questo caso si ha un guadagno solare diretto, essendo le aperture sulle pareti laterali.

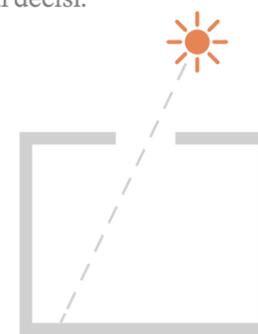


HOUSE OF PRAYER AND LEARNING, BERLIN, ZAMBONI ASSOCIATI ⁽¹⁶⁾



LUCE INCIDENTE

Il raggio luminoso colpisce una superficie con un angolo che varia durante la giornata, generando ombre nette e contrasti decisi.

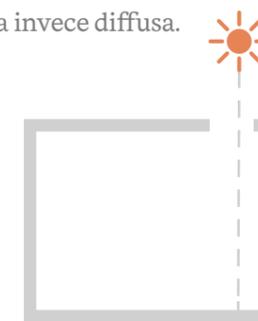


SPORT HALL FOR THE HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN OTANIEMI, ESPOO, ALVAR AALTO ⁽¹⁷⁾



LUCE RADENTE

L'apertura presenta almeno un lato accostato alla superficie verticale di confine. Quando il raggio luminoso è parallelo si ha una luce diretta, durante la giornata invece diffusa.

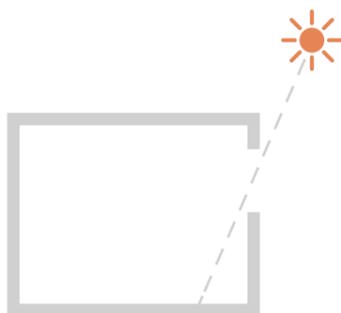


S. LORENZO CHURCH, MADRID, JOSÉ IGNACIO LINAZASORO E VALDEMAQUEDA ⁽¹⁸⁾



TIPO: BUCATURA

La bucatura è un'apertura che non ha nessun lato coincidente con i lati della superficie, come per esempio la finestra. Genera una luce radente solo se si trova in posizione angolare.

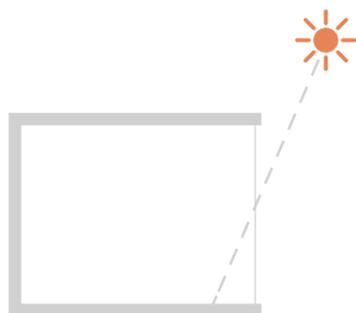


AUDITORIUM, LEON, MANSILLA E TUNON ⁽¹⁹⁾

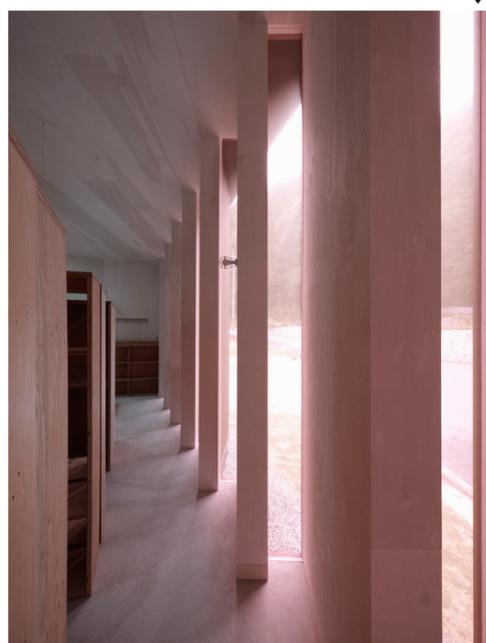


TIPO: TAGLIO

Il taglio è un'apertura che connette due superfici, che possono essere opposte o contigue. Si ottiene una luce radente su due superfici, nel caso in cui l'apertura sia laterale la luce radente sarà su tre superfici.



REIEN WAREHOUSE, INAGAWA, DAVID CHIPPERFIELD ⁽²⁰⁾

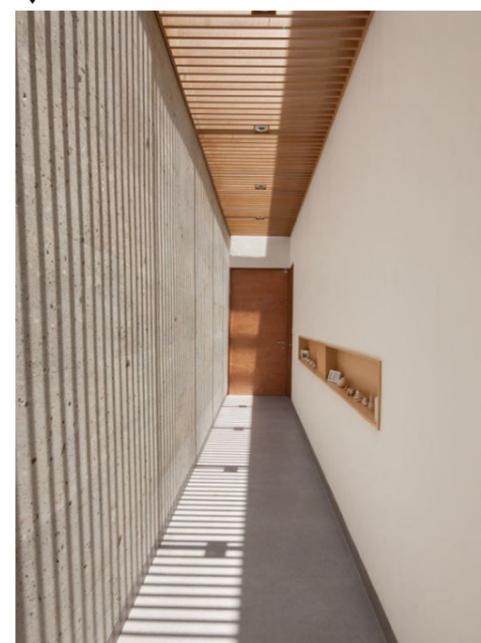


RITMO

Una successione lineare e scandita da aperture genera l'alternarsi di luce e di ombra in una sequenza sempre dinamica.



CASA MING, MONTERRAY, LGZ TALLER DE ARQUITECTURA ⁽²¹⁾



TRAMA

Una superficie completamente traforata con infinite combinazioni di numero, forma e dimensione per creare modi sempre diversi di far penetrare la luce.

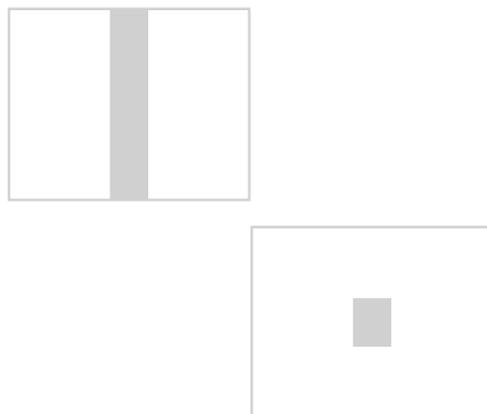


SAN TELMO MUSEUM IN SAN SEBASTIÁN, NIETO SOBEJANO ARCHITECTS ⁽²²⁾



POSIZIONE: CENTRALE

L'apertura è in posizione baricentrica rispetto alla superficie.

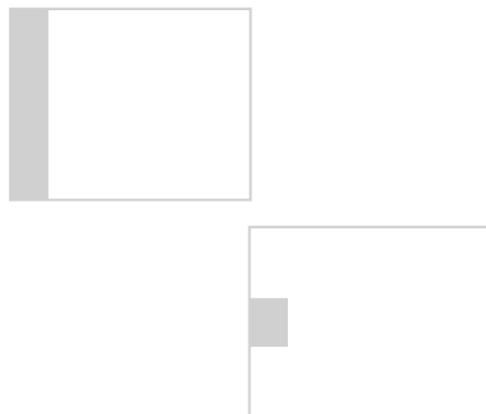


SCHOOL, VILA NOVA DA BARQUINHA, AIRES MATEUS ⁽²³⁾



POSIZIONE: LATERALE

Un'apertura laterale è accostata da un lato ad una superficie. Genera luce radente.

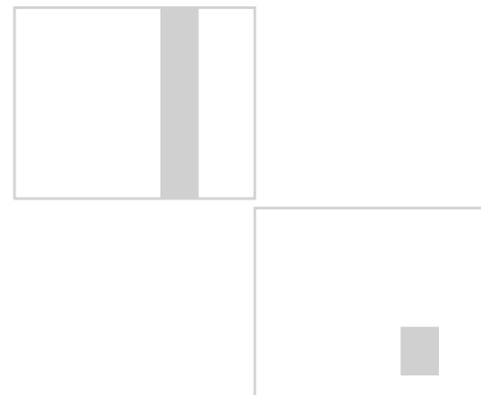


T SPACE, DUTCHESS, STEVEN HOLL ⁽²⁴⁾



POSIZIONE: ASIMMETRICA

Un'apertura asimmetrica si trova in posizione indeterminata, né centrale, né laterale, rispetto alla superficie.

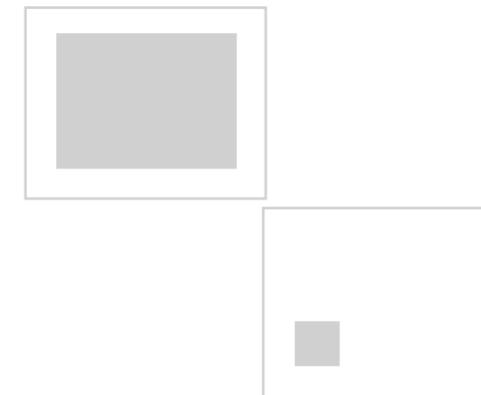


HOUSE ON THE EBRO DELTA, CATALONIA, CARLOS FERRATER ⁽²⁵⁾



DIMENSIONE

La dimensione regola la quantità di luce in ingresso. E' decisiva per la qualità ed il carattere dello spazio toccato dalla luce.



PAULA REGO MUSEUM, CASCAIS, EDUARDO SOUTO DE MOURA ⁽²⁶⁾



L'APPROCCIO ALLA QUANTIFICAZIONE DELLA LUCE NATURALE

La progettazione dei sistemi di illuminazione naturale viene spesso trascurata da architetti e ingegneri. L'attenzione viene solitamente concentrata sugli impianti di illuminazione artificiale volti ad implementare l'apporto luminoso non sfruttando però la risorsa naturale.

Secondo Reinhart, Mardaljevic e Rogers ^[3] vi sono cinque differenti definizioni riguardanti la luce naturale in base all'aspetto specifico che si vuole vedere. Dal punto di vista architettonico, la luce naturale interagisce con la forma dell'edificio per valorizzarlo, renderlo stimolante e produttivo mentre dal punto di vista energetico, sostituire o almeno integrare la richiesta di energia elettrica per l'illuminazione con la disponibilità di luce naturale consente di ridurre il consumo annuo di energia o ancora utilizzare un sistema di controllo intelligente e reattivo che, tramite appositi sensori, riesca a regolarsi per spegnersi e accendersi in base alla presenza o assenza di utenti, utile anche per quanto riguarda la gestione dei costi di manutenzione oltre che di consumo e risparmio energetico.

A livello di illuminazione, un progetto completo risponde e soddisfa le richieste dell'utenza sia dal punto di vista qualitativo ed estetico che da quello quantitativo, più legato al consumo ed al risparmio energetico ed ai costi. Un progetto coerente infatti riesce a far collaborare l'aspetto compositivo ed architettonico,

sia alla scala dell'edificio che riguardo al rapporto con il contesto, con la percezione di benessere da garantire all'utenza, senza però dimenticare del contenimento dei consumi legati all'illuminazione ed alla climatizzazione.

Il contributo della luce naturale all'interno di un ambiente confinato è un fenomeno complesso da poter calcolare: bisogna tenere in considerazione diversi elementi, tra cui il sito con le sue caratteristiche climatiche, il giorno del mese e l'ora del giorno, le caratteristiche del cielo (cielo coperto o sereno), la posizione e l'orientamento dell'edificio di progetto e del singolo ambiente, le caratteristiche geometriche e fisiche (ottiche) della stanza, la dimensione e la posizione degli elementi finestrati, l'eventuale presenza di elementi ombreggianti fissi o mobili, di ostacoli generati dalla conformazione dell'edificio (aggetti o sbalzi) e di ostruzioni generate dal contesto, dalla presenza di edifici o elementi naturali. Oltre a ciò, anche la disposizione degli ambiente potrebbe ostacolare il corretto apporto di luce per svolgere una determinata funzione all'interno dell'edificio, così come la relazione presente tra i diversi locali, la scelta progettuale di posizionare aperture su più pareti oppure su una singola oppure ancora di sfruttare la copertura.

Sono state proposte e standardizzate differenti metriche per il calcolo

dell'apporto di luce naturale, con differenti livelli di precisione e di complessità.

Fondamentalmente, esistono tre macro-raggruppamenti che contengono le metodologie per valutare le condizioni di luce naturale in un ambiente confinato.

Vi sono gli approcci basati sulle regole empiriche, definite anche come "regole dei pollici" o "rules-of-thumbs", o su rapporti geometrici, semplici ed immediati sia da calcolare che da verificare.

Gli approcci statici invece, quali il Daylight Factor o Fattore di Luce Diurna, presentano un'evidenza scientifica, utilizzando numerosi fattori per il calcolo dell'apporto luminoso però ancora con diverse semplificazioni e quindi limiti su fattori in realtà cruciali per il calcolo; nonostante ciò, dal punto di vista normativo e prescrittivo rimane la metrica di riferimento. La disponibilità di luce naturale si calcola attraverso i modelli di cielo e le metriche statiche considerano un modello di cielo coperto, quindi una condizione peggiorativa.

Vi sono poi degli approcci più complessi e più completi che, sfruttando dei software di simulazione avanzati, permettono un calcolo appunto più dettagliato basato sulle reali condizioni ambientali del sito di progetto. Sono calcoli su base annuale che cercano di superare i limiti degli approcci statici ma che si portano dietro una complessità che li rende poco accessibili ai progettisti in generale. Questi sistemi collaborano alla progettazione per il comfort indoor degli occupanti.

2.1 Le regole dei pollici - Rules of thumbs

Nelle fasi preliminari di un progetto vengono sfruttate le regole empiriche, le cosiddette "rules of thumbs" o "regole dei pollici", concepite però più come fenomeno visivo e percettivo che si lega all'estetica ed alla composizione degli edifici piuttosto che rispondere alla richiesta funzionale e quantitativa di luce. Per questo motivo però si perde una grande opportunità di progettazione efficace e piacevole per gli occupanti oltre che efficiente dal punto di vista energetico.

Non si sfrutta infatti appieno l'energia solare quale fonte di luce rinnovabile e gratuita e rispettosa - non produce inquinamento ambientale - né quale luce fredda con una maggiore efficacia e qualità in termini di prestazione e di resa cromatica rispetto alle fonti di luce artificiale.

Le regole dei pollici consistono in alcune espressioni numeriche che mettono in correlazione una quantità di interesse del progetto con uno o più parametri di progettazione. Più nello specifico, si tratta di formule semplici da imparare ma anche da ricordare che permettono di avere rapidamente una risposta su come poter progettare nelle fasi preliminari senza appunto rallentare il processo di progettazione. Queste regole possono però essere fuorvianti, dal momento che non

prendono in considerazione numerosi aspetti in realtà fondamentali per la progettazione della luce naturale, quali per esempio la tipologia del vetro, il clima specifico di una zona, l'orientamento dell'edificio, la riflessione del suolo, il compito visivo richiesto.

Infatti, la disponibilità di luce subisce grandi variazioni in base alla posizione del sito di progetto, sia in termini di durata che di intensità luminosa, grazie al fatto che variano la posizione del Sole e la copertura nuvolosa.

Secondo un'analisi della Oklahoma State University, vi sono tre principali "rules of thumbs":^[4]

a. Regola del 2.5: l'illuminazione laterale può essere sufficiente fino a 2.5 volte l'altezza dell'architrave della finestra sopra il piano di lavoro.

b. Regola del decimo: il Daylight Factor DF minimo di uno spazio illuminato naturalmente è pari a 1/10 della superficie lorda della parete esterna (WWR, Window-to-Wall Ratio): se il DF minimo desiderato è il 3% allora il rapporto di vetro = area finestrata/superficie lorda della parete esterna deve essere il 30%.

c. Regola 15/30: il livello di illuminazione dato dalla luce naturale è sufficiente per le attività d'ufficio solo nei primi 15 piedi (circa 4.5 m) di

distanza dalla finestra ed i successivi 15 piedi potranno beneficiare solo del 50% della luce naturale; oltre i 30 piedi (circa 9 metri) di distanza dalla finestra non vi sarà alcun beneficio della luce naturale.

La "Regola del 2.5" riporta una maggiore correttezza nelle seguenti condizioni: i vetri sono trasparenti, la finestra è larga metà della lunghezza del muro in cui si trova, il cielo è nuvoloso o la stanza orientata a Nord, la riflessione del soffitto e delle pareti è alta, non vi è un'ostruzione significativa esterna alla finestra. In questo caso però le finestre potrebbero venire sovradimensionate e se poi si paragonano i risultati con metriche più avanzate si può notare come il suo utilizzo sia corretto solamente ad una latitudine di 51° circa.

Per quanto riguarda la "Regola del decimo" invece sappiamo che è molto più imprecisa, porta spesso ad avere delle finestre sottodimensionate e prende come riferimento il DF minimo e non il DF medio, mentre la "Regola 15/30" sottovaluta il livello di illuminazione nei primi 15 piedi e lo sovrastima nei 15 piedi successivi.

Queste regole empiriche hanno una provenienza comune ma hanno subito diverse elaborazioni e formulazioni in base al paese di provenienza, alla destinazione d'uso del locale e per esempio alla quantità di luce naturale disponibile.

La sopracitata “Regola del 2.5” prende come aspetto dimensionale l’altezza dell’architrave della finestra per il dimensionamento della profondità dell’ambiente ma i valori di utilizzo variano in realtà da 1.5 a 2.5. Dalle *Recommended Practice of Daylighting* dello IESNA^[5] infatti si evince che il limite utile sia 1.5 ma che questo possa diventare 2 grazie all’inserimento di una mensola riflettente che, oltre a diminuire l’illuminamento nei pressi della finestra, è in grado anche di fornire un illuminamento più uniforme nell’intero ambiente. Nel caso in cui vi siano degli uffici con finestre laterali, è preferibile che queste siano alte almeno 1 m; in questo caso, la profondità dell’ambiente sarà al massimo 2 volte l’altezza dell’architrave. Nel caso in cui si voglia facilitare l’ingresso della luce naturale, è consigliato utilizzare finestre più alte in modo da aumentare la possibilità di penetrazione della luce all’interno dell’ambiente.

Un’ulteriore analisi della “Regola del 2.5” ci giunge dal contributo di Reinhart^[6] il quale supporta la propria ricerca con delle simulazioni, eseguite tramite il software Radiance, che riportano delle sostanziali differenze di condizioni climatiche e di orientamento dell’ambiente, potendo così dimostrare i vantaggi ed i limiti che derivano dall’utilizzo di questa regola dei pollici. Questa indicazione infatti è presente come Daylighting Rule of Thumb (DRT) nelle linee guida e nelle

normative per la progettazione del Canada, dell’Europa ed in particolare della Germania, del Nord America e degli Stati Uniti e viene vista come la giustificazione al proporzionamento degli ambienti ed al posizionamento delle finestre. Il principale limite della regola è che viene utilizzata indipendentemente dalla località, dalle condizioni climatiche e dall’orientamento della facciata, il che quindi riporta nella regola stessa un certo livello di incertezza e imprecisione.

Questa ricerca ha confermato il fatto che venga utilizzata come primo approccio dalla maggior parte dei progettisti con un limite che va da 1.5 a 2.5, ma il 2 come rapporto più popolare. Non ha una convalidazione sperimentale e si confrontano le diverse versioni sulla base anche delle sfumature di linguaggio utilizzate, per esempio la quantità di luce deve essere in alcuni casi adeguata - sufficiente mentre in altri accettabile - efficace - utile o in altri ancora ben distribuita - equilibrata: in tutti i casi non vi è una spiegazione scientifica della scelta.

La dimostrazione tramite le simulazioni porta al fatto che vi sia necessità di superare i limiti delle regole empiriche, che non si possa basare un progetto su queste ma che sia necessario accertare i risultati con le tecniche più avanzate di progettazione della luce naturale.

La “Regola del decimo” è basata su un rapporto puramente geometrico come il

Rapporto Aero-Illuminante RAI presente all’interno della normativa italiana che mette in relazione la superficie della finestra con la superficie del pavimento del locale (WFR, Window-to-Floor Ratio) e non con la superficie della parete in cui è presente la finestra (WWR, Window-to-Wall Ratio). Il Rapporto Aero-Illuminante della normativa italiana prevede il corretto dimensionamento delle finestre dal punto di vista della ventilazione e dell’aerazione, in modo che gli ambienti risultino salubri e vivibili, pari a 1/8 rispetto alla superficie del pavimento, mentre dal punto di vista dell’illuminazione non è sufficiente ed è infatti richiesto il Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m del 2% all’interno delle abitazioni.

Lo studio prodotto dalla collaborazione Lo Verso e Reinhart^[7] invece analizzando i limiti di applicazione di queste regole empiriche ne cerca una correlazione ed un perfezionamento, sfruttando anche una verifica tramite delle simulazioni pratiche con l’utilizzo del software Radiance. Nel dettaglio, vengono analizzati tramite il Daylight Feasibility Study il Daylight Feasibility Factor e tramite la formula di Lynes la profondità massima dell’ambiente e la Daylight Uniformity. Lo Studio di Fattibilità sulla Luce Diurna (Daylight Feasibility Study) è utile per comprendere quali zone possono essere potenzialmente illuminate dalla luce naturale; i parametri chiave sono l’orientamento della facciata e la presenza

o assenza di ostruzioni esterne nel contesto. Lo Studio di Fattibilità valuta appunto se la quantità di luce naturale che penetra in ambiente attraverso un’apertura porti un’illuminazione buona e sufficiente nello spazio in analisi. L’Area Effettiva dell’Apertura AEA (Adjusted Effective Aperture) deve essere maggiore del livello soglia del Fattore di Fattibilità della Luce Naturale DFF (Daylight Feasibility Factor) per avere un alto potenziale di illuminamento e quindi per poter procedere in questa zona con studi e simulazioni più approfonditi. L’apertura effettiva si calcola tramite il prodotto del rapporto tra finestra e parete della zona (WWR) e la trasmittanza media visibile di tutte le aperture in facciata (τ_{vis}), tenendo in considerazione il Fattore di Ostruzione OF specifico di quella apertura:

$$AEA = WWR \cdot \tau_{vis} \cdot OF > DFF$$

Il Fattore di Ostruzione OF serve per approssimare le diverse ostruzioni possibili in diverse condizioni reali. Vi sono quattro percentuali di vista ostruite comprese tra lo 0% che corrisponde all’assenza completa di ostruzioni fino al 100% nella situazione peggiorativa di una vista completamente ostruita. Se la vista fosse ostruita per una percentuale inferiore al 50% il Fattore di Ostruzione è pari a uno; se l’ostruzione esterna fosse compresa tra il 50% e il 70% il Fattore di Ostruzione è uguale a 0,85; nel caso in cui la vista fosse ostruita tra il 70% ed

il 90% allora l'OF risulterà pari a 0,65; nell'ipotesi in cui vi siano ostruzioni per una percentuale superiore al 90% allora OF = 0,40. Lo Studio di Fattibilità può essere utile anche come semplice criterio per decidere quali aree presentino delle caratteristiche di illuminazione naturale soddisfacenti e degne di un successivo approfondimento e quali no.

La regola riporta una base scientifica dal momento che l'area dell'apertura effettiva è direttamente proporzionale alla quantità di luce naturale che può entrare all'interno dello stesso ambiente nel caso in cui la facciata sia completamente aperta e libera da ostruzioni. La luce naturale che entra all'interno di un ambiente è ridotta essenzialmente dalle ostruzioni esterne, dalla dimensione dell'apertura e dalla trasmittanza del vetro; nella fase iniziale di progettazione è bene prestare attenzione al limite minimo, appunto il Fattore di Fattibilità DFF, al di sotto del quale la luce naturale non porta un contributo importante.

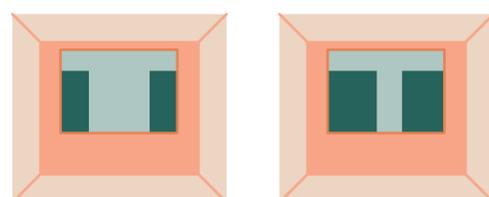
La profondità massima dell'ambiente invece trova una limitazione grazie alla regola di Lynes. Infatti, nelle situazioni in cui vi è un alto livello di illuminamento nei pressi della finestra, l'illuminamento medio dell'ambiente in questione potrebbe essere alterato rispetto alla realtà; per evitare delle condizioni di contrasto di illuminamento troppo elevato, Lynes ha proposto questa regola per la profondità massima dell'ambiente.

$$D_{Lynes} = \frac{2}{1 - R_{mean}} \left(\frac{1}{w} + \frac{1}{h_{window-head-height}} \right)$$

dove w è la larghezza dell'ambiente, $h_{window-head-height}$ è la distanza tra il pavimento e l'architrave.

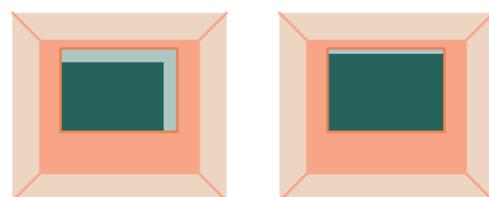
La regola originale di Lynes considera come R_{mean} la riflettanza media ponderata per l'area della metà posteriore dell'ambiente; per semplicità, con R_{mean} si considera la riflettanza media di tutte le superfici interne all'ambiente. Se il "rapporto tra il fattore di luce diurna medio nella metà anteriore di una stanza [che include la finestra] e il fattore di luce diurna medio nella metà posteriore della stanza supera il tre, è probabile che il contrasto si riveli inaccettabile"^[8]

IL FATTORE DI OSTRUZIONE OF



vista < 50%
OF = 1.00

50% < vista < 70%
OF = 0.85



70% < vista < 90%
OF = 0.65

vista > 90%
OF = 0.40

2.2 L'evoluzione storica del Daylight Factor DF

Il concetto di Daylight Factor DF fu introdotto inizialmente nel 1895 dal fisico inglese Trotter per valutare le prestazioni di illuminazione naturale di un edificio e successivamente perfezionato nel 1909 da Waldram. L'attuale formulazione e definizione del parametro la abbiamo grazie alla sistemazione di Hopkinson. Inoltre, nel 1955 Ketteler definì il concetto di distribuzione di luminanza del cielo, studio che è alla base dei differenti modelli di cielo tutt'ora utilizzati come riferimento.

Il requisito minimo principale per la progettazione della luce naturale secondo la normativa italiana è il Fattore Medio di Luce Diurna (FLD_m) ed è una grandezza adimensionale che rappresenta in modo accurato la quantità di luce naturale su una determinata postazione di lavoro. Esso esprime il rapporto percentuale fra l'illuminamento naturale che in un certo momento si ha in un punto interno dell'edificio E_i e quello che simultaneamente è prodotto, su un piano orizzontale esterno assimilato a quello interno, dall'intera volta celeste, in assenza di irraggiamento solare diretto $E_{e,h}$. Il valore dell'illuminamento naturale in un determinato punto di un ambiente interno (E_i) è dato dalla somma di tre componenti: la componente cielo (E_d) che

rappresenta la quantità di luce che giunge nel punto considerato senza essere stata prima riflessa da alcuna superficie; la componente riflessa esternamente ($E_{r,e}$) dalle ostruzioni e dalle superfici esterne come terreno (fenomeno conosciuto come albedo) o alberi o edifici adiacenti; la componente riflessa internamente ($E_{r,i}$), sempre presente e quasi indipendente dalla distanza dalla finestra.

$$FLD = \frac{E_i}{E_{e,h}} = \frac{E_d + E_{r,e} + E_{r,i}}{E_{e,h}}$$

$$FLD = SC + ERC + IRC$$

Contrariamente a quanto visto per le regole empiriche/regole dei pollici, il DF ha una base scientifica dal momento che la formula tiene conto insieme di diversi fattori quali: la dimensione della stanza, la riflessione media, la superficie vetrata dell'apertura, la trasmissione del vetro e un fattore per le ostruzioni esterne.

$$DF_{m,BRE} = \frac{A_{glazing} \cdot \tau_{vis} \cdot \theta}{A_{tot} \cdot (1 - R_{mean}^2)}$$

dove $A_{glazing}$ è l'area netta della superficie vetrata (il telaio viene escluso), τ_{vis} è il coefficiente di trasmissione luminosa del vetro, θ è l'angolo di cielo, A_{tot} l'area totale di tutte le superfici interne e R_{mean} la riflessione media delle superfici.

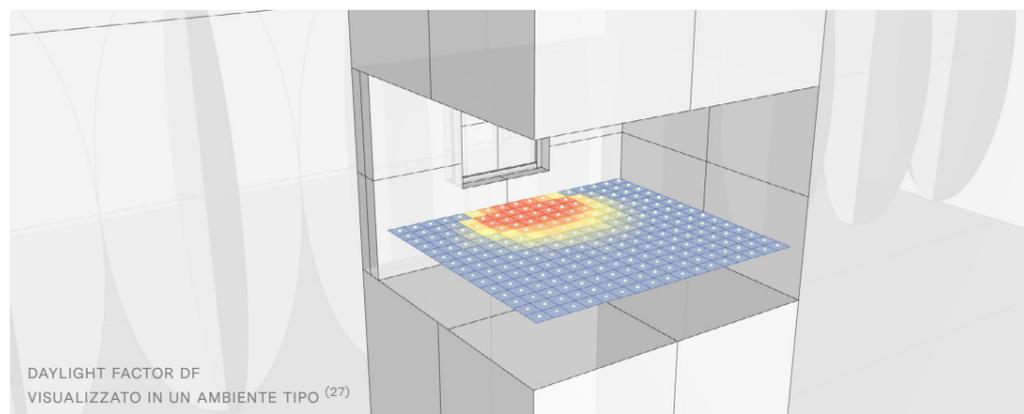
Questa è la formula normata dal BRE, il Building Research Establishment, ed è differente da quella proposta dallo IES e dalla normativa italiana.

$$FLD_m = \frac{A_{vis} \cdot \tau_{vis} \cdot \varepsilon \cdot \psi}{A_{tot} \cdot (1 - R_m)}$$

dove ε è il fattore finestra ed è rappresentativo della porzione di volta celeste visibile dal baricentro della finestra, ψ invece è il fattore di riduzione della finestra dovuto all'incassamento del serramento rispetto al filo esterno della parete.

Il Fattore di Luce Diurna dipende esclusivamente dai rapporti geometrici (dimensione del locale, posizione e dimensione delle finestre) e dalla trasmittanza luminosa del sistema vetrato, ma non dall'illuminanza esterna temporanea. Si ottiene dunque indipendenza dall'orientamento grazie alle condizioni di cielo coperto su cui si basa il calcolo e quindi all'assenza di irraggiamento solare diretto.

Il DF può anche essere calcolato attraverso metodi grafici (diagramma di Waldram).



Questa metrica però presenta numerosi limiti legati alla sua impostazione come parametro statico che non consentono di ottenere un'analisi reale su scala annuale. La condizione di cielo coperto non permette di considerare l'impatto delle diverse luminosità del cielo, la radiazione solare diretta (viene infatti considerata unicamente la componente diffusa), la condizione di cielo effettiva, ottenendo così dei valori sottostimati rispetto ai valori reali misurati in ambiente. Inoltre, è indipendente dall'orientamento dell'ambiente, dalla latitudine della località, dall'alternarsi delle stagioni ed insensibile persino alla presenza o assenza di schermature solari mobili.

Nonostante l'innegabile evidenza di queste limitazioni, il parametro del Daylight Factor è stato una delle principali metriche per il calcolo della luce naturale in un ambiente confinato grazie anche alla sua presenza in numerose leggi e regolamentazioni nel contesto europeo.

2.3 Le simulazioni su base climatica _ Climate-Based Daylight Modelling CBDM

Il Climate-Based Daylight Modelling CBDM fornisce previsioni realistiche in quantità assolute di luce diurna strettamente correlate e dipendenti dal sito del progetto e dall'orientamento dell'edificio in questione, tenendo conto di dati climatici geograficamente specifici e di condizioni di cielo reali - non cielo coperto come DF - e della presenza della radiazione diretta del Sole, consentendo di prevedere numerosi dati sulle prestazioni irraggiungibili con il metodo statico.^[9]

Le simulazioni su base climatica CBDM si basano infatti sia sulla componente di cielo (come il DF) sia sulla componente diretta di Sole, tenendo conto degli effettivi giorni di cielo coperto e di cielo sereno in modo da poter prevedere i periodi dell'anno in cui la luce naturale si dimostra sufficiente ad esaudire il compito richiesto e quali invece hanno la necessità di integrazione con la luce artificiale.

L'analisi viene svolta ora per ora per un periodo continuo di un anno e quindi rappresenta le condizioni reali prevalenti in quella particolare località. La luce diurna varia notevolmente in base alle stagioni, per questo motivo possono essere richieste anche semplicemente delle analisi su base stagionale o mensile.

Inoltre, le analisi possono essere basate sul profilo di utenza, cioè specifiche nel periodo di occupazione del locale, per esempio l'orario lavorativo. In queste simulazioni vi è un'interazione dinamica e continua tra il reale sito di progetto, il profilo di occupazione e quindi le richieste specifiche dell'utenza, le caratteristiche proprie dell'edificio e delle aperture - prendendo anche in considerazione la presenza di schermature interne o esterne e prevedendone il loro utilizzo - e le condizioni peculiari di luce naturale e diurna.

Le simulazioni dinamiche sono suddivise in diverse fasi.

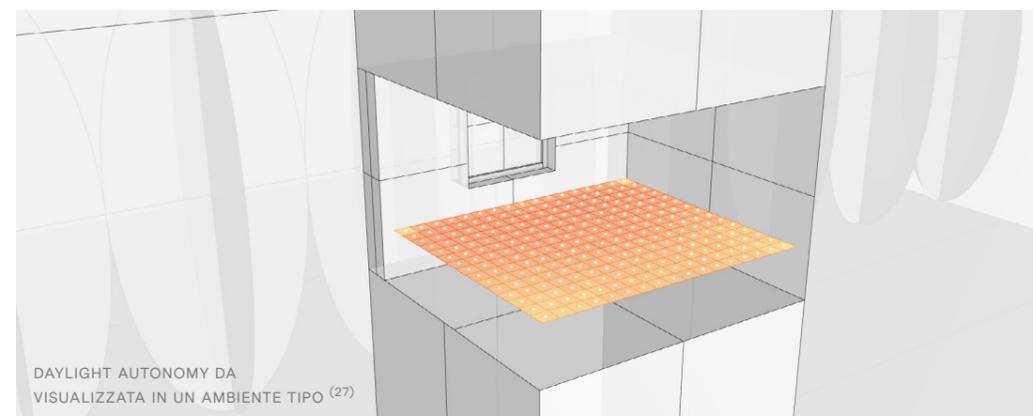
Inizialmente è bene costruire un modello virtuale dell'edificio di progetto coerente con la realtà; questo modello deve infatti riportare tutte le caratteristiche dell'ambiente da analizzare, sia quelle geometriche che quelle fisiche e ottiche. Inoltre, il modello virtuale deve contenere le ostruzioni proprie del contesto e deve essere geolocalizzato ed orientato correttamente.

In secondo luogo, si deve definire il profilo utile di occupazione, quindi in base all'utenza scegliere gli orari in cui quell'ambiente sarà vissuto o meno, dal momento che un ufficio ed un'abitazione hanno esigenze e tempistiche di occupazione differenti.

Successivamente si procede stabilendo la griglia dei punti di calcolo; in base alle esigenze, vi sono dei punti specifici in cui è necessario sapere i livelli giornalieri di illuminamento naturale durante l'anno.

Infine, prima di procedere con la simulazione, bisogna inserire il pacchetto dei dati climatici relativi al sito di progetto.

I dati di output sono una serie di valori di illuminamento puntuali corrispondenti esattamente ad ogni punto presente sulla griglia di calcolo in ogni ora stabilita all'interno del profilo di occupazione. Questi dati di output diventano utili ai progettisti poiché vengono visualizzati attraverso degli indicatori di performance, appunto le metriche dinamiche della prestazione di luce diurna e naturale, che sintetizzano in un unico valore numerico un preciso aspetto dei dati ottenuti con le simulazioni.

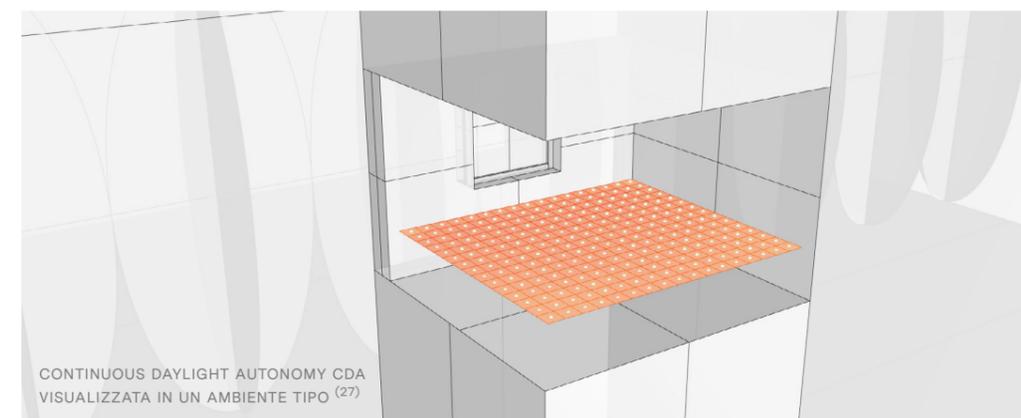


2.3.1 Daylight Autonomy, Continuous Daylight Autonomy, Maximum Daylight Autonomy, Spatial Daylight Autonomy

La Daylight Autonomy DA è un indice di prestazione elaborato da Reinhart e Walkenhorst nel 2001 ^[10] che definisce la percentuale di giorni nell'anno in cui la luce naturale è sufficiente per soddisfare il compito richiesto dall'utenza per quell'ambiente e raggiungere il livello di illuminamento minimo prestabilito. I livelli minimi di illuminamento per i diversi ambienti sono forniti nei documenti di riferimento alla progettazione della luce naturale. Il calcolo prevede la somma aritmetica dei valori di illuminamento puntuali negli orari di occupazione ottenendo una percentuale. La DA decresce progressivamente con l'allontanarsi dell'apertura, esattamente come il DF, ma non ha una distribuzione simmetrica.

La Continuous Daylight Autonomy cDA o DAcon è invece un indicatore più recente proposto da Rogers nel 2006 ^[3] che tiene conto del contributo parziale della luce naturale. A differenza della DA, si tiene conto del credito parziale di quei momenti in cui la luce naturale non riesce a soddisfare il quantitativo minimo di illuminamento richiesto. Per esempio, nell'ipotesi in cui siano richiesti come livello soglia di illuminamento 500 lux ma l'ambiente ne riesca a fornire solamente

400 in quel dato periodo di tempo, allora si terrà in considerazione questo apporto sotto forma di credito frazionario, cioè con un valore del 0,8 (400 lux/500 lux) per quella determinata fase temporale. Questa osservazione è anche legata al fatto che la preferenza di illuminamento sia estremamente personale, differente da individuo ad individuo e non sempre relativa ai 300 lux e 500 lux richiesti; in questo modo si riesce a sfruttare anche un contributo parziale della luce naturale.



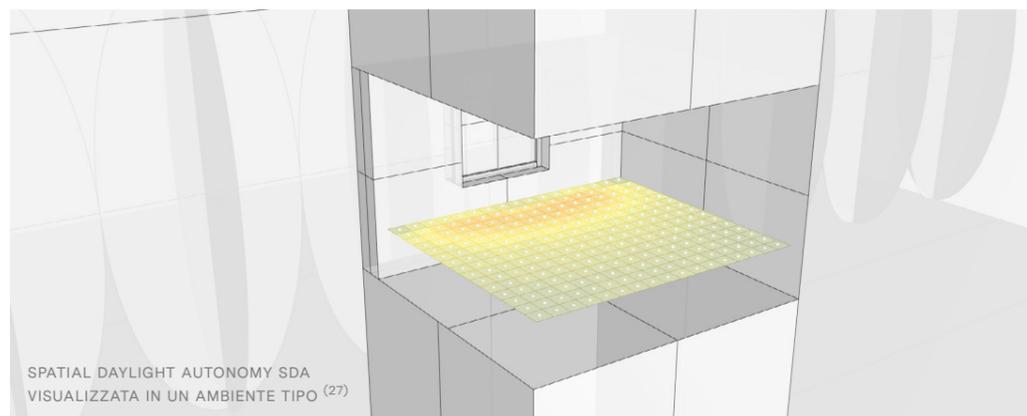
La Maximum Daylight Autonomy DAMax, sempre introdotta dallo studio di Rogers del 2006 ^[3], è legata alla percezione di discomfort causata da un eccessivo livello di luce. È un parametro che riporta la percentuale di ore in cui l'illuminazione naturale interna è pari a dieci volte l'illuminamento richiesto in quel dato ambiente per svolgere quel determinato compito visivo. La DA_{max} è utile per verificare i punti in cui grava una condizione di abbagliamento potendo

indicare quanto spesso e dove avvengono questi grandi contrasti di illuminamento.

La Spatial Daylight Autonomy sDA risale al 2012, anno in cui la IES ^[11] l'ha definita come la percentuale dell'area in esame (per esempio il piano di lavoro) su cui viene registrato un illuminamento di 300 lux per almeno il 50% delle ore di funzionamento dell'anno. Nel caso in cui i valori di $sDA_{300lux,50\%}$ siano superiori al 55% allora si ha una condizione di

illuminamento accettabile, nel caso in cui sia superiore al 75% questa diventa ottimale. Questo parametro tiene conto della componente spaziale dell'ambiente, della sua geometria e della geometria dell'area in analisi. Inoltre, consente di

dividere un ambiente in base all'apporto di luce naturale in aree illuminate dalla luce diurna, in cui appunto l'apporto di luce naturale è sufficiente, adeguato e ben bilanciato, ed in aree non illuminate dalla luce diurna.



2.3.2 Useful Daylight Illuminances

Lo Useful Daylight Illuminances UDI ^[9; 12] proposto da Mardaljevic e Nabil nel 2005 corrisponde all'illuminamento naturale sul piano di lavoro utile per gli occupanti, escludendo dunque i valori troppo bassi (< 100 lux) che non contribuiscono in alcun modo a svolgere il compito visivo richiesto né tantomeno alla percezione dell'ambiente e quelli troppo elevati (> 3000 lux) che producono condizioni di discomfort visivo e termico.

Garantendo un livello di illuminamento accettabile, questa metrica è utile per

quantificare la disponibilità di luce naturale indipendentemente dai valori minimi richiesti normativamente.

I valori soglia introdotti sono frutto di un'indagine sulle percezioni e sui comportamenti degli utenti di fronte a diversi valori di illuminamento.

L'approccio UDI è in grado di rispecchiare la realtà delle variazioni solari durante il corso dell'anno a differenza del DF e di semplificare la lettura dei dati di output.

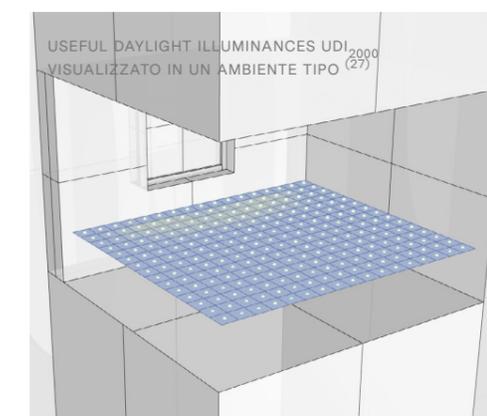
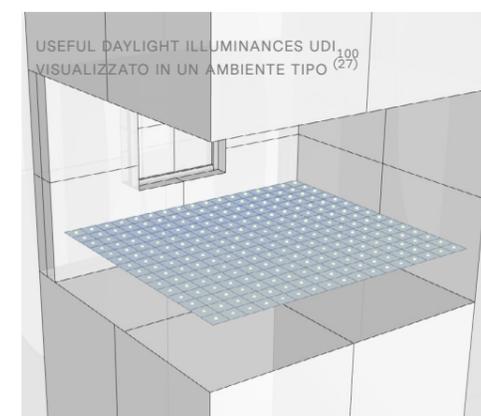
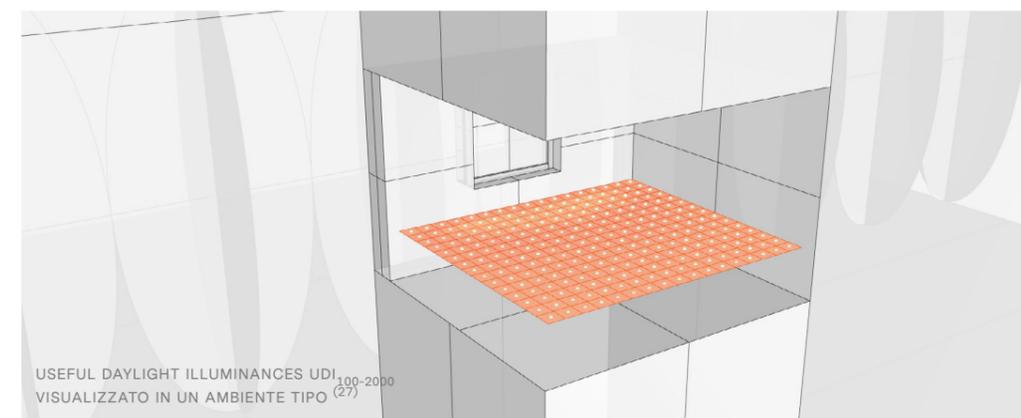
Parliamo di $UDI_{\text{fell-short}}$ quando abbiamo un illuminamento inferiore ai 100 lux e, quindi, non si raggiunge un livello

sufficiente a considerare la luce naturale come unica fonte di illuminazione o comunque capace di contribuire significativamente all'illuminazione dell'ambiente; necessità di luce artificiale.

Lo UDI_{achieved} comprende un range più ampio, dai 100 ai 3000 lux, dal momento che da 100 a 300 lux ($UDI_{\text{supplementary}}$) l'illuminamento è considerato efficace ed utile sia con la luce naturale come unica fonte di illuminazione sia combinata con

la luce artificiale, mentre dai 300 ai 3000 lux ($UDI_{\text{autonomous}}$) ^[9] l'illuminamento è percepito come desiderabile e tollerabile e non richiede l'integrazione con impianti artificiali.

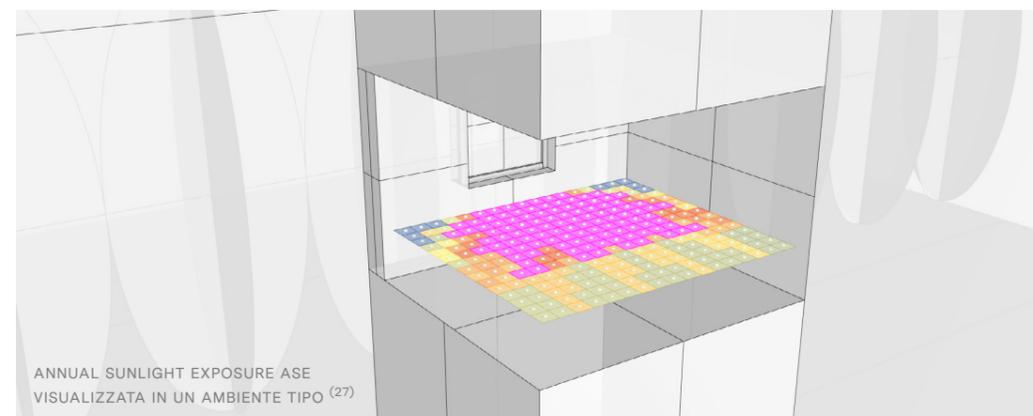
Infine, se il livello di illuminamento è superiore ai 3000 lux si parla di UDI_{exceeded} con la conseguenza negativa dell'abbagliamento e del surriscaldamento interno. Inizialmente la soglia era 2000 lux, aumentata solo in seguito a 3000 lux.



2.3.3 Metriche di verifica dell'abbagliamento

Alla base di un progetto di illuminazione vi è la necessità di fornire un illuminamento sufficiente a rispondere al compito visivo richiesto ed anche a creare un ambiente confortevole, dal punto di vista visivo e termico. Per questo motivo, è bene non eccedere con i livelli di illuminamento per non creare situazioni di discomfort legate all'abbagliamento ed al surriscaldamento interno. La sensazione di discomfort è soggettiva (può variare infatti con l'età dell'osservatore e la durata di esposizione alla fonte di abbagliamento) ed è strettamente legata all'attività svolta, oltre che alla distribuzione della luminanza del cielo; pertanto, molto spesso non viene valutato in fase di progettazione.

Vi sono due parametri utilizzati per limitare queste situazioni: l'Annual Sunlight Exposure ASE e la Daylight Glare Probability DGP.



ANNUAL SUNLIGHT EXPOSURE ASE
VISUALIZZATA IN UN AMBIENTE TIPO (27)

Annual Sunlight Exposure ASE

L'Annual Sunlight Exposure ASE, letteralmente l'esposizione annuale alla luce solare, è un indicatore che serve per calcolare la percentuale di discomfort legato all'abbagliamento, quanto spazio riceve troppa luce solare diretta; si tratta della percentuale di un'area presa in analisi che supera il valore di 1000 lux di illuminamento diretto per più di 250 ore all'anno.

Questa metrica viene spesso utilizzata in combinazione con l'sDA; infatti con l'sDA si ottiene la quantità minima di luce naturale all'interno dell'ambiente, un livello soglia minimo, e con l'ASE si controlla che non vi siano problemi potenziali di abbagliamento e quindi un livello soglia massimo. L'obiettivo per una progettazione ottimale è quello di rendere massima la sDA tenendo sotto controllo l'ASE. [11]

Daylight Glare Probability DGP

La Daylight Glare Probability DGP, la Probabilità di Abbagliamento causato dalla Luce Solare, esprime la percentuale di occupanti disturbati da una condizione di abbagliamento legato alla luce naturale. L'indice, introdotto e convalidato da Wienold e Christoffersen, dipende dalla luminanza del cielo e si basa sull'analisi

precisa delle sorgenti di abbagliamento e sull'illuminamento verticale all'altezza degli occhi. Un'analisi annuale così dettagliata però prevede lunghi tempi di simulazione; per ridurre queste tempistiche è stato proposto e verificato da Wienold un metodo semplificato. [13] Come dimostrato da svariate simulazioni, i metodi basati sull'illuminamento verticale si dimostrano come i più precisi per verificare condizioni di abbagliamento.

APPROCCI SEMPLIFICATI

- ☀️ elevata semplicità di calcolo
- ☀️ elevata rapidità di applicazione
- ☀️ utile nelle prime fasi di progettazione
- ☀️ limitata precisione
- ☀️ richiesti dalla normative europee e nazionali e quindi rivolti ad una progettazione standard
- ☀️ limiti relativi alla semplicità, all'omissione del contesto, del clima, dell'orientamento dell'ambiente e delle aperture, della reale condizione del cielo (radiazione diretta)
- ☀️ portano spesso a condizioni di discomfort visivo causato da abbagliamento o scarso livello di illuminamento reale

APPROCCI AVANZATI

- ☀️ limitata semplicità di calcolo
- ☀️ limitata rapidità di applicazione
- ☀️ utile nelle fasi conclusive di verifica
- ☀️ elevata precisione
- ☀️ richiesti dai protocolli di certificazione sostenibile e quindi rivolti ad una progettazione virtuosa ed attenta
- ☀️ limiti relativi alla complessità e alla necessità di avere file climatici specifici per ogni località di progetto e software adatti al calcolo su base climatica
- ☀️ portano a condizioni di comfort visivo, dal momento che verificano anche la possibilità di abbagliamento e la combinazione con elementi schermanti

**NORMATIVA E
REGOLAMENTAZIONE TECNICA
IN TEMA DI LUCE NATURALE**

L'uomo percepisce gli oggetti grazie al loro rapporto con lo sfondo; nonostante ciò, gli standard sono abitualmente basati sull'illuminamento e non sulla luminanza. Dal punto di vista normativo, a livello internazionale, vi sono tre principali criteri riguardanti la luce naturale ed il dimensionamento delle aperture per favorirne l'ingresso nell'ambiente interno.

L'approccio basato sul Fattore medio di luce diurna è tipico dell'ambiente anglosassone, francese ed italiano; inizialmente lo sguardo era rivolto esclusivamente all'edilizia scolastica, con il tempo si è ampliato arrivando a raggiungere anche una destinazione residenziale e lavorativa.

Le legislazioni nate più per un discorso di ventilazione che di illuminazione sono basate invece su un dimensionamento geometrico dell'apertura che relaziona la dimensione della finestra con la dimensione del pavimento e sono proprie di Giappone, Australia e Germania.

Infine, gli Stati Uniti riportano il principio della zonizzazione solare che regola il dimensionamento delle finestre soprattutto correlandolo alla morfologia urbana tipica delle grandi metropoli; non prescrive un livello interno ma definisce una determinata quantità di luce naturale da garantire attorno all'edificio ed una determinata quantità di esposizione della facciata in questione alla luce naturale.^[13]

3.1 Quadro normativo vigente

L'apparato normativo ed i regolamenti edilizi sono redatti con il fine di promuovere il benessere abitativo delle persone, preservandone la salute ed implementando la produttività.

L'evoluzione degli standard è strettamente collegata ad un'evoluzione tecnologica e scientifica.^[13] La crescita dell'utilizzo della luce naturale come sorgente di illuminazione è utile per ridurre la richiesta di energia elettrica per l'illuminazione ma anche per spostare la domanda di picco.

3.1.1 La situazione europea

In seguito agli accordi internazionali stabiliti attraverso il Protocollo di Kyoto del 1997, l'Unione Europea si dota dell'*Energy Performance Building Directive EPBD* nel 2002 come principale regolamentazione riferita alla prestazione energetica dell'edificio. L'Organizzazione europea per la standardizzazione, la CEN, elabora 59 standard volti a definire una metodologia comune.^[14]

Per la stima del fabbisogno energetico dell'edificio viene emanata nel 2007 la *EN15193: Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting*,

normativa che introduce il calcolo del LENI, il Lighting Energy Numeric Indicator. Questa metrica è utile per quantificare la prestazione energetica annuale necessaria per l'illuminazione di un edificio, considerando l'apporto della luce naturale sia attraverso le aperture laterali sia sfruttando la copertura, la potenza dei sistemi di illuminazione artificiale, la tipologia di sistema di controllo, l'utilizzo dell'edificio in termini di requisiti di prestazione e anche il profilo di occupazione da parte dell'utenza.^[15]

In media la percentuale di consumo energetico legato all'illuminazione raggiunge il 15-20% del consumo totale di energia destinato ad un edificio^[16; 17]; per questo motivo, vi sono diverse strategie volte a migliorare il risparmio energetico legate all'efficienza energetica sia delle singole componenti dell'apparecchio di illuminazione, sia al sistema di illuminazione vero e proprio (orientamento e configurazione delle aperture, sistemi di controllo ed interazione con gli occupanti) sia anche al comportamento degli occupanti rispetto all'illuminazione.

Lo *Standard Europeo EN15193-1*^[18] è una revisione della norma precedente attuata nel 2017 con lo scopo di stabilire una metodologia per valutare la prestazione energetica dei sistemi di illuminazione ma anche stabilire una metodologia per calcolare e misurare la quantità di

energia necessaria per l'illuminazione; inoltre, fornisce una metodologia, il LENI, aggiornata per valutare l'efficienza energetica degli impianti di illuminazione degli edifici e si adatta a edifici nuovi, esistenti e anche in fase di ristrutturazione, residenziali e non residenziali.

Nell'aggiornamento del 2017 viene introdotto nella normativa il "Fattore di spesa dei sistemi di illuminazione", volto a quantificare l'efficienza del sistema di illuminazione preso in esame rispetto ad un sistema standard; inoltre, viene implementata ed arricchita la sezione relativa alle informazioni volte a definire i dati di input dei calcoli.

La metodologia LENI viene calcolata come somma di due termini distinti sulla superficie all'anno:

$$\text{LENI} = \frac{W_t}{A} = \frac{W_{L,t} + W_{P,t}}{A}$$

dove W_t è l'energia totale annua per l'illuminazione dell'edificio calcolata in kWh per ciascuna zona dell'edificio nell'intervallo temporale definito dal profilo di occupazione, A l'area di pavimento utile dell'edificio, $W_{L,t}$ rappresenta l'energia totale per l'illuminazione stimata necessaria a soddisfare tutte le esigenze di illuminazione dell'edificio (il consumo vero e proprio degli apparecchi quando sono in funzione) e $W_{P,t}$ l'energia totale parassita, o l'energia in standby, richiesta

durante il periodo in cui gli apparecchi non sono in funzione come energia di ricarica per l'illuminazione di emergenza P_{em} ed energia di attivazione per i sistemi di controllo dell'edificio P_{pc} .

$$W_{L,t} = \sum \frac{(P_n \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) \cdot (t_N \cdot F_O)]}{1000}$$

$$W_{P,t} = \sum \frac{P_{pc} \cdot t_y \cdot (P_{em} \cdot t_e)}{1000}$$

$W_{L,t}$ racchiude in sé la potenza totale installata per l'illuminazione per le diverse ore di funzionamento P_n in assenza t_N e in presenza t_D della luce naturale per i fattori di dipendenza, cioè il fattore di illuminamento costante F_C , il fattore di dipendenza dall'occupazione F_O ed il fattore di dipendenza dalla luce naturale F_D .

Più nel dettaglio, il fattore di dipendenza dalla luce naturale F_D è composto dal fattore di disponibilità della luce naturale $F_{D,S}$ che stima la DA, cioè la disponibilità di luce naturale nelle zone prese in analisi, ed il fattore che tiene conto della capacità del sistema di controllo di sfruttare la presenza della luce naturale $F_{D,C}$.

$$F_{D,n} = 1 - (F_{D,S,n} \cdot F_{D,C,n})$$

Per $F_{D,S}$ vengono ipotizzate due tipologie di facciate, prendendo o meno in considerazione le schermature solari; come risultato si prende in considerazione

la media ponderata dei due valori, ovvero della disponibilità di luce naturale in presenza ed in assenza della schermatura solare utilizzando il tempo relativo t_{rel} determinato in base alla posizione del sito di progetto, tramite la latitudine, ed all'orientamento della facciata, in particolare della superficie vetrata in analisi. Inoltre, attraverso l'esposizione alla luce naturale si tiene conto anche del clima e della condizione di illuminazione esterna, mediante il rapporto tra l'esposizione solare diretta e quella globale, nel periodo di occupazione previsto dalle 8 alle 17 come orario lavorativo per l'intero anno.

$F_{D,C}$ è invece determinato dalla tipologia del sistema di controllo e dall'illuminamento richiesto dalla zona presa in analisi. Ogni ambiente viene suddiviso in aree illuminate dalla luce naturale A_D se $F_D < 1$ e aree non illuminate A_{ND} se $F_D = 1$.

Il fattore di dipendenza dall'occupazione F_O considera appunto la presenza degli occupanti negli ambienti, tenendo conto sia della frazione di tempo in cui l'ambiente non è occupato dagli utenti F_A (fattore di assenza) sia del sistema di controllo dell'occupazione presente F_{OC} . $F_O < 1$ negli ambienti in cui non vi è un'accensione centralizzata oppure $F_O = 1$ nel caso in cui l'illuminazione sia accesa centralmente in più di un ambiente.

Il fattore di illuminamento costante F_C infine stima la riduzione di consumi

energetici ottenuta grazie all'utilizzo di sistemi di controllo; F_c è anche collegato al decadimento di lampade ed apparecchi ed alla situazione di pulizia propria dell'ambiente, legato anche alla manutenzione.

Per il calcolo, l'edificio viene suddiviso in diverse aree o zone che possono coincidere con una stanza oppure essere una porzione di pavimento all'interno di una stanza; il LENI dell'edificio viene infine calcolato come somma dei consumi energetici di tutte le zone prese in analisi.

Il metodo analitico fornito dalla norma EN15193-1: 2017 prevede che l'apporto di luce naturale possa essere calcolato attraverso due metodologie: il fattore di dipendenza dalla luce naturale F_D ed il fattore di disponibilità della luce

naturale $F_{D,S}$. Il primo è dipendente dalla dimensione dell'ambiente e da quella dell'apertura, dalla presenza o assenza di ostruzioni esterne, dalle condizioni di trasmissione e di manutenzione proprie del vetro; il secondo invece dalla latitudine, dalla condizione di illuminazione esterna, dall'orientamento dell'apertura e dalla presenza di sistemi di schermatura.

La metodologia LENI consiste dunque in un metodo semplificato, standardizzato ma dettagliato per prevedere e sopperire alla domanda di energia elettrica per l'illuminazione e può essere utilizzato per il processo di certificazione energetica di un edificio (permettendo anche il confronto tra diversi edifici presenti sul suolo europeo).

Consultare l'appendice a pagina 84 per i riferimenti minimi relativi ad ogni fattore riportato nella norma EN15193-1: 2017.



La nuova *Normativa Europea EN17037: 2018* si occupa dell'apporto di luce naturale all'interno degli edifici. A livello europeo, si tratta del primo standard che tratta esclusivamente la progettazione e la disponibilità della luce naturale, per sostituire ed unificare numerose leggi nazionali europee.^[19]

La norma inizialmente ricorda l'importanza della luce naturale sul benessere e sulla salute degli utenti, sottolineando la necessità di fornire livelli di illuminamento sufficienti a svolgere le attività ed un contatto diretto con l'esterno, inoltre posa l'attenzione sul discorso del risparmio energetico dal momento che in presenza di luce naturale si è meno propensi ad utilizzare quella artificiale. In particolare, i temi principali si legano alla capacità della luce naturale di fornire una qualità ed una quantità significative all'interno degli ambienti, elevate resa e variabilità dei colori, alle aperture che forniscono vista e contatto con l'esterno oltre che alla possibilità di esposizione degli interni alla luce del Sole, ma non trascurando la fornitura di un dispositivo schermante per risolvere il problema legato all'abbagliamento.

Lo scopo definito è collegato alla specifica di elementi per ottenere una luminosità naturale interna adeguata e fornire la vista verso l'esterno, insieme a raccomandazioni per la durata preferibile dell'esposizione alla luce solare ed un metodo di calcolo

utile per verificare l'eventuale presenza di discomfort visivo.

Vengono inoltre forniti i livelli di raccomandazione minimi, medi ed elevati.

La sezione della valutazione della luce diurna viene affrontata secondo diversi livelli di lettura: la fornitura di luce diurna, la valutazione della vista dall'esterno, l'esposizione alla luce solare e la protezione dall'abbagliamento.

Il primo focus riguarda la fornitura vera e propria di luce diurna, descrivendo come la luce diurna possa contribuire all'illuminazione degli ambienti interni e come questa dipenda dalla presenza di ostruzioni esterne, dalla trasmittanza propria del vetro, dallo spessore della parete e dalla presenza di divisioni interne. Viene definito il piano di riferimento ad un'altezza di 0.85 m dal pavimento e si rimanda all'appendice A per quanto riguarda i valori per gli illuminamenti, in cui sono riportate diverse casistiche; viene richiesto che si raggiunga il livello di illuminamento target per almeno metà delle ore diurne.

Sono descritti due metodi di calcolo che consistono appunto nel Fattore di Luce Diurna sul piano di riferimento e sui livelli di illuminamento con un richiamo all'appendice B per raccomandazioni specifiche. Inoltre, viene esplicitata la procedura di verifica della fornitura di luce anche mediante software oppure misurazioni sul posto.

Il secondo step riguarda la valutazione della vista verso l'esterno per mantenere il contatto appunto con l'ambiente esterno attraverso la percezione dell'alternarsi delle stagioni e del trascorrersi delle ore. Infatti, queste informazioni posso alleviare la fatica legata alla permanenza in luoghi chiusi per lunghi periodi di tempo.

La vista verso l'esterno deve comprendere essenzialmente tre livelli distinti: uno strato a livello del cielo, uno a livello del paesaggio ed uno a livello del terreno. La qualità della vista invece è legata alla dimensione dell'apertura, alla larghezza della vista, alla distanza della vista, al numero di strati, alle qualità delle informazioni ambientali date dalla vista. Per garantire la vista, devono essere soddisfatti fondamentalmente quattro criteri: il materiale dell'apertura dovrebbe fornire una vista con percezione nitida, non distorta e di colore neutro; le aperture destinate alla vista dovrebbero avere un angolo di visione orizzontale maggiore di un certo livello minimo; la distanza dalla vista esterna dovrebbe essere minore di un certo livello minimo; dovrebbe essere garantita la visione di un certo numero di strati di vista.

Le metodologie di verifica sono descritte nell'appendice C mentre i valori minimi nell'appendice A.

Il terzo punto riguarda l'esposizione alla luce solare, importante per contribuire al benessere dell'occupante e si ottiene

raggiungendo un numero minimo di ore del giorno in cui l'ambiente riceve la luce solare diretta per un giorno dell'anno di riferimento. Per la cernita del giorno ed i valori raccomandati si fa riferimento all'appendice A mentre per i metodi di calcolo all'appendice D. La durata della luce solare in ingresso nell'ambiente può essere verificata infatti attraverso una procedura manuale o un software adeguato oppure sul posto tramite misurazioni geometriche e fotografie.

Come ultimo livello di lettura troviamo la protezione dall'abbagliamento, sensazione negativa conseguenza di luce solare diretta oppure di elevate differenze di luminanza tra aree scure ed aree brillanti. Per questo motivo, vengono consigliati dispositivi schermanti per ridurre appunto il rischio di discomfort visivo e la vista diretta verso il sole o un suo riflesso. In questo caso, le raccomandazioni sono presenti nell'appendice E.

La norma EN17037 del 2018 presenta la DGP, Daylight Glare Probability, o Probabilità di Abbagliamento causato dalla Luce Diurna per gli spazi dedicati alla scrittura, alla lettura o all'utilizzo di dispositivi non modificabili dagli utenti. Vengono infine forniti dei valori soglia da non superare per una determinata frazione di tempo di utilizzo. La DPG è una formula empirica che tiene conto sia della luminanza delle sorgenti, dell'illuminamento all'altezza

dell'occhio, dell'angolo solido sia anche della percezione dell'utente. In situazioni critiche, la DPG può essere approssimata tramite l'utilizzo di macchine fotografiche HDR con o senza obiettivo grandangolare.

Infine, è importante sottolineare come la norma EN17037 introduca dei valori di Fattore di Luce Diurna che variano in base alla località di progetto, variando l'illuminamento esterno in base alla località.

EN17037

introduzione, campo di applicazione, termini e definizioni, scopo



3.1.2 La normativa italiana

Nonostante la sua fondamentale importanza per il benessere e la produttività dell'uomo, la normativa italiana non è sovrabbondante in merito a raccomandazioni circa la luce naturale.

Nella *Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 3151 del 22 maggio 1967* vengono presentate diverse norme atte a caratterizzare e definire il comportamento delle pareti perimetrali per il benessere interno degli utenti. Oltre a definire come ottenere un sufficiente ricambio

d'aria e salubrità della parete, viene presentata la definizione del Fattore di Luce Diurna in qualità di coefficiente di illuminazione diurna come il "rapporto tra l'illuminamento del piano di lavoro in una posizione determinata e l'illuminamento che si avrebbe nelle identiche condizioni di tempo e di luogo, su una superficie orizzontale esposta all'aperto in modo da ricevere luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento diretto del sole"^[20] Si riconoscono le potenzialità di questa metrica, legate anche all'indipendenza dalla località geografica, dal periodo dell'anno e dall'ora del giorno, capace dunque di poter essere utilizzato

sull'intero territorio nazionale, ma si riconosce anche il limite principale relativo al fatto che il valore puntuale sia significativamente differente da punto a punto all'interno dell'ambiente stesso. Per ovviare a questo motivo, la norma introduce il Fattore Medio di Luce Diurna come rapporto tra l'illuminamento medio dell'ambiente chiuso e l'illuminamento esterno.

Inoltre, nella sezione relativa alle *Norme per l'edilizia civile sovvenzionata*, viene stabilito che l'area delle porzioni vetrate non debba superare il valore necessario per ottenere che il coefficiente medio di illuminazione diurna risulti maggiore o uguale a 0,06. Per questo motivo, viene fornito il metodo di calcolo del Fattore medio di luce diurna, definito η_m :

$$\eta_m = \frac{S_f \cdot t}{(1 - R_m) \cdot S} \cdot E$$

dove S_f è la superficie della porzione vetrata, t il coefficiente di trasparenza del vetro, R_m il coefficiente medio di rinvio delle facce interne delle pareti, S l'area delle pareti dell'ambiente ed E il coefficiente di illuminazione diurna in corrispondenza del baricentro della finestra.

Infine, viene richiesta una protezione per le superfici vetrate attraverso schermature mobili, esterne e ventilate capaci di ridurre di almeno il 70% il flusso termico totale in ingresso, dato significativo durante la stagione estiva. Una seconda schermatura, fissa o mobile,

è da predisporre nell'area vetrata non interessata dalla prima schermatura in modo da ridurre l'irraggiamento solare almeno dell'80%.

Nella *Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 13011 del 22 novembre 1974* ^[21] viene delineato ulteriormente il contributo dei dispositivi schermanti esterni ventilati in modo che garantiscano l'ingresso di almeno il 30% del flusso termico entrante dovuto all'irraggiamento solare diretto. In questa Circolare però vengono forniti i livelli minimi di illuminamento naturale ed artificiale in base agli ambienti e alle destinazioni d'uso. L'illuminazione sul piano di lavoro e l'osservazione medica infatti richiedono minimo 300 lux, negli spazi dedicati alla lettura ed ai laboratori negli uffici ne sono sufficienti 200, gli ambienti destinati alle riunioni e alla ginnastica hanno un illuminamento minimo richiesto di 100 lux ad un'altezza di 0,60 m dal pavimento, mentre tutti gli spazi di servizio, quali scale, corridoi, servizi igienici riportano un minimo di 80 lux di illuminamento a 1 m dal pavimento. Questi requisiti minimi di illuminamento sono da assicurare in qualsiasi condizione di cielo sfruttando anche l'apporto dell'illuminazione artificiale.

Inoltre, viene posta attenzione al fenomeno dell'abbagliamento impostando un valore massimo non superiore a 20 volte i valori medi.

Infine, vengono forniti valori relativi al Fattore Medio di Luce Diurna minimi

da garantire pari a 0,03 in laboratori, ambienti di degenza e diagnostica, 0,02 per refettori e palestre, 0,01 per uffici e spazi destinati alla distribuzione.

Le sostanziali variazioni locali e regionali nei livelli di illuminamento portano alla luce però un altro limite di utilizzo del Fattore di Luce Diurna in ambito italiano; per il fatto che si considera una condizione di cielo coperto uniforme, si sottostimano i valori di illuminamento naturale disponibili nella realtà e si uniformano i progetti presenti in località con caratteristiche differenti.

Con il *Decreto del Ministero della Sanità del 5 luglio 1975* ^[22] vengono definiti i requisiti igienico-sanitari minimi e riviste le istruzioni ministeriali precedenti. In particolare, questo decreto prescrive indicazioni relative ai locali di abitazione, enunciando nell'articolo 5 che "Tutti i locali degli alloggi, tranne vani scala, ripostigli, [...] devono fruire di illuminazione naturale diretta adeguata alla destinazione d'uso. [...] 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 finestrata apribile non dovrà essere inferiore ad 1/8 della superficie del pavimento."

Purtroppo, una cattiva ed erronea interpretazione della norma ha diffuso tra i progettisti l'opinione che la proporzione 1/8 tra area dell'apertura vetrata e pavimento corrisponda al 2% richiesto

dal FLD_m e che quindi sia sufficiente a garantire un corretto illuminamento interno dato dalla luce naturale

Il *Decreto Ministeriale del 18 dicembre 1975* ^[23] riguarda l'edilizia scolastica e ricerca il massimo comfort visivo per gli studenti, con un relativo livello di illuminazione adeguato, equilibrio delle luminanze, protezione dall'abbagliamento, prevalenza della componente diretta nel caso di luce artificiale. Vengono nuovamente definiti i valori minimi di illuminamento richiesti da garantire sul piano di utilizzo in qualsiasi condizione di cielo, integrando la luce naturale con quella artificiale se necessario, e anche il Fattore Medio di Luce Diurna relativo ai diversi ambienti.

Infine, la *norma UNI 10840 "Luce ed illuminazione - locali scolastici: Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale"* ^[24] prevede integrazione tra luce naturale ed artificiale per ottenere una buona prestazione visiva. Viene proposto il calcolo del Fattore Medio di Luce Diurna con la simbologia attuale, ma questa rimane l'unica metrica da utilizzare per la progettazione dell'apporto di luce naturale. Assumendo, dunque, l'illuminamento esterno come costante (in presenza di condizioni di cielo coperto), anche il Fattore di Luce Diurna è un valore costante essendo costante non il valore di illuminamento calcolato ma il rapporto tra illuminamento esterno ed interno.

Inoltre, viene elaborato il Daylight Glare Index DGI come metodo di verifica dell'abbagliamento interno all'ambiente e vengono forniti i valori limite in relazione a diverse attività. Il DGI è una sommatoria su base logaritmica dei singoli indici di

abbagliamento calcolati per ciascuna sorgente, considerando la sua luminanza ed il suo angolo solido, la luminanza media delle superfici interne, l'angolo solido totale della finestra e la luminanza media della finestra ponderata.

- ☀️ C. M. 3151 del 22/5/1967 ————— ☀️ definizione Fattore Medio di Luce Diurna η_m come metodologia di calcolo e limiti da rispettare
- ☀️ C. M. 13011 del 22/11/1974 ————— ☀️ definizione livelli minimi di illuminamento e valori massimi per evitare l'abbagliamento
- ☀️ D. M. del 5/7/1975 ————— ☀️ requisiti igienico-sanitari + definizione Fattore Medio di Luce Diurna $> 2\%$ e superficie apribile $> 1/8$
- ☀️ D. M. del 18/12/1975 ————— ☀️ definizione parametri per garantire il massimo comfort visivo (edilizia scolastica)
- ☀️ UNI 10840 di marzo 2000 ————— ☀️ definizione Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m
definizione indice per verificare l'abbagliamento DGI

3.1.3 Regolamenti edilizi ed allegati energetici ambientali

I comuni italiani hanno applicato l'articolo 5 del *Decreto del Ministero della Sanità* [22] all'interno dei propri Regolamenti comunali, numerosi però fraintendendo il rapporto aerante di $1/8$ della superficie utile del pavimento come superficie vetrata e trasportandolo anche a requisito illuminotecnico, applicandolo dunque come unico parametro per il controllo della ventilazione e dell'illuminazione. Questo probabilmente anche perché il

calcolo del Fattore Medio di Luce Diurna è più complesso e meno immediato e bisogna disporre di una serie di dati legati alle caratteristiche del vetro, della posizione della finestra nella parete e delle condizioni di ostruzioni esterne.

Il Piemonte, la Lombardia, la Toscana e la Puglia riportano all'interno delle proprie regolamentazioni regionali il Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m come metrica per la verifica dell'apporto di luce naturale interno all'ambiente.

Inoltre, alcuni comuni presentano il FLD_m all'interno del proprio Regolamento

Edilizio o del proprio Allegato Energetico.

Sul territorio piemontese vi sono Alpignano, Avigliana, Baldissero Torinese (in cui viene richiesto un $FLD > 2,5\%$), Beinasco, Casale Corte Cerro, Gravellona Toce, Moncalieri, Poirino, Rivalta, Rivoli, Torino, Vercelli e Volvera. In Lombardia invece i comuni che riportano il FLD all'interno del Piano regolatore sono Abbiategrasso (in cui viene richiesto un $FLD > 0,018\%$ ad un'altezza di 0,90 m dal pavimento nel punto più sfavorevole), Casorate Primo, Cesate, Cesano Boscone (requisito minimo richiesto maggiore di $0,018\%$ come ad Abbiategrasso), Cesano Maderno, Civo, Corbetta, Garbagnate Milanese, Marmirolo, Merate, Motta Visconti, Mozzo ($FLD > 0,018\%$ come Abbiategrasso e Cesano Boscone, ma in questo caso si ritiene come soddisfatto il requisito di illuminazione se la superficie dell'area vetrata è pari ad $1/8$ della superficie utile del pavimento), Nerviano, Novate Milanese, Ozzero, Paderno Dugnano, Pregnana Milanese, Rho, Rosate, Somma Lombardo (prevede come utili a soddisfare il requisito anche i sistemi di trasporto e diffusione della luce, quali i coni luminosi o i camini di luce) e Sondrio ($FLD > 0,018\%$ nel punto più sfavorevole). Il comune di Este in Veneto riporta il FLD nelle best practices come misure facoltative incentivate mentre Trevignano assegna un punteggio a partire da -2 nel caso in cui $FLD_m < 0,5\%$

fino a +5 nei casi virtuosi in cui $FLD_m > 4\%$. In Friuli-Venezia Giulia c'è il comune di Caneva che richiede un $FLD > 3$. Sul suolo toscano vi sono alcuni comuni che riportano anche nelle proprie prescrizioni il Fattore Medio di Luce Diurna, tra cui Calenzano, Capannoli, Pisa, Quarrata, Sesto Fiorentino, Siena e Pistoia che richiede di verificare inizialmente che la profondità massima dell'ambiente sia al massimo di 2,5 volte l'altezza dell'architrave e dopodiché che il FLD_m sia maggiore del 2%. Nelle Marche fanno eccezione i comuni di Chiaravalle e di Macerata, Collazzone, Perugia e Terni in Umbria e Sant'Angelo di Brolo in Sicilia.

Vi sono poi altri comuni nella penisola italiana il cui Piano Regolatore ed Allegato energetico richiedono anche parametri differenti dal Fattore di luce diurna per la verifica dell'apporto di luce naturale interno. Tra questi, una vista di insieme va rivolta verso due grandi distinzioni.

È maggiormente presente la situazione in cui il requisito normante sia una semplice regola dei pollici che prevede che la profondità dell'ambiente debba essere al massimo 2,5 volte l'altezza dell'architrave dell'apertura per fornire una corretta illuminazione naturale. Più di rado invece i comuni richiedono di verificare una serie di requisiti e forniscono indicazioni su come poter progettare correttamente sfruttando l'apporto di luce naturale per realizzare un edificio che sia sostenibile.



DISTRIBUZIONE SUL TERRITORIO ITALIANO

● COMUNI CHE RICHIEDONO ESPRESSAMENTE IL FLD

● COMUNI CHE RICHIEDONO ALTRE REGOLE

Comuni (Regione)

Regolamento edilizio_illuminazione naturale

Alpignano (Piemonte)

Verificare sia $FLD_m > 2\%$, sia che l'area dell'apertura sia superiore a $1/8$ della superficie del pavimento, sia che la profondità dell'ambiente non superi 2,5 volte l'altezza dell'architrave; nel caso in cui la profondità raggiunga le 3,5 volte l'altezza dell'architrave allora anche la superficie illuminante deve essere aumentata proporzionalmente fino ad un massimo del 25%.

Brugherio (Lombardia)

Progettazione volta a massimizzare l'ottimizzazione dell'illuminazione naturale, come obiettivo prioritario, in cui le nuove aperture dei locali principali siano orientate entro un settore $\pm 45^\circ$ da Sud geografico. Viene considerata come superficie utile finestrata quella a partire da 0,60 m dal pavimento esclusi i telai. Negli ambienti con profondità compresa tra 2,5 e 3,5 volte l'altezza dell'architrave, l'apertura va incrementata proporzionalmente fino ad ottenere $1/4$ della superficie del pavimento. Vengono concessi sistemi di diffusione e riflessione della luce naturale e consigliate finiture interne di colore chiaro per limitare l'assorbimento della radiazione solare. (Rimando al Regolamento di igiene III).

Calenzano e Sesto Fiorentino (Toscana)

Nelle indicazioni per un'edilizia smart viene dichiarata una capacità illuminante limitata ad una profondità di 2,5 volte l'altezza dell'architrave dell'apertura, con una maggiorazione fino al 10% nel caso in cui la profondità raggiunga le 3,5 volte. Viene consigliata ma non richiesta obbligatoriamente la progettazione tramite $FLD_m > 2\%$.

Castelnuovo (Toscana)

Le direttive riguardano sia alla profondità che alla larghezza dell'ambiente, rispettivamente 2,5 volte e 1,5 volte l'altezza dell'architrave, in cui la capacità

Comuni (Regione)	Regolamento edilizio_illuminazione naturale
Castelnuovo (Toscana)	illuminante è aumentabile proporzionalmente fino al 25% nel caso in cui la profondità raggiunga le 3,5 volte l'altezza dell'architrave, oltre questo valore (la capacità illuminante) è esaurita. Deve essere garantito l'affaccio verso l'esterno per ogni locale abitabile.
Cavriglia (Toscana)	Rispettare il requisito di area apribile pari a 1/8 dell'area del pavimento, riducibile fino a 1/12 se vi sono lucernari. Necessario su ogni apertura vetrata dispositivo schermante che garantisca l'oscuramento totale e parziale. Profondità massima per rendere efficace la capacità illuminante dell'apertura pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave e larghezza pari a 1,5 volte la stessa misura.
Collazzone (Umbria)	Assicurare che $FLD > 2\%$ e che l'area dell'apertura sia superiore a 1/8 della superficie del pavimento; quando la profondità dell'ambiente supera 2,5 volte l'altezza dell'architrave, la superficie vetrata deve essere aumentata di 1/10 della superficie della parte del locale oltre la profondità limite (2,5 volte l'architrave).
Collesalveti (Toscana)	Apertura vetrata minima di 1/8 della superficie del pavimento per locali inferiori ai 100 m ² , 1/10 per locali dai 100 m ² ai 1000 m ² , 1/12 per locali superiori ai 1000 m ² con un minimo di 100 m ² illuminanti. La profondità dell'ambiente non deve superare 2,5 volte l'altezza dell'architrave; nel caso in cui la profondità raggiunga le 3,5 volte l'altezza dell'architrave allora anche la superficie illuminante deve essere aumentata proporzionalmente fino ad un massimo del 25%.
Este (Veneto)	L'illuminazione naturale rientra nel settore dedicato alle "best practices", ossia le misure facoltative

Comuni (Regione)	Regolamento edilizio_illuminazione naturale
Este (Veneto)	incentivate per gli elementi che costruiscono la sostenibilità dell'edificio. Vengono forniti 4 punti se si utilizza almeno il 50% di luce naturale nella quantità totale di luce richiesta per svolgere il compito visivo. Vengono consigliati sistemi di captazione della luce naturale (mensole di luce, pozzi di luce) per migliorare l'illuminazione interna.
Fiesole (Toscana)	Efficacia dell'illuminazione naturale per una profondità pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave e deve essere garantita la dimensioni minima pari a 1/8 della superficie di pavimento. Almeno il 50% dell'illuminazione totale deve esser fornita dalla sorgente naturale. Nei casi commerciali e produttivi, apertura vetrata minima di 1/8 della superficie del pavimento per locali inferiori ai 100 m ² , 1/10 per locali dai 100 m ² ai 1000 m ² , 1/12 per locali superiori ai 1000 m ² con un minimo di 100 m ² illuminanti.
Firenze (Toscana)	Efficacia dell'illuminazione naturale per una profondità pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave e larghezza di 1,5; evidenziare in planimetria le zone non raggiunte dalla luce naturale. Viene fatta una distinzione tra il requisito di aerazione e quello di illuminazione; mantenere la superficie vetrata minima pari a 1/8 della superficie del pavimento. Nei casi commerciali e produttivi, Apertura vetrata minima di 1/8 della superficie del pavimento per locali inferiori ai 100 m ² , 1/10 per locali dai 100 m ² ai 1000 m ² , 1/12 per locali superiori ai 1000 m ² con un minimo di 100 m ² illuminanti.
Milano (Lombardia)	Gli alloggi monoaffaccio non possono essere orientati +/- 30° Nord; si possono utilizzare dispositivi di

Comuni (Regione)	Regolamento edilizio_illuminazione naturale
Milano (Lombardia)	<p>trasporto della luce naturale; illuminazione naturale indiretta consentita per le attività lavorative. La porzione vetrata utile esclude i primi 0,60 m dall'altezza del pavimento. La superficie vetrata deve essere minimo 1/10 la superficie del pavimento e la profondità dell'ambiente non può essere superiore a 2,5 volte l'altezza dell'architrave; nel caso in cui sia 3,5 volte allora l'area vetrata deve essere superiore a 1/8. È presente il fattore di ostruzione. Con sporgenze oltre 1,50 m viene indicato un metodo di calcolo per ottenere la porzione di area finestrata "in difetto" (p) che sarà considerata per 1/3 illuminante. Nei casi di esposizione a +/- 60° Sud vi è una porzione (a) considerata per 1/2 illuminante. Nel caso di luce zenitale l'area illuminante deve essere minimo 1/12 dell'area del pavimento. Bisogna garantire la "visione da lontano" verso l'esterno anche in postazioni sedute.</p>
Oristano (Sardegna)	<p>Garantire superficie vetrata minima di 1/8 dell'area del pavimento, riducibile a 1/12 nei locali sottotetto. La capacità illuminante è limitata ad una profondità pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave, aumentabile proporzionalmente fino al 25% nel caso in cui la profondità risulti 3,5 volte la stessa misura. Negli ambienti lavorativi, apertura vetrata minima di 1/8 della superficie del pavimento per locali inferiori ai 100 m², 1/10 per locali dai 100 m² ai 1000 m², 1/12 per locali superiori ai 1000 m² con un minimo di 100 m² illuminanti. L'illuminazione proveniente da sorgente naturale deve essere almeno il 50% della totale.</p>
Perugia (Umbria)	<p>Verificare $FLD_m > 2\%$ e che l'area dell'apertura sia superiore a 1/8 della superficie del pavimento; quando la profondità dell'ambiente supera 2,5 volte l'altezza</p>

Comuni (Regione)	Regolamento edilizio_illuminazione naturale
Perugia (Umbria)	<p>dell'architrave, la superficie vetrata deve essere aumentata di 1/10 della superficie della parte del locale oltre la profondità limite (2,5 volte l'architrave). Negli ambienti lavorativi, apertura vetrata minima di 1/8 della superficie del pavimento per locali inferiori ai 100 m², 1/10 per locali dai 100 m² ai 1000 m², 1/12 per locali superiori ai 1000 m² con un minimo di 100 m² illuminanti. L'illuminazione proveniente da sorgente naturale deve essere almeno il 50% della totale. Nell'analisi del sito, tra i fattori tipologici, devono essere fornite la distribuzione, l'orientamento ed i sistemi di protezione delle superfici trasparenti. Vengono fornite delle schede di valutazione della sostenibilità ambientale; il requisito 4.1.1 riguarda l'illuminazione naturale (categoria 4.1 relativa al comfort visivo) con i relativi metodi e strumenti di verifica e le strategie di riferimento, quali per esempio il colore delle pareti interne ed i sistemi di conduzione della luce. A questo requisito viene attribuito un peso del 15% interno al settore 4 relativo alla qualità dell'ambiente interno.</p>
Pistoia (Toscana)	<p>Vengono forniti due allegati relativi all'illuminazione naturale: l'allegato 3 nel caso di nuove costruzioni e l'allegato 4 ne caso di ristrutturazioni. Viene richiesto il FLD_m (con relativo metodo di calcolo e rimando al Regolamento di Igiene) e si invita ad utilizzare la sorgente naturale il più possibile in modo da ridurre anche il consumo energetico. Si ritiene soddisfatto allo stesso modo il requisito di illuminazione però con il rispetto del rapporto 1/8 (ridotto a 1/12 nel caso di sottotetti). Quando la profondità dell'ambiente supera di 2,5 volte l'altezza dell'architrave, la superficie vetrata deve essere aumentata di 1/10 della superficie della</p>

Comuni (Regione)	Regolamento edilizio_illuminazione naturale
Pistoia (Toscana)	<p>parte del locale oltre la profondità limite.</p> <p>Vengono inoltre forniti dei valori minimi richiesti e dei valori di trasmissione del vetro e di riflessione delle pareti, con i relativi riferimenti normativi.</p> <p>Nel caso di ristrutturazione verificare di avere migliorato o mantenuto invariato il FLD_m dopo i lavori, allegando delle strategie da adottare per rispondere al requisito.</p>
Ponsacco (Toscana)	<p>Per laboratori ed archivi, apertura vetrata minima di 1/8 della superficie del pavimento per locali inferiori ai 100 m², 1/10 per locali dai 100 m² ai 1000 m², 1/12 per locali superiori ai 1000 m² con un minimo di 100 m² illuminanti. L'illuminazione proveniente da sorgente naturale deve essere almeno il 50% della totale.</p> <p>La capacità illuminante è limitata ad una profondità pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave, aumentabile proporzionalmente fino al 25% nel caso in cui la profondità risulti 3,5 volte la stessa misura.</p> <p>La disposizione interna deve tenere conto dell'orientamento, per favorire l'illuminazione naturale agli ambienti che più ne necessitano (indicazioni).</p>
Pontedera (Toscana)	<p>Garantire apertura vetrata minima di 1/8 della superficie del pavimento per le residenze; minimo 1/8 per locali inferiori ai 100 m², 1/10 per locali dai 100 m² ai 1000 m², 1/12 per locali superiori ai 1000 m² con un minimo di 100 m² illuminanti. L'illuminazione proveniente da sorgente naturale deve essere almeno il 50% della totale.</p> <p>La capacità illuminante è limitata ad una profondità pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave, aumentabile proporzionalmente fino al 25% nel caso in cui la profondità risulti 3,5 volte la stessa misura.</p>

Comuni (Regione)	Regolamento edilizio_illuminazione naturale
Pontedera (Toscana)	<p>La disposizione interna deve tenere conto dell'orientamento, per favorire l'illuminazione naturale agli ambienti che più ne necessitano (indicazioni).</p>
Prato (Toscana)	<p>Vengono fornite delle dimensioni minime di apertura vetrata in base alle destinazioni d'uso dei locali. La porzione di superficie vetrata considerata utile è quella superiore a 1,80 m dal pavimento.</p> <p>La capacità illuminante è limitata ad una profondità pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave, aumentabile proporzionalmente fino al 25% nel caso in cui la profondità risulti 3,5 volte la stessa misura.</p>
Quarrata (Toscana)	<p>La superficie illuminante deve essere distribuita in modo da garantire un'illuminazione uniforme.</p> <p>In assenza di una progettazione illuminotecnica, la capacità illuminante è limitata ad una profondità pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave, aumentabile proporzionalmente fino al 25% nel caso in cui la profondità risulti 3,5 volte la stessa misura. Nel caso in cui l'apertura sia sottostante altri elementi edilizi (balconi, logge) la linea ideale inclinata del 28% che parte dal bordo esterno dell'architrave non deve intersecare gli elementi edilizi. Le porzioni non interessate dalla luce naturale devono essere identificate in planimetria. Preferibile verifica con $FLD_m > 2\%$.</p>
Rivoli (Piemonte)	<p>Ottimizzare l'uso della luce naturale come obiettivo prioritario. Ammessi dispositivi di trasporto e diffusione della luce, in tutti gli ambienti deve essere assicurata la vista verso l'esterno e deve comprendere sia l'ambiente circostante che la volta celeste.</p> <p>Da garantire $FLD_m > 2\%$ e l'apertura minima di 1/8 rispetto all'area del pavimento; la profondità</p>

Comuni (Regione)	Regolamento edilizio_illuminazione naturale
Rivoli (Piemonte)	degli ambienti non deve essere superiore a 2,5 volte l'altezza dell'architrave. La profondità può diventare al massimo 3 volte l'altezza dell'architrave se si garantisce $FLD_m > 2\%$ (il fattore di riflessione delle pareti varia in base alla profondità dell'ambiente). Devono essere garantiti sistemi di schermatura (o oggetti sovrastanti l'apertura, ma non a Nord) per evitare il problema legato all'abbagliamento.
Sabaudia (Lazio)	Illuminazione naturale diretta preferibile sui luoghi di lavoro, garantita uniforme e congruente. In assenza di un progetto illuminotecnico i due limiti riguardano la profondità massima dell'ambiente pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave (in caso di profondità fino a 3,5 volte deve essere aumentata proporzionalmente fino al 25% in più) e il rapporto minimo di 1/8 con la superficie del pavimento.
San Giovanni Valdarno (Toscana)	Negli edifici di nuova costruzione tutti i locali di occupazione permanente devono godere di un'illuminazione naturale diretta. Nel caso in cui la profondità dell'ambiente superi le 2,5 volte l'altezza dell'architrave, la superficie vetrata deve essere aumentata ad 1/10 della porzione di locale oltre la profondità; non sono ammessi locali con profondità superiori a 3,5 volte l'altezza dell'architrave. Il rapporto minimo tra la superficie finestrata e la superficie del pavimento deve essere minimo di 1/8 (1/12 nel caso dei sottotetti). Nei luoghi di lavoro deve essere garantita illuminazione naturale uniforme ottenibile con il posizionamento delle aperture su pareti opposte o sfruttando la combinazione di aperture laterali e sulla copertura. Almeno il 50% dell'illuminazione necessaria deve essere fornita dalla sorgente naturale.

Comuni (Regione)	Regolamento edilizio_illuminazione naturale
Saronno (Lombardia)	Normativa di tutela ambientale ed efficienza energetica, requisiti suddivisi in sei aree tematiche, distinguendo tra obbligatori e facoltativi ed affidando ad ognuno un punteggio diverso. All'interno dei requisiti facoltativi (risparmio energetico e bio-architettura) l'illuminazione naturale riceve 4 punti come credito. Nell'area 1 "valorizzazione del contesto" troviamo il punto 1.1 illuminazione naturale. Nelle nuove costruzioni viene richiesto un orientamento +/- 45° dal Sud geografico per le aperture dei locali principali e consentita un'illuminazione zenitale pari al massimo 30% dell'illuminazione totale. Utilizzare sistemi di captazione e diffusione della luce naturale per massimizzarne l'apporto ed il benessere interno.
Scandicci (Toscana)	Nelle nuove costruzioni tutti i locali di abitazione permanente devono ricevere un'illuminazione naturale diretta con un'apertura minima pari a 1/8 della superficie del pavimento (1/12 nel caso dei sottotetti). Nel caso in cui la profondità dell'ambiente superi le 2,5 volte l'altezza dell'architrave, la superficie vetrata deve essere aumentata ad 1/10 della porzione di locale oltre la profondità; non sono ammessi locali con profondità superiori a 3,5 volte l'altezza dell'architrave. Nei luoghi di lavoro la superficie vetrata deve essere minimo 1/8 per locali inferiori ai 100 m ² , 1/10 per locali dai 100 m ² ai 1000 m ² , 1/12 per locali superiori ai 1000 m ² con un minimo di 100 m ² illuminanti.
Siena (Toscana)	Requisiti minimi combinati: $FLD_m > 2\%$ e dimensione minima dell'apertura pari a 1/8 della superficie dell'ambiente. Requisiti non richiesti in caso di restauro conservativo. Vengono fornite indicazioni di calcolo e

Comuni (Regione)	Regolamento edilizio_illuminazione naturale
Siena (Toscana)	tabelle con requisiti minimi per il FLD _m , con i relativi livelli di illuminamento raccomandati per rispondere ai diversi compiti visivi.
Terni (Umbria)	FLD _m richiesto come requisito fondamentale, combinato alla dimensione minima dell'area apribile ed alla profondità massima dell'ambiente. Per il primo aspetto, nelle residenze l'area minima vetrata è di 1/8 l'area del pavimento mentre per i luoghi lavorativi 1/8 per locali inferiori ai 100 m ² , 1/10 per locali dai 100 m ² ai 1000 m ² , 1/12 per locali superiori ai 1000 m ² con un minimo di 100 m ² illuminanti; la profondità massima invece è stabilita pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave, nel caso in cui sia superiore deve essere aumentata di 1/10 della superficie di locale posto oltre la profondità stabilita.
Vaiano (Toscana)	Nel capitolo 7 riguardante i requisiti igienici, al punto 7.2 si parla dell'aero-illuminazione naturale. Deve essere garantita un'illuminazione naturale omogenea ed uniformemente distribuita con un'area vetrata minima pari a 1/8 della superficie dell'ambiente (1/12 nel caso dei sottotetti). Per i luoghi lavorativi 1/8 per locali inferiori ai 100 m ² , 1/10 per locali dai 100 m ² ai 1000 m ² , 1/12 per locali superiori ai 1000 m ² con un minimo di 100 m ² illuminanti; la profondità massima invece è stabilita pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave, nel caso in cui sia superiore deve essere aumentata proporzionalmente di 25% fino ad una profondità massima pari a 3,5 l'altezza dell'architrave. La superficie illuminante utile delle porte-finestre viene calcolata a partire da un'altezza di 0,80 m dal pavimento.

3.2 Protocolli, regolamentazioni e raccomandazioni

Esistono numerose linee guida per la progettazione edilizia.

Le normative e gli standard a livello nazionale e internazionale per esempio si rivolgono ai professionisti per una progettazione corretta. Vi sono poi i protocolli e le regolamentazioni che auspicano ad una progettazione virtuosa, tenendo in considerazione il bene del pianeta e con il fine ultimo di realizzare edifici ad impatto zero, quindi positivi per l'ambiente, ma anche migliori per le condizioni di benessere interno rivolto agli occupanti.

Sono nate diverse tipologie di certificazione rivolte alla sostenibilità ambientale che assegnano un punteggio per ogni argomento di interesse, dalla raccolta delle acque all'impiego di materiali rinnovabili o a km0, dall'utilizzo delle risorse rinnovabili e naturali per l'alimentazione degli impianti al miglioramento degli impianti stessi.

3.2.1 BREEAM

La Certificazione *BREEAM* (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*)^[25] è una metodologia

di valutazione della sostenibilità e dell'impatto ambientale promossa dal Building Research Establishment BRE nel 1988. È una certificazione basata su pratiche sostenibili in tutte le tappe del ciclo di edilizio, dalle prime fasi di progettazione e costruzione alle fasi di gestione e manutenzione. Il BREEAM si può applicare su edifici di nuova costruzione ma anche su interventi di ristrutturazione, in qualsiasi località e scala di progetto (edificio, masterplan).

La certificazione è composta da un certificato intermedio dato dalla fase progettuale ed il certificato finale dopo la valutazione a fine costruzione. I parametri di valutazione sono: Unclassified – Non Classificato se < 30%, Pass – Approvato se > 30%, Good – Buono se > 45%, Very Good – Molto Buono se > 55%, Excellent – Eccellente se > 70% e Outstanding – Eccezionale se > 85% e riguardano fondamentalmente tre macroaree: l'impatto ambientale, i materiali e le tecniche utilizzate nella realizzazione, le best practices relative ad implementazioni alla normativa.

La sezione del *comfort visivo* (*Hea 01*) può assegnare fino ad un massimo di 6 punti relativi alla progettazione del potenziale di abbagliamento ed all'ottenimento di Fattori di Luce Diurna adeguati ad una buona capacità visiva, con un livello di illuminamento appropriato controllabile tramite dei sistemi direttamente dagli

occupanti. Il valore aggiunto fornito dalla luce naturale è collegato alla salute, al benessere mentale ed alla produttività dell'uomo, grazie anche al contatto con l'esterno e con la natura che migliora l'umore delle persone e ne riduce i sintomi di depressione, infine contribuendo a ridurre i costi energetici e l'impatto ambientale. Più nel dettaglio, il controllo dell'abbagliamento fornisce 1 credito, la disponibilità di luce naturale fino a 2 crediti, la vista verso l'esterno 1 credito per tutti gli edifici e 2 crediti per gli edifici sanitari e ospedali con aree di degenza, il livello di illuminazione interna ed esterna e resa dei colori 1 credito. Vengono fornite definizioni ed una metodologia per affrontare ciascuno dei quattro argomenti relativi alla luce naturale.

Per quanto riguarda il controllo dell'abbagliamento, viene richiesta una dimostrazione delle aree non a rischio eseguita tramite per esempio una modellazione dell'impatto della luce solare sull'edificio in modo da documentare l'assenza di abbagliamento sul piano di lavoro e di riverbero all'altezza dell'occhio dell'occupante o sullo schermo del computer. Le forme di controllo dell'abbagliamento vengono richieste nei locali, lavorativi e scolastici, in cui gli occupanti trascorrono tempo in postazioni fisse. Le misure conformi posso essere integrate nell'edificio (sbalzi e aggetti) oppure controllate dagli

occupanti (veneziane opache o in tessuto) oppure ancora schermature esterne capaci di fornire riparo sia durante le stagioni estive che quelle invernali; le tende sono escluse dai dispositivi consentiti poiché fornirebbero un maggiore ricorso all'illuminazione artificiale.

La disponibilità di luce diurna si dota di numerose specifiche, tra cui il calcolo della percentuale di superficie da prendere in considerazione che è stato stabilito essere l'80% dell'area presa in considerazione e poi si arrotonda per eccesso nel caso in cui siano da comprendere più ambienti (per esempio, se l'80% delle aree prese in considerazione facesse 4,8 stanze allora le stanze che devono rispettare il criterio per potere ottenere il credito sono 5). La presenza di ostruzioni esterne deve considerare anche edifici futuri con il permesso di costruzione ma non ancora edificati.; la riflessione esterna è presa pari a 0,2 eccetto che nei casi in cui vi siano state fatte delle misurazioni in loco. Il calcolo del Fattore di Luce Diurna include un fattore relativo alla manutenzione delle finestre e quindi al livello di pulizia e trasparenza. Nei casi in cui vi sia luce trasportata devono essere forniti anche i calcoli di apporto di luce naturale; la luce trasportata o condotta è presente quando si parla di camini solari, mensole luminose, clerestory windows, partizioni interne traslucide o trasparenti. Alcuni criteri relativi alla profondità massima dell'ambiente sono da ritrovarsi

nella scelta di illuminare lateralmente da due lati oppure sfruttare anche la luce proveniente dalla copertura. Nel primo caso, la profondità massima è pari al doppio della distanza tra le due pareti finestrate; si considera una riflessione interna pari a 1. Nel caso in cui si utilizzi anche la copertura per fornire illuminazione non si può ragionare con la profondità dell'ambiente ma sono necessari appropriati software. I calcoli relativi all'uniformità, al FLD minimo ed all'illuminamento minimo escludono dal piano di lavoro le aree entro 0,50 m dalle pareti nonostante queste rientrino nel calcolo del FLD_m e dell'illuminamento medio. Un locale risulta conforme a soddisfare il criterio della vista sul cielo quando almeno l'80% dell'ambiente riceve luce diretta del cielo, cioè è illuminato dalla luce naturale per almeno l'80% della sua area totale. Vi sono delle ulteriori specifiche per gli edifici sanitari e quelli scolastici.

La vista verso l'esterno deve essere presente e garantita nel 95% delle aree rilevanti, a 8 m da un muro esterno e con un'apertura che fornisca una vista adeguata.

L'ultimo punto riguarda i livelli di illuminazione interna ed esterna e la suddivisione in zone con la possibilità di controllo, nei casi in cui si conoscano o meno le occupazioni e la disposizione delle postazioni di lavoro. Infatti, nel caso in cui non siano stabilite le postazioni

lavoro, si ipotizza un'area di lavoro di 10 m² per ogni persona ed il controllo dell'illuminazione avviene per aree di 40 m².

Una progettazione capace di valorizzare la disponibilità di luce naturale è alla base della *progettazione a basso tenore di emissioni di CO₂ (Ene 04)*, ottenibile tramite precise strategie di progettazione.

3.2.2 LEED

Il *LEED (the Leadership in Energy and Environmental Design)* ^[26] è un altro sistema di classificazione degli edifici in base alla loro efficienza energetica ed impatto ecologico. Si tratta di standard di classificazione distinti in base alla tipologia di edificio da certificare sviluppati dallo U. S. Green Building Council (USGBC) che promuovono una progettazione integrata sostenibile per l'intero edificio, dalla progettazione alla costruzione.

Questo protocollo si può riferire ad edifici di nuova costruzione, ad interventi sull'esistente, ad edifici scolastici, commerciali, magazzini e centri di distribuzione, al settore ospedaliero e per la cura della persona; a ciascuna tipologia viene riservato uno standard differente

pensato ad hoc.

Vi sono diverse categorie a cui vengono assegnati i punteggi, tra cui il processo generale integrato a cui viene affidato 1 credito, il luogo di progetto ed il trasporto con 16 punti, la sostenibilità del sito con 10 punti, l'efficienza relativa al sistema dell'acqua con 11 punti, l'energia e l'atmosfera con 3 punti, i materiali e le risorse con 13 punti, la qualità dell'ambiente interno con 16 punti, l'innovazione con 6 crediti ed infine la priorità regionale con 4 punti massimi, per un totale di 110 punti possibili.

La certificazione Standard avviene raggiungendo un punteggio di 40-49 punti; nei casi auspicabili in cui si raggiungono i 50-59 punti allora si ottiene il LEED Silver, 60-79 il LEED Gold ed oltre gli 80 punti il LEED Platinum.

Vi è un intero capitolo dedicato alla presenza ed all'efficacia della luce naturale come credito per la qualità dell'ambiente interno (*EQ Credit: Daylight*). Nell'edizione di Aprile 2020, il *LEED v4.1 "Building design and Construction"*, sono descritte tre metodologie distinte per la verifica dell'apporto di luce naturale.

La prima opzione interessa come metriche della simulazione la Spatial Daylight Autonomy $sDA_{300/50\%}$ e l'Annual Sunlight Exposure $ASE_{1000,250}$ (se $ASE_{1000,250} > 10\%$ allora necessario programma per risolvere l'abbagliamento). Si attribuisce

1 punto quando $sDA_{300/50\%} > 40\%$ dell'area del pavimento, 2 punti con $sDA_{300/50\%} > 55\%$ e 3 punti se $sDA_{300/50\%} > 75\%$ (per tutte le tipologie eccetto gli edifici dedicati all'assistenza sanitaria a cui vengono attribuite prestazioni esemplari se $sDA_{300/50\%} > 75\%$). Le griglie di calcolo del piano di lavoro devono avere un'estensione massima di 60 cm (2 piedi) e devono essere disposte in tutta l'area occupata ad un'altezza di 7,6 cm (30 pollici) dal pavimento finito. Utilizzare un file climatico del sito di progetto o la stazione meteorologica più vicina ed includere ostruzioni interne permanenti.

La seconda, basata sempre su simulazione, interessa una metrica relativa ai livelli di illuminamento con valori da garantire e dimostrare compresi tra i 300 lux ed i 3000 lux alle ore 9 ed alle 15; gli ambienti con dispositivi per il controllo dell'abbagliamento possono dimostrare unicamente il valore minimo di 300 lux. Vengono assegnati per una percentuale dell'area di pavimento regolarmente occupata del 55% 1 punto, 2 punti per il 75% del pavimento e 3 punti per almeno il 90% dell'area del pavimento. L'illuminamento va calcolato sia per la componente diretta (il Sole) che per quella indiretta (la volta celeste), utilizzando i dati climatici meteorologici del sito di progetto, in una giornata tipica entro i 15 giorni da 21 settembre ed entro i 15 giorni dal 21 marzo, giornate che rappresentano le condizioni di cielo più limpide.

È opportuno utilizzare la media dei due valori trovati, escludere dal calcolo pareti mobili e tende da sole ma includere ostruzioni interne permanenti.

L'ultima opzione non è su base simulativa ma include delle misurazioni reali sui livelli di illuminamento, con l'assegnazione dei punteggi come l'opzione precedente. La misurazione va effettuata in un mese realmente occupato, ad un'altezza adeguata del piano di lavoro, nella fascia oraria compresa tra le 9 e le 15; per ambienti più grandi di 14 m² (150 piedi quadrati) la griglia di calcolo da prendere in considerazione deve essere quadrata e grande al massimo 3 m², per spazi più piccoli di 14 m² la griglia di calcolo deve essere di massimo 90 cm² (3 piedi quadrati).

Anche la vista verso l'esterno e la qualità della luce rientra negli elementi capaci di ottenere punteggio per raggiungere la certificazione sostenibile del LEED. Il 75% della superficie regolarmente occupata deve avere la possibilità di raggiungere tramite collegamento visivo diretto l'esterno, attraverso aperture e vetrate che non alterino la percezione delle forme o ne modifichino la resa cromatica. Inoltre, questa percentuale deve avere raggiunto almeno uno dei seguenti obiettivi: diverse linee di vista in direzioni differenti a distanza di almeno 90° tra di loro; viste che includano flora/fauna/cielo o movimento o oggetti ad

almeno 7,5 m dalla vetrata; viste libere; viste con un fattore visivo pari o superiore a 3. Da questo calcolo si possono escludere mobili e pareti divisorie provvisorie, ma vanno incluse eventuali ostruzioni interne permanenti.

3.2.3 Il Protocollo ITACA

Il Protocollo ITACA (*istituto per l'Innovazione e Trasparenza agli Appalti e la Compatibilità Ambientale*)^[27] è uno strumento di certificazione e di valutazione del livello di sostenibilità energetica ed ambientale degli edifici sul suolo italiano. Le prestazioni energetiche sono considerate nell'ambito dei consumi, dell'efficienza, dell'impatto sull'ambiente e dell'impatto sull'uomo. Vengono impiegati indicatori e metodi di verifica relativi alle norme nazionali, il che consente alla valutazione di essere oggettiva.

Il Protocollo è sia uno strumento utile per la fase di progettazione sia di controllo per la pubblica amministrazione; infatti è stato richiesto dalle Regioni per poter avere uno strumento in grado di supportare le politiche territoriali indirizzate verso la sostenibilità ambientale e dunque la costruzione di edifici a energia zero, a ridotti consumi di acqua e impatto ambientale.

L'aggiornamento più recente porta il titolo di *UNI/PdR 13.1: 2019 "Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità"*^[27] e suddivide gli argomenti in cinque aree: la qualità del sito, il consumo delle risorse, i carichi ambientali, la qualità ambientale indoor e la qualità del servizio.

All'interno dell'area relativa alla qualità ambientale indoor vi sono gli argomenti relativi alla ventilazione, al benessere termoigrometrico, al benessere visivo, al benessere acustico ed all'inquinamento elettromagnetico.

L'illuminazione naturale è trattata al punto D.4.1, all'interno della categoria D.4 Benessere visivo, nell'area di valutazione appunto *D. Qualità ambientale indoor*, l'esigenza da garantire riguarda il livello di illuminazione naturale adeguato all'interno degli ambienti principali e si ottiene attraverso la media ponderata dei valori ottenuti dal calcolo del FLD_m dei diversi ambienti. Vengono fornite le modalità di calcolo di tutti gli indicatori presenti nella metrica ed i seguenti punteggi: -1 con un $FLD_m < 2\%$, 0 punti nel caso in cui $FLD_m = 2\%$ e quindi sufficiente, 3 punti con $FLD_m > 2,6\%$ con un giudizio buono ed infine 5 punti se $FLD_m > 3\%$ con una prestazione ottima.

Per quanto riguarda gli edifici non residenziali invece il punteggio viene attribuito attraverso un altro indicatore di

prestazione corrispondente al rapporto tra il Fattore Medio di Luce Diurna dell'edificio preso in esame ed il Fattore Medio di Luce Diurna dell'edificio limite. In questo caso, è negativo nel caso in cui il rapporto sia < 100 con un punteggio pari a -1, sufficiente con un rapporto > 100 ed un punteggio di 0, buono se > 115 con l'assegnazione di 3 punti e giudicato eccellente con l'attribuzione di un punteggio pari a 5 nel caso in cui il rapporto sia > 125 . Per questo motivo vengono forniti i valori limite di riferimento del Fattore Medio di Luce Diurna relativo ad ogni singolo ambiente e distinto per il compito visivo necessario.

Nella precedente versione del 2015 erano forniti metodi differenti per calcolare il Fattore Medio di Luce Diurna nelle finestre verticali ed in quelle orizzontali.

BREEAM

- ☀️ promosso dal Building Research Establishment BRE nel 1988
- ☀️ rivolto a tutto il ciclo edilizio, dalla progettazione alla costruzione, gestione e manutenzione
- ☀️ applicabile a nuove costruzioni e ristrutturazioni, a tutte le scale, edificio e masterplan
- ☀️ Unclassified $< 30\%$, Pass $> 30\%$, Good $> 45\%$, Very Good $> 55\%$, Excellent $> 70\%$, Outstanding $> 85\%$
- ☀️ Hea01: Comfort Visivo: max 6 punti
 - ☀️ 1 controllo dell'abbagliamento + 2 disponibilità di luce naturale + 1 (2 se ospedali) vista verso l'esterno + 1 livello di illuminazione interna e esterna e resa dei colori
- ☀️ fornite metodologie di calcolo e definizioni specifiche, richieste dimostrazioni (modellazioni)
- ☀️ Ene04: Progettazione a basso tenore di emissioni di CO_2

LEED

- ☀️ promosso dallo U. S. Green Building Council USGBC
- ☀️ rivolto a tutto il ciclo edilizio, dalla progettazione alla costruzione, gestione e manutenzione
- ☀️ applicabile a nuove costruzioni e ristrutturazioni, a tutte le scale e destinazioni d'uso
- ☀️ Standard 40 - 49 punti, LEED Silver 50 - 59, LEED Gold 60 - 79, LEED Platinum > 80 punti
- ☀️ EQ Credit: Daylight (tre metodologie)
 - ☀️ 1 punto se $sDA_{300/50\%} > 40\%$, 2 se $sDA_{300/50\%} > 55\%$, 3 se $sDA_{300/50\%} > 75\%$ + $ASE_{1000,250} < 10\%$
 - ☀️ illuminamento tra i 300 e i 3000: 1 punto se area occupata 55%, 2 se 75% e 3 se 90%
 - ☀️ no simulazione ma misurazione valori illuminamento con assegnazioni punteggi
 - ☀️ indicazioni per verificare la vista verso l'esterno

Protocollo ITACA

- ☀️ promosso dall'istituto per Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale
- ☀️ rivolto a tutto il ciclo edilizio, utile per la progettazione e per il controllo delle amministrazioni
- ☀️ D: Qualità ambientale indoor, D.4: Benessere visivo, D.4.1: Illuminazione naturale
 - ☀️ Residenziale: -1 se $FLD_m < 2\%$, 0 se $FLD_m = 2\%$, 3 se $FLD_m > 2,6\%$, 5 se $FLD_m > 3\%$
 - ☀️ Non residenziale: -1 se rapporto tra $FLD_m < 100$, 0 se > 100 , 3 se > 115 , 5 se > 125

EN15193-1: 2017 ⁽²⁹⁾

Table B.3 — Daylight supply factor for vertical façades

D [%]	0,13	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0	18,0
$F_{D,S,SNA}$	0,12	0,36	0,50	0,64	0,66	0,75	0,81	0,88	0,91	0,91

Table B.4 — Roof light utilance as a function of room index

k	0,6	0,8	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
η_R	0,4	0,54	0,6	0,69	0,75	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00

Table B.5 — Daylight supply factor for roof lights

D_{class}	None $0\% \leq D_{SNA} < 2\%$	Low $2\% \leq D_{SNA} < 4\%$	Medium $4\% \leq D_{SNA} < 7\%$	Strong $7\% \leq D_{SNA}$
$F_{D,S}$	0	0,68	0,85	0,92

Table B.6 — Absence factor for rooms in building types

Overall building calculation		Room by room calculation		
Building type	F_A	Building type	Room type	F_A
Residential buildings	0,00	Residential buildings	Living room	0,30
			Bedroom	0,40
			Room for children or retired persons	0,30
			Dining room	0,70
			Kitchen	0,60
			Bathroom	0,80
			Toilet	0,90
			Entrance hall	0,80
			Corridor, stairs	0,70
			Storeroom	0,90
			Cellar	0,95
			Laundry	0,98
			Larder	0,98
			Workroom	0,60
			Home workshop	0,80
Garage	0,95			

Table B.6 — Absence factor for rooms in building types

Overall building calculation		Room by room calculation		
Offices	0,20	Offices	Cellular office 1 person.	0,40
			Cellular office 2–6 persons.	0,30
			Open plan office > 6persons sensing/30m ²	0,00
			Open plan office > 6persons sensing/10m ²	0,20
			Corridor (dimmed)	0,40
			Entrance hall	0,00
			Showroom/Expo	0,60
			Bathroom	0,90
			Rest room	0,50
			Storage room/Cloakroom	0,90
			Technical plant room	0,98
			Copying/Server room	0,50
			Conference room	0,50
Archives	0,98			
Educational buildings	0,20	Educational buildings	Classroom	0,25
			Room for group activities	0,30
			Corridor (dimmed)	0,60
			Junior common room	0,50
			Lecture hall	0,40
			Staff room	0,40
			Gymnasium/Sports hall	0,30
			Dining hall	0,20
			Teachers' staff common room	0,40
			Copying/storage room	0,40
			Kitchen	0,20
Library	0,40			
Hospitals	0,00	Hospitals	Wards/Bedroom	0,00
			Examination/Treatment	0,40
			Pre-Operation	0,40
			Recovery ward	0,00
			Operating theatre	0,00
			Corridors	0,00
			Culvert/conduct/(dimmed)	0,70
			Waiting area	0,00
			Entrance hall	0,00
			Day room	0,20
Laboratory	0,20			

Table B.7 — Table of occupancy dependency factors (F_o)

F_A	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Manual on/off switch	1,000	1,000	1,000	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,000
Manual on/off switch + additional automatic sweeping extinction signal	1,000	0,975	0,950	0,850	0,750	0,650	0,550	0,450	0,350	0,250	0,000
Auto on/dimmed	1,000	0,975	0,950	0,850	0,750	0,650	0,550	0,450	0,350	0,250	0,000
Auto on/auto off	1,000	0,950	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,000
Manual on/dimmed	1,000	0,950	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,000
Manual on/auto off	1,000	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000

Table B.8 — Constant illuminance dependency factors (F_c)

Lighting system, environment and servicing	MF	F_c
Non-dimmable lighting system.	Any	1,00
Tungsten halogen spot lamps in dimmable recessed downlights in clean environment, spot replacement of failed lamps.	0,9	0,95
Linear fluorescent lamps in open pendant HF dimmable luminaires in very clean environment, luminaires cleaned annually, spot replacement of failed lamps and bulk lamp change at 20 000 h.	0,8	0,90
LED light source (L_{80}) in surface mounted dimmable enclosed luminaire, clean environment, luminaires cleaned annually.	0,7	0,85
Trunking mounted open HF dimmable fluorescent lamp luminaires, dirty environment, biannual bulk lamp change and luminaire clean.	0,6	0,80

Table C.2 — Relationship of illuminances on immediate surroundings to the illuminated task area

Illuminances on the task areas E_{task} lx	Illuminances on the immediate surrounding areas E_{SUR} lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
< 50	E_{task}

NOTE This table is taken from Table 1 of EN 12464-1:2011.

Table F.3 — Relative times $t_{rel,D,SNA,j}$ for non-activated solar radiation and/or glare protection systems, as a function of the façade orientation, the geographic latitude γ and the ratio H_{dir}/H_{global}

$t_{rel,D,SNA,j}$ South									
H_{dir}/H_{glob}	γ								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,99	0,97	0,94	0,93	0,96	0,98	0,98	0,93	0,88
0,2	0,94	0,91	0,86	0,84	0,86	0,87	0,86	0,80	0,72
0,3	0,89	0,86	0,79	0,75	0,75	0,76	0,75	0,69	0,61
0,4	0,83	0,80	0,71	0,65	0,64	0,65	0,65	0,60	0,53
0,5	0,71	0,67	0,57	0,50	0,49	0,50	0,51	0,47	0,40
0,6	0,55	0,51	0,41	0,33	0,32	0,34	0,36	0,32	0,23
0,7	0,47	0,43	0,32	0,24	0,23	0,26	—	—	—
0,8	—	0,42	0,32	0,24	0,23	0,26	—	—	—
0,9	—	0,42	0,32	0,24	0,23	0,26	—	—	—
$t_{rel,D,SNA,j}$ East/West									
H_{dir}/H_{glob}	γ								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,99	0,98	0,97	0,97	1,00	1,00	0,99	0,95	0,92
0,2	0,95	0,94	0,92	0,92	0,94	0,94	0,93	0,88	0,85
0,3	0,91	0,89	0,87	0,86	0,88	0,88	0,87	0,83	0,79
0,4	0,84	0,83	0,80	0,79	0,81	0,82	0,82	0,80	0,78
0,5	0,74	0,73	0,70	0,70	0,73	0,76	0,77	0,77	0,76
0,6	0,64	0,63	0,61	0,61	0,65	0,69	0,72	0,72	0,73
0,7	0,59	0,58	0,56	0,56	0,61	0,65	—	—	—
0,8	—	0,58	0,56	0,56	0,61	0,65	—	—	—
0,9	—	0,58	0,56	0,56	0,61	0,65	—	—	—
$t_{rel,D,SNA,j}$ North									
H_{dir}/H_{glob}	γ								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Table F.4 — Daylight supply factor $F_{D,S,SNA,j}$ for sun shading not activated parameterized by D , γ , \bar{E}_m , climate (H_{dir}/H_{glob}), façade orientation, and geographic location for orientation South

$F_{D,S,SNA,j}$ [%]													
South façade													
Geographic location γ	\bar{E}_m [lx]	H_{dir}/H_{glob}	D [%]										
			0,125	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0	18,0	
0° – 15°	100	0,34	31,9	95,6	97,9	99,4	99,7	99,9	99,9	100,0	100,0	100,0	
		0,66	28,1	84,3	94,0	98,2	98,1	99,3	99,3	100,0	100,0	100,0	
	300	0,34	25,1	75,2	83,3	91,9	94,0	96,8	98,0	99,2	99,6	99,6	
		0,66	19,9	59,8	67,7	78,3	82,5	88,4	90,5	95,5	98,2	98,3	
	500	0,34	18,5	55,6	68,2	82,2	85,7	91,6	94,8	97,2	98,5	98,5	
		0,66	14,7	44,0	54,3	65,7	69,3	76,4	80,1	85,6	91,5	92,0	
	750	0,34	12,9	38,6	52,6	70,2	75,0	84,4	90,0	94,4	96,6	96,8	
		0,66	10,3	30,9	42,4	55,4	58,8	66,6	70,6	76,2	83,1	84,2	
	1 000	0,34	9,7	29,1	41,0	59,2	64,7	77,2	85,0	91,4	94,6	94,9	
		0,66	7,8	23,3	33,4	47,2	50,7	59,7	64,2	70,0	76,3	77,9	
	15° – 30°	100	0,36	30,8	92,4	95,9	97,8	97,8	98,7	99,0	99,4	99,6	99,6
			0,58	29,4	88,1	96,6	99,2	98,6	99,6	99,6	100,0	100,0	100,0
300		0,36	24,3	73,0	83,1	91,1	92,0	95,3	96,7	98,2	98,7	98,8	
		0,58	20,6	61,7	76,8	87,8	88,4	94,3	95,9	98,5	99,5	99,5	
500		0,36	17,9	53,7	69,0	82,7	84,8	90,8	93,8	96,6	97,7	97,8	
		0,58	14,8	44,3	61,0	75,4	77,0	85,9	89,8	94,6	97,2	97,3	
750		0,36	12,3	36,9	53,5	71,4	75,1	84,5	89,6	94,2	96,2	96,4	
		0,58	10,3	30,8	46,9	62,7	65,0	76,3	81,9	89,2	93,6	94,0	
1 000		0,36	9,2	27,7	41,7	60,5	65,1	77,9	85,1	91,5	94,5	94,9	
		0,58	7,7	23,2	37,0	52,6	55,4	67,9	74,9	83,8	89,7	90,4	
30° – 45°		100	0,45	26,9	80,6	88,7	92,1	90,7	93,0	93,1	94,5	94,7	95,1
			0,71	17,8	53,3	70,1	80,0	78,4	84,6	85,6	89,5	90,3	90,9
	300	0,45	20,8	62,5	75,4	84,2	83,2	88,4	89,6	92,4	93,3	93,8	
		0,71	10,8	32,3	46,6	57,1	56,8	66,4	70,0	77,0	82,4	83,6	
	500	0,45	15,4	46,3	62,5	76,0	76,2	83,4	86,1	90,4	91,8	92,4	
		0,71	7,6	22,8	36,4	46,6	46,2	55,3	59,5	67,8	73,6	75,4	
	750	0,45	10,8	32,3	48,2	65,3	67,1	77,1	81,3	87,2	89,7	90,4	
		0,71	5,3	16,0	27,8	38,2	38,2	47,1	51,3	59,6	65,9	68,2	
	1 000	0,45	8,3	24,9	37,7	55,4	58,3	71,0	77,2	84,6	87,8	88,6	
		0,71	4,1	12,4	21,9	32,0	32,5	41,5	46,0	54,2	60,3	63,0	

$F_{D,S,SNA,j}$ [%]													
South façade													
Geographic location γ	\bar{E}_m [lx]	H_{dir}/H_{glob}	D [%]										
			0,125	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0	18,0	
45° – 60°	100	0,39	25,3	75,8	83,2	88,4	88,5	90,9	92,0	93,4	94,1	94,5	
		0,58	24,3	72,8	84,2	90,0	88,2	91,8	92,0	94,1	94,4	94,8	
	300	0,39	17,2	51,7	64,0	75,3	76,7	83,7	87,5	91,4	93,1	93,5	
		0,58	16,7	50,2	66,5	78,0	77,5	85,0	87,7	92,3	94,0	94,4	
	500	0,39	12,0	36,0	49,8	63,7	66,4	75,3	81,1	87,6	90,7	91,3	
		0,58	11,5	34,6	51,3	66,0	66,6	76,4	80,7	87,1	90,1	90,8	
	750	0,39	8,1	24,3	36,9	51,7	54,5	65,6	73,0	81,6	86,2	87,1	
		0,58	8,0	23,9	38,9	54,5	56,0	68,3	74,8	83,0	87,0	87,9	
	1 000	0,39	6,1	18,3	28,4	42,4	45,4	57,9	66,5	76,3	82,2	83,3	
		0,58	6,0	17,9	30,2	45,1	46,9	60,4	68,5	78,6	83,4	84,5	
	60° – 75°	100	0,40	20,6	61,7	68,3	72,9	73,0	75,7	76,9	78,3	78,9	80,3
			0,48	17,8	53,4	60,0	64,2	64,2	66,8	68,1	69,7	70,5	72,5
300		0,40	13,2	39,7	51,3	61,5	62,5	68,3	71,5	75,3	77,1	78,7	
		0,48	11,9	35,7	46,1	54,4	54,6	59,9	62,6	66,3	68,0	70,2	
500		0,40	8,6	25,7	38,1	51,4	53,6	61,9	66,7	72,1	74,9	76,5	
		0,48	7,9	23,8	35,6	46,3	47,2	54,1	57,9	62,9	65,4	67,6	
750		0,40	5,7	17,1	26,7	39,8	42,6	53,5	60,1	67,3	70,9	72,6	
		0,48	5,4	16,1	25,7	37,5	39,3	47,8	52,7	58,9	62,2	64,5	
1 000		0,40	4,3	12,8	20,1	31,4	33,8	46,0	54,3	63,1	67,7	69,5	
		0,48	4,0	12,1	19,5	30,1	32,1	42,2	48,2	55,4	59,4	61,8	

Table F.11 — Classification of daylight availability when shading is not activated as a function of the daylight factor \bar{D}_{SNA}

Classification criterion \bar{D}_{SNA}	Classification of daylight availability (D_{class})
$7\% \leq \bar{D}_{SNA}$ ^a	Strong
$4\% \leq \bar{D}_{SNA} < 7\%$	Medium
$2\% \leq \bar{D}_{SNA} < 4\%$	Low
$0\% \leq \bar{D}_{SNA} < 2\%$	None

^a Values of $\bar{D}_{SNA} > 10\%$ should be avoided due to the danger of overheating.

Table F.12 — Classification of daylight availability when shading is activated as a function of the daylight factor \bar{D}_{SA}

Classification criterion \bar{D}_{SA}	Classification of daylight availability (D_{class})
$2,5\% \leq \bar{D}_{SA}$	Strong
$1,5\% \leq \bar{D}_{SA} < 2,5\%$	Medium
$0,5\% \leq \bar{D}_{SA} < 1,5\%$	Low
$0\% \leq \bar{D}_{SA} < 0,5\%$	None

EN17037: 2018 ⁽³⁰⁾

Table A.1 — Recommendations of daylight provision by daylight openings in vertical and inclined surface

Level of recommendation for vertical and inclined daylight opening	Target illuminance E_T lx	Fraction of space for target level $F_{plane,\%}$	Minimum target illuminance E_{TM} lx	Fraction of space for minimum target level $F_{plane,\%}$	Fraction of daylight hours $F_{time,\%}$
Minimum	300	50 %	100	95 %	50 %
Medium	500	50 %	300	95 %	50 %
High	750	50 %	500	95 %	50 %

NOTE — Table A.3 gives target daylight factor (D_T) and minimum target daylight factor (D_{TM}) corresponding to target illuminance level and minimum target illuminance, respectively, for the CEN capital cities.

Table A.5 — Assessment of the view outwards from a given position

Level of recommendation for view out	Parameter ^a		
	Horizontal sight angle	Outside distance of the view	Number of layers to be seen from at least 75 % of utilized area: - sky - landscape (urban and/or nature) - ground
Minimum	≥ 14°	≥ 6,0 m	At least landscape layer is included
Medium	≥ 28°	≥ 20,0 m	Landscape layer and one additional layer is included in the same view opening
High	≥ 54°	≥ 50,0 m	all layers are included in the same view opening

^a For a space with room depth more than 4 m, it is recommended that the respective sum of the view opening(s) dimensions is at least 1,0 m × 1,25 m (width × height).

A.4 Recommendation for exposure to sunlight

The recommendation is that a space should receive possible sunlight for a duration according to Table A.6 (supposed to be cloudless) on a selected date between February 1st and March 21. Table A.6 proposes three levels for sunlight exposure. See Annex D for further details.

When applying the recommendation to a whole dwelling, the proposal is that at least one habitable room in the dwelling should have at least exposure to sunlight after Table A.6.

Table A.6 — Recommendation for daily sunlight exposure

Level of recommendation for exposure to sunlight	Sunlight exposure
Minimum	1,5 h
Medium	3,0 h
High	4,0 h

A.5 Recommendation for glare protection

The Daylight Glare Probability (DGP) should not exceed a maximum value for more than the fraction $F_{DGP,exceed} = 5\%$ of the usage time of the space.

In Table A.7, $DGP_e < 5\%$ -threshold values for different levels of glare protection are proposed.

The minimum recommendation for glare protection is that the DGP for the occupied space does not exceed a value of 0,45 in more than 5 % of the occupation time of the relevant space.

Table A.7 — Proposed different levels of threshold $DGP_e < 5\%$ for glare protection

Level of recommendation for glare protection	$DGP_e < 5\%$
Minimum	0,45
Medium	0,40
High	0,35

BREEAM ⁽³¹⁾

Table 5.1 Minimum values of average daylight factor required

Building or area type	Credits	Average daylight factor required	Minimum percentage area (m ²) to comply	Other requirements
Education buildings				
Preschools, schools, further education occupied spaces	2	2%	80%	EITHER (a) OR ((b) and (c)) in Table 5.2
Higher education occupied spaces	1 2	2% 2%	60% 80%	
Healthcare buildings				
Staff and public areas	1	2%	80%	EITHER (a) OR ((b) and (c)) in Table 5.2
Occupied patient's areas (dayrooms, wards) and consulting rooms		2%	80%	
Staff and public areas	2	2%	80%	EITHER (a) OR ((b) and (c)) in Table 5.2
Occupied patient areas (dayrooms, wards) and consulting rooms		3%	80%	
Multi-residential buildings				
Kitchen	2	2%	80%	EITHER (a) OR ((b) and (c)) in Table 5.2
Living rooms, dining rooms, studies (including home office)		2%	80%	
Non-residential or communal occupied spaces		2%	80%	

Table 5.3 Space type and illuminance requirements - both criteria (average illuminance and minimum point illuminance) should be met.

Area type	Credits	Minimum area to comply	Average daylight illuminance (averaged over entire space)	Minimum daylight illuminance at worst lit point
Education buildings				
Preschools, schools, further education - occupied spaces	2	80%	At least 300 lux for 2000 hours per year or more	At least 90 lux for 2000 hours per year or more
Higher education - occupied spaces	1	60%		
OR Higher education - occupied spaces	2	80%		
Healthcare buildings				
Staff and public areas	1	80%	At least 300 lux for 2000 hours per year or more	At least 90 lux for 2000 hours per year or more
Occupied patients areas (dayrooms, wards) and consulting rooms		80%	At least 300 lux for 2000 hours per year or more	At least 90 lux for 2000 hours per year or more
Staff and public areas	2	80%	At least 300 lux for 2650 hours per year or more	At least 90 lux for 2650 hours per year or more
Occupied patients areas (dayrooms, wards) and consulting rooms		80%	At least 300 lux for 2650 hours per year or more	At least 90 lux for 2650 hours per year or more
Multi-residential buildings				
Kitchen	2	100%	At least 100 lux for 3450 hours per year or more	At least 30 lux for 3450 hours per year or more
Living rooms, dining rooms, studies (including home offices)			At least 100 lux for 3450 hours per year or more	At least 30 lux for 3450 hours per year or more
Living rooms, dining rooms, studies (including home offices)			At least 100 lux for 3450 hours per year or more	At least 30 lux for 3450 hours per year or more
Non-residential or communal occupied spaces		80%	At least 200 lux for 2650 hours per year or more	At least 60 lux for 2650 hours per year or more
Retail buildings				
Sales areas	1	35%	At least 200 lux point daylight illuminances for 2650 hours per year or more	
Other occupied areas	1	80%	At least 200 lux for 2650 hours per year or more	At least 60 lux for 2650 hours per year or more

Table 5.4 Additional alternative route for healthcare building types only

Healthcare Buildings	Credits	Median daylight factor	Minimum daylight factor	Minimum area to comply
Staff and public areas	1	2%	0.6%	80%
Occupied patients areas (dayrooms, wards) and consulting rooms		2%	0.6%	
Staff and public areas	2	2%	0.6%	80%
Occupied patients areas (dayrooms, wards) and consulting rooms		3%	0.9%	

Table 5.5 Reflectance for maximum room depths and window head heights

Reflectance (RB)	0.4		0.5		0.6	
Room width (m)	3	10	3	10	3	10
Window head height (m)						
2.5	4.5	6.7	5.4	8.0	6.8	10.0
3.0	5.0	7.7	6.0	9.2	7.5	11.5
3.5	5.4	8.6	6.5	10.4	8.1	13.0

Table 5.8 Exemplary level values of average daylight factor required.

Area type	Credits	Average daylight factor required	Minimum area (m ²) to comply	Other requirements
All building types	The criteria outlined in Table 5.1 on page 75 and Table 5.2 on page 76 concerning uniformity ratio (a), view of sky (b) or room depth criterion (c) are met where they are used to demonstrate compliance.			
All building types (excluding retail – see below)				
Functions as identified in the standard criteria (multi-storey buildings)	1	3%	80%	Where used, a minimum point daylight factor of 1.2% OR 2.1% for spaces with glazed roofs, such as atria
Functions as identified in the standard criteria (single storey buildings)		4%	80%	Where used, a minimum point daylight factor of 1.6% OR 2.8% for spaces with glazed roofs, such as

Table 5.10 Recommended number of grid points

Length of the area (m)	Maximum distance between grid points (m)	Minimum number of grid points
0.4	0.15	3
0.6	0.2	3
1	0.2	5
2	0.3	6
5	0.6	8
10	1	10
25	2	12
50	3	17
100	5	20

LEED ⁽³²⁾

Option 1. Simulation: Spatial Daylight Autonomy and Annual Sunlight Exposure (1-3 points, 1-2 points Healthcare)

Perform annual computer simulations for **spatial daylight autonomy_{300/50%} (sDA_{300/50%})**, and **annual sunlight exposure_{1000,250} (ASE_{1000,250})** as defined in IES LM-83-12 for each regularly occupied space. Healthcare projects must use each regularly occupied space located in the perimeter area determined under EQ Credit Quality Views. Additionally, calculate the average sDA_{300/50%} value for the total regularly occupied floor area.

For any regularly occupied spaces with ASE_{1000,250} greater than 10%, identify how the space is designed to address glare.

	<i>New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality</i>	Healthcare
The average sDA _{300/50%} value for the regularly occupied floor area is at least 40%	1 point	1 point
The average sDA _{300/50%} value for the regularly occupied floor area is at least 55%	2 points	2 points
The average sDA _{300/50%} value for the regularly occupied floor area is at least 75%	3 points	Exemplary performance
Each regularly occupied space achieves sDA _{300/50%} value of at least 55%	Exemplary performance or 1 additional point if only 1 or 2 points achieved above.	Exemplary performance or 1 additional point if only 1 point achieved above.

Option 2. Simulation: Illuminance Calculations (1-3 points, 1-2 points Healthcare)

<i>New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality</i>		<i>Healthcare</i>	
<i>Percentage of regularly occupied floor area</i>	<i>Points</i>	<i>Percentage of regularly occupied floor area within perimeter area</i>	<i>Points</i>
55%	1	55%	1
75%	2	75%	2
90%	3	90%	Exemplary performance

Option 3. Measurement (1-3 points, 1-2 points Healthcare)

<i>New Construction, Core and Schools, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality</i>		<i>Healthcare</i>	
<i>Percentage of regularly occupied floor area</i>	<i>Points</i>	<i>Percentage of regularly occupied floor area within perimeter area</i>	
55% at one time in the year	1	55% at one time in the year	1
75% at two times in the year	2	75% at two times in the year	2
90% at two times in the year	3	90% at two times in the year	exemplary performance

Table 4. Timing of measurements for illuminance

<i>If first measurement is taken in ...</i>	<i>take second measurement in ...</i>
January	May-September
February	June-October
March	June-July, November-December
April	August-December
May	September-January
June	October-February
July	November-March
August	December-April
September	December-January, May-June
October	February-June
November	March-July
December	April-August

Protocollo ITACA ⁽³³⁾
**SCHEDA CRITERIO D.4.1 – ILLUMINAZIONE NATURALE
EDIFICI RESIDENZIALI**

QUALITÀ AMBIENTALE INDOOR		NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIONE	D.4.1
Benessere visivo			
Illuminazione naturale			
AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA		
D. Qualità ambientale indoor	D.4 Benessere visivo		
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO		
Garantire un livello adeguato di illuminazione naturale negli ambienti principali.	nella categoria	nel	sistema
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA		
Media ponderata dei valori di fattore medio di luce diurna degli ambienti dell'edificio.	%		
SCALA DI PRESTAZIONE			
	%	PUNTI	
NEGATIVO	< 2,00	-1	
SUFFICIENTE	2,00	0	
BUONO	2,60	3	
OTTIMO	3,00	5	

Destinazione d'uso degli ambienti	Fattore medio di luce diurna, D_{lim}
uffici singoli, uffici open space	2%
locali riunione	2%
asili nido e scuole materne (scuole dell'infanzia)	5%
aule scolastiche	3%
aule musica e lingue, laboratori	3%
Aula magna, sale insegnanti	2%
Biblioteche, sale lettura	3%
Palestre, mense, refettori	2%
Corridoi, scale, spazi distribuzione	1%

Tabella D.4.1.d – Valori limite di riferimento del fattore di luce diurna degli ambienti.
**SCHEDA CRITERIO D.4.1 – ILLUMINAZIONE NATURALE
EDIFICI NON RESIDENZIALI**

QUALITÀ AMBIENTALE INDOOR		NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIONE	D.4.1
Benessere visivo			
Illuminazione naturale			
<input checked="" type="checkbox"/> Edifici per uffici	<input checked="" type="checkbox"/> Edifici scolastici		
<input checked="" type="checkbox"/> Edifici ricettivi			
AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA		
D. Qualità ambientale indoor	D.4 Benessere visivo		
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO		
Garantire un livello adeguato di illuminazione naturale negli ambienti principali.	nella categoria	nel	sistema
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA		
Rapporto tra il fattore medio di luce diurna dell'edificio in esame e il fattore medio di luce diurna dell'edificio limite.	%		
SCALA DI PRESTAZIONE			
	%	PUNTI	
NEGATIVO	< 100	-1	
SUFFICIENTE	100	0	
BUONO	115	3	
OTTIMO	125	5	

Sistemi trasparenti	Coefficienti di trasmissione luminosa τ
vetro float singolo chiaro 4-6 mm	0,80-0,90
vetro float singolo assorbente	0,70-0,80
vetro singolo retinato	0,85
vetro float singolo colorato in massa a seconda del colore	0,30-0,60
vetro float singolo riflettente	0,35-0,60
vetro float singolo bassoemissivo	0,50-0,75
doppio vetro 6-12-6 – lastre float chiare	0,65-0,75
doppio vetro 6-12-6 – lastre float chiare con ricoprimento bassoemissivo	0,60
polycarbonato chiaro	0,80-0,90
lastre traslucide in materiale plastico	0,10-0,8

Tabella D.4.1.a – Valori indicativi del coefficiente di trasmissione per incidenza normale nel visibile di alcuni sistemi trasparenti.

Materiale e natura della superficie	Coefficiente di riflessione ρ
Intonaco comune bianco recente o carta	0,8
Intonaco comune o carta di colore molto chiaro (avorio, giallo, grigio)	0,7
Intonaco comune o carta di colore chiaro (avorio, rosa chiaro)	0,6 + 0,5
Intonaco comune o carta di colore medio (verde chiaro, azzurro chiaro)	0,5 + 0,3
Intonaco comune o carta di colore scuro (verde oliva, rosso)	0,3 + 0,1
Mattone chiaro	0,4
Mattone scuro, cemento grezzo, legno scuro, pavimenti di tinta scura	0,2
Pavimenti di tinta chiara	0,6 + 0,4
Alluminio	0,8 + 0,9

Tabella D.4.1.b – Valori convenzionali del coefficiente di riflessione ρ .

RE-CODING WINDOW

Il ruolo normativo in ambito di sviluppo sostenibile è decisiva e fondamentale; infatti, si può promuovere o ostacolare la caratteristica di un progetto relativa alla sostenibilità ambientale attraverso incentivi e limiti minimi da rispettare.

La collaborazione del gruppo di ricerca FULL: Future Urban Legacy Lab del Politecnico di Torino e del Comune di Torino si pone come fine ultimo quello di semplificare e ridefinire l'attuale sistema di regolamentazione ambientale ed energetica a supporto della progettazione.

La normativa locale infatti riporta sia il Rapporto Aero-Illuminante RAI come rapporto geometrico tra la superficie dell'apertura vetrata e la superficie del pavimento dell'ambiente all'interno del Regolamento Edilizio, sia il Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m , riferimento a livello nazionale, all'interno dell'Allegato Energetico-Ambientale.

Per semplicità di calcolo e rapidità nella progettazione però i progettisti spesso considerano ed utilizzano unicamente il RAI, realizzando ambienti ed edifici con un comfort visivo non sempre adeguato. Per questo motivo, il Comune di Torino ha chiesto l'aiuto del gruppo di ricerca FULL per definire un nuovo indicatore di luce naturale e diurna semplificato, capace di unire le due metriche precedenti ma di rendere più semplice la propria applicazione durante la fase di progettazione.

Inizialmente si è svolta un'analisi comparativa tra le metriche semplificate e quelle più avanzate con l'intento di mettere in luce le differenze. In seguito, è stato condotto uno studio parametrico simulativo in cui il FLD_m è stato calcolato analiticamente seguendo la formula prescritta dalla normativa locale per un ambiente campione a cui sono state modificate la tipologia di ostruzione, la dimensione dell'apertura e la trasmissione propria del vetro, fino ad ottenere 900 casistiche differenti. Lo stesso procedimento è stato applicato alle metriche CBDM, Climate-Based Daylight Modelling.

Come risultato della ricerca è stato definito un nuovo indicatore di calcolo della luce naturale, definito DI Daylight Index o Indice di Luce Diurna caratterizzato appunto da questi tre fattori chiave.

Il presente lavoro di ricerca è stato svolto in collaborazione con il gruppo FULL e con il gruppo TEBE. Il primo, coordinato da Caterina Barioglio, Daniele Campobenedetto, Marianna Nigra e Matteo Robiglio, ha portato alla pubblicazione del *Re-Coding, Ripensare le regole della città*. Il gruppo di ricerca TEBE invece, gruppo a cui appartengono Valerio Roberto Maria Lo Verso e Anna Pellegrino, fa riferimento al Dipartimento di Energia "Galileo Ferraris"; a loro si deve la pubblicazione *Re-Coding Environmental Regulation - A new simplified metric for daylighting in indoor spaces*.

4.1 Il sistema normativo della Città di Torino

Il sistema normativo della Città di Torino riporta una sovrapposizione spesso fuorviante di standard; per questo motivo le modifiche da introdurre sono volte anche a promuovere attivamente i cambiamenti sostenibili dell'ambiente urbano torinese ed a cercare di colmare il divario tra la complessità tecnica-normativa e la sua applicabilità pratica.

Per quanto riguarda il dimensionamento della finestra, la Città di Torino propone standard differenti nel Regolamento Edilizio e nell'Allegato Energetico.

Il Regolamento Edilizio richiede di assicurare il raggiungimento del Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m minimo del 2% e del Rapporto Aero-Illuminante RAI pari a 1/8, requisito geometrico basato sul rapporto tra la superficie vetrata apribile e la superficie netta del pavimento. Quest'ultimo inoltre può essere ridotto ad 1/10 nel caso in cui gli edifici siano precedenti al 5 luglio 1975 e presentino un'altezza minima dei locali superiore ai 3 m; in questo caso, in presenza di un'unica apertura, questa deve essere garantita con una superficie maggiore a 2 m^2 .^(RE)

L'Allegato Energetico-Ambientale emesso nel 2006 costituiva un'innovazione dal momento che erano trattati i temi del

risparmio energetico e delle prestazioni energetiche attraverso alcune pratiche incentivate ed alcune metodologie consigliate su come raggiungere determinati livelli di prestazione.

L'Allegato Energetico-Ambientale pone una differenza iniziale tra requisiti obbligatori e requisiti volontari; entrambi riportano degli obiettivi da raggiungere ed i punteggi assegnati in base al livello di prestazione raggiunto.^(AE)

I requisiti obbligatori sono introdotti negli articoli delle norme generali e si riferiscono all'isolamento termico, alla sostituzione dei generatori di calore con potenza inferiore ai 35 kW, alla predisposizione per un impianto centralizzato di raffrescamento e per l'allacciamento al teleriscaldamento, alla contabilizzazione individuale del calore, al risparmio idrico, all'installazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili e al reimpiego delle acque meteoriche.

I requisiti volontari incentivati invece sono suddivisi in schede di interesse e riguardano l'isolamento termico e l'inerzia termica dell'involucro edilizio, la copertura verde, l'illuminazione naturale, l'ombreggiamento estivo e l'irraggiamento invernale, gli apporti solari attivi e passivi per il riscaldamento con sistemi di captazione dell'energia solare, le tecniche di raffrescamento naturale, l'impianto di ventilazione meccanica controllata e quello di riscaldamento e raffrescamento

con sistemi radianti, l'adozione di un impianto di riscaldamento centralizzato ma a gestione autonoma, gli impianti di climatizzazione con pompe di calore ad alta efficienza.

L'illuminazione naturale ottiene un credito massimo di dieci punti; l'esigenza riguarda la tutela della salute e dell'ambiente e l'obiettivo invece è quello di agevolare l'utilizzo di illuminazione naturale in tutti gli ambienti, quando possibile. Inoltre, vengono indicati campi di applicazione e destinazioni d'uso interessate, requisiti da soddisfare con le metodologie di verifica ed appunto i punteggi assegnati al progetto per il soddisfacimento dei requisiti.

All'interno dell'Allegato Energetico-Ambientale viene richiesto il raggiungimento del Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m con un valore superiore al 3% per ottenere un credito di 3 punti e superiore al 5% per acquisire 5 punti; il requisito dell'illuminazione naturale viene assegnato esclusivamente se risulta soddisfatto anche il requisito di ombreggiamento estivo delle superfici trasparenti.

Nella sezione dell'appendice riservata alle linee guida ed ai consigli progettuali, un professionista viene indirizzato a considerare sia la componente trasparente che quella schermante che la componente di conduzione della luce. Infatti, una corretta combinazione di tutti

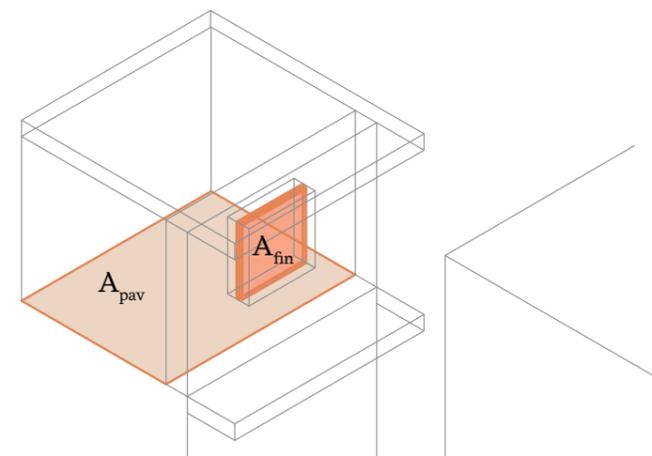
i fattori consente di controllare che vi sia abbastanza luce all'interno dell'ambiente ma anche che non vi siano problemi legati all'abbagliamento o alla distribuzione delle luminanze, quindi dal punto di vista quantitativo e qualitativo.

A partire dall'Accordo di Parigi del 2015, si è cercato di promuovere i cambiamenti urbani indirizzandoli verso una progettazione più sostenibile.

La revisione dell'Allegato Energetico-Ambientale al Regolamento Edilizio della Città di Torino avviata nel 2018 rappresenta l'occasione per ottimizzare il sistema normativo e rivolgerlo verso un'ottica più sostenibile.

La revisione si occupa di argomenti più ampi, arrivando ad includere anche le isole di calore, il miglioramento della qualità dell'aria ed incentivando comportamenti sostenibili, attraverso per esempio sconti sugli oneri concessori e premi di volumetria.

Inoltre, il parametro del Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m nella realtà viene sottoutilizzato dai progettisti che incontrano diverse difficoltà legate sia alle tempistiche di calcolo che al raggiungimento dei valori richiesti per avere un buon punteggio che all'assegnazione delle responsabilità legali, prediligendo il soddisfacimento esclusivo del Rapporto Aero-Illuminante RAI sia per il requisito di ventilazione che per il requisito di illuminazione.

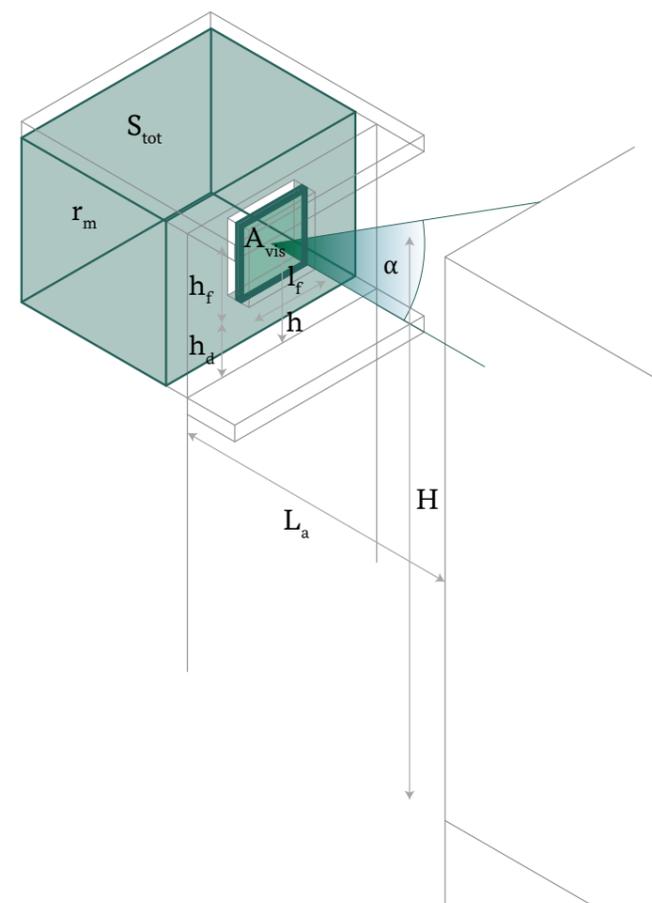


Regolamento Edilizio

Rapporto Aero-Illuminante RAI

$$\frac{A_{fin}}{A_{pav}} \geq \frac{1}{8} \geq 0.125$$

A_{pav} = superficie del pavimento
 A_{fin} = superficie dell'apertura (telaio incluso)



Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m

$$FLD_m = \frac{A_{vis} \cdot \tau_{vis} \cdot \varepsilon \cdot \psi}{A_{tot} \cdot (1 - R_m)} \geq 2\%$$

A_{vis} = superficie vetrata
 τ_{vis} = coefficiente di trasmissione
 ε = fattore finestra
 ψ = fattore di riduzione della finestra
 A_{tot} = superficie totale delle pareti interne
 R_m = coefficiente di riflessione media delle superfici interne
 L_a = distanza dall'edificio di fronte
 H = altezza dell'edificio di fronte
 α = angolo di ostruzione
 h_d = altezza davanzale (> 3 m se finestre prospicienti spazi pubblici)
 h_f = altezza dell'apertura

$$\varepsilon = \frac{1 - \text{sen } \alpha}{2}$$

Allegato Energetico

Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m - incentivo

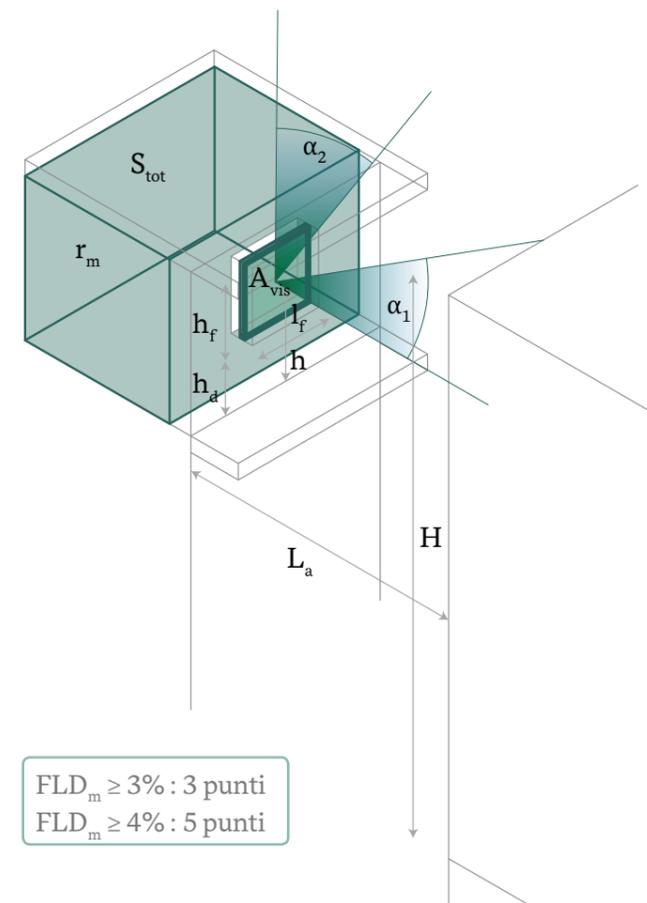
$$FLD_m = \frac{A_{vis} \cdot \tau_{vis} \cdot \varepsilon \cdot \psi}{A_{tot} \cdot (1 - R_m)}$$

A_{vis} = superficie vetrata
 τ_{vis} = coefficiente di trasmissione
 ε = fattore finestra
 ψ = fattore di riduzione della finestra
 A_{tot} = superficie totale delle pareti interne
 R_m = coefficiente di riflessione media delle superfici interne

$$(\varepsilon\psi)_1 = \frac{1 - \text{sen}(\alpha_1)}{2}$$

$$(\varepsilon\psi)_2 = \frac{1 - \text{sen}(90^\circ - \alpha_2)}{2}$$

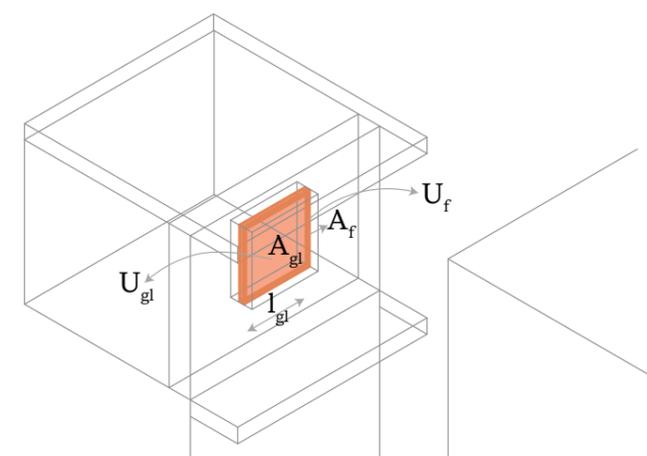
$$(\varepsilon\psi)_{1,2} = \frac{1 - \text{sen}(90^\circ - \alpha_2) - \text{sen}(\alpha_1)}{2}$$



Trasmittanza U

$$U = \frac{A_{gl} \cdot U_{gl} + A_f \cdot U_f + l_{gl} \cdot U_l}{A_f + A_{gl}}$$

A_{gl} = superficie vetrata
 U_{gl} = trasmittanza del vetro
 A_f = superficie del serramento
 U_f = trasmittanza del serramento
 l_{gl} = larghezza dell'apertura
 U_l = trasmittanza lineare



4.2 Il progetto Re-Coding ed il Re-Coding Window

Il progetto Re-Coding è stato condotto dal gruppo di ricerca FULL in collaborazione con il gruppo TEBE e con il Comune di Torino, attraverso un'indagine multidisciplinare e propedeutica alla revisione del Piano Regolatore Generale della Città di Torino. Il gruppo FULL, Future Urban Legacy Lab, è coordinato da Matteo Robiglio, Caterina Barioglio, Daniele Campobenedetto e Marianna Nigra e vanta la collaborazione di Lucia Baima, Michele Barale, Francesca Frassoldati, Guglielmina Mutani, Riccardo Ronzani, Valeria Todeschi.

L'obiettivo principale della ricerca si volge verso una maggiore leggibilità e facilità d'uso del sistema normativo. Infatti, attraverso l'esplorazione delle regole di 42 diversi "elementi edilizi", visti ed analizzati come interfaccia tra i progettisti e le istituzioni, si aspira a semplificare la connessione tra i codici urbani ed energetici e la morfologia propria della città.

Il progetto Re-Coding Window propone un approccio metodologico atto a rimettere in gioco la struttura e la natura dell'elemento edilizio della finestra, con il fine ultimo di aumentare l'utilizzo da parte dei professionisti di indicatori specifici per la progettazione del suo

dimensionamento e chiarirne anche le responsabilità legali.

La volontà di partire dalla luce naturale è stata dettata da un'esigenza pratica del Comune in relazione all'applicazione degli standard relativi all'illuminazione. La richiesta da parte del Comune infatti è di un nuovo criterio che sappia riunire le indicazioni per la progettazione illuminotecnica fondamentalmente con due caratteristiche in particolare, ossia una sostanziale semplicità e rapidità per l'utilizzo da parte dei progettisti ma anche una netta conformità al Fattore Medio di Luce Diurna, essendo quest'ultimo la metrica richiesta a livello nazionale.

Gli ostacoli incontrati dal Fattore Medio di Luce Diurna sono di carattere applicativo, essendo appunto una metrica relativamente complessa e rivolta in maggior misura alla fase di verifica che a quella di progettazione, ma anche di carattere legale, dal momento che non è specificato su chi ricadano le responsabilità legali in seguito a cambiamenti nella fase di gestione dell'immobile.

Pertanto, il Comune ha mostrato questa esigenza di semplificare la formula del FLD_m con il fine di rendere efficace la progettazione riguardante la luce naturale da un lato e dall'altro presentare la metrica alla portata di tutti i progettisti, dato che in questo modo il suo potenziale non viene sfruttato.

L'apporto di luce naturale all'interno di un ambiente è un fenomeno complesso ampiamente studiato. Vi sono diversi fattori che influenzano questa quantità di luce e sono fattori estremamente variabili e caratterizzanti il progetto, quali il clima, la latitudine, la presenza di ostruzioni esterne create dal contesto o dalle caratteristiche proprie dell'edificio, l'orientamento sia dell'ambiente che dell'apertura, la trasmissione del vetro, la dimensione dell'apertura, il colore delle pareti interne, la presenza di schermature.

Come già esposto precedentemente, sono disponibili diverse metriche per verificare la disponibilità di luce naturale interna ad un locale.

Le regole dei pollici sono regole empiriche, basate molto spesso su rapporti geometrici e utili nelle prime fasi della progettazione, ma non sufficienti al calcolo illuminotecnico.

Il Fattore Medio di Luce Diurna rientra nelle metriche statiche, non basate sulle caratteristiche climatiche; si tratta di indicatori più complessi e precisi rispetto alle regole dei pollici che tengono conto del rapporto dell'illuminamento interno e di quello esterno ma con alcune sostanziali limitazioni date dalla semplificazione della condizione di cielo coperto. Infatti non considera le caratteristiche proprie della località di progetto, la latitudine, il clima, l'orientamento, le schermature mobili o fisse.

Infine, gli approcci simulativi dinamici

su base climatica, i cosiddetti Climate-Based Daylight Modelling CBDM. Questi richiedono la conoscenza dei software per il calcolo e la modellazione e anche la disponibilità dei file climatici della località di progetto; sono indubbiamente più complessi ma molto più accurati e vengono richiesti da alcuni protocolli di certificazione sostenibile. Insieme alla formulazione di metriche dinamiche, sono stati introdotti dei metodi per quantificare la probabilità di abbagliamento causato da un eccesso di luce naturale in un dato intervallo di tempo.

Per i motivi analizzati, il nuovo indicatore richiesto dal Comune di Torino dovrà essere un'alternativa capace di facilitare l'uso delle metriche più evolute, in modo da migliorare l'apporto di luce naturale interno agli ambienti; come tale, si dovrà basare sul concetto di Fattore Medio di Luce Diurna, dovrà colmare il divario tra le due metriche attualmente richieste dagli standard comunali (Fattore Medio di Luce Diurna e Rapporto Aero-Illuminante) e dovrà per essere più semplice del FLD_m a livello di calcolo e come accessibilità da parte dei progettisti. Pertanto, il nuovo indicatore deve essere semplificato e quindi relativo alle regole dei pollici, una metrica empirica utile ed utilizzabile rapidamente già nella prima fase di progettazione e deve essere applicabile a tutte le tipologie di edificio.

4.3 La metodologia di ricerca

Per rispondere alle esigenze del Comune, è stata svolta innanzitutto un confronto analitico tra le metriche proposte nel Regolamento Edilizio e nell'Allegato Energetico-Ambientale, il Rapporto Aero-Illuminante RAI e il Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m .

Vi sono alcune differenze sostanziali tra i due approcci da tenere presenti. Innanzitutto, sono diverse per natura e per modalità di applicazione: il RAI è una regola empirica e geometrica, utilizzabile nelle prime fasi di progettazione, mentre il FLD_m è una regola fisica e performativa utile nelle fasi finali di verifica dell'apporto interno di luce. In secondo luogo, il RAI non tiene in considerazione il contesto con l'eventuale presenza di ostruzioni, le caratteristiche dell'edificio (sbalzi e aggetti), la forma degli ambienti interni, le proprietà delle pareti e la trasmissione visibile propria del vetro. La ventilazione invece rientra nel dimensionamento del requisito RAI ma non è mai menzionata nel FLD_m . Entrambe le metriche sono sensibili all'aumento della dimensione vetrata dell'apertura. Infine, un discorso comportamentale non è previsto in nessun caso, né nel Regolamento Edilizio né nell'Allegato Energetico-Ambientale: non si danno indicazioni circa il posizionamento dei mobili per non ostruire internamente la luce naturale o

sul colore delle pareti, da preferire chiare in quanto aumentano la capacità di riflessione interna.

Per la formulazione del nuovo indicatore sono state riviste ed analizzate alcune regole dei pollici, tra cui lo Studio di fattibilità sulla luce diurna (Daylight feasibility study) che si basa sul concetto che l'area effettiva dell'apertura AEA (adjusted effective aperture) debba essere superiore al livello soglia del Fattore di fattibilità della luce naturale DFF (Daylight feasibility factor) per avere un alto potenziale di illuminamento. Questa regola considera appunto l'area della finestra, la trasmissione visibile del vetro e la funzione rappresentante un fattore di ostruzione specifico.

$$AEA = WWR \cdot T_v \cdot \frac{\theta}{90^\circ} > 0.088 \cdot DF_{m,target}$$

dove WWR è il rapporto tra la finestra e la parete (Window-to-Wall Ratio), θ invece rappresenta l'angolo di cielo visto dalla finestra ed è l'angolo complementare di α ; il DFF è stato sostituito con il prodotto $0.088 \cdot DF_{m,target}$ in seguito allo studio di Reinhart & Lo Verso^(b). Il $DF_{m,target}$ corrisponde al valore minimo imposto dalla normativa edilizia.

La seconda regola dei pollici presa in analisi è presente in una versione del Protocollo LEED e riporta due valori entro i quali deve rientrare il WFR (Window-

to-Floor Ratio) cioè il rapporto tra la superficie finestrata e la superficie del pavimento.

$$0.15 < T_v \cdot WFR < 0.18$$

Questa regola rappresenta un'evoluzione del RAI, in quanto viene considerata la trasmissione del vetro, sebbene il contesto non incida ancora in alcun modo sul dimensionamento e non vi sia una spiegazione scientifica dei due valori assunti come limiti.

Dal momento che la richiesta del Comune di Torino riguarda un'evoluzione del Rapporto Aero-Illuminante ed una semplificazione del Fattore Medio di Luce Diurna, gli aspetti da esaminare per il nuovo indicatore riguardano la dimensione dell'area vetrata, la superficie del pavimento, la trasmissione del vetro e l'angolo prodotto dalle ostruzioni del contesto o proprie dell'edificio.

Infatti, la formula del nuovo indicatore della luce diurna chiamato Daylight Index DI tiene conto del rapporto tra l'area vetrata e l'area del pavimento $S_{glazing}/S_{floor}$, della trasmissione del vetro T_v e del fattore di ostruzione $f(\alpha)$

$$DI = \frac{S_{glazing}}{S_{floor}} \cdot T_v \cdot f(\alpha)$$

Così come il FDL_m , anche il DI si relazione

ad una condizione di cielo coperto e quindi con i relativi limiti legati alla mancanza di considerazione del clima, della stagione e anche dell'orientamento dell'ambiente.

Di conseguenza, è stato condotto uno studio parametrico simulativo utilizzando un ambiente campione orientato a Sud di 14 m² situata in un edificio con un'altezza di otto piani fuori terra a cui sono state modificate di volta in volta la dimensione della finestra, la trasmissione del vetro, la tipologia di ostruzione ed il piano di riferimento interno all'edificio.

Per quanto riguarda la dimensione della finestra, inizialmente l'apertura rispetta il dimensionamento eseguito tramite il RAI cioè il rapporto di 1/8 tra la superficie vetrata e la superficie del pavimento. Successivamente le analisi sono state svolte utilizzando un rapporto man mano crescente, pari ad 1/7, 1/6, 1/5 fino a giungere alla situazione migliorativa con un rapporto pari a 1/4.

La trasmissione del vetro ha subito variazioni da una condizione base di 0.8 ad una peggiorativa e tre migliorative, con un T_v rispettivamente pari a 0.9 e 0.7, 0.6 e 0.5 verso una tipologia di vetro più performante.

L'ambiente è stato situato in un condominio di un'altezza di otto piani e posizionato rispettivamente al primo piano (al livello esterno della strada),

al quarto (all'altezza di 9 m da terra) ed all'ottavo (all'ultimo piano, a 21 m dal livello esterno della strada), in modo da avere diverse casistiche anche in altezza ed un portafoglio di dati più ampio.

Considerando l'ambiente urbano tipico della Città di Torino sono state studiate diversi tipi di ostruzione, capaci anche di rappresentare una grande disponibilità di possibili angoli di ostruzione.

Le ostruzioni frontali (obstructions ahead) presentano angoli α_1 compresi nell'intervallo $0^\circ - 66^\circ$ e sono rappresentate da un edificio posto ad una distanza di 10 m o 20 m di altezza equivalente all'edificio campione oppure da due tipologie di alberi diffuse nei viali torinesi posizionati a 13 m di distanza, il Celtis Australis alto 13 m ed il Plantanus Acerifolia alto 25 m. Un'ulteriore condizione è stata posta simulando l'ambiente situato in un basso fabbricato interno ad una corte, limitazione composta dalle ostruzioni laterali e frontale. La prima tipologia presentava un ambiente non ostruito, condizione migliorativa ma insolita nello scenario torinese.

Inoltre, sono state simulate delle situazioni con ostruzioni tipiche dell'edificio, quali sbalzi superiori, aggetti e balconi (overhangs) di profondità crescente posizionati ad un'altezza di 3 m dal pavimento. Con uno stretto riferimento alla realtà, gli angoli definiti come α_2 sono compresi nell'intervallo $15^\circ - 60^\circ$.

In aggiunta all'ostruzione frontale sono state studiate delle tipologie combinate con l'ostruzione superiore (obstruction ahead + overhang) in modo da ottenere un più ampio riscontro con l'urbanistica cittadina. La compresenza delle due tipologie di ostruzione α_1 e α_2 sono state studiate con angoli di 15° , 30° , 45° e 60° ma da queste sono state escluse le combinazioni con la somma $\alpha_1 + \alpha_2$ superiore a 90° dal momento che l'apporto di luce all'interno della stanza viene considerato nullo in assenza della possibilità di vedere il cielo dal centro della finestra.

Un'ultima fase di analisi ha interessato la tipologia delle logge, poiché nell'urbanistica di nuova costruzione sono frequenti come tipologia di ostruzione.

La larghezza della loggia è invariata ed è pari a 4 m, larghezza corrispondente all'ambiente utilizzato come campione; vengono modificate le profondità delle pinne rispettivamente da 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m, 2.5 m, 3 m e 4 m, con la seguente creazione di differenti angoli di ostruzione α_3 presenti nell'intervallo $14^\circ - 6.4^\circ$.

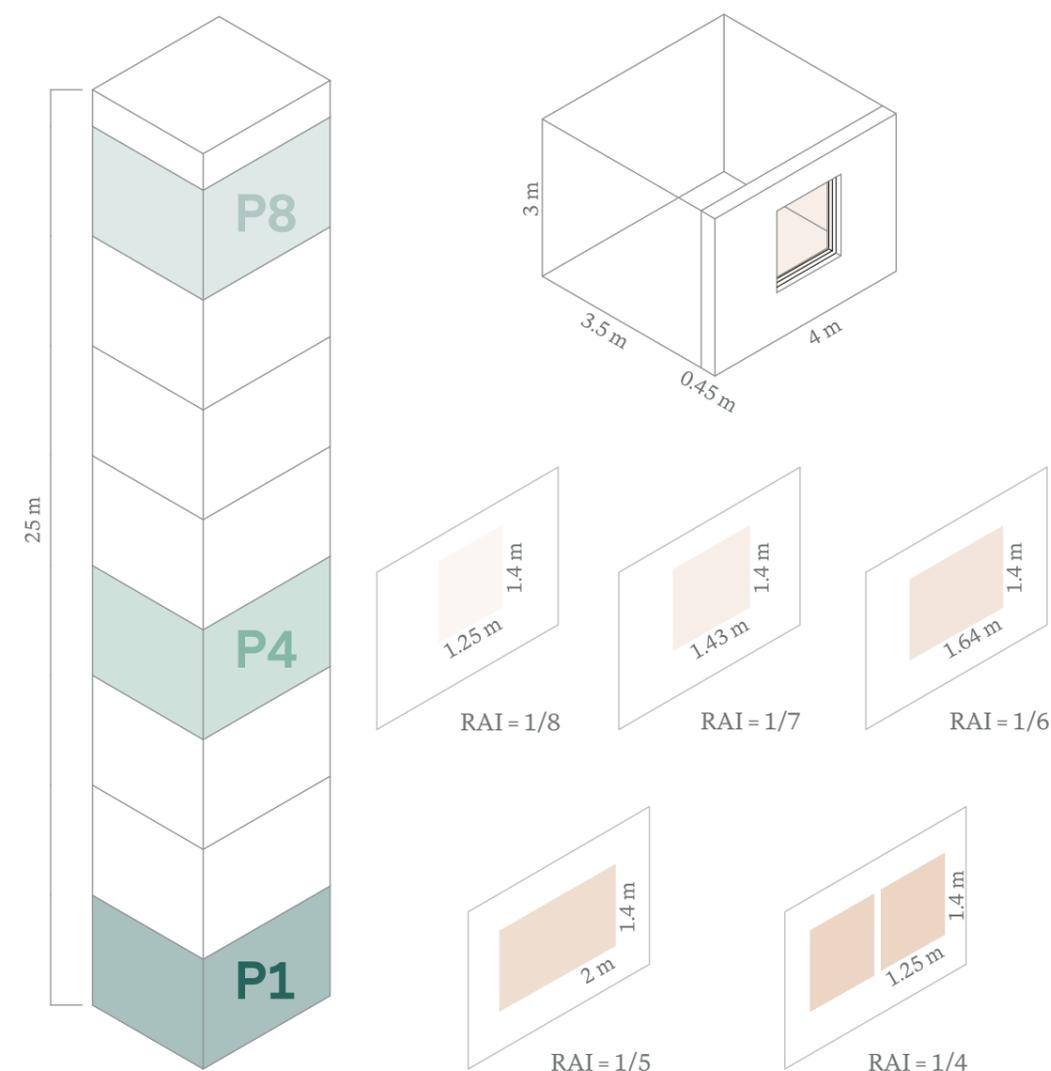
Le simulazioni sono state lanciate sia con la presenza che con l'assenza delle pinne verticali e per questo motivo si è inserito un fattore di correzione RF.

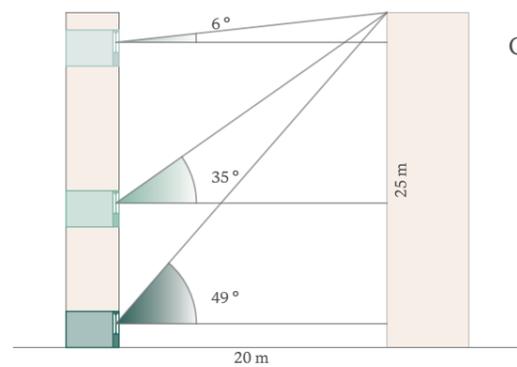
$$RF = \frac{E_{\text{average, with vertical fins}}}{E_{\text{average, without vertical fins}}}$$

$$DI_{\text{loggia}} = DI_{\text{overhang}} \cdot RF$$

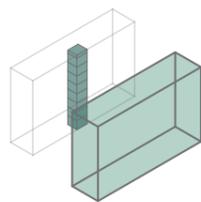
Il software di calcolo sono stati inizialmente Rhino con il plugin DIVA-for-Rhino e successivamente Grasshopper-for-Rhino. Sono stati costruiti database differenti in base alle tipologie di ostruzione e differente è anche la funzione $f(\alpha)$ presente all'interno della formula. Per questo motivo sono state stabilite

equazioni differenti, una per le ostruzioni frontali (DI_{ahead}), una per la presenza di sbalzi ed aggetti (DI_{overhang}) ed una per la combinazione delle ostruzioni ($DI_{\text{ahead+overhang}}$). Le logge sono state considerate in parte insieme alle ostruzioni date dagli aggetti ed è stato formulato un fattore di riduzione RF.

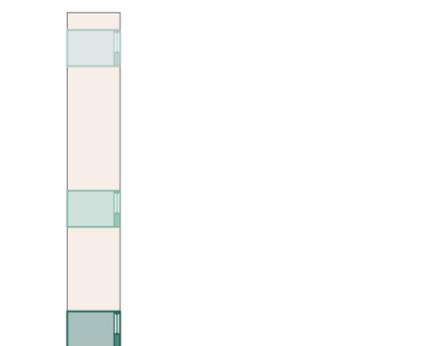
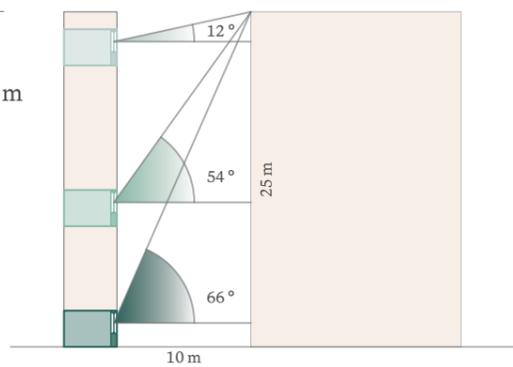
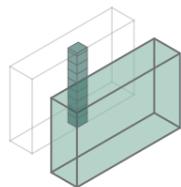




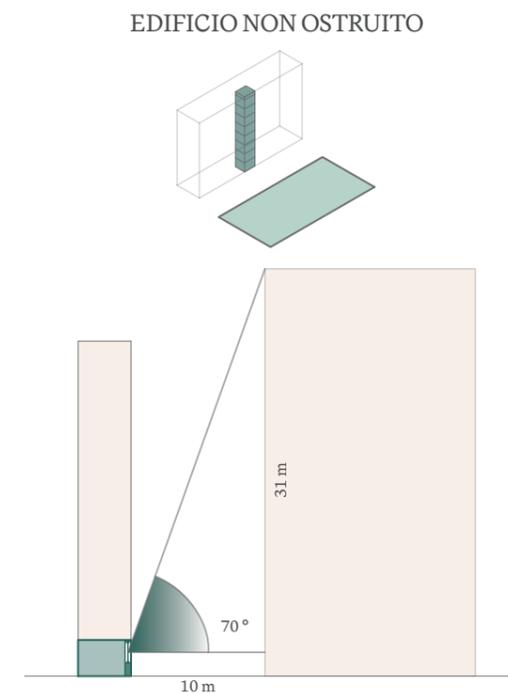
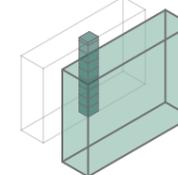
OSTRUZIONE CREATA DA UN EDIFICIO A 25 m



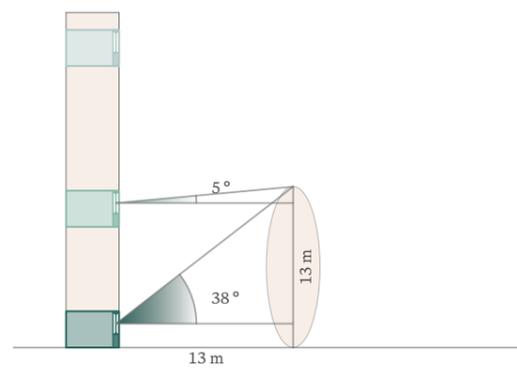
OSTRUZIONE CREATA DA UN EDIFICIO A 10 m



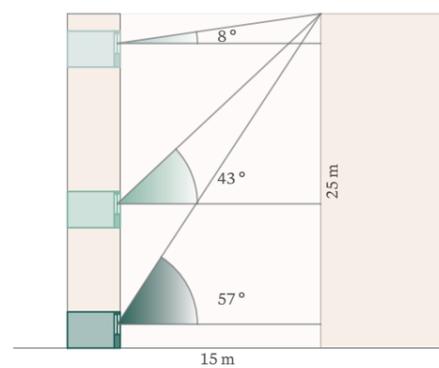
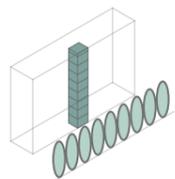
OSTRUZIONE CREATA DA UN EDIFICIO A 10 m DI ALTEZZA 31 m



EDIFICIO NON OSTRUITO



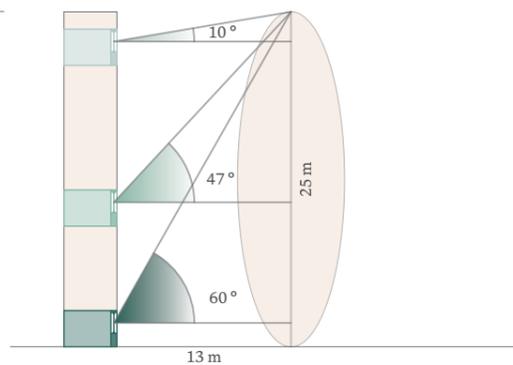
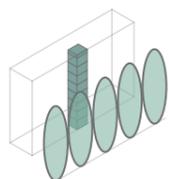
OSTRUZIONE CREATA DA UN VIALE ALBERATO ALTO 13 m



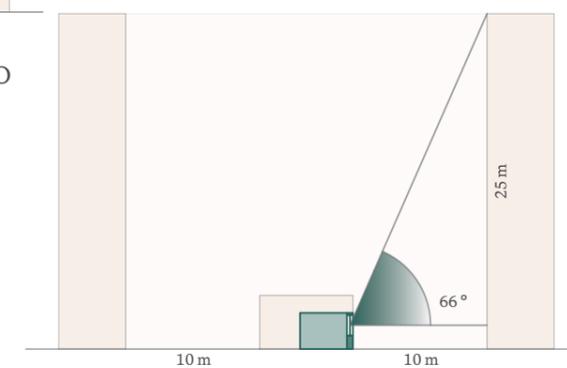
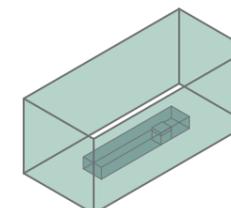
EDIFICIO IN UN INTERNO CORTE



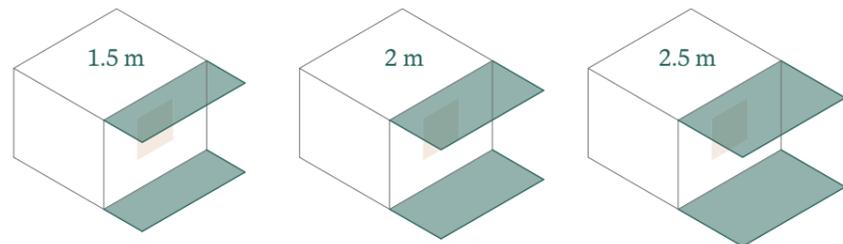
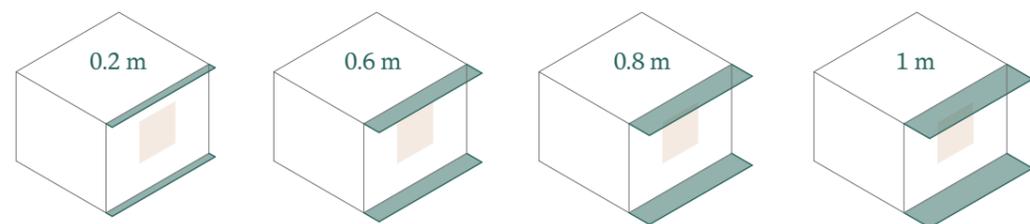
OSTRUZIONE CREATA DA UN VIALE ALBERATO ALTO 25 m



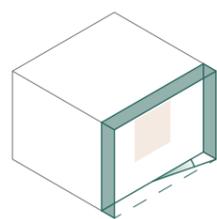
EDIFICIO IN UN BASSO FABBRICATO INTERNO CORTE



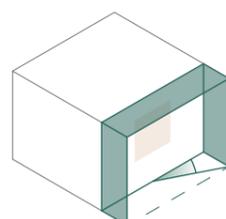
OSTRUZIONI CREATE DA SCELTE PROGETTUALI (AGGETTI, SBALZI, CORNICIONI) α_2



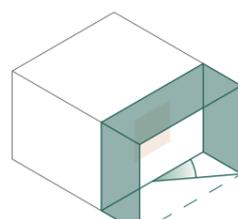
LOGGE α_3



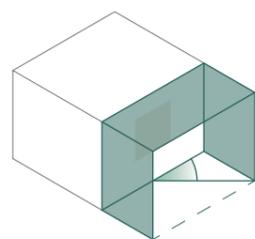
p = 0.50 m
 $\alpha = 14.0^\circ$
RF = 0.992



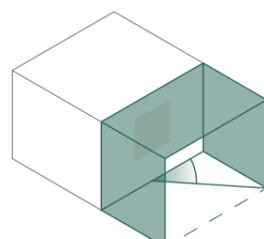
p = 1.00 m
 $\alpha = 26.6^\circ$
RF = 0.946



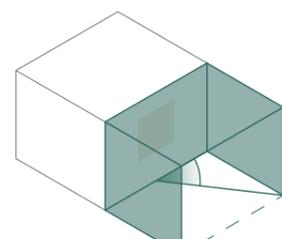
p = 1.50 m
 $\alpha = 36.9^\circ$
RF = 0.916



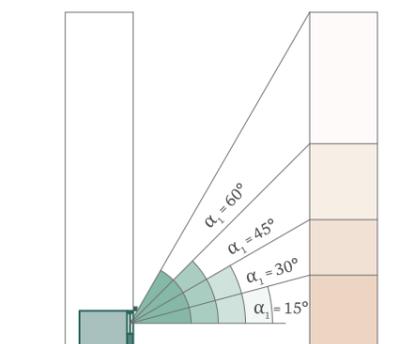
p = 2.00 m
 $\alpha = 45^\circ$
RF = 0.864



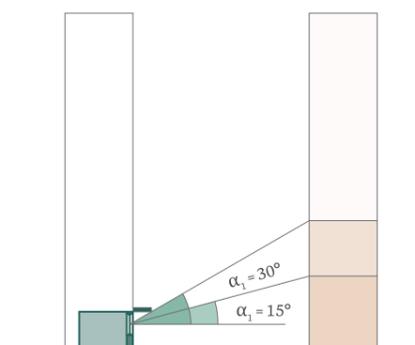
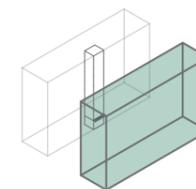
p = 2.50 m
 $\alpha = 51.3^\circ$
RF = 0.817



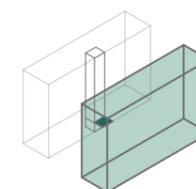
p = 3.00 m
 $\alpha = 56.3^\circ$
RF = 0.735



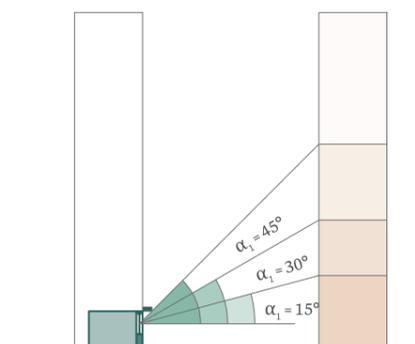
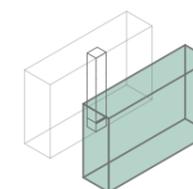
OSTRUZIONE $\alpha_2 = 45^\circ$



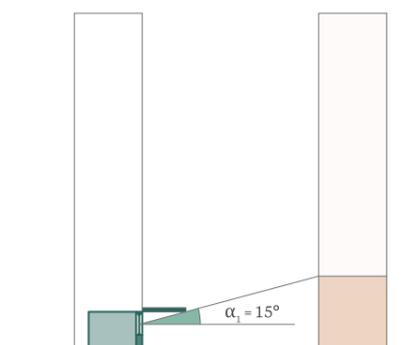
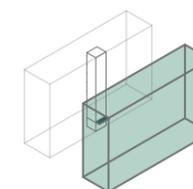
OSTRUZIONE $\alpha_2 = 15^\circ$



OSTRUZIONE $\alpha_2 = 60^\circ$



OSTRUZIONE $\alpha_2 = 30^\circ$



4.4 I risultati

In una prima fase di analisi, vengono rappresentati i dati di $\epsilon\Psi$ in relazione all'angolo di ostruzione α_1 per le ostruzioni frontali, in relazione ad α_2 per gli aggetti ed $\alpha_1 + \alpha_2$ per le ostruzioni combinate.

Nel primo caso, la retta di regressione associata all'equazione prevede un R^2 pari a 0.99, nel secondo caso R^2 pari a 0.96 e nel caso con ostruzioni combinate R^2 pari a 0.94.

Per questo motivo, si possono sostituire alle equazioni sinusoidali precedentemente indicate (del nuovo indicatore Daylight Index DI) (indicare riferimento formule epsilonpsi) le tre funzioni lineari mantenendo una buona precisione

(essendo gli R^2 prossimi a 1).

Il nuovo indicatore Daylight Index DI ottiene così una relazione lineare per tutte le variabili incluse nel modello, $S_{\text{window}}/S_{\text{floor}}$, T_v e α .

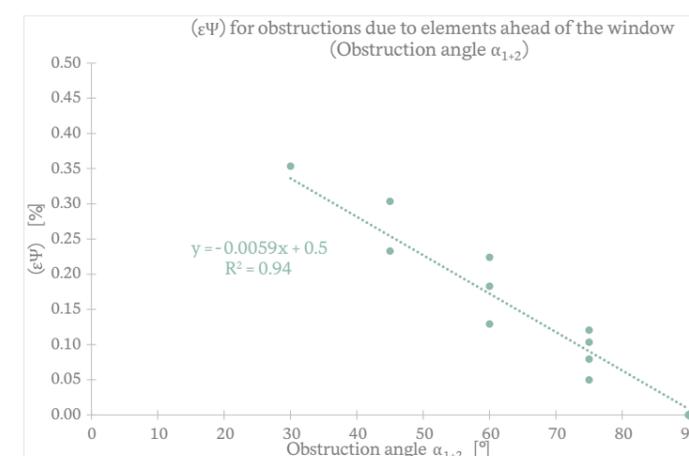
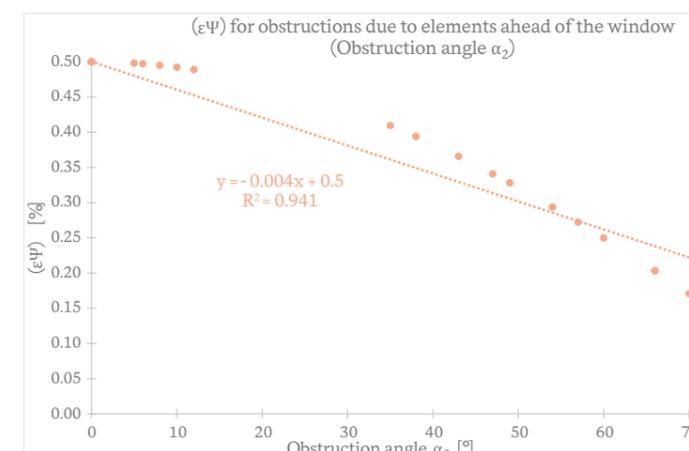
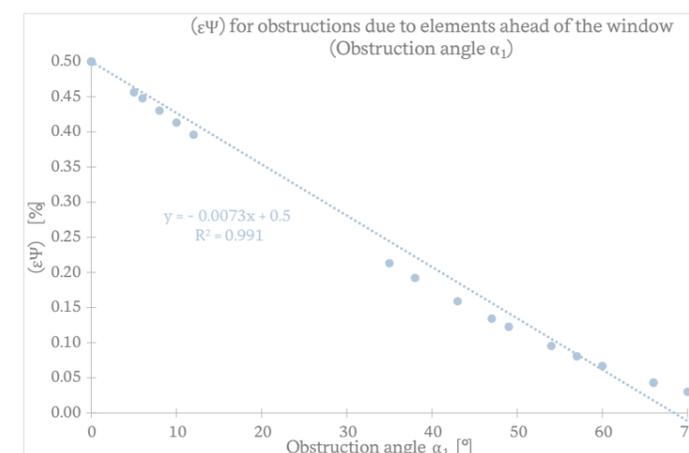
Le funzioni lineari $f(\alpha)$ hanno come caratteristica un valore massimo di $f(\alpha) = 0.5$ se l'angolo di ostruzione è nullo ed il fatto che diminuisca linearmente all'aumentare dell'angolo di ostruzione con pendenza $m_1 = -0.007$ per le ostruzioni frontali con angolo α_1 , $m_2 = -0.004$ per gli aggetti con angolo α_2 e $m_3 = -0.006$ per le ostruzioni combinate con angolo $\alpha_1 + \alpha_2$. Pertanto, le equazioni del nuovo indicatore di luce naturale Daylight Index DI risultano:

$$DI_{\text{obstruction ahead}} = \frac{S_{\text{glazing}}}{S_{\text{floor}}} \cdot T_v \cdot (0.5 - 0.007\alpha_1) \quad \text{for } \alpha_1 \leq 70^\circ$$

$$DI_{\text{overhang}} = \frac{S_{\text{glazing}}}{S_{\text{floor}}} \cdot T_v \cdot (0.5 - 0.004\alpha_2) \quad \text{for } \alpha_2 \leq 70^\circ$$

$$DI_{\text{ahead + overhang}} = \frac{S_{\text{glazing}}}{S_{\text{floor}}} \cdot T_v \cdot (0.5 - 0.006\alpha_{1+2}) \quad \text{for } \alpha_{1+2} \leq 90^\circ$$

$$DI_{\text{loggia}} = DI_{\text{overhang}} \cdot RF \quad \text{for } \alpha_3 \leq 65^\circ$$



In una seconda fase di analisi, sono stati confrontati i valori ottenuti tramite la formula analitica del Daylight Index DI con i valori analitici del Daylight Factor DFm corrispondente al Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m in modo da comprendere e verificare l'effettiva coerenza dei due approcci.

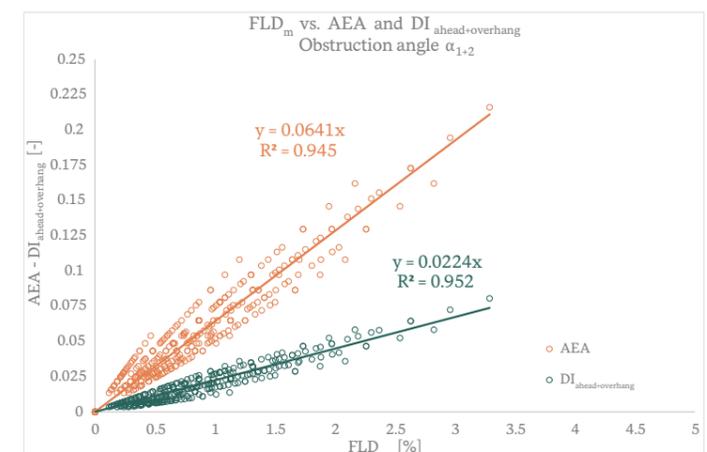
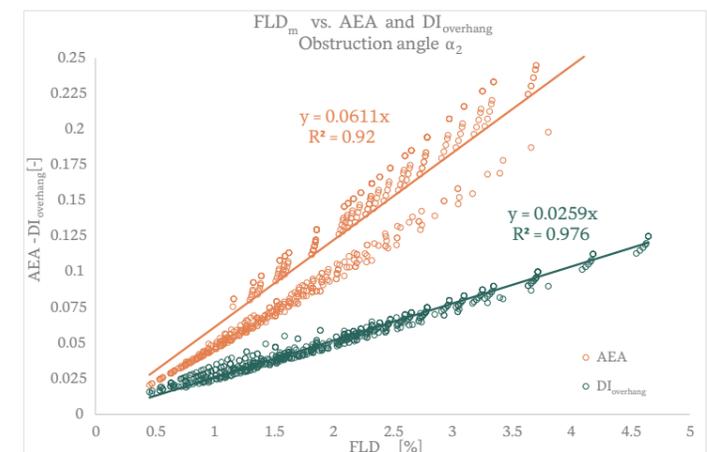
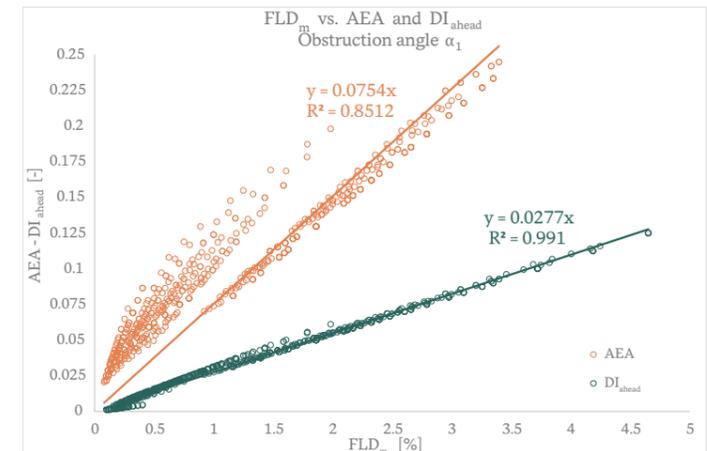
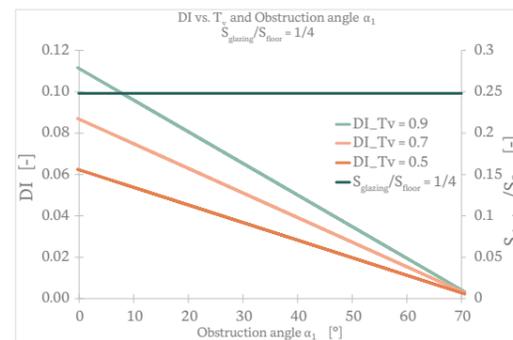
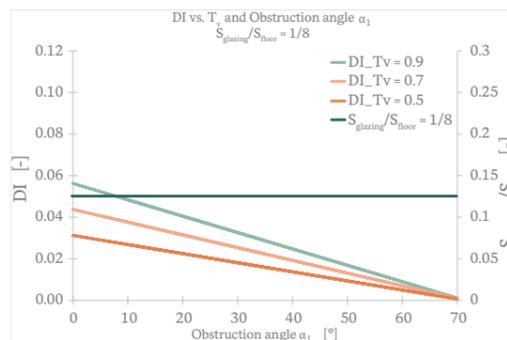
Successivamente, lo stesso metodo è stato applicato al confronto tra i valori ottenuti grazie alle simulazioni realizzate con Grasshopper-for-Rhino e quindi con le varianti dimensionali delle aperture S_{window}, assumendo valori incrementati proporzionalmente pari a 1.75 m², 2 m², 2.33 m², 2.8 m² e 3.5 m² e della trasmissione visibile del vetro T_v, pari al 90%, 80%, 70%, 60% e 50%.

Il nuovo indicatore semplificato Daylight Index DI non considera due parametri,

quali l'altezza del locale e la riflessione delle pareti interne, che sono inclusi nel Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m. Infatti, l'altezza è stata ipotizzata di 2.70 m e le riflessioni interne sono state assunte pari al 30% per il pavimento, 50% per le pareti laterali e 70% per il soffitto, coerentemente con quanto indicato all'interno della normativa EN17037.

Il Daylight Index DI è sensibile all'angolo di ostruzione ed alla trasmissione propria del vetro T_v; questo è chiaramente visibile dal paragone con il RAI.

Invece, come si può notare dai grafici, il DI ha una correlazione migliore al FLD_m di quanto non abbia l'AEA, riportando rispettivamente un R² = 0.99 e R² = 0.85 nel caso delle ostruzioni frontali e R² = 0.98 e R² = 0.92 in presenza di aggetti.



In seguito, il confronto è stato eseguito tra il Daylight Index DI ed il $FLD_{m,target}$ corrispondente al valore minimo richiesto dalla normativa edilizia.

Assunto il fatto che $DI \geq DI_{target}$ sono state implementate le formule del Daylight Index tenendo appunto in considerazione un valore standard minimo da normare.

$$DI_{\text{obstruction ahead}} = \frac{S_{\text{glazing}}}{S_{\text{floor}}} \cdot T_v \cdot (0.5 - 0.007 \alpha_1) \geq 0.027 FLD_{m,target}$$

$$DI_{\text{overhang}} = \frac{S_{\text{glazing}}}{S_{\text{floor}}} \cdot T_v \cdot (0.5 - 0.004 \alpha_2) \geq 0.026 FLD_{m,target}$$

$$DI_{\text{ahead+overhang}} = \frac{S_{\text{glazing}}}{S_{\text{floor}}} \cdot T_v \cdot (0.5 - 0.006 \alpha_{1+2}) \geq 0.022 FLD_{m,target}$$

$$DI_{\text{loggia}} = DI_{\text{overhang}} \cdot RF \geq 0.026 FLD_{m,target}$$

Volendo utilizzare professionalmente la formula direttamente per dimensionare la S_{window} tenendo in considerazione il

valore minimo di FDLm richiesto dalla normativa, ma anche utilizzando come criterio la trasmissione visibile del vetro.

$$S_{\text{glazing}} \geq S_{\text{floor}} \cdot \frac{0.027 FLD_{m,target}}{T_v \cdot (1 - 0.007 \cdot \alpha_1)}$$

$$T_v \geq S_{\text{floor}} \cdot \frac{0.027 FLD_{m,target}}{S_{\text{glazing}} \cdot (1 - 0.007 \cdot \alpha_1)}$$

$$S_{\text{glazing}} \geq S_{\text{floor}} \cdot \frac{0.026 FLD_{m,target}}{T_v \cdot (1 - 0.004 \cdot \alpha_2)}$$

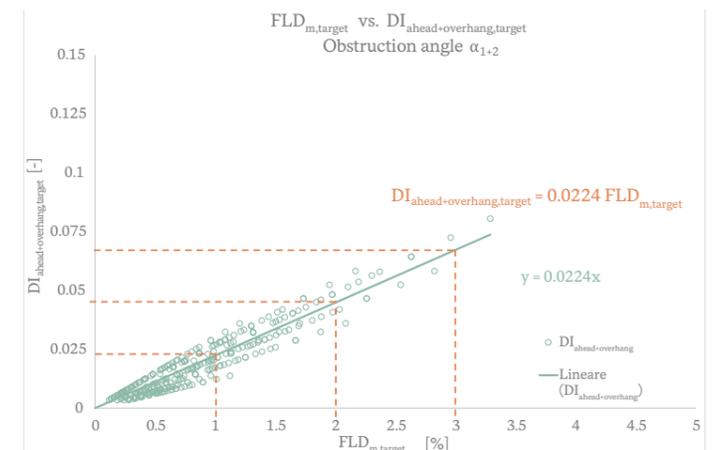
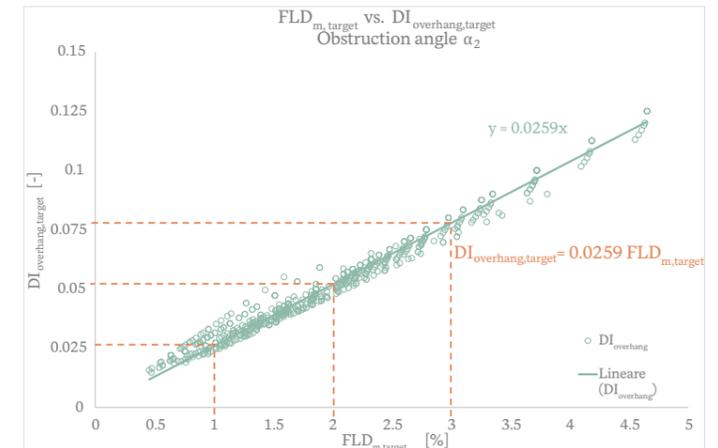
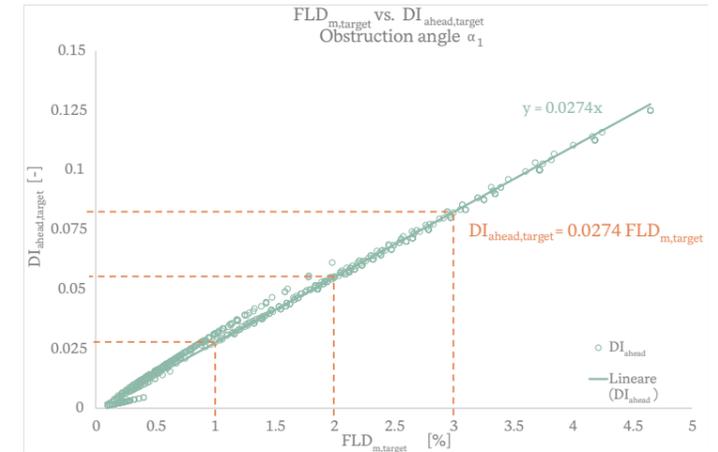
$$T_v \geq S_{\text{floor}} \cdot \frac{0.026 FLD_{m,target}}{S_{\text{glazing}} \cdot (1 - 0.004 \cdot \alpha_2)}$$

$$S_{\text{glazing}} \geq S_{\text{floor}} \cdot \frac{0.022 FLD_{m,target}}{T_v \cdot (1 - 0.006 \cdot \alpha_{1+2})}$$

$$T_v \geq S_{\text{floor}} \cdot \frac{0.022 FLD_{m,target}}{S_{\text{glazing}} \cdot (1 - 0.006 \cdot \alpha_{1+2})}$$

$$S_{\text{glazing}} \geq S_{\text{floor}} \cdot \frac{0.026 FLD_{m,target}}{T_v \cdot (1 - 0.004 \cdot \alpha_3) \cdot RF}$$

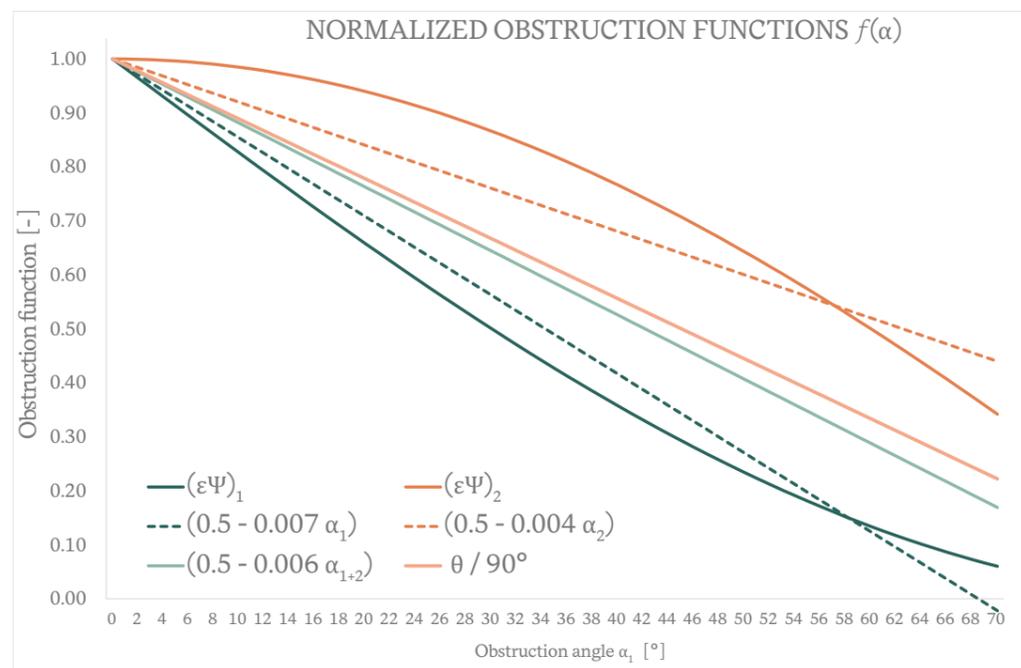
$$T_v \geq S_{\text{floor}} \cdot \frac{0.026 FLD_{m,target}}{S_{\text{glazing}} \cdot (1 - 0.004 \cdot \alpha_3) \cdot RF}$$



Il nuovo indicatore proposto DI, così come altre regole empiriche presenti nella letteratura illuminotecnica, si basa sul rapporto presente tra la superficie vetrata e la superficie del pavimento $S_{\text{glazing}}/S_{\text{floor}}$, sulla trasmissione del vetro T_v e su una funzione di ostruzione lineare $f(\alpha)$. Mentre la regola dei pollici basata sull'AEA utilizza un fattore di ostruzione variabile correlato in realtà alla porzione di cielo visibile dall'ambiente, il DI riporta una serie di equazioni in cui viene modificata la $f(\alpha)$ in base al tipo di ostruzione reale. Per questo motivo, si può notare come sia differente la pendenza delle due equazioni lineari, appunto basate su un diverso rapporto con le ostruzioni. Infine, il DI

ha un intervallo di applicazione pari a $0^\circ < \theta < 70^\circ$, angoli selezionati in conformità alla tipologia urbanistica torinese che racchiude il 96% degli edifici esistenti in un'altezza massima di otto piani, mentre la regola dell'AEA $0^\circ < \theta < 90^\circ$.

Nella figura sottostante, entrambe le equazioni sono state normalizzate ad 1 per rendere più semplice il confronto. La retta di equazione relativa all'AEA è compresa tra la retta relativa al DI con ostruzioni frontali, angolo di ostruzione α_1 , ed il DI in presenza di aggetto, con angolo di ostruzione α_2 , senza discostarsi troppo dal DI con la combinazione di ostruzione frontale e superiore, $\alpha_1 + \alpha_2$.



Uno dei limiti del Daylight Index risiede nel fatto che è applicabile esclusivamente alle aperture verticali. Inoltre, i fattori di riflessione propri delle pareti, del soffitto e del pavimento sono stati assunti come da normativa.

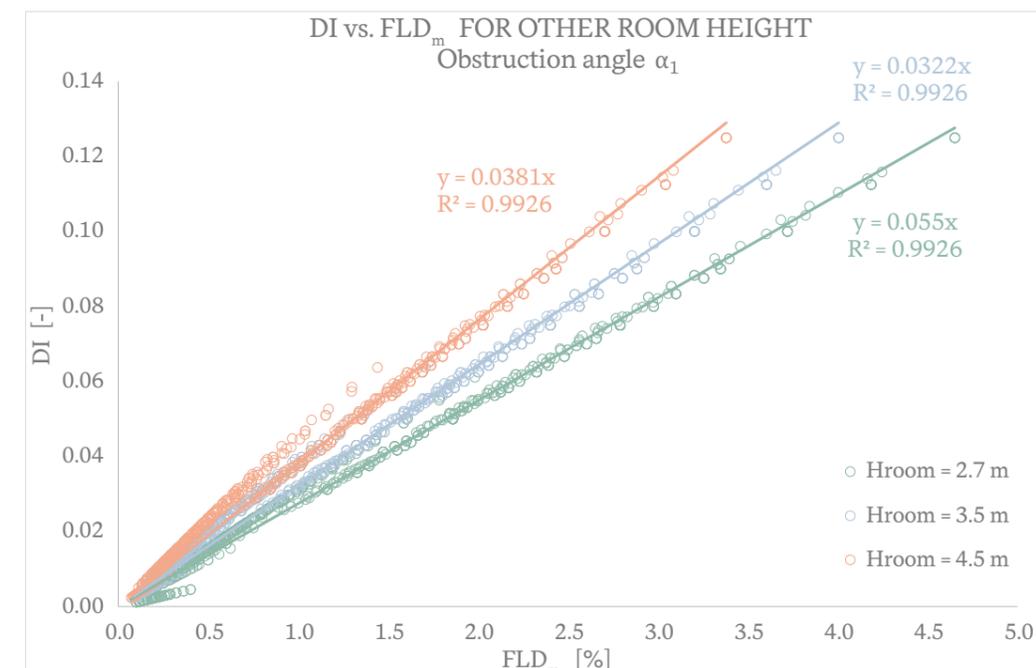
Ulteriori studi potranno implementare la formula dell'indicatore in modo da renderlo adatto anche alle aperture sulla copertura, orizzontali oppure inclinate.

L'attuale ricerca ha preso in considerazione un'altezza interna di 2.70 m come media tra l'altezza interna agli edifici esistenti. Il metodo è stato replicato in seguito anche in corrispondenza di un'altezza interna

pari a 3 m e pari a 4.50 m. Sono state considerate sempre le cinque tipologie di trasmissione del vetro T_v , le cinque varianti di rapporto tra la superficie vetrata e la superficie del pavimento ed i sedici angoli di ostruzione riscontrati nelle ipotesi di α_1 (solo ostruzioni frontali).

La figura mostra la forte corrispondenza tra il Daylight Index DI ed il Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m anche nel caso di altezze superiori a 2.70 m.

L'indice di regressione R^2 è pari a 0.993 in tutti e tre i casi assunti, quindi con altezza interna pari a 2.70 m, 3 m e 4.50 m. Questo rappresenta come l'indice sia applicabile anche ad altezze interne maggiori.



Il Daylight Index vuole rispondere all'esigenza del Comune di Torino di implementare l'apporto di luce naturale attraverso una metrica semplice da utilizzare ma accurata.

Nell'ambito normativo relativo alla progettazione della luce naturale vi è una netta distinzione tra le metriche statiche e le metriche dinamiche, sia nell'utilizzo pratico da parte dei progettisti che nella richiesta da parte del sistema normativo.

Infatti, le metriche CBDM sono utilizzate e richieste dai protocolli di certificazione, per esempio il LEED, mentre gli approcci statici sono abitualmente richiesti dalle normative correnti europee.

Il DI è stato convalidato rispetto al FLD_m riportando un buon indice di correlazione, con un $R^2=0,993$. Un'ultima fase di analisi è relativa al confronto tra il Daylight Index DI e le metriche simulate su base climatica CBDM.

Per quanto riguarda le ostruzioni frontali (obstruction ahead) con α_1 vi è una buona corrispondenza tra il DI e le metriche CBDM soprattutto nel caso del confronto Daylight Index DI e Daylight Autonomy DA, con un R^2 inversamente proporzionale al crescere della dimensione della finestra. Quando il rapporto tra superficie vetrata e area del pavimento è basso allora l' R^2 è maggiore (RAI = 1/8 $R^2 = 0.97$) rispetto ad un rapporto più alto che presenta un R^2 minore (RAI = 1/4 $R^2 = 0.85$). La metrica $sDA_{300,50\%}$ invece nel complesso riporta una distribuzione meno racchiusa, con un

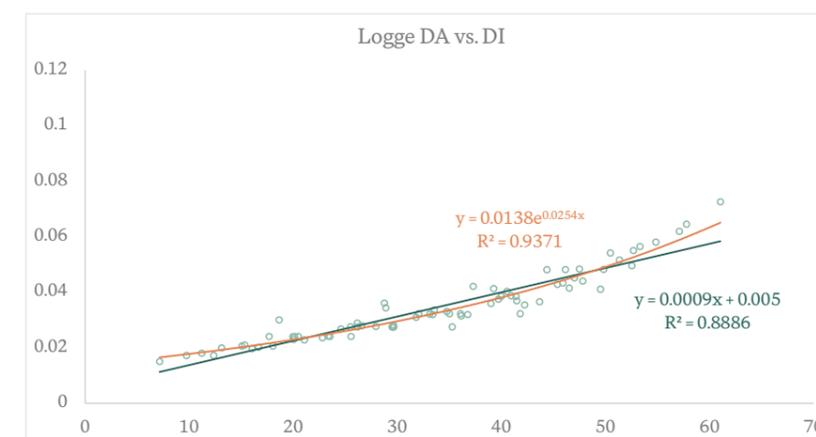
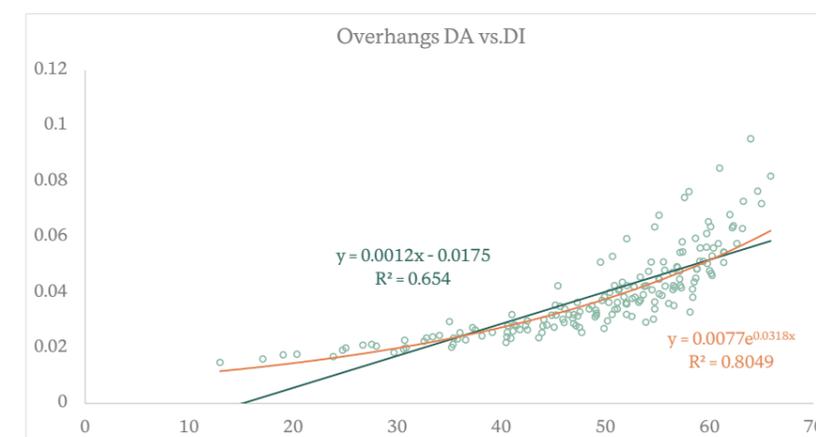
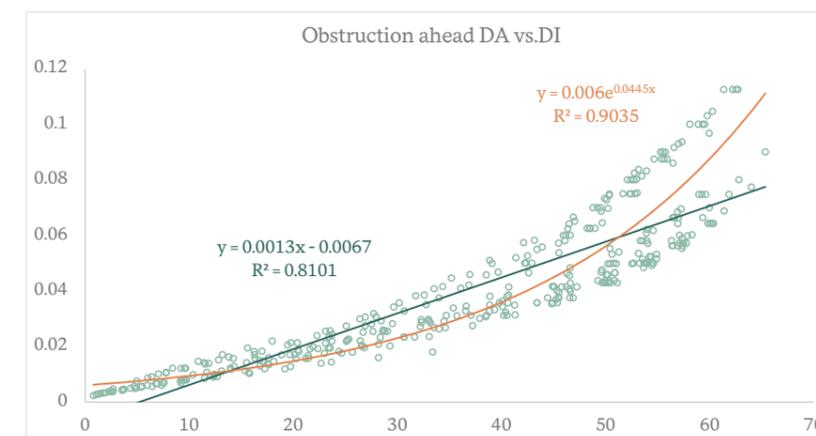
$R^2 = 0.73$ così come l' $ASE_{1000,250}$ che ottiene un $R^2 = 0.87$ e lo $UDI_{100,3000lux}$ con un $R^2 = 0.88$.

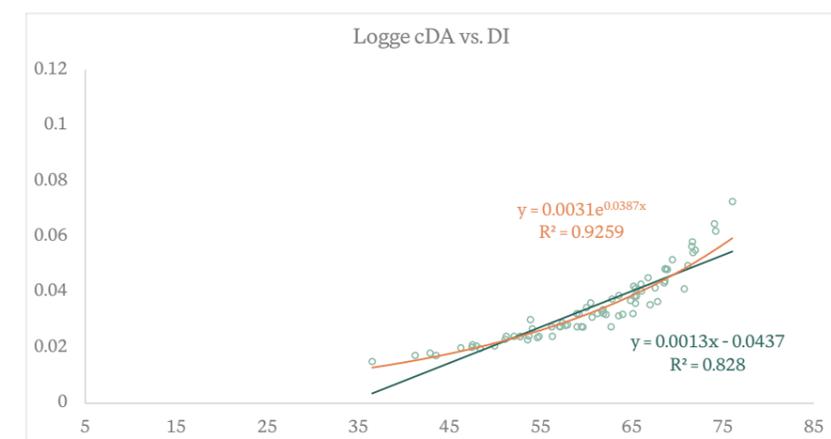
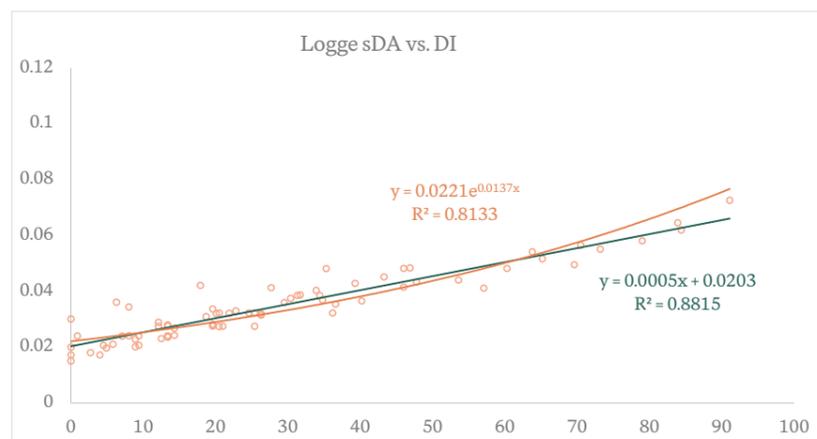
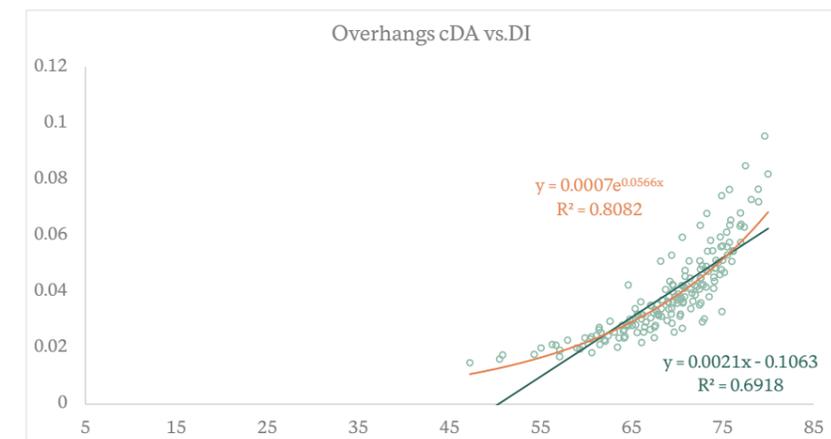
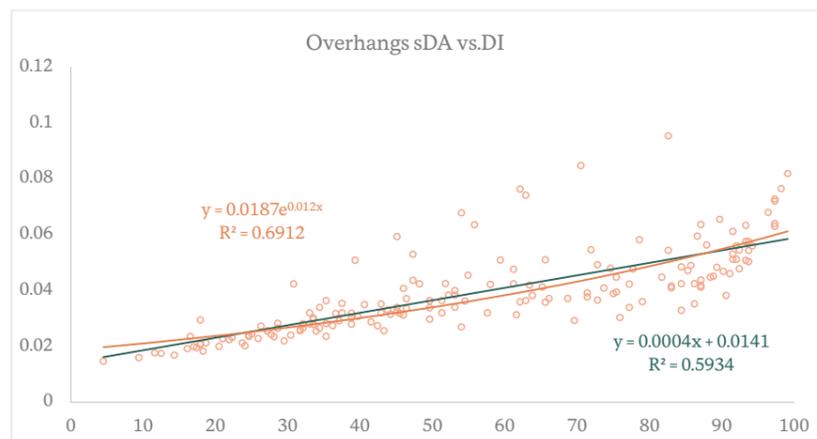
Le ostruzioni create da aggetti o sbalzi propri dell'edificio (overhangs) con α_2 invece presentano un buon R^2 per il confronto DI e DA e per Di con cDA, con un valore pari a 0.8 mentre le altre tre metriche si aggirano nell'ordine di 0.7.

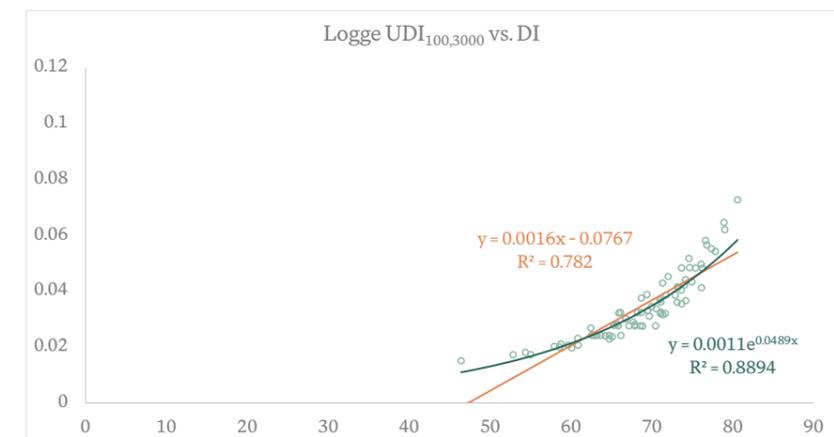
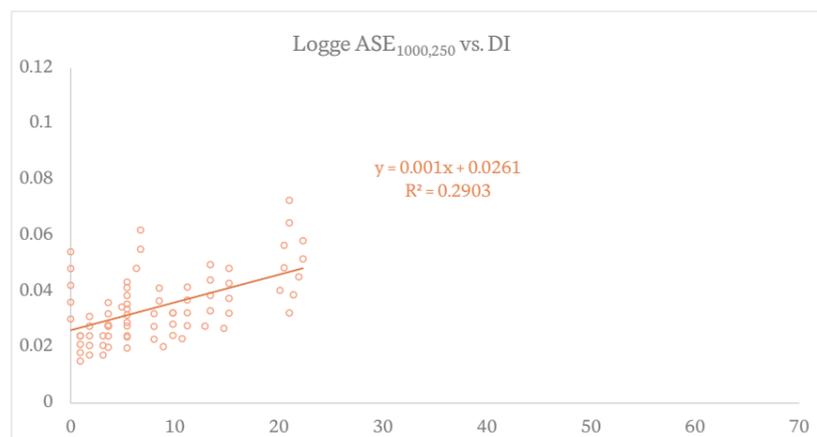
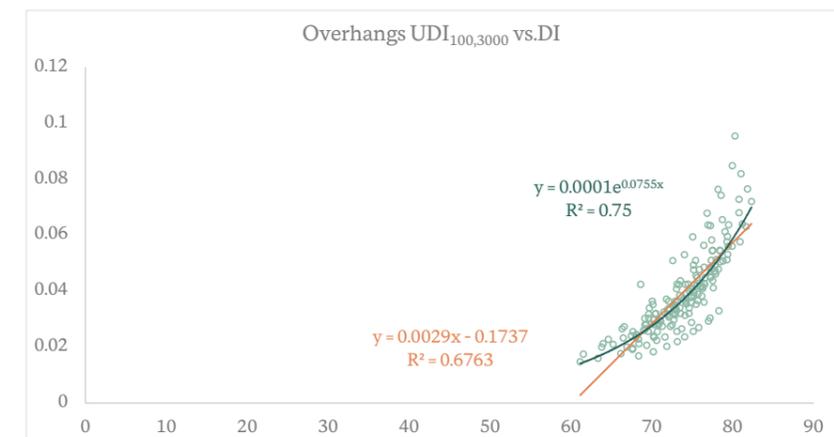
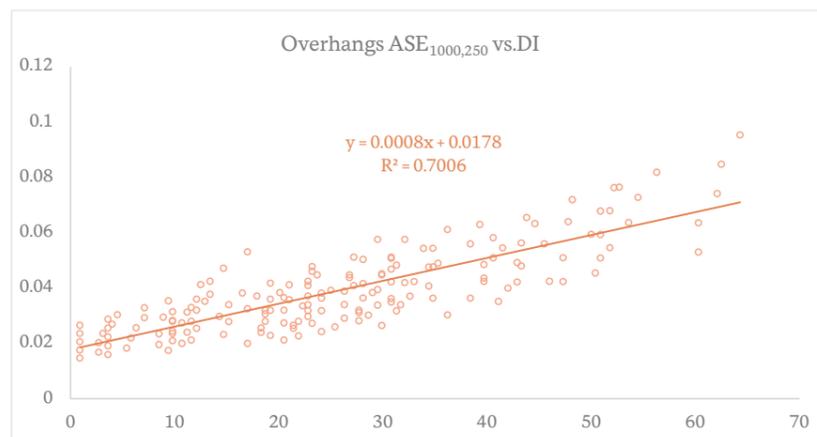
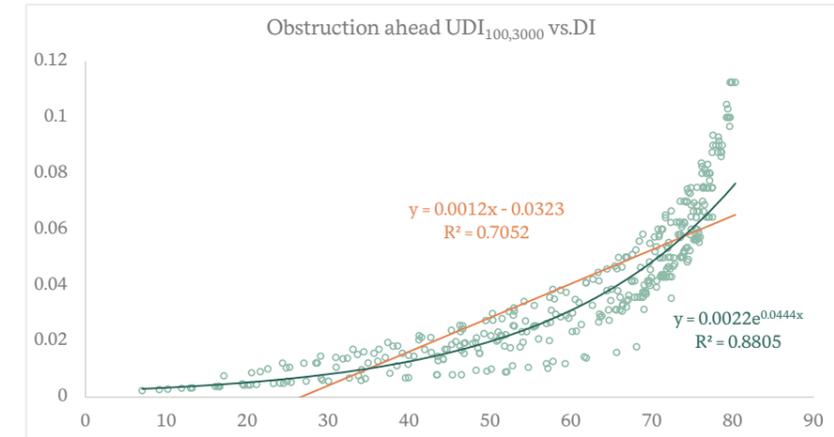
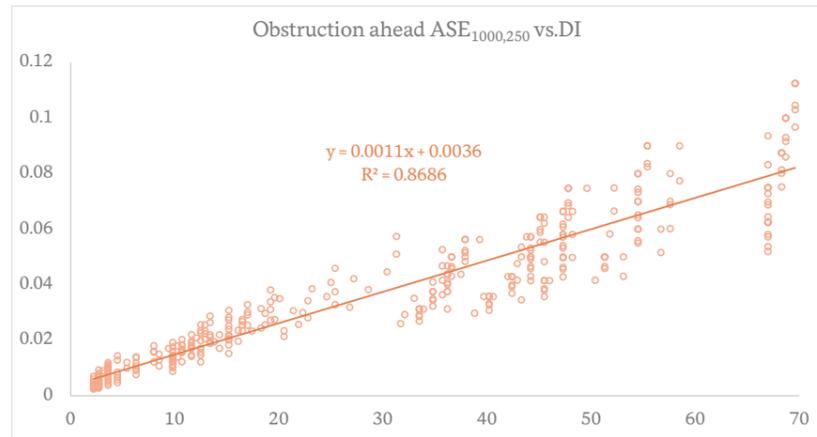
Infine, il caso delle logge α_3 mostra come vi sia un'ottima correlazione tra il DI e DA ($R^2 = 0.94$), con $sDA_{300,50\%}$ ($R^2 = 0.88$), cDA ($R^2 = 0.93$) e $UDI_{100,3000lux}$ ($R^2 = 0.89$) ed una grande lontananza invece con la metrica dedicata all'abbagliamento, l' $ASE_{1000,250}$ ($R^2 = 0.29$).

Nel confronto del Daylight Index DI con tutte le metriche si può notare come vi sia un contatto sostanzialmente migliore nel caso in cui il rapporto tra la superficie vetrata ed il pavimento sia pari ad 1/8 ed un distacco maggiore nel caso in cui questo rapporto sia pari ad 1/5.

Le simulazioni sono state eseguite attraverso il software DIVA-for-Rhino una prima volta e poi controllate e rilanciate con Grasshopper-for-Rhino. I parametri utilizzati per le simulazioni sono stati: -ab 6, -ad 1000, -as 20, -ar 300, -aa 0.1; il valore di riflessione delle ostruzioni è stato imposto pari a 25%, mentre gli alberi riportano una riflessione del 15% e l'albedo del 20%.







4.5 La proposta di revisione dell'Allegato Energetico-Ambientale

La ricerca ha portato alla luce un approccio in grado di semplificare l'utilizzo delle regole per i professionisti e quindi di aumentarne l'applicabilità mantenendo sempre un legame con le metriche di partenza, il Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m ed il Rapporto Aero-Illuminante RAI.

Dopo un'attenta analisi legata a metriche di calcolo dell'apporto di luce naturale semplificate ed avanzate, il gruppo di ricerca ha proposto come revisione dell'Allegato Energetico-Ambientale l'organizzazione delle indicazioni per la progettazione in tre azioni distinte.

I requisiti obbligatori riportano il nuovo indicatore della luce diurna Daylight Index DI stabilito come metodo semplificativo ma coerente al FLD_m .

I requisiti volontari si basano invece sul Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m così come proposto dall'attuale versione dell'Allegato Energetico-Ambientale, con l'assegnazione di un credito pari a 3 punti se $FLD_m \geq 3\%$ e 5 punti se $FLD_m \geq 4\%$.

Inoltre, vi è una sezione che riporta alcuni comportamenti consigliati rivolti alla sostenibilità come la scelta di colori chiari

per le pareti laterali in modo da mantenere alto il coefficiente di riflessione della luce, la disposizione consigliata dell'arredo interno tale da non essere un ostacolo visivo all'accesso ed alla diffusione della luce, la presenza di un numero corretto di aperture così da poter garantire un giusto ricambio d'aria attraverso la ventilazione naturale.

L'analisi del ruolo delle regolamentazioni nel favorire oppure ostacolare lo sviluppo sostenibile di un progetto e più in larga scala di una città costituisce il punto di partenza della ricerca. Infatti, la richiesta esplicita da parte del Comune di Torino di semplificare e ridefinire l'apparato normativo a disposizione ha trovato una risposta pratica all'interno del gruppo di ricerca FULL del Politecnico di Torino, in collaborazione con il gruppo di ricerca TEBE del Dipartimento di Energia. L'obiettivo principale di proporre una metrica semplificata ma coerente al Fattore Medio di Luce Diurna è stato raggiunto confrontando quest'ultimo con il Rapporto Aero-Illuminante, ampiamente utilizzato dai progettisti dal momento che estremamente più semplice da verificare sebbene scorretto ed incompleto.

Il nuovo indicatore della luce diurna, il Daylight Index DI, riunisce in un'unica formula il Rapporto Aero-Illuminante dato da $S_{glazing}/S_{floor}$, la trasmissione visibile del vetro T_v ed una funzione semplificata che considera diversi tipi di ostruzione,

in particolare un'ostruzione frontale, un oggetto superiore oppure la combinazione di entrambi, o ancora la presenza di una loggia esterna alla finestra di calcolo.

Di seguito, la formula complessiva riguardante il nuovo indicatore della luce naturale Daylight Index DI proposta al Comune di Torino:

$$DI = \frac{S_{glazing}}{S_{floor}} \cdot T_v \cdot (0.5 - m \cdot \alpha) \geq a \cdot FLD_{m,target}$$

dove i valori "m" ed "a" sono relativi alla tipologia di ostruzione.

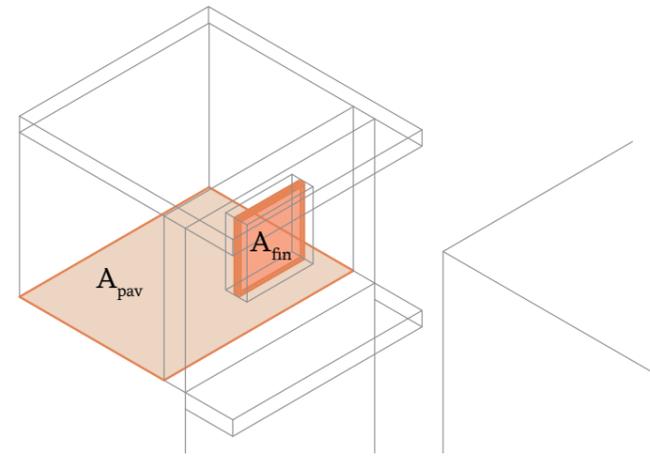
Nel caso in cui vi sia un'ostruzione frontale e quindi α_1 , allora $m = 0.007$ e $a = 0.027$.

In presenza di un oggetto e quindi di α_2 $m = 0.004$ e $a = 0.026$.

Quando invece vi è una compresenza di ostruzione frontale e sbalzo, quindi $\alpha_1 + \alpha_2$, allora $m = 0.006$ e $a = 0.022$.

Il Daylight Index DI è applicabile unicamente alle finestre verticali e per angoli di ostruzione compresi tra 0° e 70° .

Grazie anche ad un riscontro diretto con il territorio che ha mostrato e messo in luce i propri punti di debolezza, è stato dimostrato che le regolamentazioni e le indicazioni per la progettazione della luce naturale devono essere semplici da comprendere e da applicare, basate però su fattori che incoraggino una progettazione sostenibile, volta a salvaguardare il benessere dell'uomo senza però danneggiare la salute del pianeta in cui viviamo.



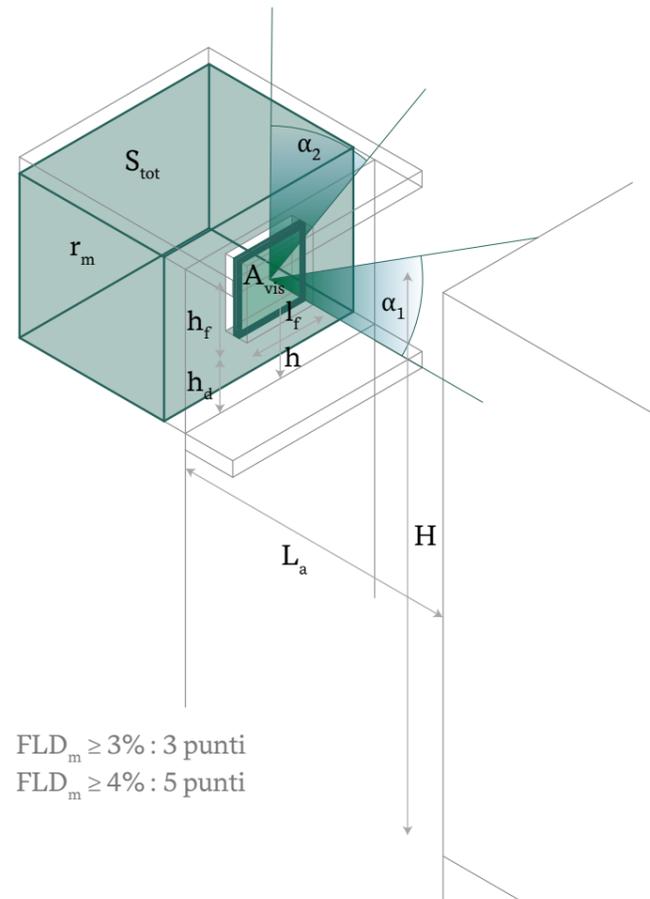
Regolamento Edilizio

Rapporto Aero-Illuminante RAI

$$\frac{A_{fin}}{A_{pav}} \geq \frac{1}{8} \geq 0.125$$

A_{pav} = superficie del pavimento

A_{fin} = superficie vetrata



Allegato Energetico

Fattore Medio di Luce Diurna
FLD_m - incentivo

$$FLD_m = \frac{A_{vis} \cdot \tau_{vis} \cdot \varepsilon \cdot \psi}{A_{tot} \cdot (1 - R_m)}$$

A_{vis} = superficie vetrata

τ_{vis} = coefficiente di trasmissione

ε = fattore finestra

ψ = fattore di riduzione della finestra

A_{tot} = superficie totale delle pareti interne

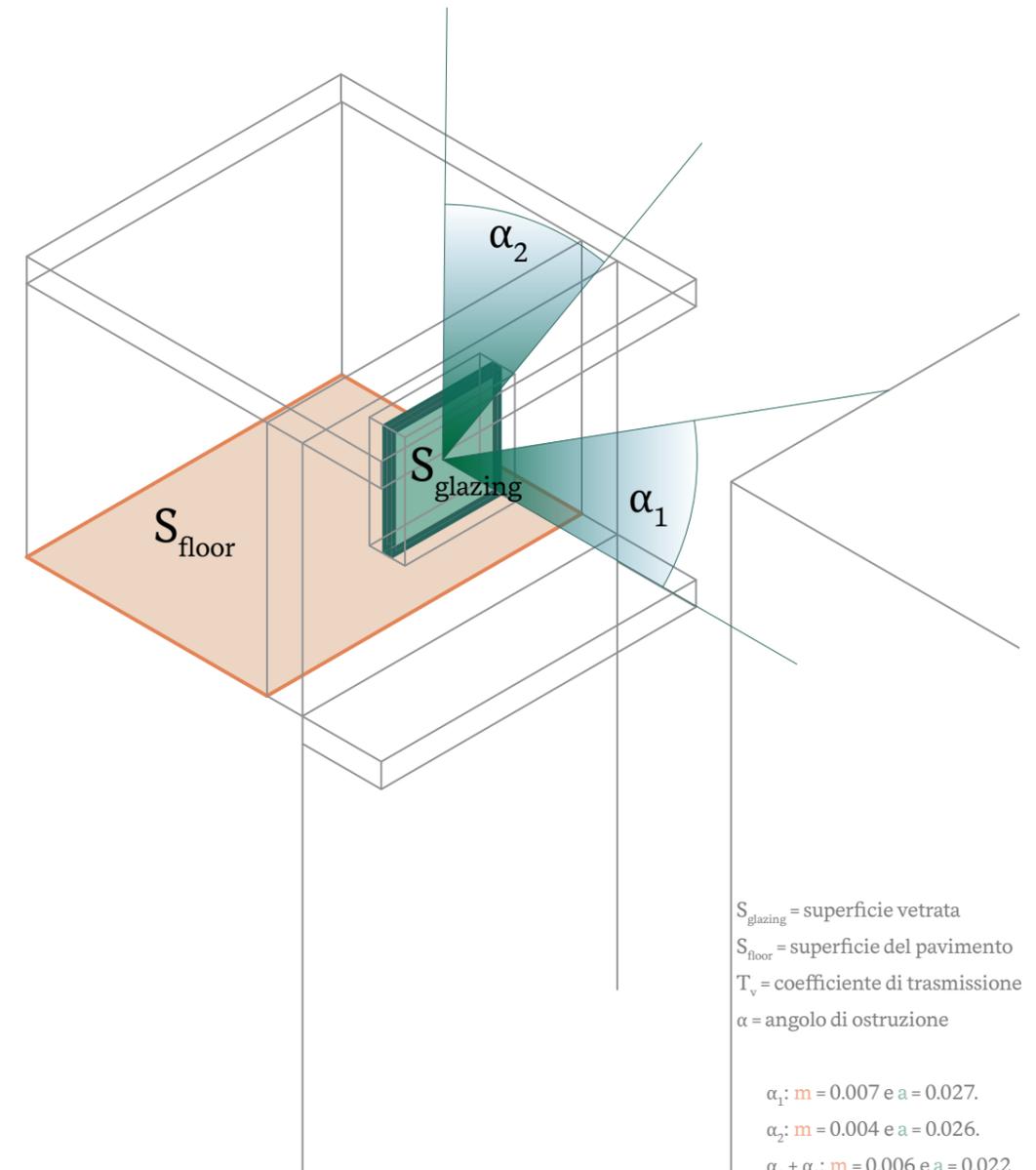
R_m = coefficiente di riflessione media delle superfici interne

$$(\varepsilon\psi)_1 = \frac{1 - \text{sen}(\alpha_1)}{2}$$

$$(\varepsilon\psi)_2 = \frac{1 - \text{sen}(90^\circ - \alpha_2)}{2}$$

$$(\varepsilon\psi)_{1,2} = \frac{1 - \text{sen}(90^\circ - \alpha_2) - \text{sen}(\alpha_1)}{2}$$

FLD_m ≥ 3% : 3 punti
FLD_m ≥ 4% : 5 punti



$S_{glazing}$ = superficie vetrata
 S_{floor} = superficie del pavimento
 T_v = coefficiente di trasmissione
 α = angolo di ostruzione

α_1 : $m = 0.007$ e $a = 0.027$.
 α_2 : $m = 0.004$ e $a = 0.026$.
 $\alpha_1 + \alpha_2$: $m = 0.006$ e $a = 0.022$

$$DI = \frac{S_{glazing}}{S_{floor}} \cdot T_v \cdot (0.5 - m \cdot \alpha) \geq a \cdot FLD_{m,target}$$

CONCLUSIONI

Questa ricerca ha affrontato il tema delle metriche utilizzate per verificare l'apporto di luce naturale interno agli ambienti. Innanzitutto troviamo delle metriche semplificate, spesso richieste dalle normative europee così come dagli standard edilizi a livello locale che però si portano dietro una serie di limiti intrinseci alla loro facilità di applicazione. Vi sono poi degli approcci più sofisticati e più avanzati, basati sull'analisi climatica su scala annuale, più complessi e richiesti invece dai protocolli di certificazione energetica e di progettazione sostenibile, rivolti quindi ad un'edilizia virtuosa. Queste metriche più complesse però incontrano forti resistenze da parte dei progettisti e del sistema normativo che propone in maniera decisiva la presenza degli approcci statici, quali per esempio il Daylight Factor DF presente negli standard europei EN15193 e EN17037, riportando in questa ultima versione un'evoluzione che includa le differenze di località e quindi di clima.

In questo contesto normativo che propone approcci avanzati ed approcci semplificati, il Comune di Torino ha iniziato nel 2018 un processo di revisione del proprio Allegato Energetico-Ambientale emesso nel 2006 a supporto del Regolamento Edilizio della Città. La richiesta specifica formulata al gruppo di ricerca FULL del Politecnico di Torino, affiancato dal gruppo TEBE, è quella di formulare un nuovo indicatore capace di

mediare tra quelli preesistenti, che si basi dunque sul Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m , metrica spesso sottoutilizzata dai progettisti poiché considerata complessa e poco immediata, mantenendo però la semplicità propria delle metriche empiriche o regoli dei pollici, come il Rapporto Aero-Illuminante RAI.

Infatti, l'Allegato Energetico-Ambientale racchiudeva queste due indicazioni per la progettazione dell'elemento finestrato rivolto al contributo di luce naturale insieme ad una prescrizione sulla trasmittanza del serramento completo.

Per questo motivo, la ricerca si è svolta attraverso un confronto tra gli approcci semplificati e quelli avanzati circa l'illuminazione naturale, tema attuale e molto sentito a livello progettuale soprattutto per i benefici collegati al risparmio energetico ed all'impatto positivo sulla salute, sulla produttività e sull'umore dell'uomo.

È stato condotto uno studio parametrico, inizialmente un confronto analitico tra le formule e gli indici base, convalidato in seguito da un'ampia fase di simulazioni effettuate con l'ausilio dei software DIVA-for-Rhino e Grasshopper-for-Rhino.

È stato analizzato un ambiente tipo di 14 m² orientato a Sud con differenti tipologie ed angoli di ostruzione, dimensione dell'apertura e trasmissione del vetro.

Le tipologie di ostruzioni complessive sono state suddivise in ostruzioni frontali create dal contesto, quindi dagli edifici o dalla presenza dei tipici viali alberati, ottenendo così riflessioni differenti, oggetti e sbalzi propri dell'edificio, quali potrebbero essere soluzioni progettuali architettoniche come balconi o cornicioni, logge e ostruzioni combinate tra di loro.

Le casistiche sono state ampliate dalla presenza di diverse dimensioni dell'apertura, con rapporti differenti tra la superficie vetrata e la superficie del pavimento, rispettivamente di 0.125 (utilizzando dunque un'ipotesi tipica con il RAI = 1/8), 0.143 (RAI = 1/7), 0.166 (RAI = 1/6), 0.2 (RAI = 1/5) e 0.25 (ipotesi migliorativa con RAI = 1/4).

La trasmissione del vetro è un altro aspetto importante della formula del Fattore Medio di Luce Diurna e per questo motivo si è scelto di proporre cinque diverse tipologie di vetro, con T_v pari a 0.5 nel caso peggiore fino a giungere a 0.9 ipotizzando un serramento altamente prestante.

$$DI = \frac{S_{\text{glazing}}}{S_{\text{floor}}} \cdot T_v \cdot (0.5 - m \cdot \alpha) \geq a \cdot FLD_{m,\text{target}}$$

Attraverso l'analisi dei risultati di questa ricerca si è giunti alla formulazione di un nuovo indicatore di luce naturale interna agli ambienti, definito Daylight Index DI, capace di rispondere alle esigenze specifiche del Comune di Torino.

La formula generale è stata successivamente declinata in base alla tipologia di ostruzione. In presenza di un'ostruzione frontale, costituita da un edificio o di natura vegetale α_1 , allora $m = 0.007$ ed $a = 0.027$. Nel caso in cui l'ostruzione sia costituita da una scelta progettuale e quindi da uno sbalzo o un oggetto o un cornicione α_2 , allora il fattore $m = 0.004$ e $a = 0.026$. Se ci si trova nella situazione di compresenza di ostruzione frontale e di sbalzo, quindi $\alpha_1 + \alpha_2$, allora $m = 0.006$ ed il fattore $a = 0.022$. Infine, qualora il progetto preveda la presenza di una loggia α_3 , la modalità di calcolo è quella dell'oggetto e dello sbalzo con l'aggiunta però di un Fattore di Riduzione RF variabile in base alla profondità appunto della loggia, quindi con $m = 0.004$ ed $a = 0.026$.

$$\alpha_1: m = 0.007 \text{ e } a = 0.027.$$

$$\alpha_2: m = 0.004 \text{ e } a = 0.026.$$

$$\alpha_1 + \alpha_2: m = 0.006 \text{ e } a = 0.022$$

Fondamentalmente, il vantaggio principale del nuovo indicatore Daylight Index DI risiede nella sua semplicità e rapidità di applicazione. Sono state elaborate delle formule anche per favorire l'utilizzo in ambito professionale e quindi utilizzando come incognita la trasmissione del vetro T_v o la superficie vetrata dell'apertura S_{glazing} . Questa sua semplicità intrinseca però non lo rende poco affidabile e preciso dal momento che i fattori che utilizza lo rendono completo. Durante la fase di convalida della nuova metrica, si è potuto osservare come questa abbia una grande compatibilità con il Fattore Medio di Luce Diurna FLD_m , riportando un indice di regressione $R^2 = 0.993$ ma anche un buon riscontro con le metriche basate sui file climatici specifici, le CBDM, ossia gli approcci più avanzati e complessi esistenti per verificare l'apporto di luce naturale all'intero degli ambienti.

Il Daylight Index DI presenta alcuni limiti tipici delle metriche statiche essendo basato appunto sul Fattore Medio di Luce Diurna ed un'applicabilità limitata ad angoli di ostruzione presenti nell'intervallo 0° - 70° .

Nonostante ciò, il risultato ottenuto dal confronto con le metriche dinamiche rafforza la possibilità di riuscita di questo nuovo indicatore.

Il Daylight Index DI risponde alle esigenze specifiche del Comune di Torino: si basa sul Fattore Medio di

Luce Diurna FLD_m , metrica richiesta dalla normativa nazionale ed europea; è capace di semplificare il FLD_m , rendendolo applicabile anche alle prime fasi di progettazione e non solo alle fasi conclusive di verifica; risolve alcune implicazioni legali relative alle responsabilità in seguito a cambiamenti del contesto e dell'ambiente.

È rivolto a tutti i progettisti, è adattabile ad ogni tipo di contesto cittadino grazie all'ampio intervallo di angoli di ostruzione verificato e fornito.

Il Daylight Index DI si pone come indicatore per la progettazione dell'illuminazione naturale semplice e semplificato, ma dotato di una correttezza ed un rigore scientifico assunto dalla sua derivazione da approcci più sofisticati ed avanzati.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] <https://www.renieriarchitetto.com/riqualificazione-energetica/it/servizi/calcoli-fisica-tecnica/comfort-ambientale.html>
- [2] A cura di W. Mariotti, *Lux Facta Est, La luce naturale nel progetto di architettura*, supplemento a Domus n. 1023, (2018)
- [3] C. F. Reinhart, J. Mardaljevic, and Z. Rogers Z, *Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design*, Leukos 3 (2006) 7–31
- [4] K. Mansy, *Daylight Rules-of-Thumb Experimentally Examined* (2017)
- [5] The IESNA Daylighting Committee, *IESNA Recommended Practice of Daylighting*, IESNA RP-5-99, New York, (1999)
- [6] C.F. Reinhart, *A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylight zone depth rule-of-thumb*, Montreal, (2005)
- [7] C.F. Reinhart, V. R. M. Lo Verso, *A rules of thumb-based design sequence for diffuse daylight*, Ottawa, (2009)
- [8] J. A. Lynes, *A sequence for daylighting design*. in *Lighting Research & Technology* (1979), 11(2): pp. 102–106
- [9] J. Mardaljevic, M. Andersen, N. Roy, J. Christoffersen, *Daylighting Metrics for Residential Buildings*, (2011)
- [10] C. F. Reinhart, O. Walkenhorst, *Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulation for a test office with external blinds*, (2001)
- [11] IES Daylight Metrics Committee, *IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)* (Report No. LM-83-12), (2012)
- [12] A. Nabil, J. Mardaljevic, *Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm for Assessing Daylight in Buildings* in *Lighting Research & Technology*, Leicester, (2005)
- [13] M. Boubekri, *A Overview of the Current State of Daylight Legislation* in *Journal of the Human-Environmental System* (2004), 7 (2): pp. 57-63
- [14] V. R. M. Lo Verso, A. Pellegrino, *Energy Saving Generated Through Automatic Lighting Control Systems According to the Estimation Method of the Standard EN 15193-1*, Torino, (2019)
- [15] CEN (Comité Européen de Normalisation). European Standard EN 15193:2007, *Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting*, Brussels, (2007)
- [16] IEA (International Energy Agency), *ECBCS - Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings*, ANNEX 45 Report, Edited Liisa Halonen, Eino Tetri & Pramod Bhusal, (2010)
- [17] US Department of Energy DOE, *2011 Buildings Energy Data Book*, prepared for the Buildings Technologies Program Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, (2012)
- [18] CEN (Comité Européen de Normalisation), *European Standard EN 15193-1:2017. "Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications, Module M9"*, Brussels, (2017)
- [19] CEN (Comité Européen de Normalisation), *European Standard EN 17037:2018. "Daylight in buildings"*, Brussels, (2018)
- [20] Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 22 maggio 1967, n. 3151 *Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione nelle costruzioni edilizie*
- [21] Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 22 novembre 1974, n. 13011 *Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione*
- [22] Decreto del Ministero della Sanità del 5 luglio 1975, *Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico sanitari principali dei locali d'abitazione*
- [23] Decreto Ministeriale del 18 dicembre 1975, *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica*
- [24] Norma UNI 10840 *Luce ed illuminazione - locali scolastici: Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale*, (2000)
- [25] Building Research Establishment BRE, *BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)*, (2018)
- [26] US Green Building Council, *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), V4.1 for Building Design and Construction*, (2020)
- [27] Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale ITACA, *Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità - Edifici residenziali*, (2019) e *Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità - Edifici non residenziali* (2019)

ICONOGRAFIA E SITOGRAFIA

- (1) <https://helitecsrl.it/temperatura-colore-luce-led-e-diverse-applicazioni/>
- (2) elaborazione personale tratta da: <https://www.iguzzini.com/it/lighthinking/luce-e-benessere-un%E2%80%99illuminazione-per-accompagnare-i-ritmi-circadiani/>
- (3) carte solari prodotte attraverso il software Autodesk Ecotect Analysis
- (4) <http://www.arte.it/notizie/roma/augusto-il-vero-protagonista-sotto-i-riflettori-del-pantheon-9231>
- (5) <https://www.oggiroma.it/eventi/visite-guidate/gli-splendidi-mosaici-del-mauseleo-di-santa-costanza-e-il-complesso-di-sant-agnese-fuori-le-mura/45561/>
- (6) <https://fashionfortravel.com/sainte-chapelle-parigi/>
- (7) <https://guideturistichemantova.it/la-basilica-di-s-andrea/>
- (8) <https://www.artwave.it/architettura/buildings/cappella-della-sindone-di-torino-28-anni-dopo/>
- (9) <https://www.elledecor.com/it/lifestyle/a28923982/nuovi-negozi-ristoranti-milano-uniqlo-autunno-2019/>
- (10) [mymuseum/menil-collection-houston-texas/](https://www.inexhibit.com/itmuseum/menil-collection-houston-texas/)
- (11) <https://www.pinterest.de/pin/421016265142542092/>
- (12) <https://archatlas.net/post/172398995568>
- (13) <https://www.archdaily.com/354500/contemporary-arts-center-cordoba-nieto-sobejano-arquitectos>
- (14) <http://www.museofico.it/>
- (15) <https://www.archdaily.com/12674/brione-house-wespi-de-meuron>
- (16) <https://www.stylepark.com/en/news/three-religions-under-a-single-roof>
- (17) <http://www.scandinaviandesign.com/museums/AlvarAalto/080614.htm>
- (18) <https://divisare.com/projects/269671-jose-ignacio-linazasoro-javier-azurmendi-iglesia-de-san-lorenzo-en-valdemaqueda-madrid-spain>
- (19) <http://mansilla-tunon-architects.blogspot.com/>
- (20) <https://design-milk.com/inagawa-cemetery-warehouse/>
- (21) <https://design-milk.com/casa-ming-lgz-taller-de-arquitectura/>
- (22) <https://www.lonny.com/Museum+That+Give+Us+Major+Interior+Envy/articles/GYJfNi1WIK/Dappled+Light>
- (23) <https://divisare.com/projects/328063-aires-mateus-fernando-guerra-fg-sg-school-in-vila-nova-da-barquinha>
- (24) <https://www.archdaily.com/82147/t-space-steven-holl-architects>
- (25) <https://mminimal.com/ebro-delta-house-by-carlos-ferrater-lambarri/>
- (26) <https://www.architetti.com/souto-de-moura-museo-paula-rego-cascais.html>
- (27) render specifici delle metriche di calcolo della luce naturale prodotti attraverso il software DIVA-for-Rhino
- (28) elaborazione personale tratta da: V. R. M. Lo Verso, A. Pellegrino, *Energy Saving Generated Through Automatic Lighting Control Systems According to the Estimation Method of the Standard EN 15193-1*, Torino, (2019)
- (29) CEN (Comité Européen de Normalisation), *European Standard EN 15193-1:2017. "Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications, Module M9"*, Brussels, (2017)
- (30) CEN (Comité Européen de Normalisation), *European Standard EN 17037:2018. "Daylight in buildings"*, Brussels, (2018)
- (31) Building Research Establishment BRE, *BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)*, (2018)
- (32) US Green Building Council, *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), V4.1 for Building Design and Construction*, (2020)
- (33) Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale ITACA, *Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità - Edifici residenziali*, (2019) e *Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità - Edifici non residenziali*, (2019)

