

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO DELL'ENERGIA

Dottorato di Ricerca in Fisica Tecnica Ambientale

XXXIII CICLO

ANNO 2012



Tesi di Dottorato di Ricerca

**METODI E STRUMENTI PER LA VALUTAZIONE
DEL COMFORT VISIVO**

Coordinatore: Prof. Ing. Aldo Orioli

Tutor: Prof. Ing. Marco Beccali

Dottoranda

Alessandra Galatioto



INDICE DEI CONTENUTI

ABSTRACT

Indice delle Tabelle

Indice delle Tabelle

INQUADRAMENTO SCIENTIFICO E OBIETTIVI DELLA RICERCA

PARTE PRIMA

1. CRITERI ILLUMINOTECNICI PER LA VALUTAZIONE DEGLI AMBIENTI CONFINATI: STATO DELL'ARTE DELLA NORMATIVA E DEGLI INDICI DINAMICI DI PERFORMANCE **pag. 6**

2. ANALISI CRITICA DELLE METODOLOGIE BASATE SU SIMULAZIONI DINAMICHE E RILIEVI STRUMENTALI **pag. 17**

3. ANALISI CRITICA DELLE METODOLOGIE DI INDAGINE DEGLI AMBIENTI CONFINATI BASATE SUL RILEVAMENTO DELLE VALUTAZIONI SOGGETTIVE **pag. 43**

4. INDAGINE SOGGETTIVA SPERIMENTALE CONDOTTA IN ALCUNE SALE LETTURA DELL'ATENEO DI PALERMO: UN NUOVO TEST DI VALUTAZIONE **pag. 59**

PARTE SECONDA

5. STRUMENTI DI ANALISI DELLA DISUNIFORMITÀ **pag. 79**

6. APPLICAZIONE DEL METODO: SVILUPPO DELLA CASISTICA DI STUDIO DELLA DISSUNIFORMITÀ **pag. 82**

7. CONCLUSIONI **pag. 111**

BIBLIOGRAFIA GENERALE

ALLEGATI

Allegato A – elaborazione dei risultati

ABSTRACT

Il corretto svolgimento del compito visivo viene garantito dalle adeguate condizioni del microclima luminoso in ambiente, che risultano fondamentali per la produttività del soggetto.

Nella ricerca, si è evidenziato come alcuni dei parametri di valutazione degli ambienti, illuminati naturalmente, attualmente utilizzati, nel caso oggetto dello studio, come il Daylight Factor medio [%] e il fattore di uniformità, richiedano una applicazione critica e mirata, affinché possano fornire un quadro qualitativo completo delle condizioni reali dell'ambiente.

Frequentemente, a causa di alcuni gradi di libertà all'interno degli intervalli di accettabilità definiti dalla normativa, la descrizione, comunemente utilizzata, delle condizioni illuminotecniche dell'ambiente può non essere esaustiva, con conseguente incompletezza nella definizione delle condizioni atte a garantire il benessere psico-fisico dell'individuo.

Uno degli obiettivi che questa ricerca si pone è quello di analizzare criticamente le disuniformità, spaziali e temporali, che si verificano in ambiente quali possibili cause di discomfort per l'occupante, in altri termini si propone di analizzare e misurare come i valori che assumono i parametri illuminotecnici in oggetto si distribuiscono nello spazio analizzato e come variano nel tempo. Tale analisi è stata sviluppata mediante un approccio entropico-probabilistico, allo scopo di verificare e proporre possibili strumenti integrativi degli attuali metodi di valutazione del microclima luminoso in ambiente confinato.

Il metodo comprende l'elaborazione di una casistica di base costituita da volumi semplici di differente geometria e dimensioni, con differenti tipologie e dimensioni di aperture, ma con uguale orientamento. La casistica di base è stata successivamente incrementata con l'introduzione di alcune disuniformità spaziali riguardanti le caratteristiche di alcune pareti (coefficiente di assorbimento $a=0$) e con la diversificazione della posizione delle aperture, delle quali viene mantenuto l'orientamento a Sud.

L'analisi delle disuniformità è stata ulteriormente approfondita introducendo, nella casistica prima citata, lo studio su alcune postazioni lavorative tipo. Le simulazioni effettuate hanno consentito di calcolare, per ogni ambiente, l'entropia massima H_{max} raggiungibile nelle diverse configurazioni e di analizzare la variazione di entropia H secondo le diverse condizioni a cui l'ambiente campione è stato sottoposto. Dai risultati ottenuti si può affermare che uno dei parametri supplementari per la valutazione della qualità del microclima luminoso in ambiente potrebbe essere rappresentato dal termine H/H_{max} valutato in termini

sia spaziali che temporali. La scarsa correlazione tra H/H_{\max} e il fattore di uniformità suggerisce una possibile riconsiderazione di tale parametro per la valutazione delle condizioni illuminotecniche in ambiente, mentre secondo la casistica elaborata, la correlazione tra H/H_{\max} e il Daylight Factor medio evidenzia che il parametro DF_m , non risulta esaustivo, come vorrebbe la norma, per descrivere le condizioni in ambiente, in quanto “nasconde” ogni informazione circa la distribuzione dei valori puntali in ambiente.

Contestualmente allo sviluppo della metodologia con approccio entropico-probabilistico, la ricerca ha affrontato anche una valutazione secondo un approccio legato alla valutazione soggettiva del fruitore dell'ambiente. Per tale motivo, sulla scorta di una estesa ed approfondita analisi dello stato dell'arte, è stato elaborato un test di valutazione individuale a risposta multipla che è stato sottoposto agli utenti di diversi ambienti campione, prevalentemente sale lettura e biblioteche dell'Ateneo di Palermo. Il questionario è stato sviluppato in collaborazione con medici del lavoro, per approfondire e classificare la risposta del soggetto anche in relazione alle capacità visive di partenza di questo. La struttura del questionario comprende ora e giorno di compilazione, una parte relativa alla storia personale del soggetto (età, sesso, patologie pregresse, etc...), una parte riferita alla valutazione della luce naturale ed artificiale all'interno dell'ambiente in generale, e sul piano di lavoro, in termini di quantità, qualità, colore della luce, verificarsi di fenomeni di abbagliamento, ecc... Il test considera anche la possibilità di controllo delle aperture e/o delle schermature, la possibilità di interazione con l'illuminazione naturale/artificiale ed infine i fattori di rischio legati al compito visivo svolto al videoterminale. La campagna di rilevamento è stata effettuata nei giorni prossimi al 21 settembre e al 21 marzo 2011 raggiungendo un campione di 519 test compilati. Contestualmente alla compilazione del test sono state effettuate misure in situ dei livelli di illuminamento al fine di contestualizzare la risposta del soggetto in base anche alle condizioni meteorologiche considerate, come noto, fattore di influenza sulla risposta.

La ricerca propone quindi diversi spunti per un diverso approccio integrato alla progettazione e valutazione delle caratteristiche del microclima luminoso, al fine di garantire il raggiungimento del comfort visivo dell'occupante e la riduzione del rischio legato alle cattive condizioni illuminotecniche per il corretto svolgimento del compito visivo.

Indice delle Figure

- Fig. 1 - Edificio 16 di Parco D'Orleans, Dipartimento di Biologia Cellulare e dello Sviluppo "Alberto Monroy"
- Fig. 2 - Cortile interno
- Fig. 3 - Prospetto Nord-Est
- Fig. 4 - Prospetto Sud-Est
- Fig. 5 - Prospetto Sud-Ovest
- Fig. 6 - Prospetto nord-ovest
- Fig. 7 - Cortile interno
- Fig. 8 - Prospetto Nord-Est
- Fig. 9 - Lucernario interno
- Fig. 10 - Edificio 17, Aula anfiteatro C
- Fig. 11 - Edificio 17, collocazione in pianta dell'aula Anfiteatro C
- Fig. 12 - Aula anfiteatro C – Individuazione dei punti esaminati
- Fig. 13 - Edificio 17, Laboratorio n°114
- Fig. 14 - Edificio 17, Collocazione in pianta del Laboratorio n. 114
- Fig. 15 - Laboratorio n°114, Individuazione dei punti esaminati
- Fig. 16 - Edificio 17, Studio n°106
- Fig. 17 - Edificio 17, Collocazione in pianta dello Studio n°106
- Fig. 18 - Studio n°106, Collocazione in pianta dei punti analizzati
- Fig. 19 - Edificio 17, Laboratorio n°119
- Fig. 20 – Edificio 17, Collocazione in pianta del Laboratorio n°119
- Fig. 21 – Laboratorio n°119, collocazione in pianta dei punti di misura
- Fig. 22 – Fig.22 - Prospetto Sud-Est
- Fig. 23 - Prospetto Sud-Ovest
- Fig. 24 – Vista del lucernario
- Fig. 25 - Prospetto Nord-Ovest
- Fig. 26 - Edificio 18 – Studio n°130
- Fig. 27 – Edificio 18, Collocazione in pianta dello Studio n°130
- Fig. 28 – Edificio 18, Studio n°203
- Fig. 29 – Edificio 18, Collocazione in pianta dello Studio n°203
- Fig. 30 – Studio n°203, collocazione in pianta dei punti analizzati
- Fig. 31 – Edificio 18, Laboratorio P17
- Fig. 32 – Edificio 18, Collocazione in pianta del Laboratorio P17
- Fig. 33 – Edifici 17 e 18, consumi elettrici per ogni componente
- Fig. 34 – ASHRAE Protocols for commercial buildings, LIVELLO 1-griglia di misura dei livelli di illuminamento
- Fig. 35 – questionario BUS (e PROBE), domande sul comfort termico
- Fig. 36 – questionario REF, domande sulle caratteristiche degli ambienti
- Fig. 37 – Questionario Proklima - domande sul ambiente interno (Come percepisce attualmente l'ambiente nella sua postazione di lavoro?)
- Fig. 38 – Elenco dei temi del questionario HFSQ

- Fig. 39 – Questionario CBE Survey, domande su: comfort termico.
- Fig. 40 – Questionario SCATs, questionario longitudinale
- Fig. 41 – Questionario COPE, compilazione on-line.
- Fig. 42 – Questionario HOPE, domande relative alla gestione delle finestre
- Fig. 43 – Indoor Environmental Survey, compilazione on-line.
- Fig. 44 – Foto e pianta (in cui sono indicate le postazioni analizzate) della Biblioteca centrale della Facoltà di Medicina e Chirurgia. Fonte GIMLE - Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia
- Fig. 45 – Giudizi complessivi su l'illuminazione nelle postazioni della Biblioteca della Facoltà di Medicina. Fonte GIMLE - Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia
- Fig. 46, 47 – Biblioteca centrale e biblioteca di neogreco, Facoltà di Lettere e Filosofia
- Fig. 48 – Biblioteca centrale di Lettere e Filosofia: Sintesi dei risultati
- Fig. 49 – Biblioteca di greco Facoltà di Lettere e Filosofia: Sintesi dei risultati
- Fig. 50 – Biblioteca di neogreco Facoltà di Lettere e Filosofia
- Fig. 51 – Biblioteca centrale e biblioteca di Dipartimento Facoltà di Agraria
- Fig. 52 – Fig. 52 - Biblioteca centrale di Agraria: sintesi dei risultati
- Fig. 53 - Biblioteca di dipartimento facoltà di Agraria: sintesi dei risultati
- Fig. 54 – Biblioteca e emeroteca della Facoltà di Architettura
- Fig. 55 - Emeroteca della Facoltà di **Architettura: sintesi dei risultati**
- Fig. 56 – E_{medio} sulle postazioni della Biblioteca della Facoltà di Architettura
- Cambiare immagini con nume postazioni
- Fig. 57 – *Short-test* sottoposto nella Biblioteca della Facoltà di Architettura
- Fig. 58 - Casistica esemplificativa di tre differenti distribuzioni spaziali dei valori.
- Fig. 59 – Schema assonometrico delle tre configurazioni base 5.0x5.0
- Fig. 60 – Schema assonometrico delle tre configurazioni base 10.0x10.0
- Fig. 61 – Schema assonometrico delle tre configurazioni base 5.00x8.00
- Fig. 62 – Schema assonometrico delle tre configurazioni base 10.00x16.00
- Fig. 63 – Caso base 5.00x5.00m – configurazione 1 – Finestra “a nastro” Distribuzione spaziale del DF [%]
- Fig. 64 – Caso base 10.00x10.00m – configurazione 1 – Finestra “a nastro”. Distribuzione spaziale del DF [%]
- Fig. 65 – Caso base 5.00x8.00m – configurazione 1 – Finestra “a nastro” Distribuzione spaziale del DF [%]
- Fig. 66 – Caso base 10.00x16.00m, configurazione 1 – Finestra “a nastro” Distribuzione spaziale del DF [%]
- Fig. 67 – Schematizzazione delle disuniformità spaziali introdotte

- Fig. 68 – Il grafico mostra la scarsa correlazione tra il Daylight Factor e il Fattore di Uniformità in tutte le configurazioni analizzate
- Fig. 69 – Ricerca della correlazione tra il Fattore di Uniformità e H/Hmax
- Fig. 70 – Ricerca della correlazione tra il Daylight Factor e H/Hmax
- Fig. 71 – Caso base 5.00x5.00m – 2 postazioni per ambiente
- Fig. 72 – Caso base 10.00x10.00m – 12 postazioni per ambiente
- Fig. 73 – Caso base 5.00x8.00m – 3 postazioni per ambiente
- Fig. 74 - Caso base 10.00x16.00m, 21 postazioni per ambiente
- Fig. 75 – assenza di correlazione tra l'indice di Performance Daylight Factor e il Fattore di Uniformità.
- Fig. 76 – Caso 5.00x5.00m, ricerca della correlazione tra DF[%] e H/Hmax.
- Fig. 77 – Caso 5.00x5.00m, ricerca della correlazione tra Fattore di Uniformità e H/Hmax.
- Fig. 79 – Analisi della disuniformità spaziale su tutte le postazioni, tutte le configurazioni. Correlazione tra DFmedio [%] e H/Hmax.
- Fig. 80 – Analisi della disuniformità spaziale su tutte le postazioni, tutte le configurazioni. Correlazione tra Fattore di Uniformità e H/Hmax.
- Fig. 81 – Analisi della disuniformità temporale. Caso 5.00x8.00m, n.3 postazioni. Correlazione tra il DFpuntuale [%] e H/Hmax.
- Fig. 82 – Analisi della disuniformità temporale sulle postazioni, tutte le configurazioni. Correlazione tra il DF[%] e H/Hmax.
- Fig. 83 – Elaborazione dei valori di illuminamento Emed, nella Biblioteca della Facoltà di Architettura di Palermo.
- Fig. 84 – Andamento degli illuminamenti sulle postazioni, nella Biblioteca della Facoltà di Architettura di Palermo.

Indice delle Tabelle

Tab.1 - Illuminamenti raccomandati sulla *task area* e nella zona immediatamente circostante, Fonte: UNI EN 12464:2011

Tab.2 – fonte 15251:2008, annex I

Tab.3 – scheda di sintesi del rilievo

Tab.4 – scheda di sintesi del rilievo

Tab.5 – scheda di sintesi del rilievo

Tab.6 – Costruzione della matrice di calcolo per la determinazione di H , H_{\max} ed R

Tab.7 – Distribuzione dei livelli di illuminamento all'interno di tra configurazioni esemplificative del metodo

Tab.8 – Prospetto di sintesi delle simulazioni effettuate nei vari scenari

Tab.9 – Analisi del DF_{medio} e del Fattore di Uniformità in tutte le configurazioni

Tab.10–Analisi della disuniformità spaziale in tutte le configurazioni

Tab.11–Prospetto di sintesi relativo all'analisi entropico-probabilistica sulle postazioni

Tab.12 – Prospetto di sintesi, Biblioteca Facoltà di Architettura di Palermo.

INQUADRAMENTO SCIENTIFICO E OBIETTIVO DELLA RICERCA

Un corretto design illuminotecnico include la valutazione degli effetti della luce sulla salute umana, in relazione alle esigenze dei soggetti che occuperanno lo spazio illuminato.

I principi di una buona illuminazione dovrebbero essere il punto di partenza per la progettazione illuminotecnica, ma questi comprendono anche e soprattutto l'efficienza energetica e aspetti ambientali, come evidenzia il *Lighting Handbook IESNA*, con la sua *Lighting Design Guide* che identifica l'importanza relativa delle diverse condizioni luminose per le diverse configurazioni e compiti visivi [1]. Tuttavia, le istruzioni dettagliate per il progetto dell'illuminazione diurna basate sulle conoscenze scientifiche attuali e riportate nelle normative tecniche, risultano, nel complesso, non sempre esaustive.

Aumentare i livelli di illuminamento non sembra, infatti, avere effetti duraturi sulle prestazioni lavorative e cognitive. Al momento, la ricerca scientifica non ha determinato quale sia l'esposizione ottimale quotidiana, né, in relazione al ritmo circadiano, quanto dovrebbe durare tale esposizione.

Un esempio in merito può essere dato da uno studio effettuato, dai ricercatori canadesi, su due gruppi di persone affette da SAD (*Seasonal Affective Disorder*). Il primo gruppo è stato trattato, con successo, con una passeggiata di 1 ora al giorno ogni mattina, con un'esposizione a circa 1000 lux (prime ore del mattino in inverno in Europa, spesso nuvoloso), mentre un gruppo di confronto è stato trattato, con meno successo, con un'esposizione di 2800 lux da luce elettrica per mezz'ora ogni mattina. I risultati di questa ricerca suggeriscono alcuni modi per progettare o riqualificare l'illuminazione degli ambienti:

- Fornire all'occupante l'opportunità di una maggiore esposizione alla luce naturale (favorendo anche l'efficienza energetica globale dell'edificio);
- Fornire luce biologically-active, per la creazione di uno spazio luminoso confortevole, piuttosto che fornire una maggiore quantità di illuminamento in tutto lo spazio interno, con conseguente aumento di esposizione dell'occhio alla luce.
- Utilizzo del controllo localizzato dei sistemi di illuminamento, ove possibile, che permetterà, all'occorrenza, un'adeguata disponibilità di luce [2].

PARTE PRIMA

CRITERI ILLUMINOTECNICI PER LA VALUTAZIONE DEGLI AMBIENTI CONFINATI: STATO DELL'ARTE DELLA NORMATIVA E DEGLI INDICI DINAMICI DI PERFORMANCE

L'analisi ed il confronto critico dell'apparato normativo, qui proposti, sono soprattutto riferiti alla regolamentazione degli aspetti relativi alla valutazione delle condizioni illuminotecniche in ambiente confinato, pur trattando alcune norme la valutazione microclimatica ambientale in senso lato, e la correlazione tra questa e le opportunità di risparmio energetico per gli edifici.

Principale riferimento, per la valutazione del microclima luminoso in ambiente, è l'apparato delle Norme UNI. La UNI EN 12464:2011 [3] tratta i criteri relativi al livello ed all'uniformità dell'illuminamento, alla distribuzione delle luminanze, al *discomfort glare*, alla direzionalità della luce, alla resa del colore e alla luce diurna in considerazione del *visual task* svolto dal soggetto, considerando, per lo svolgimento del compito visivo il contributo della luce artificiale e naturale.

Come noto, i livelli di illuminamento necessari ad avere una definizione visiva ottimale non possono essere definiti in assoluto. Inoltre, i coefficienti di riflessione delle pareti e degli oggetti presenti in area possono modificare sensibilmente le sensazioni di disagio provocate da eccessivi contrasti di luminanza, e inoltre ciascun individuo presenta un proprio personale tempo di reazione allo stimolo luminoso.

A tal proposito, sulla base di studi proposti da Weston, successivamente elaborati anche con considerazioni tecnico-economiche, la CIE, (1987), propose una serie di valori di illuminamento medio di esercizio E_m , per varie destinazioni ed attività. Per illuminamento medio di esercizio si intende il valore medio, sul piano da lavoro dell'ambiente considerato, riferito allo stato medio di invecchiamento e sporcamento dell'impianto di illuminazione. Salvo specifiche indicazioni, per piano da lavoro,

intendiamo una superficie posta a 0.80 m dal piano di calpestio, oppure a 0.20 m per zone di transito[4].

Il giusto livello di illuminamento [lux], per il periodo di svolgimento del compito visivo sulla *task area*, è quindi uno dei requisiti fondamentali per un agevole svolgimento di questo e per classificare l'ambiente come accettabile.

L'indagine avviene per mezzo di rilevamenti strumentali, dai quali, potrebbero desumersi fenomeni di sovrailluminamento sul piano con conseguenti controlli mirati di alcuni parametri specifici quali l'UGR (Unified Glare Index), l'Indice di resa del colore R_a, ecc...

In Tab.1, di seguito riportata, sono individuabili i livelli di illuminamento, della task area in relazione a quelli della zona immediatamente circostante, prescritti dalla norma.

Tab. 1 - Illuminamenti raccomandati sulla *task area* e nella zona immediatamente circostante, Fonte: UNI EN 12464:2011.

<i>Illuminamento del compito</i> [lx]	<i>Illuminamento delle zone immediatamente circostanti</i> [lx]
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E _{task}
100	E _{task}
≤ 50	E _{task}
Uniformità ≥0.7	Uniformità ≥0.5

Viene così introdotto uno dei parametri fondamentali per la valutazione dell'ambiente luminoso: il fattore di uniformità, definito dalla (1) come il rapporto tra l'illuminamento E minimo in ambiente e l'illuminamento E medio in ambiente, definito come segue:

$$F.U. = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}} \geq 0.7 \tag{1}$$

Per la realizzazione di corrette condizioni illuminotecniche, non è quindi sufficiente garantire adeguati livelli di illuminamento, ma è indispensabile prevedere anche una sua uniforme distribuzione. Secondo la norma UNI-EN-12464-1, è essenziale, inoltre, soddisfare le esigenze qualitative e quantitative come:

- il comfort visivo, definito come la sensazione di benessere percepita dagli occupanti, la quale contribuisce indirettamente anche a ottenere alti i livelli di produttività;
- la prestazione visiva, definita come la capacità, degli occupanti, di svolgere i loro compiti visivi anche in circostanze difficili e protratte nel tempo;
- la sicurezza degli occupanti.

In sintesi, secondo la norma, per soddisfare le esigenze prima descritte, i parametri da indagare nell'ambiente luminoso sono: la distribuzione delle luminanze, l'illuminamento, la presenza o meno di fenomeni di abbagliamento, la direzione della luce, la resa dei colori e il colore apparente della luce, presenza o meno di fenomeni stroboscopici (o sfarfallamento) e la luce diurna.

Riguardo l'illuminamento, è necessario precisare che solitamente in un locale il valore degli illuminamenti non è lo stesso in tutti i punti (varia da un minimo ad un massimo) e quindi, di norma, l'illuminamento al quale ci si riferisce è rappresentato da un valore *medio* (Illuminamento medio mantenuto, E_m), in corrispondenza di un piano orizzontale (o verticale) ad una certa altezza dal pavimento. In particolare gli illuminamenti, per i vari compiti visivi riguardano l'area sede del compito visivo e non tutto il locale o aree. La distribuzione delle luminanze nel campo visivo è uno dei fattori che influenza maggiormente il fenomeno della visione. La luminanza, infatti, misura la quantità di luce che gli apparecchi illuminanti e gli oggetti osservati (comprese le pareti, le finestre, ecc...) indirizzano verso l'occhio dell'osservatore.

Risulta quindi necessario ripartire correttamente le luminanze nel campo visivo del soggetto impegnato in un'attività, tenendo conto del fatto che questa non viene svolta esclusivamente in modo statico. Il soggetto, infatti, non guarda sempre nello stesso punto, il suo occhio si muove all'interno dell'ambiente e dirige la propria attenzione anche su campi visivi diversi.

Maggiore è la differenza di luminanza tra il compito visivo e le zone ad esso adiacenti, minori risulteranno le condizioni di benessere visivo per il soggetto. La presenza di eccessivi contrasti di luminanza, infatti, dà origine ad effetti di affaticamento della vista anche quando il soggetto non avverte consciamente l'esistenza di alcun elemento di disturbo.

Nel caso di sorgenti luminose indirette, per un completo controllo delle luminanze in ambiente è importante considerare, oltre al loro livello di illuminamento, il fattore di riflessione luminosa delle superfici che delimitano il campo visivo.

In riferimento alla qualità della luce diurna in ambiente, la norma UNI 10840:2007 prescrive i metodi e i valori di Daylight Factor¹ [%] da mantenere nell'intero ambiente e al fine di garantire un'adeguata uniformità di luce naturale. deve essere garantito il rapporto come dalla (2):

$$\frac{DF_{\min}}{DF_{\max}} \geq 0.16\% \quad (2)$$

dove: DF_{\min} valore puntuale di DF[%] minimo in ambiente e DF_{\max} valore puntuale di DF[%] massimo in ambiente [5].

Al fine di evitare fenomeni di abbagliamento connessi all'eccessivo contrasto di luminanza tra superfici vetrate e superfici opache, la norma ricorda che occorre verificare le dimensioni e la posizione delle superfici vetrate ed i fattori di riflessione delle pareti opache. Occorre inoltre prevedere sistemi regolabili per il controllo della luce naturale, quali tende, veneziane e schermi, per ridurre l'abbagliamento in presenza di grandi dimensioni della superficie vetrata ed in condizioni di elevata luminanza della volta celeste o delle superfici esterne visibili.

A questo punto della trattazione, è necessario considerare altre due norme che introducono ulteriori importanti aspetti, come la valutazione della condizione del soggetto in ambiente e la valutazione della ormai sostanziale influenza che l'illuminazione artificiale ha sul bilancio energetico dell'edificio: le norme UNI 15251:2008 e 15193:2008, le quali trattano, in senso lato, la valutazione ambientale introducendo parametri atti a coniugare una buona pratica di progettazione e gestione dell'edificio, da questo particolare punto di vista e, al contempo, a mantenere una condizione di comfort all'interno di questo [6,7].

A tal proposito la UNI 15251:2008 definisce:

- la modalità per definire gli input relativi all'ambiente interno per la valutazione dell'edificio (inteso come sistema) e per i calcoli della prestazione energetica;
- i metodi per la valutazione, a lungo termine dell'ambiente interno, ottenuta a partire dal calcolo o da misure;
- i criteri di misurazione che potrebbero essere utilizzati, se necessario, per valutare la conformità per mezzo di un'ispezione;
- i parametri da utilizzare ed esporre negli ambienti interni negli edifici esistenti;

¹ Il Daylight Factor [%] è definito come il rapporto tra l'illuminamento che si ha in un punto dell'ambiente per effetto dell'illuminazione globale ricevuta da un cielo di nota distribuzione di luminanza e l'illuminamento che, nello stesso istante, si avrebbe su di una superficie orizzontale esposta all'aperto e schermata dall'irraggiamento solare diretto.

- il modo in cui le diverse categorie di criteri relativi all'ambiente interno possono essere utilizzate (anche se non sono imposti i criteri da utilizzare).

La norma si applica essenzialmente agli edifici i cui criteri relativi all'ambiente interno sono definiti dall'occupazione, in cui l'attività produttiva o di processo non abbia un impatto sostanziale sull'ambiente interno. La norma è applicabile alle tipologie abitazioni, condomini, uffici, scuole, ospedali, alberghi e ristoranti, impianti sportivi, edifici ad uso commerciale all'ingrosso e al dettaglio.

Allo scopo di ottenere, allo stesso tempo, buoni livelli di comfort visivo interno e minore consumo energetico, consiglia, inoltre, l'integrazione tra luce naturale e luce artificiale, preferendo il largo uso di quella naturale.

Ciò dipende da numerosi fattori, quali: ore di occupazione dell'ambiente, autonomia (periodo di tempo in cui l'illuminazione naturale è sufficiente), Latitudine del sito, ecc...

La norma 15251, inoltre, allo scopo di "standardizzare" le valutazioni soggettive degli occupanti dell'ambiente interno, definisce anche i criteri di definizione dei questionari, i tempi di dell'indagine (mattina, pomeriggio, all'arrivo in ufficio, dopo la pausa pranzo) e la cadenza periodica di questa (mensile, settimanale, giornaliera). Tuttavia, relativamente alla classificazione e certificazione dell'edificio, come mostra la Tab. 2 di seguito riportata, i criteri utilizzati per la valutazione dell'ambiente interno tengono conto dell'illuminamento medio E_m e dell'UGR.

Tab. 2 – Fonte 15251:2008, annex I

Criteria of indoor environment	Category of the building	Design Criteria
Thermal conditions in winter	II	20-24°C
Thermal conditions in summer	III	22-27°C
Air quality indicator CO2	II	500 ppm above outdoor
Ventilation rate	II	1 l/sm ²
Lighting		$E_m > 500$ lx; UGR <19; $80 < R_a$
Acoustic environment		Indoor noise <35dB(A); Noise from outdoor <55 dB(A)

L'abbagliamento molesto è causato da una elevata e/o disuniforme luminanza, all'interno del campo visivo o da eccessivi contrasti di luminanza della sorgente abbagliante (finestra), sia con le pareti adiacenti, sia con il soffitto e il pavimento. Numerosi studi, inoltre, hanno dimostrato che esso dipende dalla posizione della sorgente abbagliante, dalle sue dimensioni e dalla porzione di cielo che attraverso essa viene vista.

La reazione soggettiva all'illuminazione dell'ambiente confinato è complessa. Inoltre, non è possibile misurare direttamente e in modo oggettivo la sensazione di fastidio che viene provata a lungo prima che si possa determinare un qualsiasi effetto, soprattutto in termini di prestazioni lavorative.

La ricerca sull'abbagliamento molesto o psicologico ha fornito come risultati diverse relazioni, attraverso le quali, generalmente, il grado di percezione del discomfort è espresso da un indice.

La maggior parte di tali relazioni sono state sviluppate per la valutazione del discomfort da abbagliamento dovuto a sorgenti artificiali di piccole dimensioni: VCP-Visual Comfort Probability, BGI-Building Research Station Glare Index, UGR-Unified Glare Rating.

Visto che queste relazioni sono state definite per sorgenti artificiali di piccole dimensioni, non possono essere utilizzate per la valutazione del discomfort da abbagliamento prodotto da luce naturale, fenomeno sostanzialmente differente. In secondo luogo, si è verificato che a parità del grado di abbagliamento molesto, la luminanza del cielo vista attraverso una finestra può essere maggiore della luminanza di una sorgente artificiale confrontabile in dimensioni. In altre parole, sembra possibile una maggiore tolleranza per le finestre con valori medi del livello di abbagliamento, rispetto alle sorgenti di luce artificiale.

Indici dinamici di performance: stato dell'arte

La valutazione delle condizioni illuminotecniche di un ambiente, in merito alla qualità e quantità di luce naturale avviene soprattutto attraverso l'indice di performance Daylight Factor, grazie anche ai comprovati benefici che la presenza di luce naturale apporta alla produttività lavorativa del soggetto.

In accordo con Hopkinson, Petherbridge e Longmore, i vantaggi come indicatore prestazionale dell'illuminazione naturale negli ambienti confinati sono:

- evidenziare l'efficienza di un ambiente e delle sue aperture verso l'esterno, come un sistema complessivo di illuminazione naturale.
 - tener conto degli illuminamenti relativi, piuttosto che quelli assoluti.
 - da tempo è impiegato nella ricerca e nella progettazione degli edifici. Esso è l'unica procedura raccomandata dalla CIE – Commission Internationale de l'Eclairage, per determinare le prestazioni relative all'illuminazione naturale negli edifici.
- Tuttavia, tale indicatore presenta diversi limiti tra cui:
- Non fornisce informazioni per condizioni reali, considera, infatti, la sola condizione di cielo Standard Overcast. Al contempo, però tale caratteristica può essere considerata a vantaggio di sicurezza, poiché sottostima la disponibilità degli illuminamenti interni.
 - Presenta difficoltà nel coordinare le misure esterne e quelle interne.
 - Non può essere utilizzato come indicatore dei livelli di illuminamento forniti da una combinazione di luce naturale ed artificiale.
 - Non fornisce informazioni riguardo l'abbagliamento da luce naturale.

L'indice VH Ratio, UDI e DA

Il contributo di alcuni ricercatori a questo particolare aspetto della valutazione degli ambienti confinati, ha permesso di considerare diversi approcci in risposta alle criticità che l'indicatore DF presenta e considerando, quindi differenti aspetti che influenzano l'ambiente luminoso e definendo ulteriori indici dinamici di valutazione come il **VH RATIO (Vertical-Horizontal illuminance Ratio)**, introdotto nel 1990 da due ricercatori, Love e Navaab.

Definito dagli stessi autori, nettamente superiore al Daylight Factor, è il rapporto degli illuminamenti su due superfici verticali ed orizzontali, passanti per un singolo punto nello spazio. Valutazioni comparative del VH Ratio e del Daylight Factor, attraverso misure fotometriche in spazi in scala reale con cinque tipi differenti di finestre, hanno dimostrato che il primo risulta essere più semplice da utilizzare e fornisce molte più informazioni, anche in condizioni di cielo "clear" e "partly cloudy", oltre che "Overcast".

Inoltre, relativamente alla qualità dell'illuminazione e della percezione umana, il VH Ratio si è dimostrato superiore al Daylight Factor poiché fornisce informazioni utili, anche in presenza di componente diretta della luce solare e con qualsiasi carico di nuvole. Ciò ha importanza per l'abbagliamento. Infatti, il discomfort causato da luce naturale può portare l'utente a ridurre o addirittura eliminare la luce solare,

comportando una riduzione dei vantaggi psicologici ed energetici. Inoltre il VH Ratio è funzione della direzionalità della luce, che lo rende un vero e proprio indicatore: dell'estensione dell'illuminazione, delle condizioni di abbagliamento e dei contrasti.

Esso è più semplice da utilizzare rispetto al Daylight Factor, dato che esso cattura molte caratteristiche della luce naturale in una sola e relativamente semplice: la misura di un luxmetro.

Attraverso opportune considerazioni riguardo l'abbagliamento, esso può essere applicato alla illuminazione artificiale ed a quella naturale, singolarmente o in combinazione.

L'indice di prestazione **UDI (Useful Daylight Illuminance)** nel 2004 viene presentato come sostitutivo dell'approccio convenzionale Daylight Factor [8].

L'UDI viene definito per supportare l'interpretazione delle analisi dei livelli di illuminamento da fonte naturale basata su dati climatici meteorologici orari del periodo di un anno.

Diversamente dal Daylight Factor (che considera condizioni di cielo standard), esso considera condizioni di sole e di cielo realistiche e variabili nel tempo e predefinisce, su base oraria, i valori assoluti di illuminamento da luce naturale.

A differenza del **Daylight Autonomy** (ulteriore indice dinamico), che misura quanto spesso (in percentuale) in un prefissato periodo, l'illuminamento dovuto alla sola luce naturale supera una soglia di illuminamento predefinita, l'UDI definisce quanto spesso, in un anno, l'illuminamento dovuto alla sola luce naturale si trova all'interno del range 100–2000 lux.

L'UDI ha come riferimento il range compreso tra 100 e 2.000 lx, in base a considerazioni e studi dei comportamenti degli utenti in condizioni di illuminazione naturale:

- I valori di illuminamento da luce naturale inferiori ai 100 lx sono da considerare insufficienti, sia nel caso di sola luce naturale, sia come contributo all'illuminazione artificiale;
- I valori di illuminamento da luce naturale compresi tra i 100 lx e i 500 lx sono da considerare efficaci, sia nel caso di sola luce naturale, sia come integrazione con la luce artificiale;
- I valori di illuminamento da luce naturale compresi tra i 500 lx e i 2.000 lx sono da considerare desiderabili o appena tollerabili;
- I valori di illuminamento superiori ai 2.000 lx possono provocare discomfort visivo o termico.

I valori dell'illuminamento, da luce naturale, variano nel piano di lavoro, sia nello spazio, sia nel tempo. Ad esempio, all'aumentare della distanza dalla finestra, essi diminuiscono rapidamente, oppure, in un punto fisso, essi variano nel tempo, al variare delle condizioni di cielo.

Quindi, la scelta di individuare l'illuminamento utile all'interno di un range risiede in alcune considerazioni principali:

- Se i valori scendono al di sotto della soglia minima, il contributo della luce naturale alla integrazione con la luce artificiale diventa nullo;
- Se i valori dell'illuminamento superano la soglia del massimo del range, aumenta la probabilità che si verifichino problemi di comfort visivo e/o termico.
- Gli illuminamenti che rientrano nel range sono quelli utili a svolgere tutte le attività nell'edificio oggetto di studio.

Interessanti i contributi scientifici che, ad oggi, si sono concentrati sulla valutazione dei fenomeni di abbagliamento da luce naturale attraverso la definizione di nuovi indici di valutazione oltre al **Daylight Glare Index (DGI)**² come:

- Lo **Stationary Virtual Reality (SVR)** è basato sull'uso di simulazioni al computer, al fine di offrire condizioni di test equivalenti ad un numero di soggetti. La messa a punto sperimentale dell'SVR consiste in proiezioni di slide e di immagini di situazioni simulate con il software Radiance. La proiezione stereo offre l'opportunità di creare impressioni realistiche, osservate da soggetti attraverso lenti di ingrandimento.

I risultati hanno dimostrato una buona corrispondenza rispetto all'abbagliamento ed alla luminosità percepita [9,10].

- Il **DGP – Daylight Glare Probability** è un indicatore che, come affermano gli stessi autori, è basato sulla probabilità che il soggetto provi la sensazione di fastidio da abbagliamento, anziché sulla misura o quantificazione del fenomeno. Tale probabilità è strettamente correlata all'illuminamento verticale in corrispondenza dell'occhio dell'osservatore. Inoltre, gli autori abbinano ai test per la definizione del DGP misure in campo con l'uso di una CCD (Charge Coupled Device) camera, al fine di determinare correlazioni tra i valori delle luminanze nel campo di vista e le sensazioni di discomfort dei soggetti esaminati [11].

- Il **Metodo di Valutazione del Comfort Visivo** è valido per definire il grado del discomfort da abbagliamento in condizioni di illuminazione

² Il Daylight Glare Index è definito come $DGI = \sum_{i=1}^n G_i$ in cui $G_i = 0.48 \frac{L_s^{1.6} \Omega^{0.8}}{L_b + 0.07 \omega^{0.5} L_b}$

dove: G_i è la costante di abbagliamento calcolata per ciascuna porzione di sorgente, primaria e secondaria, vista attraverso la finestra (cielo, ostruzioni, terreno), L_s è la luminanza della sorgente (primaria o secondaria) in cd m^{-2} ; Ω è l'angolo solido sotteso dalla sorgente (primaria o secondaria) corretto in relazione alla direzione di osservazione in steradiani (sr); L_b è la luminanza media delle superfici interne dell'ambiente, che rientrano nel campo visivo dell'occupante in cd m^{-2} ; ω è l'angolo solido totale sotteso dalla finestra in steradiani (sr); L_w è la luminanza media della finestra, ponderata rispetto alle aree relative di cielo, ostruzione e terreno in cd m^{-2} .

naturale riproducibili. Le valutazioni dell'abbagliamento sono fatte da soggetti in un modello in scala, posti di fronte ad un cielo artificiale. Il massimo valore di luminanza del cielo artificiale è approssimativamente 7.000 cd/m^2 .

Tale metodo fornisce, come risultato, un valore massimo accettabile per un certo grado di discomfort da abbagliamento per il cielo artificiale. Inoltre, può essere determinata la percentuale di soggetti che non accetta il discomfort da abbagliamento percepito per il lavoro quotidiano. Il metodo non può essere utilizzato per una valutazione assoluta del comfort visivo, ma permette di definire quale progettazione di illuminazione naturale risulta essere quella ottimale in termini di comfort visivo [12].

In una esaustiva valutazione delle condizioni illuminotecniche di un ambiente, è necessario considerare anche il fabbisogno energetico per mantenere i relativi livelli di comfort per l'occupante. A tale scopo, la norma UNI EN 15193:2008 orienta ad una migliore qualità degli impianti, sia per il risparmio energetico, sia per il comfort visivo. Tuttavia, la procedura proposta per la valutazione del contributo della luce naturale risulta estremamente semplificata in quanto, non sono considerate le caratteristiche ottiche delle superfici interne e delle ostruzioni esterne, ed anche la modellazione geometrica di tali ostruzioni risulta approssimativa. La norma introduce un indice di valutazione, il **LENI (Lighting Energy Numeric Indicator)**, per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici relativamente all'illuminazione.

L'utilizzo di luce naturale ha la grande potenzialità, secondo l'aspetto qui analizzato, di ridurre il consumo di energia elettrica dovuto all'illuminazione artificiale, ma certamente, non può sostituirla totalmente, basti pensare al caso in cui la luce naturale, durante il giorno, non risulti sufficiente allo svolgimento del *visual task* a causa di avverse condizioni climatiche o dell'ora. In ogni caso, un importante impiego di luce naturale influisce sulla riduzione del consumo energetico globale.

Il LENI è un parametro di efficienza energetica, che rappresenta il consumo energetico annuo per metro quadrato dovuto all'illuminazione, comprende anche le aliquote dovute al funzionamento delle apparecchiature di controllo, per l'illuminazione di emergenza e l'esercizio in standby. Dipende dalle potenze installate e dal tempo di funzionamento delle varie apparecchiature durante il periodo di osservazione, che può essere mensile o annuale in base alla procedura di calcolo adottata, ma tiene conto anche di vari altri fattori di riduzione quali la presenza di luce naturale, l'adozione di sistemi di controllo e di gestione e la manutenzione.

Secondo la procedura indicata in norma, è possibile ridurre i consumi, non soltanto attraverso il contributo della luce naturale, ma tenendo

anche conto di alcuni aspetti relativi all'utilizzo di sistemi di controllo automatico.

Il primo aspetto riguarda l'effettiva occupazione all'interno del locale in oggetto, prescindendo dall'impostazione oraria programmata e dipendente da due fattori: fattore di assenza relativo alla destinazione d'uso del locale e fattore del tipo di controllo di presenza. Quest'ultimo può essere un sistema con interruttore manuale on/ off, ovvero un sistema più efficiente, manuale on/ auto off.

Il secondo aspetto si riferisce, invece, alla presenza di un sistema di controllo ad illuminamento costante che influisce sul fattore di manutenzione. In presenza di un sistema di controllo ad illuminamento costante è possibile limitare il flusso luminoso a quello strettamente necessario al mantenimento degli illuminamenti richiesti, ottenendo un ulteriore risparmio energetico. Il LENI è calcolato secondo la (3) di seguito riportata:

$$LENI = \frac{W}{A} \quad (3)$$

dove:

W[kWh/anno]: energia complessiva consumata su base annua per l'illuminazione;

A[m²]: superficie totale di pavimento dell'edificio analizzato.

L'energia totale W, richiesta in un anno in ciascuna zona, viene calcolata mediante la relazione:

$$W = W_L + W_p \text{ [kWh/anno]}$$

dove:

W_L è l'energia consumata dagli apparecchi illuminanti;

W_p è l'energia parassita necessaria al circuito di messa in carica del sistema di illuminazione di emergenza e dal sistema di controllo dell'illuminazione in stand-by.

ANALISI CRITICA DELLE METOLOGIE BASATE SU SIMULAZIONI DINAMICHE E RILIEVI STRUMENTALI

Rilievo strumentale: i casi studio

Siti nel Parco d'Orleans di Palermo, gli edifici 16, 17 e 18 sono parte di un grande complesso edilizio di strutture simili, progettati da Vittorio Gregotti alla fine degli anni '60 e consegnati alla pubblica fruizione nel 1988 (Figg. 1-5).

Negli edifici 17 e 18, i blocchi dipartimentali si sviluppano su due livelli, più un piano seminterrato, e sono costituiti da due corpi di fabbrica interconnessi, nel quale sono collocate le aule ed i laboratori che ospitano le attività di ricerca. La connessione interna è affidata a grandi gallerie centrali a tutta altezza in cui l'illuminazione è assicurata da grandi lucernai. I corpi di fabbrica centrali sono delimitati da due lunghe strutture murarie che si sviluppano su tre piani, più un piano seminterrato aventi facciate in pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato, che ospitano i percorsi di connessione orizzontale e verticale.

L'intero complesso è disposto longitudinalmente in direzione Nord-Est Sud-Ovest. Gli accessi sul lato Nord-Ovest degli edifici si affacciano su piazzette pedonali consecutive lastricate in piastre di cemento chiaro, mentre gli ingressi secondari, sul lato Sud-Est prospettano sull'ampia area di parcheggio asservita (Figg. 6-9)

Il progetto si basa su una struttura reticolare formata da elementi in c.a. prefabbricato in cui gli elementi verticali e orizzontali risultano accoppiati alle strutture murarie.

Questa tecnica costruttiva pur presentando il vantaggio del rapido assemblamento delle parti, facilità di inserimento dei vari impianti tecnologici ed alta modularità dei pannelli divisorii dei vari ambienti,

costituisce un involucro poco performante a causa dei numerosi ponti termici.

L'edificio 17, sede del Dipartimento di Chimica Inorganica e Analitica "Stanislao Cannizzaro", occupa un'area di circa 5700 mq, l'edificio 18, sede del Dipartimento di Fisica e Tecnologie Relative (DI.F.TE.R.), occupa un'area di circa 5200 mq, inoltre a questo dipartimento è collegato un ulteriore padiglione, sede dell'officina meccanica della facoltà di Agraria, che occupa un'area di circa 750 mq.



Fig. 1 - Edificio 16 di Parco D'Orleans, Dipartimento di Biologia Cellulare e dello Sviluppo "Alberto Monroy"



Fig. 2 - Cortile interno



Fig. 3 - Prospetto Nord-Est



Fig. 4 - Prospetto Sud-Est



Fig. 5 - Prospetto Sud-Ovest

Edificio 17 di Parco D'Orleans, Dipartimento di Chimica Inorganica e Analitica "Stanislao Cannizzaro"



Fig. 6 - Prospetto Nord-Ovest



Fig. 7 - Cortile interno



Fig. 8 - Prospetto Nord-Est



Fig. 9 - Lucernario interno

Gli ambienti campione, scelti all'interno dell'edificio 17, si trovano all'interno del Dipartimento di Chimica, le zone termiche esaminate, differenti per dimensioni, destinazione d'uso ed esposizione, sono: Aula anfiteatro C (Michele Ruccia), Laboratorio N°114, Studio N°106, Laboratorio N°119.

Il rilievo illuminotecnico degli ambienti campione

I principali parametri rilevati e controllati durante la campagna sperimentale sono stati: la distribuzione delle luminanze, i livelli di illuminamento, eventuali fenomeni di abbagliamento, la direzione della luce, il colore apparente della luce, eventuale presenza di effetti stroboscopici o sfarfallamento e quantità/qualità della luce diurna presente.

I punti P_x si riferiscono ai piani di lavoro, i punti M_x si riferiscono alle pareti, mentre i punti F_x e W_x si riferiscono rispettivamente ai pavimenti ed alle finestre.

Il rilievo è stato effettuato in più momenti della giornata per raccogliere un significativo numero di informazioni durante l'orario lavorativo all'interno degli ambienti.

Gli ambienti campione: Aula anfiteatro C

L'ambiente di studio (16.5 m x 13.7 m, H 3.65 m – 4.94 m) è collocato su due livelli tra il piano terra ed il piano interrato del Dipartimento di chimica è il più grande tra quelli presi in esame in questo edificio.

Il locale è adiacente su due lati ad ambienti con la medesima destinazione d'uso, ma con dimensioni geometriche inferiori. La parete Sud-Ovest è adiacente ad un piccolo corridoio interno che fa da intercapedine con il muro controterra in conglomerato cementizio armato.

L'accesso al locale è garantito da due porte dalle dimensioni di 1.20 m x 2.10 m, le quali restano aperte dalle ore 7:00 alle ore 17:00.

Il pavimento è, per la zona di ingresso, in linoleum nero, mentre il resto dell'aula è pavimentato con linoleum grigio chiaro. Le pareti divisorie ed il tetto sono di colore bianco.

L'illuminazione naturale è assicurata da un lucernaio collocato al centro dell'aula orientato Nord-Ovest Sud-Est, avente dimensioni di 16.5m x 0.96 m, munito di serramento in alluminio e singoli vetri chiari di 6.00 mm di spessore.

L'illuminazione artificiale è a soffitto, ed è fornita da apparecchi sospesi dotati di una coppia di lampade fluorescenti da 54 W cadauna, per una potenza installata pari a 13 W/mq.

In questo ambiente è stato eseguito il rilievo dei parametri microclimatici per la durata di 24 ore a partire dalle ore 10:00 del 25 Maggio 2009 fino alle ore 10:00 del 26 maggio. Durante il monitoraggio l'impianto di condizionamento era spento e l'illuminazione artificiale era in funzione al 50% dalle ore 8:00 alle 14:00. Durante lo svolgimento delle lezioni una delle due porte d'ingresso è rimasta aperta, mentre l'occupazione è variata da 30 a 50 persone (Tab. 3, Figg. 10, 11).



Fig. 10 - Edificio 17, Aula anfiteatro C

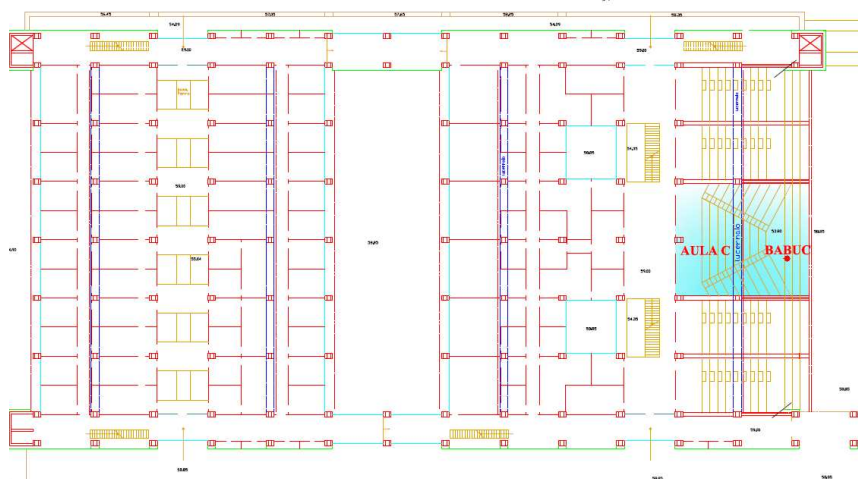


Fig. 11 - Edificio 17, collocazione in pianta dell'aula Anfiteatro C

Tab. 3 – Scheda di sintesi del rilievo

DESCRIZIONE DEL SITO DI MISURA									
DESTINAZIONE D'USO		aula C anfiteatro chimica (Michele Ruccia)							
COLLOCAZIONE		compreso tra piano interrato e piano terra							
DIMENSIONI		16,5 m x 13,7 m							
ALTEZZA		3,65 m							
DIM. E ORIENT. FINESTRE		Lucernaio orientato nord-ovest sud-est di 16,5x0,96 m							
ILLUMINAZIONE ARTIF.		Lampade (neon) spente							
TENDA		Aperta							
PORTA INGRESSO		Chiusa							
Illuminamento medio d'esercizio (UNI EN 12464-1)		500 (lux)							
DATI RILEVATI									
POSIZ.	PUNTI	LUMINANZA (Cd/m ²)		POSIZ.	PUNTI	ILLUMINAMENTO (Lux)			
		ORARIO	11.15			13.15	ORARIO	11.15	13.15
		DATA	27/05/2009			26/05/2009	DATA	27/05/2009	26/05/2009
Pavimento	F1	6	8	Piano lavoro	P1	60	150		
	F2	21	22		P2	260	434		
Parete	M1	16	23		P3	56	160		
	M2	55	80		P4	21	56		
	M3	12	26		P5	57	200		
	M4	7	9		P6	280	560		
	M5	13	26		P7	60	156		
	M6	56	96		P8	270	500		
	M7	16	27		P9	130	280		
	M8	19	40		P10	69	234		
					P11	63	185		

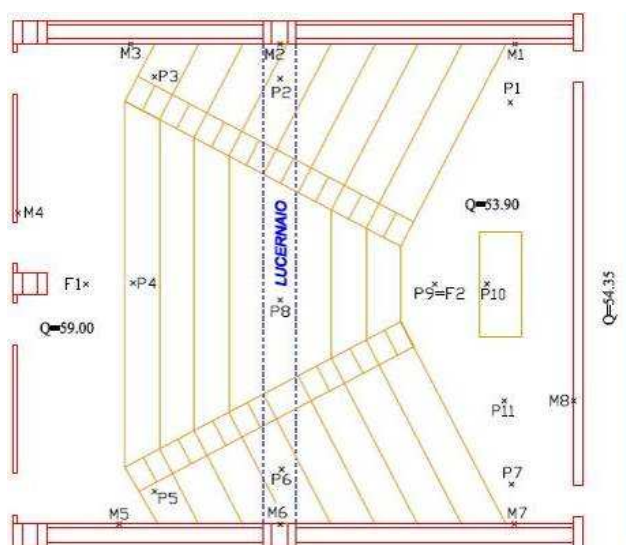


Fig. 12 - Aula anfiteatro C, individuazione dei punti esaminati

Gli ambienti campione: Laboratorio N°114

L'ambiente campione (8.00 m x 3.90 m, H 3.65 m) è collocato al primo piano del dipartimento di chimica, è adiacente ad un ambiente con le stesse caratteristiche geometriche e stessa destinazione d'uso, sui lati Nord-Est e Sud-Ovest è adiacente alle aree di circolazione interne a cui si accede attraverso due porte delle dimensioni di 0.9 m x 2.10 m che restano aperte per l'intero orario lavorativo.

Il laboratorio ha le pareti interne di colore grigio chiaro, il pavimento è ricoperto da linoleum nero, ed il soffitto è di colore bianco. Le pareti divisorie, in cartongesso coibentato, presentano, ad un'altezza di 2.10 m, delle vetrate di H 0.9 m che si estendono per tutto il perimetro, con serramento in alluminio e vetri chiari singoli di 3 mm di spessore.

La parete esterna, orientata a Nord-Ovest, è prospiciente uno dei due chiostri interni dell'edificio e presenta una vetrata delle (6,40 m x 3,65 m) con serramento in alluminio e vetri singoli chiari di 6 mm di spessore, non è presente alcun tipo di schermatura. L'illuminazione artificiale è a soffitto, ed è fornita da apparecchi sospesi dotati di una coppia di lampade fluorescenti di 54 W ciascuna, per una potenza installata pari a 13.2 W/mq. In questo ambiente è stato eseguito il rilievo dei parametri microclimatici per la durata di 22 ore a partire dalle ore 10:30 del 26 Maggio 2009 fino alle ore 8:30 del 27 maggio.

Durante il monitoraggio l'impianto di condizionamento e l'illuminazione artificiale sono stati spenti. Durante l'orario lavorativo (8:00-17:00), le

due porte d'ingresso sono rimaste aperte, l'occupazione è variata da 1 a 4 persone (Tab. 4, Figg. 13, 14).



Fig. 13 - Edificio 17, Laboratorio n°114

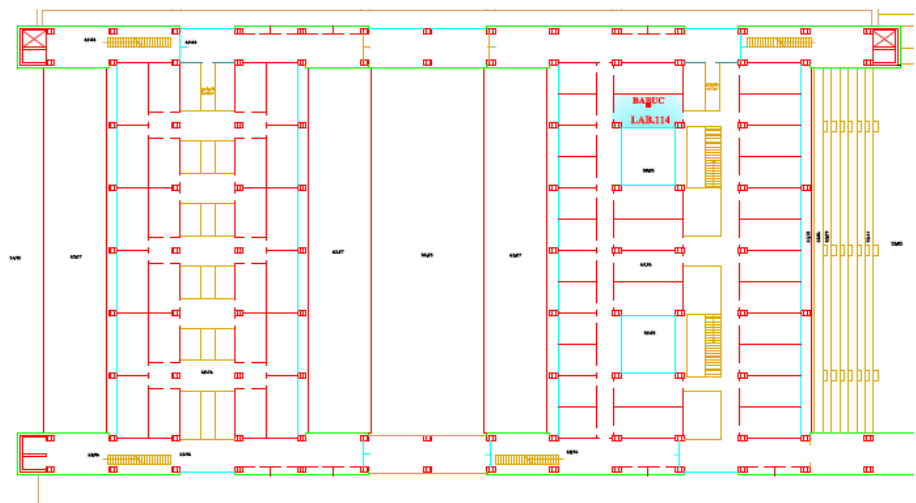


Fig.14 - Edificio 17, collocazione in pianta del Laboratorio n. 114

Tab. 4 – scheda di sintesi del rilievo

DESCRIZIONE DEL SITO DI MISURA									
DESTINAZIONE D'USO		laboratorio N°114 chimica							
COLLOCAZIONE		primo piano							
DIMENSIONI		8,00 x 3,90 m							
ALTEZZA		3,65 m							
DIM. E ORIENT. FINESTRE		Vetrata a Nord-Ovest di m 6,20 x 3,65 su pozzo luce							
ILLUMINAZIONE ARTIF.		Lampade (neon) spente							
TENDA		assente							
PORTA INGRESSO		Chiusa							
Illuminamento medio d'esercizio (UNI EN 12464-1)		500 (lux)							
DATI RILEVATI									
POSIZ.	PUNTI		LUMINANZA (Cd/m ²)		POSIZ.	PUNTI		ILLUMINAMENTO (Lux)	
	ORARIO	DATA	11.00	14.00		ORARIO	DATA	11.00	14.00
Pavimento	F1	27/05/2009	15	14	Piano lavoro	P1	27/05/2009	950	470
	F2	26/05/2009	22	24		P2	1600	1700	
	F3		8	13		P3	900	380	
Parete	M1		47	33		P4	770	380	
	M2		93	56					
	M3		35	43					

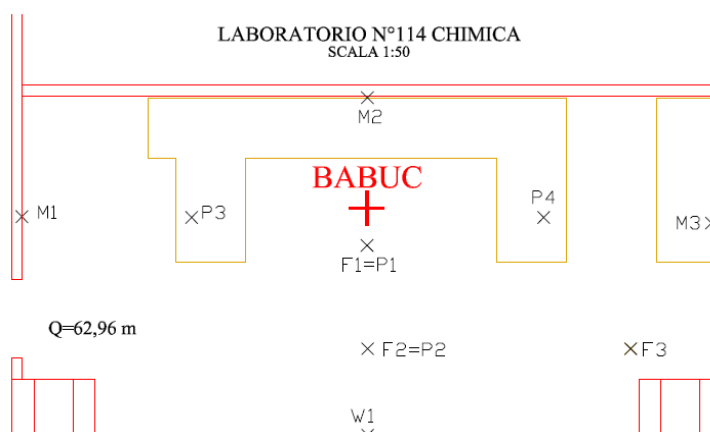


Fig. 15 - Laboratorio n°114, individuazione dei punti esaminati

Gli ambienti campione: Studio N°106

Questo ambiente (3.50 m x 4.40 m, H 3.65 m) è collocato al piano terra del Dipartimento di Chimica, è adiacente sui lati Sud-Est e Nord-Ovest ad ambienti con medesime caratteristiche geometriche e destinazione d'uso, sul lato Sud-Ovest è adiacente ad un'area di circolazione interna a cui si accede attraverso una porta delle dimensioni di 0.9 m x 2.10 m. Lo studio ha le pareti interne di colore grigio chiaro, il pavimento è ricoperto da linoleum nero, ed il soffitto è di colore bianco. Le pareti divisorie, in cartongesso coibentato, presentano, ad un'altezza di 2.10 m, le vetrate di H 0.9 m si estendono per tutto il perimetro con serramento in alluminio e vetri singoli chiari di 3 mm di spessore. La parete esterna, con orientamento Nord-Est, guarda l'edificio 16 e presenta una vetrata, con porta-finestra, delle dimensioni di 3.20 m x 2.85 m con serramento in alluminio, vetri singoli chiari di 6.00 mm di spessore e veneziane verticali interne di colore bianco.

L'illuminazione artificiale è a soffitto ed è fornita da apparecchi sospesi dotati di una coppia di lampade fluorescenti di 54 W ciascuna, per una potenza installata pari a 11 W/mq.

In questo ambiente, è stato eseguito il rilievo dei parametri microclimatici per la durata di quasi 24 ore a partire dalle ore 10:50 del 27 maggio 2009 fino alle ore 10:30 del 28 maggio.

Durante il monitoraggio l'impianto di condizionamento e l'illuminazione artificiale erano spenti, mentre le veneziane erano aperte per metà. Durante gli orari lavorativi (8:00-17:00) l'occupazione è variata da 1 a 3 persone (Tab. 5, Figg. 16 – 18).



Fig. 16 - Edificio 17, Studio n°106

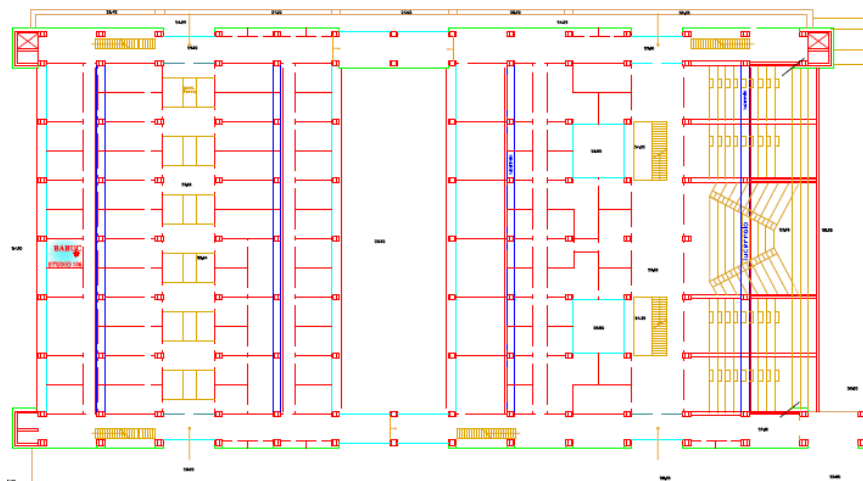


Fig. 17 - Edificio 17, Collocazione in pianta dello Studio n°106

Tab. 5 – scheda di sintesi del rilievo

DESCRIZIONE DEL SITO DI MISURA							
DESTINAZIONE D'USO		studio N°106 chimica					
COLLOCAZIONE		piano terra					
DIMENSIONI		3,50 m x 4,40 m					
ALTEZZA		3,65 m					
DIM. E ORIENT. FINESTRE		m 3,20 x 3,65 con telaio in ferro esposta a Nord-Est					
ILLUMINAZIONE ARTIFI.		Lampade (neon) spente					
TENDA		Aperta					
PORTA INGRESSO		Chiusa					
Illuminamento medio d'esercizio (UNI EN 12464-1)						500 (lux)	
DATI RILEVATI							
POSIZ.	PUNTI		LUMINANZA (Cd/m ²)	POSIZ.	PUNTI		ILLUMINAMENTO (Lux)
	ORARIO	DATA			ORARIO	DATA	
Pavimento	F1	17	Piano lavoro	P1	700		
	F2	16		P2	480		
	M1	90		P3	300		
Parete	M2	108					
	M3	90					
	W1	1500					

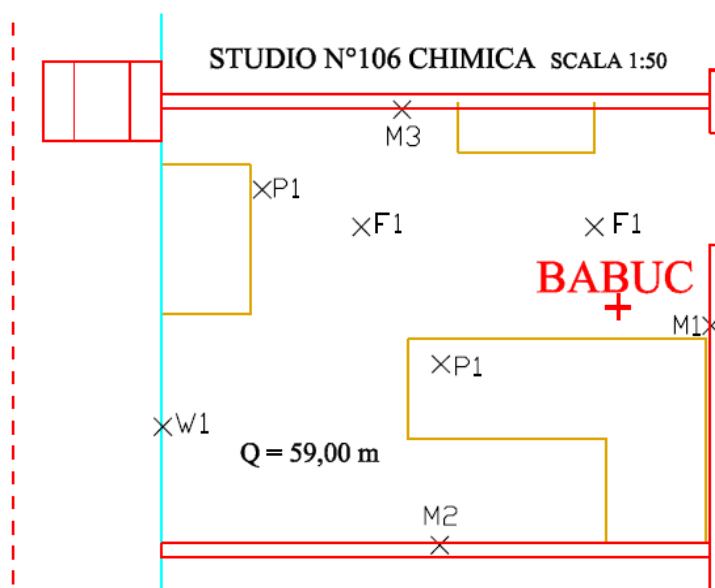


Fig. 18 - Studio n°106, collocazione in pianta dei punti analizzati

Gli ambienti campione: Laboratorio N°119

Questo ambiente (8.00 m x 3.50 m, H 3.65 m) è collocato al piano terra del Dipartimento di Chimica, è adiacente sul lato Sud-Est e Nord-Ovest ad ambienti con le stesse caratteristiche geometriche e destinazione d'uso, sui lati Nord-Est e Sud-Ovest alle aree di circolazione interne a cui si accede attraverso due porte delle dimensioni di 0.9 m x 2.10 m, le quali restano aperte per l'intero orario lavorativo.

Il laboratorio ha le pareti interne di colore grigio chiaro, il pavimento è ricoperto da linoleum nero, ed il soffitto è di colore bianco. Le pareti divisorie, in cartongesso coibentato, presentano, ad un'altezza di 2.10 m, vetrate di H 0.9 che si estendono per tutto il perimetro con serramento in alluminio e vetri singoli chiari di 3 mm di spessore.

L'illuminazione naturale è assicurata da un lucernaio con orientamento Nord-Ovest Sud-Est, con le dimensioni di 3.5 m x 0.96 m e munito di serramento in alluminio e vetri singoli chiari di 6 mm di spessore. L'illuminazione artificiale è a soffitto, ed è fornita da apparecchi sospesi dotati di una coppia di lampade fluorescenti di 54 W cadauna, per una potenza installata pari a 13.2 W/mq (Figg. 19-21, Tab. 5).



Fig. 19 - Edificio 17, Laboratorio n°119

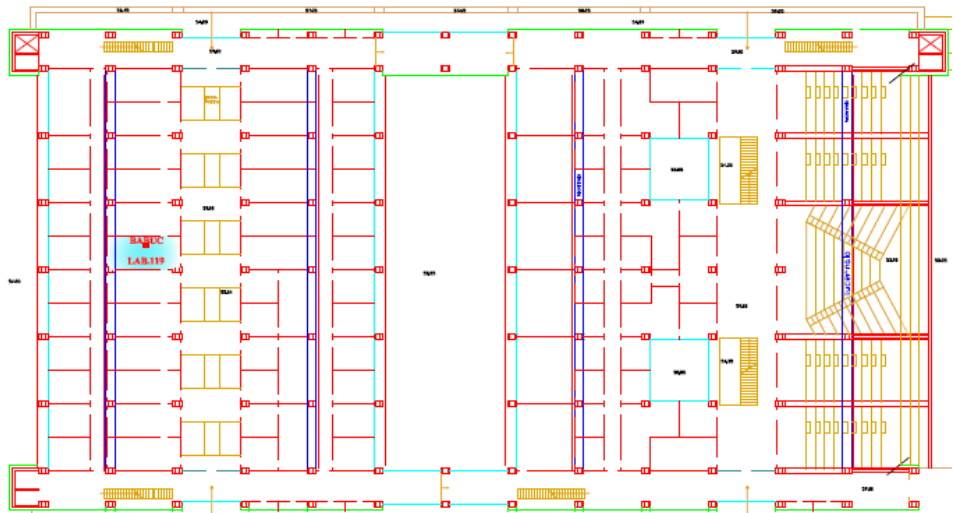


Fig. 20 - Edificio 17, collocazione in pianta del Laboratorio n°119

Tab. 6 - Scheda di sintesi del rilievo

DESCRIZIONE DEL SITO DI MISURA									
DESTINAZIONE D'USO		laboratorio N°119 chimica							
COLLOCAZIONE		piano terra							
DIMENSIONI		8,00 m x 3,50 m							
ALTEZZA		3,65 m							
DIM. E ORIENT. FINESTRE		Lucernaio orientato nord-ovest sud-est di 3,10 x 0,96 m							
ILLUMINAZIONE ARTIFI.		Lampade (neon) spente							
TENDA		Aperta							
PORTA INGRESSO		Chiusa							
Illuminamento medio d'esercizio (UNI EN 12464-1) 500 - 700 (lux)									
DATI RILEVATI									
POSIZ.	PUNTI		LUMINANZA (Cd/m ²)		POSIZ.	PUNTI		ILLUMINAMENTO (Lux)	
	ORARIO	11.40				ORARIO	11.30		
	DATA	03/06/2009				DATA	03/06/2009		
Pavimento	F1	6			Piano lavoro	P1	180		
	F2	20				P2	18		
	M1	17				P3	68		
Muro	M2	50							
	M3	14							

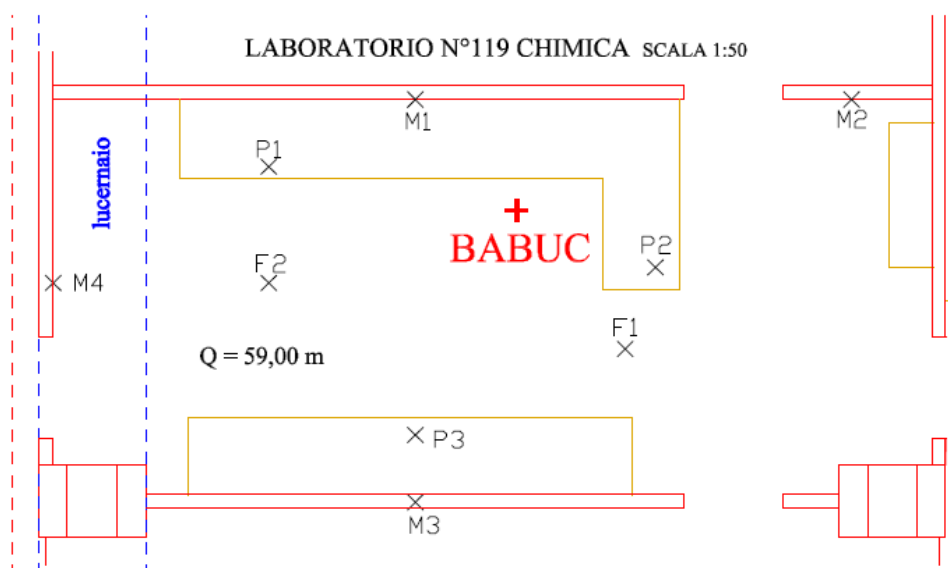


Fig. 21 - Laboratorio n°119, collocazione in pianta dei punti di misura

Edificio 18 di Parco D'Orleans, Dipartimento di Dipartimento di Fisica e tecnologie relative



Fig. 22 - Prospetto Sud-Est



Fig. 23 - Prospetto Sud-Ovest



Fig. 24 - Vista del lucernario



Fig. 25 - Prospetto Nord-Ovest

Sede del Dipartimento di Chimica e tre ambienti nell'edificio 18, sede del dipartimento di fisica.

Per l'edificio 18 le zone termiche esaminate sono: Studio N°130, Studio N°203, Laboratorio P17.

Gli ambienti campione: Studio N°130

Questo ambiente è collocato al primo piano del Dipartimento di Fisica ed è composto da due moduli da 3.50 m x 3.50 m collegati da un'apertura di 1.40 m x 2.20 m, l'altezza del soffitto è di 3.65 m.

Il locale è adiacente sui lati Sud-Est e Nord-Ovest ad ambienti con le stesse caratteristiche geometriche e destinazione d'uso, sul lato Nord-Est è adiacente alla zona di circolazione interna a cui si accede attraverso una porta delle dimensioni di 0.9 m x 2.10 m. Lo studio ha le pareti interne di colore grigio chiaro, il pavimento è ricoperto da linoleum nero, ed il soffitto è di colore bianco. Le pareti divisorie, in cartongesso coibentato, sono alte 2.10 m. L'accesso della luce naturale è garantita da vetrate di 0.9 m di altezza, che si estendono per tutto il perimetro, con serramento in alluminio, vetri singoli chiari di 3 mm di spessore. La parete esterna, orientata a Nord-Est presenta, ad un'altezza di 0.9 m,

un'apertura di dimensioni 3.20 m x 1.85 m con serramento in alluminio, vetri singoli chiari di 6 mm di spessore e veneziane verticali interne di colore bianco.

L'illuminazione artificiale, a soffitto, è fornita da apparecchi sospesi dotati di una coppia di lampade fluorescenti di 54 W cadauna, per una potenza installata pari a 11 W/mq.

In questo ambiente è stato eseguito il rilievo dei parametri microclimatici per la durata di 118 ore a partire dalle ore 11:40 del 29 Maggio 2009 fino alle ore 9:30 del 3 giugno. Durante il monitoraggio l'impianto d'illuminazione era spento, la veneziana aperta ed il locale era chiuso e non occupato.



Fig. 26 - Edificio 18, Studio n°130

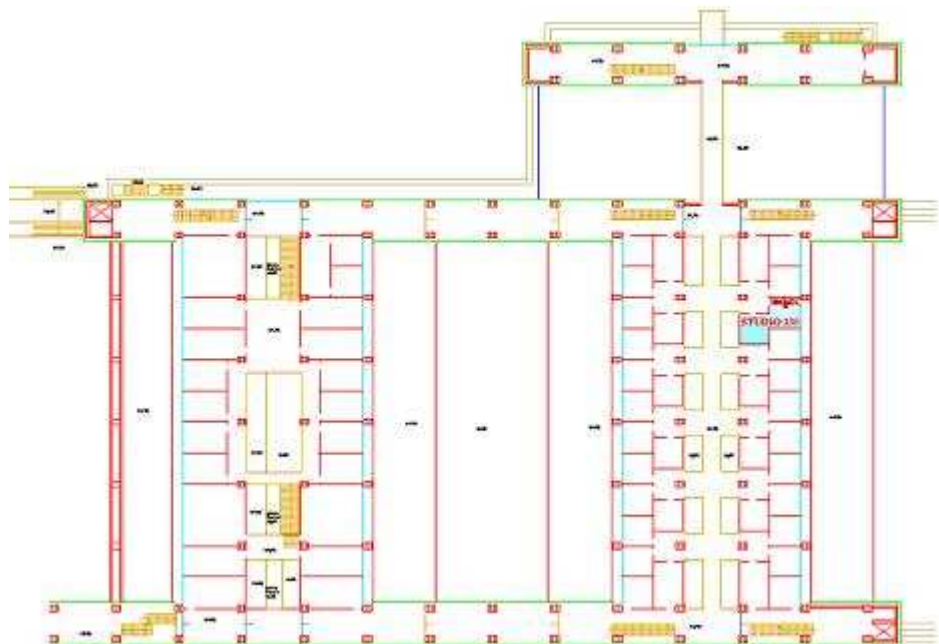


Fig. 27 - Edificio 18, collocazione in pianta dello Studio n°130

Gli ambienti campione: Studio N°203

Questo ambiente (3.20 m x 3.00 m, H 3.65 m) è collocato al secondo piano di uno dei due blocchi laterali che delimitano il Dipartimento di Fisica. È adiacente sui lati Nord-Est e Sud-Ovest ad ambienti con le stesse caratteristiche geometriche e destinazione d'uso, sul lato Sud-Est ad un'area di circolazione interna a cui si accede attraverso una porta delle dimensioni di 0.9 m x 2.10 m.

Lo studio ha le pareti interne di colore grigio chiaro, il pavimento è ricoperto da linoleum nero, ed il soffitto è di colore bianco. La parete esterna, orientata a Nord-Ovest, prospetta sul cortile interno e presenta, ad un'altezza di 1.6 m, cinque aperture delle dimensioni di 0.35 m x 0.35 m, con serramento in alluminio, vetri singoli chiari di 3.00 mm di spessore.

L'illuminazione artificiale, a soffitto, è fornita da apparecchi sospesi dotati di una coppia di lampade fluorescenti di 54 W cadauna, per una potenza installata pari a 11 W/mq.

In questo ambiente è stato eseguito il rilievo dei parametri microclimatici per la durata di 25 ore a partire dalle ore 9:50 del 3 giugno 2009 fino alle ore 10:50 del 4 giugno. Durante il monitoraggio l'impianto d'illuminazione artificiale era spento ed il locale era chiuso e non occupato.



Fig. 28 - Edificio 18, Studio n°203

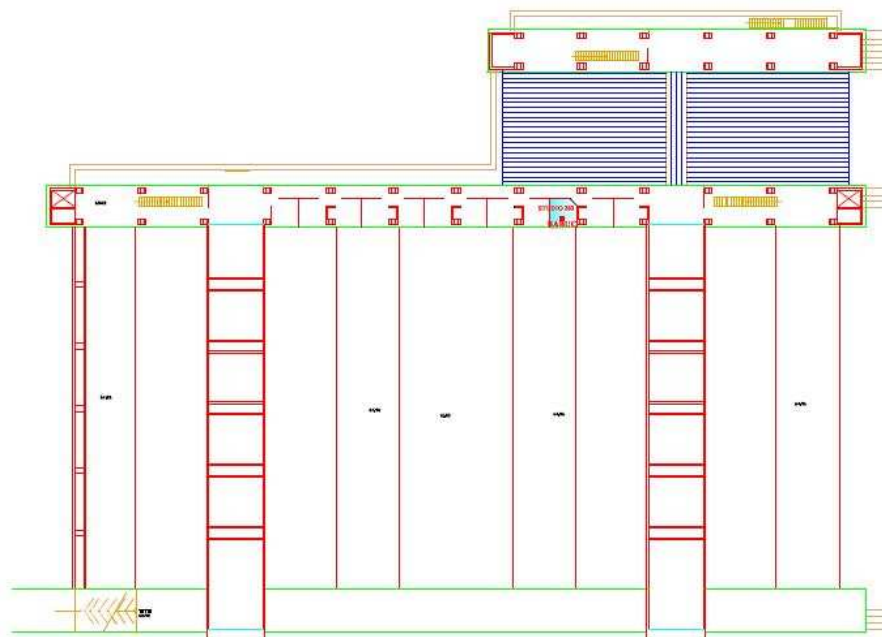


Fig. 29 - Edificio 18, collocazione in pianta dello Studio n°203

Tab.7 - Scheda di sintesi del rilievo

DESCRIZIONE DEL SITO DI MISURA							
DESTINAZIONE D'USO		Studio N°203 fisica					
COLLOCAZIONE		secondo piano					
DIMENSIONI		3,20 x 3,00 m					
ALTEZZA		3,65 m					
DIM. E ORIENT. FINESTRE		cinque aperture di 0,30x0,30 m poste ad 1,80m da terra con esposizione Nord-Ovest					
ILLUMINAZIONE ARTIFI.		Lampade (neon) spente					
TENDA		assente					
PORTA INGRESSO		Chiusa					
Illuminamento medio d'esercizio (UNI EN 12464-1) 500 (lux)							
DATI RILEVATI							
POSIZ.	PUNTI		LUMINANZA (Cd/m ²)	POSIZ.	PUNTI		ILLUMINAMENTO (Lux)
	ORARIO	DATA			ORARIO	DATA	
	10.15	04/06709			11.30	03/06/2009	
Pavimento	F1	5		Piano lavoro	P1	150	
Muro	M1	55			P2	140	
	M2	65					

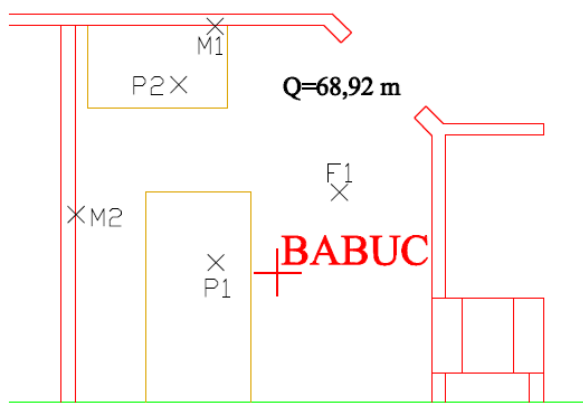


Fig. 30 - Studio n°203, collocazione in pianta dei punti analizzati

Gli ambienti campione: Laboratorio P17

L'ambiente di studio (7.10 m x 7.10 m, H 3.65 m) è collocato al piano interrato del Dipartimento di Fisica, è adiacente sul lato Sud-Est e Nord-Ovest ad ambienti con le stesse caratteristiche geometriche e destinazioni d'uso. Sul lato Nord-Est e Sud-Ovest è adiacente all'area di circolazione interna, alla quale si accede attraverso una porta delle dimensioni di 0.9 m x 2.10 m. Sul lato Sud-Ovest è presente una grande vetrata che divide il locale da un piccolo corridoio interno che fa da intercapedine con il muro controterra in conglomerato cementizio armato. Il laboratorio ha le pareti interne di colore grigio chiaro, il pavimento è ricoperto da linoleum nero, ed il soffitto è di colore bianco. Le pareti divisorie, in cartongesso coibentato sono alte 2.10 m, e vetrate di 0.90 m di altezza che si estendono per tutto il perimetro con serramento in alluminio e vetri singoli chiari di 3.00 mm di spessore.

L'illuminazione naturale è assicurata da un lucernaio orientato Nord-Ovest Sud-Est, di dimensioni 7.10 m x 0.96 m munito di serramento in alluminio e vetri singoli chiari di 6 mm di spessore. L'illuminazione artificiale, a soffitto, è fornita da apparecchi sospesi dotati di una coppia di lampade fluorescenti di 54 W cadauna, per una potenza installata pari a 13 W/mq.

In questo ambiente è stato eseguito il rilievo dei parametri microclimatici per la durata di 22 ore a partire dalle ore 11:00 del 4 Giugno 2009 fino alle ore 9:00 del 5 maggio. Durante il monitoraggio l'impianto d'illuminazione artificiale era spento ed il locale era chiuso e non occupato (Figg. 31-33).



Fig. 31 - Edificio 18, Laboratorio P17

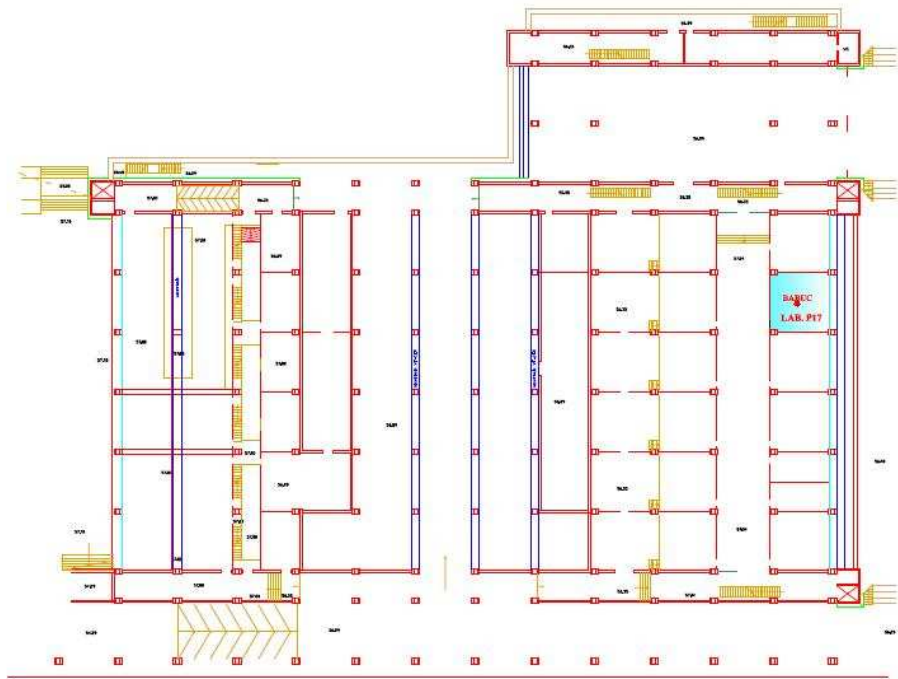
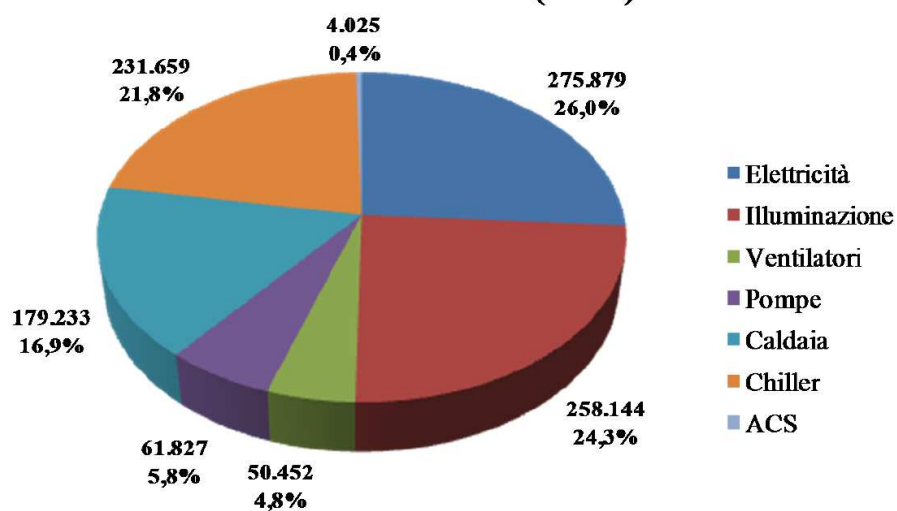


Fig. 32 - Edificio 18, collocazione in pianta del Laboratorio P17

Consumi energia elettrica di ogni componente Edificio 17 (kWh)



Consumi energia elettrica di ogni componente Edificio 18 (kWh)

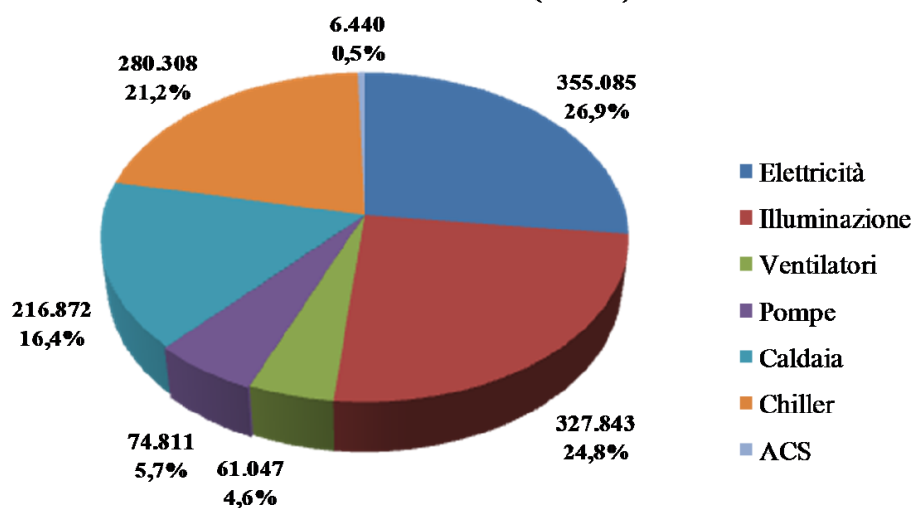


Fig. 33 - Edifici 17 e 18, consumi elettrici per ogni componente

Sulle Indagini in campo e sulle simulazioni di ambienti

Uno dei metodi più diffusi nell'analisi di un edificio, è quello di creare un modello digitale simile degli edifici in esame al fine di poterne determinare le prestazioni energetiche nella loro configurazione architettonica attuale utilizzando i dati climatici (in genere dati medi rappresentativi) relativi alla località.

Il comportamento energetico, nei casi di studio proposti, è stato studiato utilizzando il programma di modellazione Designbuilder, che impiega come motore di simulazione energetica Energyplus. Attraverso le simulazioni dinamiche, si può quindi valutare preventivamente e quantitativamente gli effetti energetici delle scelte architettoniche che si possono mettere in opera per migliorare la prestazione energetica della struttura. Il modello digitale creato, deve essere tarato sui reali dati prestazionali della struttura, quindi, a tale scopo è stata svolta un'accurata indagine sperimentale in campo al fine di rilevare gli andamenti temporali delle principali variabili microclimatiche che principalmente influenzano le condizioni ambientali e i consumi energetici. I dati, raccolti in diversi ambienti rappresentativi delle strutture, sono utili per il confronto con i risultati delle simulazioni effettuate dal software che potrà essere così calibrato su parametri reali e sarà in grado, in seguito, di poter restituire risultati realistici per i vari edifici.

La scelta degli ambienti più rappresentativi degli edifici è stata effettuata considerando la destinazione d'uso, l'orientamento, l'esposizione, l'occupazione e le aperture. Questo tipo di approccio tradizionale, nella valutazione delle condizioni illuminotecniche degli ambienti presenta delle limitazioni:

- nei rilievi è possibile la valutazione dell'illuminazione naturale solamente di tipo qualitativo e indirizzata principalmente a fenomeni in grado di creare abbagliamento;
- in alcuni particolari ambienti, come l'ambiente laboratorio, si sono riscontrati valori di illuminamento molto elevati su postazioni in cui si svogono compiti visivi di altissima precisione, ma la tipologia di luce è dovuta a lucernari (non oscurabili dall'utente) posti al di sopra del piano da lavoro, essendo quindi adeguata la quantità di luce, essa stessa non risulta delle giuste natura e direzionalità (ad esempio per lo svolgimento di compito visivo: analisi di vetrini);
- per il rilievo, in una indagine *multi-point*, il numero dei punti è stato sempre limitato da fattori esterni come l'utilizzo dell'ambiente o la peculiarità del compito visivo in esso svolto, o l'interferenza con il normale svolgimento delle funzioni lavorative in ambiente.

ANALISI CRITICA DELLE METODOLOGIE DI INDAGINE DEGLI AMBIENTI CONFINATI BASATE SUL RILEVAMENTO DELLE VALUTAZIONI SOGGETTIVE

Sulla valutazione soggettiva degli ambienti confinati

Fin dagli anni '80 sono stati sviluppati molteplici questionari per l'analisi degli ambienti interni. Tra i questionari fino ad oggi realizzati si possono individuare diversi temi di ricerca:

- Comfort termico e correlazione fra le temperature di comfort e quelle interne/esterne, influenza del controllo delle temperature sulle prestazioni dei lavoratori;
- Qualità dell'aria, qualità acustica e illuminotecnica;
- Sick Building Syndrom (SBS).

I questionari si differenziano a seconda degli obiettivi prefissati.

Nel 2000, studi riguardanti la produttività in ambiente lavorativo si concentrano sull'utilizzo di luce naturale in questi [6]. Risulta evidente come il maggiore utilizzo di luce naturale, all'interno degli ambienti lavorativi, favorisca il benessere psico-fisico del soggetto che usualmente occupa la propria postazione per diverse ore al giorno. Tale benessere è ulteriormente aumentato dalla possibilità da parte dell'occupante di avere un contatto con il mondo esterno dalla propria postazione.

La valutazione delle condizioni luminose all'interno degli ambienti confinati è avvenuta fino ad oggi, per lo più, attraverso la valutazione qualitativa del Daylight Factor medio[%], ovvero la distribuzione di

questo, relazionando la postazione lavorativa e la distanza di essa dalla finestra, quindi la verifica della quantità di lux necessari allo svolgimento del compito visivo in oggetto. Uno degli strumenti più accreditati per la valutazione soggettiva degli ambienti è la Post Occupancy Evaluation, POE. Questa valutazione post abitativa è stata creata negli Stati Uniti ed è in uso dal 1960. Essa può essere definita come “un processo sistematico di valutazione delle prestazioni degli edifici dopo che sono stati costruiti e occupati per un periodo di tempo”.

In termini generali la POE fornisce un metodo di raccolta e diffusione delle informazioni che è di valore per tutti i soggetti all'interno del ciclo di vita dell'edificio. Il termine "post occupazione" si riferisce a un edificio occupato, ovvero in uso. Una POE può essere effettuata prima e dopo aver eseguito interventi di riqualificazione, rinnovo o modifiche alla configurazione e impiantistica dei locali. Inoltre, le POE possono essere eseguite a intervalli regolari per controllare come le soluzioni impiantistiche e il generale funzionamento dell'edificio sono percepiti dagli occupanti.

Una valutazione eseguita prima degli interventi può essere utilizzata per:

- misurare il raggiungimento degli obiettivi di un progetto;
- ottenere feedback e feed-forward;
- impostare un riferimento per le misure;
- stabilire dati di riferimento;
- fornire gli input per il programma di gestione delle modifiche da apportare all'edificio.

La POE è di solito effettuata dopo sei-dodici mesi dal completamento dell'edificio. Tuttavia, può essere attuata anche durante la fase di consegna del progetto e al termine. Può essere condotta negli uffici nelle case, nelle strutture per l'educazione (asili, scuole e università) ecc.

Nella “Guide to Post Occupancy Evaluation” promossa dall'Higher Education Funding Council for England (HEFCE) viene proposto l'iter procedurale suddiviso in step: identificazione degli obiettivi, della strategia e dell'approccio da utilizzare. Nella fase successiva vengono definite le tempistiche, i responsabili dell'indagine, i metodi da utilizzare e le modalità (interviste, questionari, ecc.). Segue la fase di preparazione dei questionari e le agende per le interviste, i luoghi di incontro e gli accordi sulla fornitura dei dati di feedback. L'iter si conclude con l'interpretazione e i report dell'analisi. Uno degli strumenti fondamentali nel processo di valutazione post abitativa è il questionario, che consiste nel coinvolgimento degli utenti di un edificio, per indagarne le caratteristiche, le performance e le problematiche.

Esempio 1: l'approccio proposto dalla Task 21, 1999.

Nell'ambito delle ricerche affrontate dalla Task 21, *Daylight in building*, sul metodo di valutazione soggettiva della qualità luminosa all'interno degli edifici a carattere collettivo, le caratteristiche del questionario elaborato dal gruppo di ricerca.

Il questionario in oggetto è stato somministrato in edifici con caratteristiche simili, quindi comparabili, in 5 edifici siti in luoghi diversi del pianeta: Canada, Germania, Danimarca, USA Colorado.

Obiettivi. Il questionario proposto vuole analizzare il giudizio degli utenti sia sull'edificio nel suo complesso, sia relativamente all'ambiente interno di lavoro occupato. Tale giudizio riguarda i parametri ambientali: rumore, condizioni termoigrometriche e, in particolare, come il microclima luminoso influisca sul soggetto, secondo sua valutazione, in merito al controllo e alla disponibilità della luce.

Il questionario è volto, inoltre alla valutazione di tale ambiente, al variare del tempo, con particolare attenzione al raggiungimento di alcune condizioni luminose interne, dovuti alla luce diurna. Qualora il numero dei test compilati sia statisticamente valido, il risultato di tale indagine può dare un giudizio complessivo della qualità ambientale dell'edificio, anche in termini di costi energetici, in caso contrario, i risultati dello studio sono esemplificativi di una qualche modalità di risposta da parte del soggetto.

Requisiti e limitazioni. Utilizzo del rilevamento strumentale contestualmente alla somministrazione della valutazione POE, anche se difficilmente tali risultati possono essere correlati statisticamente ai dati elaborati dell'analisi soggettiva (Formal POE, Informal POE).

Punti per l'attuazione. I punti cruciali individuati sono:

- scelta oculata degli edifici oggetto dello studio (e comparabilità tra loro) in base alla disponibilità di luce naturale;
- valutazione preventiva del numero degli utenti acui somministrare il questionario (valutazione preventiva sulla somministrazione di Informa POE, Formal POE)
- assicurare la cooperazione degli occupanti, dei proprietari.

Risultati dello studio. Dall'analisi delle risposte, le caratteristiche reputate più importanti, ai fini del benessere psico-fisico, all'interno degli uffici sono: buona qualità e quantità di luce e buone condizioni termiche. La presenza di un'apertura verso l'esterno, e la sua dimensione vengono reputati dagli utenti importantissimi fattori per un più agevole svolgimento dell'attività lavorativa.

Sono altresì considerati i livelli di illuminamento interni, ritenuti sufficienti, ad eccezione delle postazioni lavorative in cui è presente un

VDT, in cui, talvolta, l'erronea collocazione dello stesso causa fenomeni di riflessione della luce e quindi affaticamento dell'operatore.

I vantaggi principali sono, secondo gli utenti, in assoluto, la possibilità di usufruire della luce diurna e la possibilità di vedere l'esterno dalla propria postazione. Il questionario impiegato è ritenuto avere una ragionevole affidabilità e qualora dovesse essere impiegato in altri casi, sarebbe saggio impiegare simili parametri sia relativamente alla struttura, sia in relazione alla valutazione del grado di soddisfazione soggettiva [14].

Esempio 2: ASHRAE - Performance measurement protocols for commercial buildings

Obiettivi. Il metodo, sviluppato su più livelli di acquisizione ed elaborazione dati vuole fornire, in prima analisi, una valutazione dettagliata relativamente alle misurazioni in campo. Gli obiettivi del livello successivo risultano simili a quelli del livello precedente, ma essendo l'analisi più accurata, in questa fase vengono individuate le criticità e contestualmente vengono fornite le soluzioni.

Dati di illuminamento (LUX). Il primo Livello di analisi (LIVELLO 1) prevede l'acquisizione e l'elaborazione del dato illuminamento allo scopo di derivare il valore medio, all'interno di una griglia di misura predefinita, come mostra la Fig. 34.

Essendo la configurazione tipica degli edifici a carattere commerciale/collettivo, non è prevista la misura a ridosso delle pareti poiché, in genere, non sono presenti postazioni lavorative.

L'altezza dal piano di calpestio fissata a 0.76m, per le zone in cui lo svolgimento del compito visivo avviene nella posizione "soggetto seduto", mentre negli spazi in cui l'attività primaria è camminare, i punti di misura dovrebbero essere disposti sul piano di calpestio.

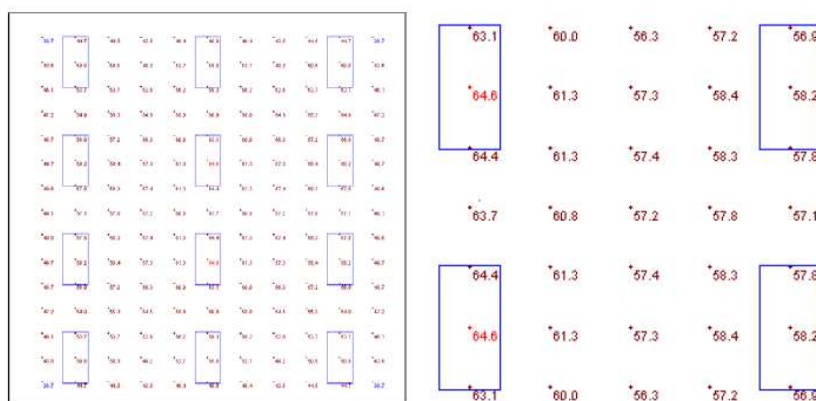


Fig.34- ASHRAE Protocols for commercial buildings, LIVELLO 1-griglia di misura dei livelli di illuminamento

Dati di Luminanza (cd/m²).

I punti di misura della luminanza riguardano specifiche attività, per cui questi dovrebbero interessare, per ogni posizione ed orientamento dell'occupante:

- tutti i corpi illuminati all'interno del campo visivo;
- le superfici prossime ai corpi illuminanti;
- le superfici fra due corpi illuminanti;
- le superfici opposte alla direzione del corpo illuminate
- il pavimento
- le finestre;
- la superficie del compito visivo;
- la zona immediatamente circostante il compito visivo;
- le zone periferiche;
- la più alta luminanza nel campo visivo.

Calcolo di disagio da abbagliamento. A questo livello, il protocollo indica che il calcolo può essere basato sui sistemi di illuminazione da progetto. Gli indici indicati dal protocollo sono: L'Unified Glare Rate (UGR), il Visual Comfort Probability (VCP) in ambienti in cui sono presenti solo piccole fonti

Indagine diagnostica. Questa indagine è stata destinata alla valutazione della soddisfazione degli occupanti dell'edificio su base quotidiana. Ciò comprende l'analisi delle condizioni illuminotecniche nelle diverse postazioni lavorative e nelle zone comuni, considerando sia dell'illuminazione artificiale che naturale.

Limitazioni. Non esistono riferimenti cui fare affidamento, tuttavia il risultato di tale indagine fornisce un dato più dettagliato il quale può essere usato per l'attenuazione delle criticità riscontrate ai livelli precedenti.

Analisi critica dei questionari rivolti alla valutazione dell'ambiente indoor: stato dell'arte.

Uno degli strumenti più interessanti, ed oggi discriminante, per la valutazione della qualità interna di un ambiente confinato è il questionario. L'utilizzo di tale strumento ha la capacità di coinvolgere direttamente nell'analisi l'occupante e quindi il soggetto che maggiormente ha la consapevolezza delle effettive condizioni ambientali indagate.

È stata, soprattutto, l'analisi della produttività aziendale la spinta propulsiva per il coinvolgimento degli utenti, che effettivamente risiedono nell'edificio, nell'analisi, poiché già nei decenni scorsi, l'attenzione ai parametri indoor ha dimostrato come il discomfort visivo, termico, acustico ecc... influisca negativamente sul rendimento lavorativo.

L'analisi critica dei questionari sviluppati fino ad oggi porta all'attenzione la finalità di questi: la valutazione complessiva dell'ambiente e quindi la valutazione soggettiva rispetto ai numerosi fattori influenzanti questo.

Dal confronto tra i principali metodi di indagine soggettiva, vengono qui presi in esame:

BUS (Building Use Studies), sviluppato dal "Building Use Studies Ltd", Londra, dal 1985;

REF (Rating of Environmental Features), sviluppato da Daniel Stokols e Ted Scharf, dal 1990;

PROBE (Post-occupancy Review of Buildings and their Engineering), sviluppato da: Building Use Studies Ltd, William Bordass Associates (Londra), dal 1995 al 2002;

PROKLIMA (Projektgruppe Klima und Arbeit) sviluppato dal "Fraunhofer IRB" e dall'Università di Ulm, Germania;

PWESQ (Physical Work Environment Satisfaction Questionnaire), sviluppato da James R. Carlopio, University of New South Wales, dal 1995 al 2003;

CBE Survey (Centre for the Built Environment) sviluppato dal "Center for the Built Environment", California, dal 1996;

SCATs (Smart controls and thermal Comfort", sviluppato dall'Oxford Centre for Sustainable Development", Inghilterra, dal 1997 al 2005;

COPE (Cost-effective Open-Plan Environments), sviluppato dal NRC, "National Research Council", Canada;

HOPE (Health Optimisation Protocol for Energy-efficient Building), sviluppato in un progetto europeo dal 2002 al 2005.

Indoor Environment Survey, sviluppato da "International Centre for Indoor Environment and Energy" (ICIEE) DTU, Technical University of Denmark, nel 2003.

BUS (Building Use Studies)

Sviluppato da Building Use Studies Ltd, William Bordass Associates nel 1985, con lo scopo di essere applicato agli edifici ritenuti “da risanare”. Viene ripreso in esame dieci anni dopo per lo sviluppo del progetto PROBE di cui si parlerà nel seguito.

Il questionario ha per oggetto l’analisi di edifici residenziali e di uffici da risanare. Indaga comfort termico e percepito, IAQ, salute degli occupanti e produttività auto-stimata.

La compilazione è sia di tipo cartaceo che on-line, è redatto in lingua inglese con l’obiettivo di produrre report per ogni caso studio mirando al miglioramento della qualità ambientale. Si prefigge inoltre l’obiettivo di creare un benchmark degli edifici esistenti. I tassi di risposta risultano differenti, infatti per il questionario cartaceo sono pari all’80%, mentre per il questionario on-line sono del 30%. La scala dei punteggi è a 7. non viene prevista in sede di somministrazione del questionario l’associazione con misure strumentali (Fig. 35).

Comfort		This section asks how comfortable you find the building in both winter and summer.	
<p>How would you describe typical working conditions in your normal work area in WINTER? If you have not worked here in winter then please leave these questions blank and just complete the questions on Temperature in Summer.</p>		<p>How would you describe typical working conditions in your normal work area in SUMMER? If you have not worked here in summer then please leave these questions blank and just complete the questions on Temperature in Winter.</p>	
<p>Temperature in winter Please tick your rating on each scale</p>		<p>Temperature in summer Please tick your rating on each scale</p>	
Uncomfortable	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7	Comfortable	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7
Too hot	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7	Too cold	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7
Stable	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7	Varies during the day	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7
Air in winter		Air in summer	
Still	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7	Draughty	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7
Dry	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7	Humid	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7
Fresh	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7	Stuffy	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7
Odourless	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7	Smelly	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7
Conditions in winter		Conditions in summer	
Unsatisfactory overall	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7	Satisfactory overall	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7

Fig. 35 – questionario BUS (e PROBE), domande sul comfort termico

REF (Ratings of Environmental Features)

Sviluppato da Daniel Stokols e Ted Scharf nel 1990, ha come oggetto di indagine i luoghi di lavoro. Esamina qualità ambientale (termica, acustica, visiva e dell'aria), della struttura lavorativa (piacevolezza, privacy, accessibilità degli ambienti). Ha una compilazione cartacea e per ciascuna affermazione, viene espresso un giudizio (da eccellente a scarso), secondo la scala prestabilita, il tempo perso (in termini di minuti al giorno) dovuto al calo di produttività causato da quella condizione confortevole. Risulta composto da un numero di domande che varia da 27 a 46, in relazione dell'edificio in oggetto.

É redatto in lingua inglese e si pone l'obiettivo di analizzare quanto le condizioni ambientali influiscono sulla performance e sulla produttività dei lavoratori in modo da migliorarle. I tassi di risposta sono analizzati in base ad un numero predefinito di quesiti espletati (non vengono presi in considerazione i questionari che hanno quantità di risposte date inferiore al 10%). Sono presenti varie scale di giudizio: 4 punti, 6 punti, 7 punti (6 punti con l'opzione "not applicable"). Alla somministrazione del questionario viene associato il rilevamento strumentale (Fig.36).

Environmental Feature	Your Rating of Each Feature						Productive Work Time Lost: Min./Day (Put # if no time lost)	Examples of Negative Impacts on Individual and Group Performance Resulting from this Feature of the Env't.
	Excellent	Very Good	Good	Fair	Poor	Very Poor		
1. Quality of lighting for the work you do	6	5	4	3	2	1	___ min./day	
2. Brightness of the lighting for the work you do	6	5	4	3	2	1	___ min./day	
3. Air quality and circulation in your work area	6	5	4	3	2	1	___ min./day	
4. Air conditioning & heating control	6	5	4	3	2	1	___ min./day	
5. Comfort of your chair	6	5	4	3	2	1	___ min./day	
6. File storage space to suit your work requirements	6	5	4	3	2	1	___ min./day	

Fig. 36 – questionario REF, domande sulle caratteristiche degli ambienti.

PROBE – Post-occupancy Review of Buildings and their Engineering

Sviluppato da Building Use Studies Ltd, William Bordass Associates (Londra) dal 1995 al 2002, PROBE ha analizzato 16 edifici completati tra due e cinque anni.

L'oggetto della ricerca è l'indagine dei parametri ambientali: illuminamento, temperatura, umidità relativa, elettricità e consumo di energia. all'interno degli edifici in esame (con ventilazione naturale, meccanica e mista). La compilazione è sia cartacea che on-line in lingua

inglese. Gli obiettivi sono: la definizione delle performance energetiche ed ambientali, il comfort termico e la soddisfazione degli occupanti. I tassi di risposta risultano intorno al 90% con scala a 7 punti (da 1 a 7) Non è prevista associazione con misure strumentali.

PROKLIMA (Projektgruppe Klima und Arbeit)

Sviluppato da Fraunhofer IRB, Università di Ulm (Germania), il progetto ProKlima ha analizzato dal 1995 al 2003 edifici occupati da almeno 200 persone. In totale i soggetti coinvolti risultano circa 1500 (1497 postazioni di lavoro analizzate) in diversi edifici. L'analisi sperimentale prevedeva in quella sede l'associazione delle misure strumentali contestualmente alla somministrazione del questionario con rilevamento di: IAQ, rumore, parametri di comfort termico e illuminamento. La scala di valutazione è a 6 punti (Fig.37)..

La compilazione è cartacea in lingua tedesca. L'obiettivo è quello di correlare concetti energetici e fattori psicologici legati ai sintomi di malattie e al comfort termico. I tassi di risposta risultano tra 73 e il 90%.

Raumklima

Wie beurteilen Sie gerade jetzt das Raumklima an Ihrem Arbeitsplatz?
 Bitte in jeder Zeile zwischen der rechten und linken Beschreibung Zutreffendes ankreuzen.

	sehr	eher	weder noch	eher	sehr	
gut ausgeleuchtet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schlecht ausgeleuchtet
warm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	kalt
unangenehme Gerüche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	angenehme Gerüche
laut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	leise
trockene Luft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	feuchte Luft
viele störende Geräusche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wenig störende Geräusche
hell	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	dunkel
unbehagliche Temperatur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	behagliche Temperatur
frische Luft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	verbrauchte Luft
blendendes Licht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	arbeitsgerechtes Licht

Fig. 37 -Questionario Proklima - domande sul ambiente interno (Come percepisce attualmente l'ambiente nella sua postazione di lavoro?)

PWESQ (Physical Work Environment Satisfaction Questionnaire)

Sviluppato da: Jim Carlopio, Department of Psychology, Old Dominion University, Norfolk, (1986), ha per oggetto luoghi di lavoro come uffici, magazzini, banche, ospedali, ecc..

Indaga temi come qualità ambientale (visiva e dell'aria), struttura lavorativa (pulizia e piacevolezza degli ambienti), lavoro (organizzazione dell'orario e dell'entità di lavoro), apparecchiature (efficacia ed efficienza), infine salute e sicurezza (segnalazione di pericoli, prevenzione). È strutturato in 109, la compilazione è cartacea ed è redatto in lingua: Inglese (Fig.38)..

Gli obiettivi: dal momento che un discomfort determina un cambiamento nel comportamento e nelle attitudini dei lavoratori, questo questionario è rivolto all'analisi dei fattori umani e della struttura organizzativa in modo da valutare quanto i fattori umani e l'ambiente di lavoro influiscono su produttività, performance, assenteismo e turnover. È stato somministrato a 229 studenti. Le risposte sono strutturate secondo una scala a 6 punti (da 1 a 6). Non è associato a misure strumentali.

HFSQ SCALES	High
Factor Identifiers	Load
ENVIRONMENTAL DESIGN	
The general design of the work environment.	
Air movement and temperature.	
Level of vibration and glare.	
WORK FACILITIES	
Work area pleasantness and cleanliness.	
Eating Facilities.	
Recreation facilities.	
Restroom facilities.	
WORK AND SYSTEM CHARACTERISTICS	
Information quality and storage.	
Number and length of restbreaks.	
Control of work pace; workflow speed.	
Attention level and challenge of work.	
Error tolerance and importance.	
Departmental and organizational goals.	
Amount of work able to produce.	

Fig. 38 – Elenco dei temi del questionario HFSQ

CBE Survey (Center for the built Environmental).

Sviluppato dalla University of California, Center for the Built Environment, US già dall'anno 1996, ha per oggetto edifici per uffici, commerciali, residenziali, scuole, ospedali, carceri, banche, supermercati - centri commerciali. I temi indagati sono soddisfazione generale, layout degli ambienti, comfort termico, qualità dell'aria, illuminazione, qualità acustica, pulizia e manutenzione. È redatto nelle lingue inglese, italiano, spagnolo, cinese, tedesco, danese e finlandese.

Viene compilato on-line ed è stato applicato a più di 400 edifici e 60.000 persone intervistate. Gli obiettivi preposti per tale analisi sono: Diagnosi delle problematiche, valutazione delle tecnologie di edifici di nuova costruzione, raccolta di informazioni sulla qualità ambientale. I tassi di risposta ottenuti risultano avere un andamento variabile (Fig.39).

La valutazione delle risposte è basata sulla scala a 7 punti ASHRAE. Risulta opzionale l'associazione con misure strumentali nell'ambiente esaminato (<http://www.cbесurvey.org/survey/demos2010>).

Quanto è soddisfatto della temperatura nella sua postazione di lavoro?
 Molto soddisfatto [thumbs up icon] [7-point scale] [thumbs down icon] Molto insoddisfatto

Nel complesso, il comfort termico nella sua postazione di lavoro migliora o peggiora la sua capacità di svolgere il suo lavoro?
 Migliora [thumbs up icon] [7-point scale] [thumbs down icon] Peggiora

Fig. 39 – questionario CBE Survey, domande su: comfort termico.

SCATS (Smart Controls and Thermal Comfort)

Il progetto SCATs si basa sulla teoria del concetto di comfort adattivo. Lo scopo del progetto era di trovare un metodo per ridurre i consumi energetici negli edifici condizionati meccanicamente, attraverso lo sviluppo di sistemi di controllo che si basavano sui principi del comfort abitativo.

Sviluppato da Oxford Centre for Sustainable Development dal 1997 al 2000, il test ha per oggetto gli edifici con destinazione d'uso uffici. Indaga temperatura, movimento dell'aria, umidità, illuminazione, rumore, qualità dell'aria, comfort generale e percezione della produttività. La compilazione è cartacea. È stato applicato a 26 edifici per uffici situati in Inghilterra, Svezia, Portogallo, Grecia e Francia è in lingua inglese e si pone come obiettivi:

- Correlazione tra temperatura di comfort, temperature indoor/outdoor e l'analisi comportamentale.

- Ricerca del metodo per ridurre i consumi energetici negli edifici condizionati meccanicamente, attraverso lo sviluppo di sistemi di controllo che si basavano sui principi del comfort abitativo.

I tassi di risposta sono del 40%. La scala di valutazione è a 7 punti (ASHRAE).

È prevista l'associazione con dettagliate misure strumentali che comprendevano, nello studio cui prima, il rilevamento di: concentrazione di CO2, temperatura del globotermometro, temperatura dell'aria, umidità relativa, illuminamento, velocità dell'aria e livello di rumore (Fig.40). Le tipologie di questionario somministrato sono due:

1. Questionario trasversale (indagine di: comfort termico, movimento dell'aria, umidità, illuminamento e rumore, IAQ (scala a 6 punti), sensazione generale di comfort (scala a 5 punti), auto-stima della produttività (scala a 5 punti);

2. Questionario longitudinale (checklist, somministrazione 1 volta al giorno).

Table 2 Scale of air quality and its coding

Air quality (AQ)						
How would you describe the quality of the air in your office at present?						
Very bad (0)	Bad (0)	Slightly bad (1)	Neither bad nor good (1)	Slightly good (2)	Good (2)	Excellent (2)

Note: The decision to code the responses in the above manner was influenced by the fewness of responses in the category 'excellent'.

Questionario trasversale SCATS

SCHOOL OF ARCHITECTURE
OXFORD BROOKES UNIVERSITY
 OXFORD OX3 0BP
 Tel. (01865) 483318

THERMAL COMFORT
SURVEY
DAILY CHECKLIST
 (Building Name)

Your name:- _____ Code:- _____ Todays date:- _____

Time _____am _____am _____pm _____p

	at present I feel:				
FEELINGS	Cold				
	Cool				
	Slightly Cool				
	Neutral				
	Slightly Warm				
	Warm				
	Hot				
PREFERENCE	I would prefer to be:				
	Much warmer				
	A bit warmer				
	No change				
	A bit cooler				
	Much cooler				

Fig. 40 – questionario SCATS, questionario longitudinale.

COPE (Cost-effective Open-Plan Environments)

Come parte del progetto “NRC's Cost-effective Open-Plan Environments project”, è stato condotto uno studio per valutare la soddisfazione degli occupanti negli ambienti fisici. Sviluppato da: NRC, National Research Council of Canada, ha per oggetto specifico gli edifici per uffici. I temi indagati in questo test sono il comfort termico e illuminotecnico. La compilazione è esclusivamente on-line (Fig.41).. È stato applicato a 800 soggetti in lingua Inglese e francese. L’obiettivo ultimo è la valutazione della soddisfazione degli occupanti negli ambienti confinati. la scala di valutazione è a 7 punti (espressione del gradimento / stima della propria produttività) ed è prevista l’associazione con misure strumentali per il rilevamento dei seguenti parametri ambientali: livello sonoro, illuminamento, condizioni termiche, oltre alle caratteristiche della postazione lavorativa.

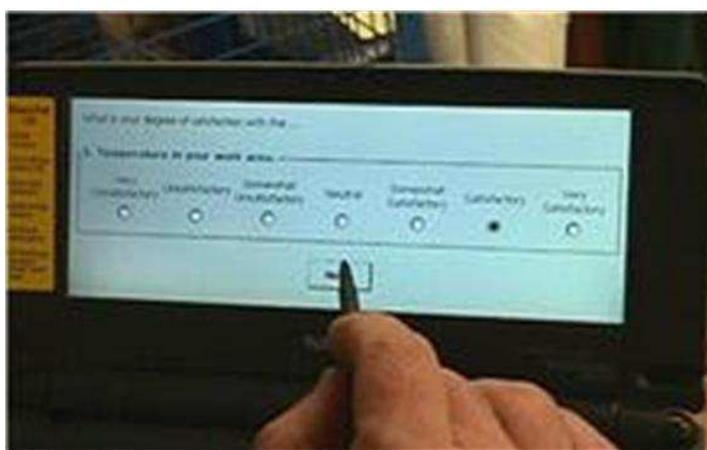


Fig. 41 – questionario COPE, compilazione on-line.

HOPE-Health Optimisation Protocol for Energy-efficient Building

Sviluppato da European project HOPE dal 2002 al 2005, ha per oggetto l’indagine di edifici residenziali (con ventilazione meccanica e naturale) e uffici. Indaga comfort acustico, termico, visivo, qualità dell’aria e salute degli occupanti. La compilazione è su pdf e cartacea letta da un computer. È stata applicata a 164 edifici in 9 nazioni per un totale di 64 uffici. L’obiettivo principale è il benchmarking degli edifici energeticamente efficienti. La scala di soddisfazione è a 7 punti (Fig.42).. Contemporaneamente alla compilazione vengono associate le misurazioni strumentali. I risultati vennero utilizzati per la redazione di linee guida per la progettazione, la costruzione e la manutenzione degli edifici al fine di assicurare una buona qualità dell’ambiente interno associata ad un’ottimizzazione delle performance energetiche.

Do you ever keep your windows closed in **WINTER** for any of the following reasons?
(mark one box on each line)

Can't open them (if marked miss out the next question and continue with the one about pets).

	Never	Sometimes	Often	All the time
Cold	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Draughts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Noise outside	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Security (fear of intruders getting in)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Smells of air pollution outdoors	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Saving energy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Do you ever keep your windows closed in **SUMMER** for any of the following reasons?
(mark one box on each line)

Can't open them (if marked miss out the next question and continue with the one about pets).

	Never	Sometimes	Often	All the time
Keeping cool	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Noise outside	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Security (fear of intruders getting in)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Smells of air pollution outdoors	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Saving energy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig. 42 - Questionario HOPE, domande relative alla gestione delle finestre.

Caratteristica fondamentale del metodo proposto è la contemporaneità delle misure soggettive (puntuali + stazione mobile), attraverso questionari e test, e di quelle oggettive, eseguite sia in continuo, in postazioni fisse durante l'analisi.

Acronimo del metodo: RPM, Remote Performance Measurement. Il metodo è di tipo "comparativo", in quanto associa i risultati delle misure dei parametri ambientali e la valutazione soggettiva dell'ambiente di lavoro da parte degli occupanti.

Indoor Environment Survey

Sviluppato da International Centre for Indoor Environment and Energy (ICIEE) DTU, Technical University of Denmark (2003). Ha per oggetto edifici per uffici. Indaga: condizioni di salute, grado di soddisfazione dell'ambiente di lavoro, condizioni di lavoro, controllo personale, comfort e sensibilità ai fattori ambientali (Fig.42).

La compilazione avviene on-line in lingua: Inglese ed Italiana. Obiettivi: indagine delle possibili fonti di discomfort imputabili all'organizzazione spaziale dell'edificio o alla sua dotazione impiantistica, escludendo possibili alterazioni o forzature di giudizio causate invece dalla politica di gestione aziendale. Risposte: scale di misura binarie (si/no) o discrete (4 punti), la rilevazione è associata a misure ambientali.

PERSONAL COMFORT Log off

(26) Have you been bothered during THE LAST THREE MONTHS by any of the following factors at your work place? (Please, answer every question even if you have not been bothered)

	No, never	Yes, sometimes	Yes, often (every week)	Yes, daily
a. Room temperature too high	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b. Varying room temperature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
c. Room temperature too low	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d. Draught	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
e. Stuffy ("bad") air	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
f. Dry air	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
g. Noise	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
h. Light that is dim or causes glare or reflections	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fig. 43 – Indoor Environmental Survey, compilazione on-line.

Nei modelli di questionario, qui analizzati si possono individuare le seguenti tematiche: comfort termico e correlazione tra le temperature di comfort e quelle interne/esterne, influenza del controllo delle temperature sulle prestazioni degli occupanti, qualità dell'aria, qualità acustica, illuminotecnica e SBS. Ad essi si aggiungono tematiche quali: la segnaletica dei sistemi di emergenza o l'efficienza delle apparecchiature degli uffici. La metodologia di raccolta dati è molteplice: questionario cartaceo, in formato digitale e da compilare on-line. Le indagini on-line solitamente vengono eseguite attraverso link spedito all'indirizzo di posta dei partecipanti. Tutte le possibilità sopra citate prevedono la possibilità di scelta tra la modalità anonima (con autenticazione e senza tracciamento) oppure con inserimento del nome (nome utente e password). Ulteriori indagini, non affrontate in questa parte dell'analisi sono quelle telefoniche, "faccia a faccia" oppure postali. Uno degli indicatori sull'efficacia dei metodi soggettivi di indagine è il tasso di partecipazione che indica quante persone sono state coinvolte. La ricerca ha sempre cercato di manipolare le caratteristiche delle indagini per capire quali fattori influenzano sul tasso di partecipazione, fra queste emergono pubblicità, incentivi e sponsor. È stato difatti verificato che, soprattutto nei questionari a compilazione on-line, il tasso di partecipazione cresce con la promessa di un premio da estrarre a sorte. Il tasso di risposta è, inoltre, influenza da lunghezza del questionario a autorità di chi è effettua l'intervista.

Tuttavia, l'aspetto da considerare, in questa sede, è l'assenza di un questionario specificatamente dedicato alla valutazione del microclima luminoso, in altre parole i questionari tendono sempre a valutare l'ambiente nel suo complesso, prendendo in esame tutti gli aspetti del controllo ambientale. Inoltre, questa analisi critica evidenzia come questi prendano in considerazione solo l'interagire dell'occupante con l'ambiente, e non la condizione di partenza del soggetto, come nel caso di analisi IAQ, la presenza nel soggetto di patologie quali rinite allergiche o asma, o nel caso di valutazione del microclima luminoso di patologie legate alla vista.

INDAGINE SOGGETTIVA SPERIMENTALE CONDOTTA IN ALCUNE SALE LETTURA DELL'ATENEO DI PALERMO: UN NUOVO TEST DI VALUTAZIONE

Contestualmente allo sviluppo dell'approccio entropico-probabilistico, questa ricerca ha affrontato la problematica della valutazione soggettiva del fruitore dell'ambiente.

È stato, a tale scopo, elaborato un questionario di valutazione, in collaborazione con il gruppo di ricerca di medici del lavoro, del Dipartimento di Scienze per la promozione della salute "G. D'Alessandro" del Policlinico Universitario P. Giaccone dell'Università di Palermo ed è indirizzato agli occupanti delle sale lettura delle biblioteche e al personale che vi lavora. Il test è frutto di una ampia ricerca applicativa, in corso dal giugno 2009, che ha portato, nel tempo, al perfezionamento dello stesso anche attraverso l'introduzione di alcune valutazioni specifiche, come quella relativa al compito visivo al VDT, non presenti originariamente. Il test è stato sottoposto anche agli occupanti di ambienti differenti dalle sale lettura, campo di applicazione in questo studio, ed in particolare uffici amministrativi, dipartimenti universitari e, opportunamente adeguato, attualmente è in corso di compilazione anche in ambienti di stoccaggio merci. Il test è stato sviluppato allo scopo di acquisire un feedback complessivo sull'ambiente, dando, cioè, la possibilità all'occupante di esprimere un giudizio sulle condizioni termoigrometriche, illuminotecniche e della qualità dell'aria, a diversi livelli di approfondimento. Tuttavia, lo scopo di questo studio è l'analisi critica degli strumenti di valutazione del microclima luminoso, per questo motivo l'elaborazione dei dati, rilevati in situ, sarà concentrata sulle valutazioni relative a questo. Vengono omesse anche le valutazioni relative allo svolgimento del compito visivo al VDT, considerati la natura di questo studio e l'esiguo numero di postazioni rilevate negli ambienti oltre il poco tempo di utilizzazione degli stessi (rapida ricerca dei testi),

in queste postazioni. I quesiti proposti riguardano le condizioni illuminotecniche (contributo da luce naturale e artificiale), la possibilità del soggetto di controllare ed eventualmente modificare le condizioni luminose in ambiente, la qualità dell'aria, il microclima termoigrometrico, il compito visivo al VDT. Considerano la storia personale del soggetto riguardo l'età, il sesso, le ore tipiche di occupazione dell'ambiente (in riferimento al giorno e alla settimana) e le patologie visive di questo al momento della risposta, per approfondire e classificare questa anche in relazione alle capacità visive di partenza. La struttura del questionario comprende ora e giorno di compilazione, posizione occupata al momento della compilazione (al fine di valutare dettagliatamente la condizione ambiente puntuale), una parte riferita alla valutazione della luce naturale ed artificiale all'interno dell'ambiente, in generale e sul piano di lavoro, in termini di quantità, qualità, verificarsi di fenomeni di abbagliamento, ecc... Il test considera anche la possibilità di controllo delle aperture e/o delle schermature, la possibilità di interazione con l'illuminazione naturale/artificiale ed infine i fattori di rischio legati al compito visivo svolto al videoterminale.

In particolare vi sono 10 domande relative alla valutazione del microclima luminoso e 7 specifiche per il compito svolto al VDT, 2 domande relative al microclima termoigrometrico, 2 domande relative alla qualità dell'aria, 1 domanda di valutazione complessiva ed infine 2 quesiti relativi uno all'indicazione delle patologie visive del soggetto ed un altro a quelle allergiche. La campagna di rilevamento è stata effettuata nei giorni prossimi al 21 marzo 2011 ed al 21 settembre, ottenendo un campione di 519 test compilati. Contestualmente alla compilazione del test, sono state effettuate misure in situ dei livelli di illuminamento esterno, al fine di contestualizzare la risposta del soggetto in base anche alle condizioni meteorologiche considerate, come noto, fattore di influenza sulla risposta. Il modello di test sviluppato è riportato di seguito.

Il test è stato somministrato in otto sale lettura di biblioteche dell'Ateneo di Palermo, in particolare:

- La biblioteca della Facoltà Medicina e Chirurgia;
- La biblioteca centrale della Facoltà di Lettere e Filosofia;
- La biblioteca di neogreco della Facoltà di Lettere e Filosofia;
- La biblioteca di Greco della Facoltà di Lettere e Filosofia;
- La biblioteca centrale della Facoltà di Agraria;
- La biblioteca di Dipartimento della Facoltà di Agraria;
- La biblioteca della Facoltà di Architettura (in cui si è svolto anche uno short-test)
- L'emeroteca della Facoltà di Architettura.

SESSO: M F Ora Ingresso _____ : _____ Ora Uscita _____ : _____	
NE DELL'AMBIENTE È PREVALENTEMENTE: <input type="checkbox"/> ARTIFICIALE <input type="checkbox"/> NATURALE	
È DEL TIPO: <input type="checkbox"/> NEON <input type="checkbox"/> INCANDESCENZA <input type="checkbox"/> ENTRAMBE	
NE DELL'AMBIENTE È COMPLESSIVAMENTE? <input type="checkbox"/> BUONA <input type="checkbox"/> MEDIOCRE <input type="checkbox"/> CATTIVA	
IL LUCE PRESENTE NELLA SUA POSTAZIONE? <input type="checkbox"/> BUONA <input type="checkbox"/> MEDIOCRE <input type="checkbox"/> CATTIVA	
LA DISTRIBUZIONE DELLA LUCE ALL'INTERNO <input type="checkbox"/> UNIFORME <input type="checkbox"/> DISUNIFORME	
EPISODI DI SOVRALLUMINAMENTO SULLA SUPERFICIE CHE COMPARTANO, AD ESEMPIO, DIFFICOLTÀ A VEDERE?	
<input type="checkbox"/> MAI <input type="checkbox"/> TALVOLTA <input type="checkbox"/> SPESSO <input type="checkbox"/> SEMPRE	
UENZA CAPITA DI ESSERE DISTURBATO DALLA MINOSITÀ?	
<input type="checkbox"/> MAI <input type="checkbox"/> TALVOLTA <input type="checkbox"/> SPESSO <input type="checkbox"/> SEMPRE	
RICORRERE ALL'USO DELLA LUCE ARTIFICIALE	
<input type="checkbox"/> MAI <input type="checkbox"/> TALVOLTA <input type="checkbox"/> SPESSO <input type="checkbox"/> SEMPRE	
INTANZA ATTRIBUISCE AL FATTO DI POTER CONTROLLARE LA LUCE DELL'AMBIENTE?	
<input type="checkbox"/> NESSUNA <input type="checkbox"/> POCA <input type="checkbox"/> MOLTA	
CONTROLLARE L'ILLUMINAZIONE NATURALE E ARTIFICIALE DELL'AMBIENTE? <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI	
SIONE O SPEGNIMENTO DELL'IMPIANTO D'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE: <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI	
CONTROLLO DELL'ILLUMINAZIONE TRAMITE TAPPARELLE O TENDE: <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI	
USO DI UNA SORGENTE DI LUCE LOCALIZZATA: <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI	
ESTO AMBIENTE, DAL PUNTO DI VISTA TERMICO, SIA: <input type="checkbox"/> INTOLLERABILE <input type="checkbox"/> TOLLERABILE <input type="checkbox"/> CONFORTEVOLE	
O MOMENTO AVVERTE UNA SENSAZIONE DI:	
<input type="checkbox"/> MOLTO CALDO <input type="checkbox"/> CALDO <input type="checkbox"/> LEGGERMENTE CALDO <input type="checkbox"/> CONFORTEVOLE <input type="checkbox"/> FRESCO <input type="checkbox"/> FREDDO <input type="checkbox"/> MOLTO FREDDO	
IN QUESTO MOMENTO VORREBBE AVERE:	
<input type="checkbox"/> PIÙ CALDO <input type="checkbox"/> NE PIÙ CALDO NÉ PIÙ FRESCO <input type="checkbox"/> PIÙ FRESCO	
ESTO AMBIENTE, DAL PUNTO DI VISTA DELLA VENTILAZIONE SIA:	
<input type="checkbox"/> INTOLLERABILE <input type="checkbox"/> TOLLERABILE <input type="checkbox"/> CONFORTEVOLE	

13. TROVA CHE QUESTO AMBIENTE, IN BASE ALLA QUALITÀ DELL'ARIA, SIA:		<input type="checkbox"/> INTOLLERABILE <input type="checkbox"/> TOLLERABILE <input type="checkbox"/> CONFORTEVOLE
14. TROVA CHE QUESTO AMBIENTE NEL SUO COMPLESSO SIA:		<input type="checkbox"/> INTOLLERABILE <input type="checkbox"/> TOLLERABILE <input type="checkbox"/> CONFORTEVOLE
SE IN QUESTO MOMENTO STA UTILIZZANDO UN VIDEOTERMINALE (VDT) CONTINUI A COMPILARE IL QUESTIONARIO		
15. ORE MEDIE GIORNALIERE DI LAVORO/STUDIO CON VDT: _____		
16. ORE COMPLESSIVE SETTIMANALI DI LAVORO/STUDIO CON VDT: _____		
17. SONO PRESENTI RIFLESSI SULLO SCHERMO		<input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI
18. UNA LAMPADA DA TAVOLO SAREBBE NECESSARIA?		<input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI
19. IL MONITOR È REGOLABILE IN ALTEZZA E/O IN INCLINAZIONE?		<input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI
20. TIPOLOGIA CARATTERI DELLO SCHERMO		BEN DEFINITI, STABILI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI CHIARAMENTE LEGGIBILI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI SFUOCATI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI TROPPO PICCOLI O TROPPO AFFOLLATI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI
21. REGOLABILITÀ DELLO SCHERMO		CONTRASTO <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI LUMINOSITÀ <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI COLORE DEI CARATTERI (VIA SOFTWARE) <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI COLORE DELLO SFONDO (VIA SOFTWARE) <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI

RISPOSTERE ALLE DOMANDE SUCCESSIVE SOLO ED ESCLUSIVAMENTE IN CASO DI PRIMA COMPILAZIONE DEL QUESTIONARIO	
Ore trascorse nell'edificio (ore/settimana): _____ h/settimana (ore al giorno): _____ h/gg	
22. SOFFRE DI DISTURBI VISIVI? <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI	
<input type="checkbox"/> MIOPIA <input type="checkbox"/> ASTIGMATISMO <input type="checkbox"/> EMMETROPIA <input type="checkbox"/> STRABISMO <input type="checkbox"/> ALTERAZIONE VISIONE DEI COLORI <input type="checkbox"/> AFFATICAMENTO VISIVO <input type="checkbox"/> ARROSSAMENTO OCCHI <input type="checkbox"/> DISTURBI DA LUCE INTENSA (FOTOFOBIA) <input type="checkbox"/> LACRIMAZIONE	<input type="checkbox"/> BRUCIORE OCULARE <input type="checkbox"/> USO DI GOCCHE OCULARI <input type="checkbox"/> VISIONE SFOCATA DA VICINO <input type="checkbox"/> VISIONE SFOCATA DA LONTANO <input type="checkbox"/> VISIONE DOPPIA (DI SCRITTI, IMMAGINI) <input type="checkbox"/> MACCHIE NERE DAVANTI AGLI OCCHI. <input type="checkbox"/> SCINTILLE, O MOSCHE VOLANTI <input type="checkbox"/> MAL DI TESTA <input type="checkbox"/> ALTRO _____
23. MALATTIE ALLERGICHE: ?	
<input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> ASMA <input type="checkbox"/> RINITE <input type="checkbox"/> CONGIUNTIVITE <input type="checkbox"/> DERMATITE	

La scelta degli ambienti oggetto dello studio è stata effettuata secondo la comune destinazione d'uso, ma anche secondo il criterio di differenti esposizione, morfologia e quantità di superficie finestrata. In merito alla rilevazione delle patologie soggettive, è stato chiesto al soggetto di compilare la sezione relativa solo in caso di prima compilazione del test. Questo ha permesso di non invalidare il dato.

Si riporta di seguito la descrizione delle sale lettura in cui è stata richiesta la valutazione soggettiva degli occupanti.

Biblioteca centrale della Facoltà di Medicina e Chirurgia, Università di Palermo

L'ambiente si presenta come un'unica grande sala, a pianta rettangolare di dimensioni 10.70x18.00m. La sala lettura è situata a quota zero, mentre ai livelli superiori, lungo dei ballatoi, sono presenti degli scaffali per la conservazione dei testi. L'altezza complessiva dell'ambiente è di 8.70m. Per motivi di sicurezza, non è possibile aprire le finestre (tutte orientate a ovest), che sono munite di sbarre esterne e schermature interne. Nella Fig. 44 seguente sono riportate una planimetria e una foto dell'ambiente. L'illuminazione artificiale in ambiente è affidata a grandi corpi sospesi e non è presente un sistema di illuminazione puntuale ausiliario sui tavoli da lettura.

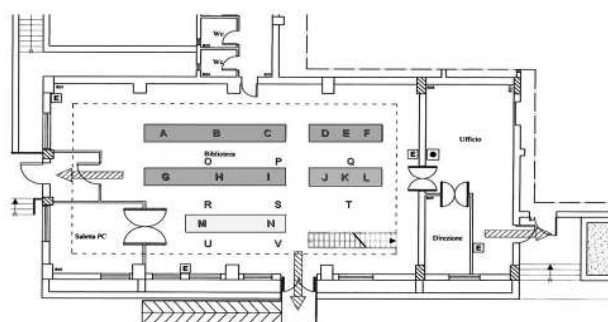
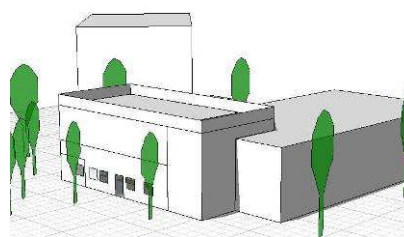


Fig. 44 – foto e pianta (in cui sono indicate le postazioni analizzate) della Biblioteca centrale della Facoltà di Medicina e Chirurgia. Fonte GIMLE - Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia.

Contestualmente alla compilazione del test, da parte degli occupanti, sono state effettuate misurazioni relative ai livelli di illuminamento [lux] sui tavoli da lettura, i quali non risultano mai adeguati a quelli prescritti dalla norma UNI EN 12464-1 per lo svolgimento del compito visivo in questi ambienti. Il campione di 50 soggetti, sottoposto al rilevamento del giudizio soggettivo è risultato distinto in 26 maschi e 24 femmine dall'età compresa tra 23 e 29 anni. Il questionario ha messo in evidenza che, il livello di illuminazione ambientale è stato complessivamente giudicato "buono" (58%) o "mediocre" (42%) ma in nessun caso "cattivo" (Fig.45).. Inoltre, le risposte relative al "giudizio complessivo", nelle diverse postazioni hanno mostrato differenti pareri. È apparso che, il giudizio espresso è stato "buono", soprattutto nelle postazioni in cui i rilievi hanno messo in evidenza i livelli di illuminamento più alti in ambiente, ma non tali da soddisfare i livelli imposti dalle norme UNI. Ciò potrebbe giustificare il contemporaneo giudizio (Buono-Mediocre) espresso, talora, nelle medesime postazioni [53].

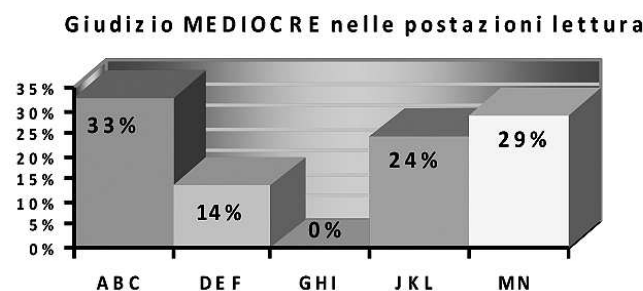
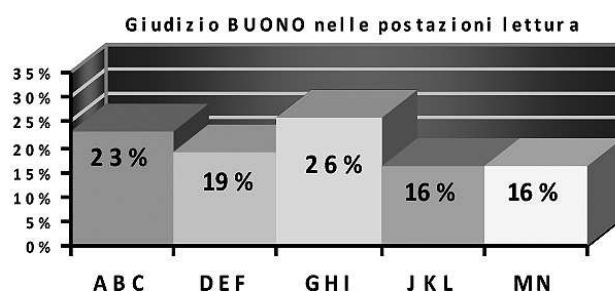
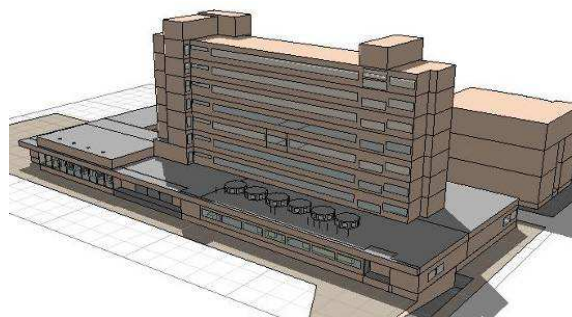


Fig. 45 - Giudizi complessivi su l'illuminazione nelle postazioni della Biblioteca della Facoltà di Medicina. Fonte GIMLE - Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia.

Biblioteche della Facoltà di Lettere e Filosofia, Università di Palermo

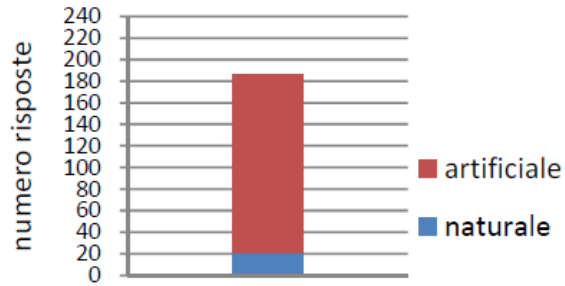
La sale lettura, analizzate nella Facoltà di Lettere e Filosofia, sono tutte costituite da un unico ambiente, il quale varia nelle dimensioni, a seconda della tipologia. L'ambiente più grande è costituito dalla biblioteca centrale (Orientata a Sud-Est). L'illuminazione artificiale, quasi sempre in funzione in tutti gli ambienti, è affidata a plafoniere alveolari per tubi fluorescenti. L'indagine statistica è stata effettuata in 5 giorni in tutti gli ambienti, collezionando un campione di 244 test così suddivisi: 176 nella biblioteca centrale di Facoltà, con una percentuale di risposta del 77,4%; 29 nei dipartimenti con una percentuale di risposta del 46,8% e 29 nelle altre biblioteche con una percentuale di risposta del 38,2%. I dati raccolti sono stati sintetizzati nei diagrammi mostrati successivamente ((Figg.46-50).



Figg. 46, 47 – Biblioteca centrale e biblioteca di neogreco, Facoltà di Lettere e Filosofia

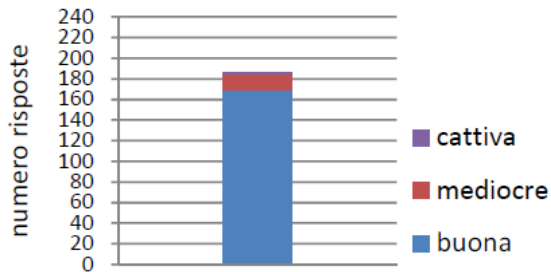
Fig. 48 - Biblioteca centrale di Lettere e Filosofia: Sintesi dei risultati

Tipologia illuminazione ambiente



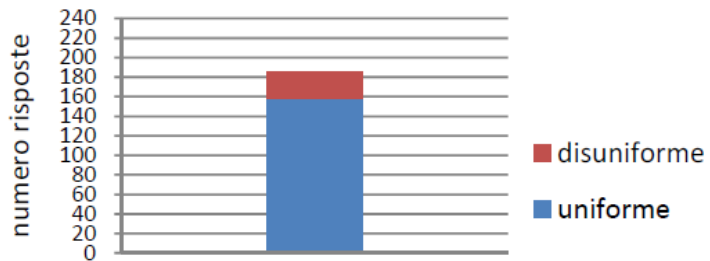
L'illuminazione dell'ambiente è prevalentemente:

Qualità illuminazione ambiente



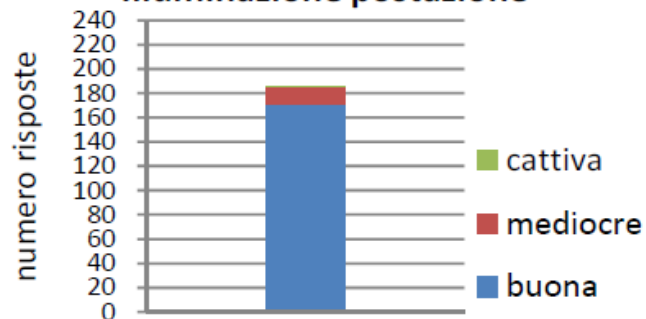
L'illuminazione dell'ambiente è complessivamente:

Distribuzione illuminazione ambiente



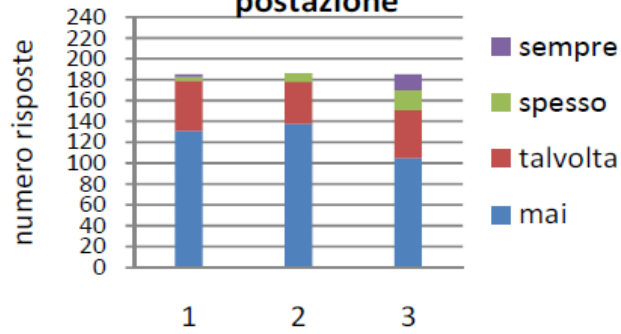
Come giudica la distribuzione della luce all'interno dell'ambiente?

Illuminazione postazione

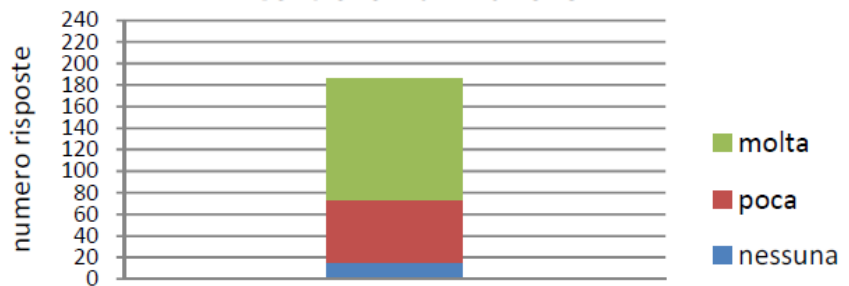


La quantità di luce presente nella sua postazione è:

Quantità illuminazione postazione



Controllo illuminazione



Quanta importanza attribuisce al fatto di poter controllare l'illuminazione dell'ambiente?

Legenda

- Si verificano episodi di sovrailluminamento sulla superficie della postazione che comportano, ad esempio, difficoltà a leggere il libro?
 1 Con che frequenza capita di essere disturbato dalla eccessiva luminosità?
 2 È necessario ricorrere all'uso della luce artificiale aggiuntiva?
 3

Disturbi visivi

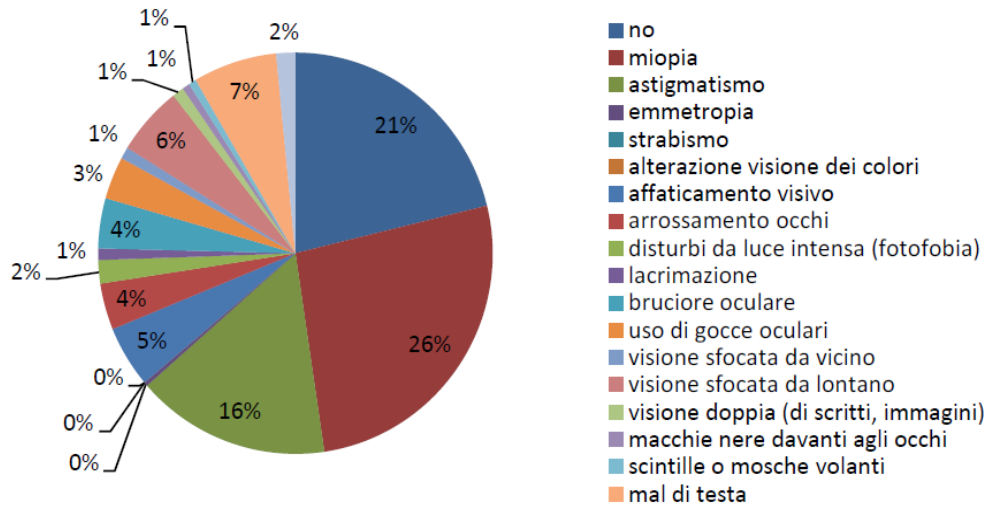
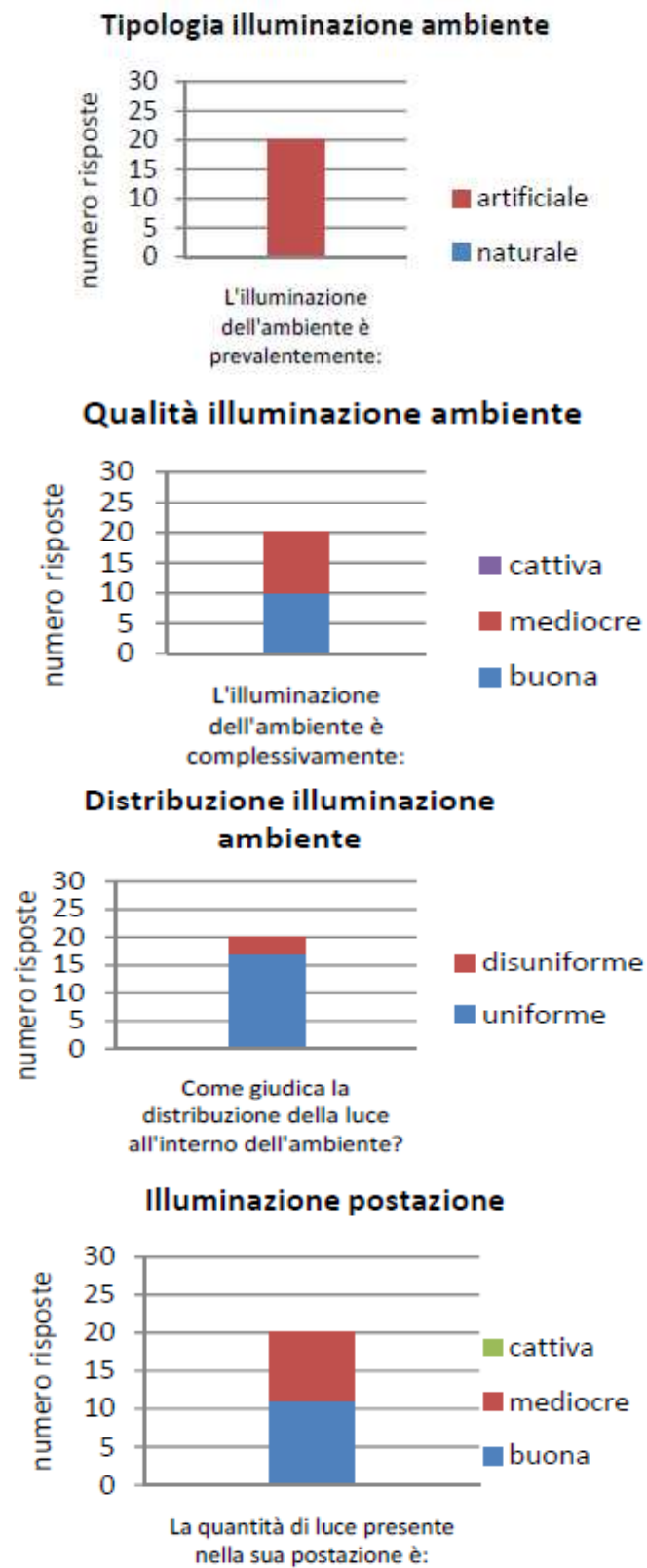
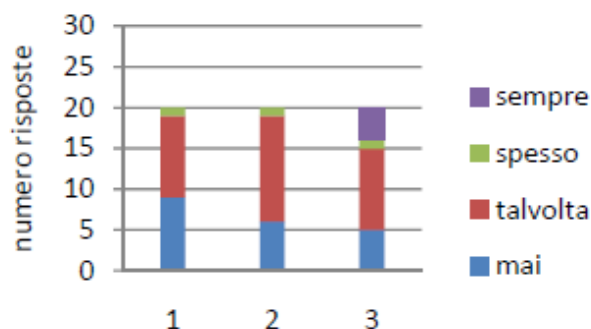


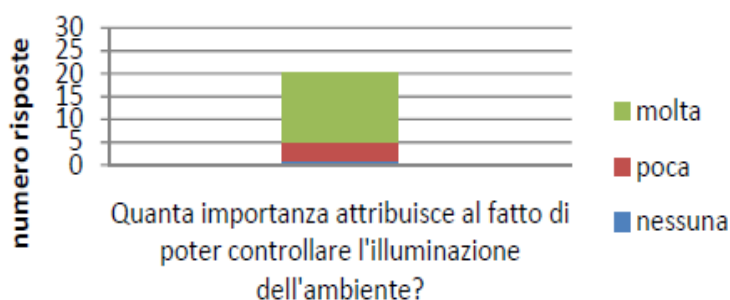
Fig. 49 - Biblioteca di greco Facoltà di Lettere e Filosofia: Sintesi dei risultati



Quantità illuminazione postazione



Controllo illuminazione



Legenda

- 1 Si verificano episodi di sovrailluminamento sulla superficie della postazione che comportano, ad esempio, difficoltà a leggere il libro?
- 2 Con che frequenza capita di essere disturbato dalla eccessiva luminosità?
- 3 È necessario ricorrere all'uso della luce artificiale aggiuntiva?

Disturbi visivi

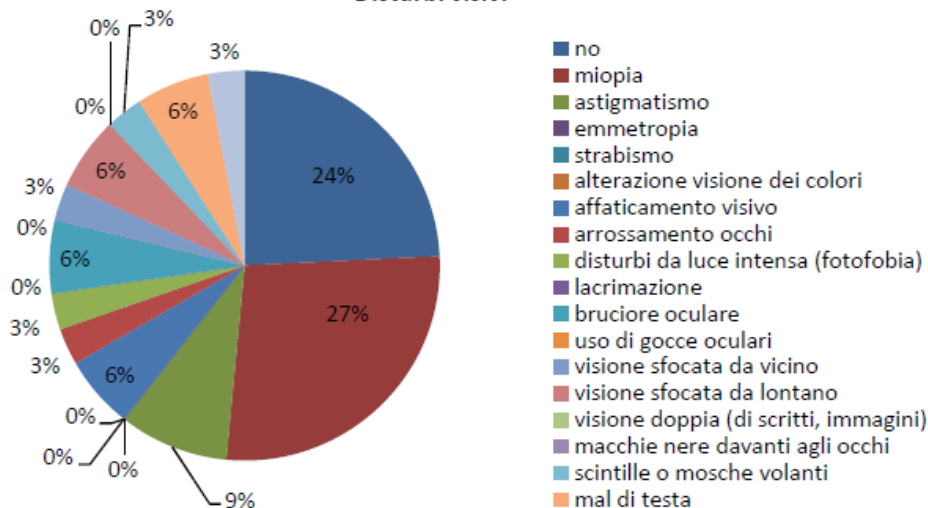
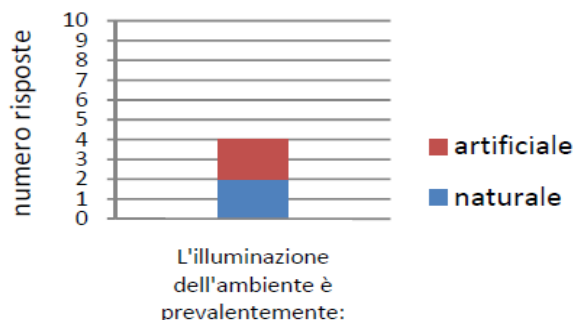
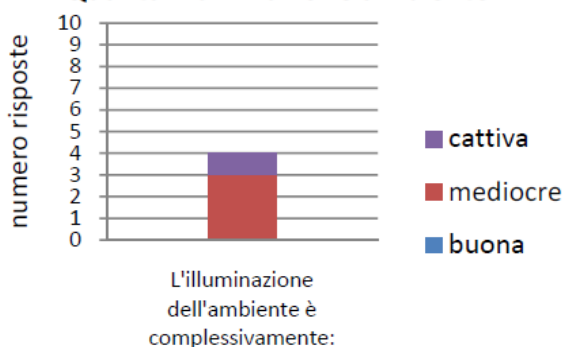


Fig. 50 - Biblioteca di neogreco Facoltà di Lettere e Filosofia

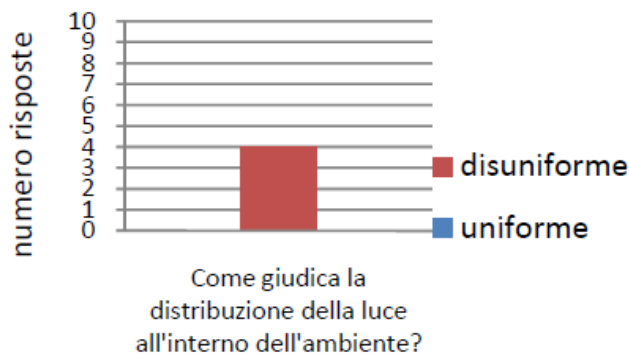
Tipologia illuminazione ambiente



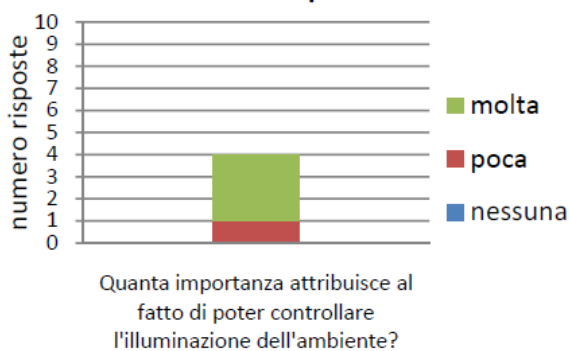
Qualità illuminazione ambiente



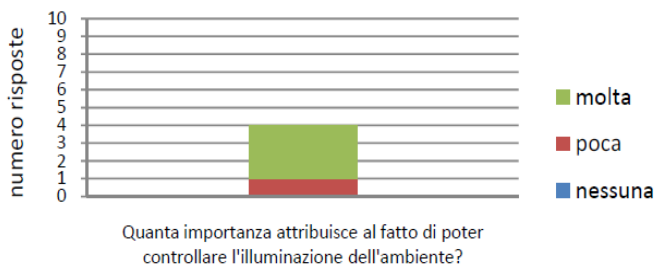
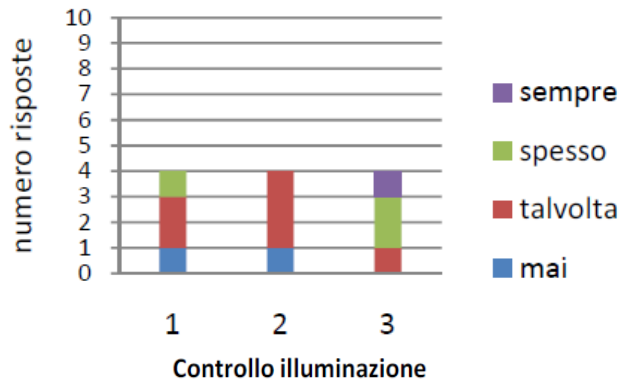
Distribuzione illuminazione ambiente



Illuminazione postazione



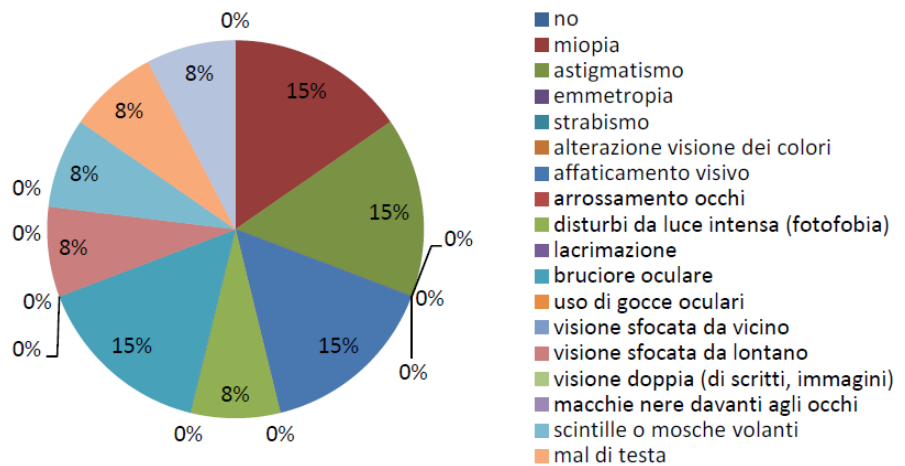
Quantità illuminazione postazione



Legenda

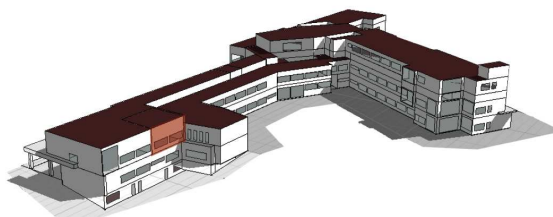
- 1 Si verificano episodi di sovrailluminamento sulla superficie della postazione che comportano, ad esempio, difficoltà a leggere il libro?
- 2 Con che frequenza capita di essere disturbato dalla eccessiva luminosità?
- 3 È necessario ricorrere all'uso della luce artificiale aggiuntiva?

Disturbi visivi



Biblioteca centrale e biblioteca di dipartimento della Facoltà di Agraria

La biblioteca centrale di Facoltà e la biblioteca di dipartimento si trovano entrambe al primo piano dell'edificio e sono orientate a sud-est. Come mostrato in Fig.57,



l'illuminazione artificiale è affidata, nel primo ambiente, a plafoniere alveolari per tubi fluorescenti, mentre nel secondo è affidata a corpi illuminati a scarica di gas, a soffitto, non integrati. Dai questionari emerge che nella biblioteca centrale è presente soprattutto luce artificiale e gli occupanti valutano il microclima luminoso complessivamente buono ed uniforme. Tuttavia, queste risposte sono in contrapposizione con le condizioni rinvenute durante i sopralluoghi, le quali risultano potenzialmente disagiati per l'occupante, a causa di eccessivo sovrailluminamento tale da rendere necessario l'utilizzo di sistemi di ombreggiamento interni ed esterni.

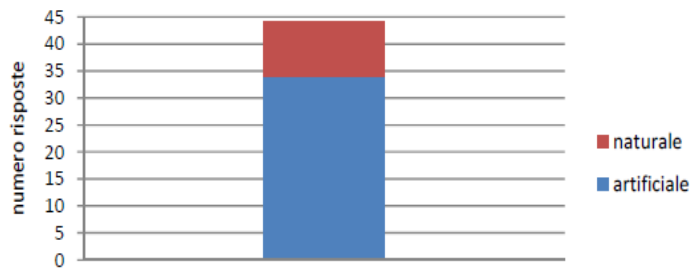
La valutazione rispetto le condizioni sulla postazione risulta buona, le risposte evidenziano, infatti, in entrambe le biblioteche, l'assenza di fenomeni di sovrailluminamento e la necessità di utilizzare sporadicamente il contributo della luce artificiale, ma anche questa risposta va interpretata alla luce dell'utilizzo costante dei sistemi di ombreggiamento interni ed esterni. Il controllo delle condizioni luminose dell'ambiente è ritenuto molto importante da tutti gli utenti, i quali ritengono ciò possibile tramite la possibilità che viene loro data di accensione e/o spegnimento dell'impianto di illuminazione artificiale, la manovra di tapparelle o tende e, più raramente, utilizzando sorgenti di luce localizzata. Dalla mappatura delle risposte, in entrambe le biblioteche, in relazione alla posizione occupata al momento della risposta e alle condizioni meteorologiche, non sono emerse differenze significative connesse a questi due parametri (Figg.51-53).



Fig. 51 – Biblioteca centrale e biblioteca di Dipartimento Facoltà di Agraria

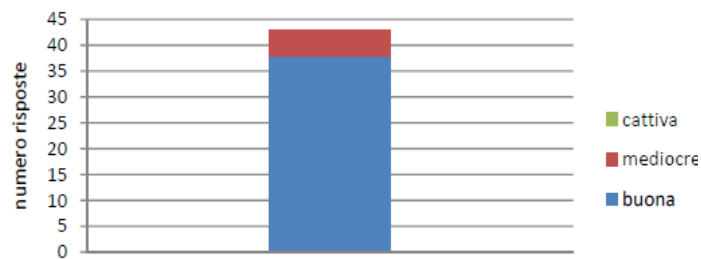
Fig. 52 - Biblioteca centrale di Agraria: sintesi dei risultati

Tipologia illuminazione ambiente



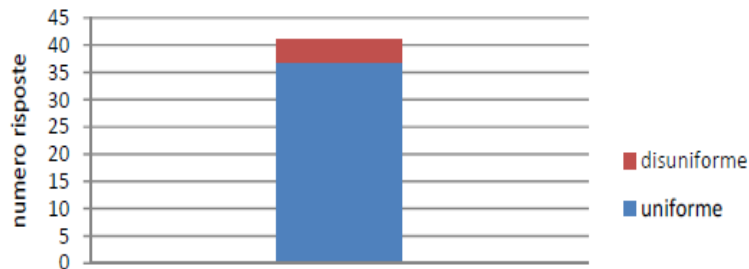
L'illuminazione dell'ambiente è prevalentemente:

Qualità illuminazione ambiente



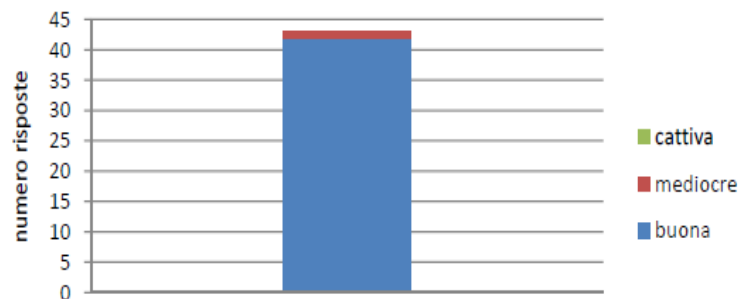
L'illuminazione dell'ambiente è complessivamente:

Distribuzione illuminazione ambiente



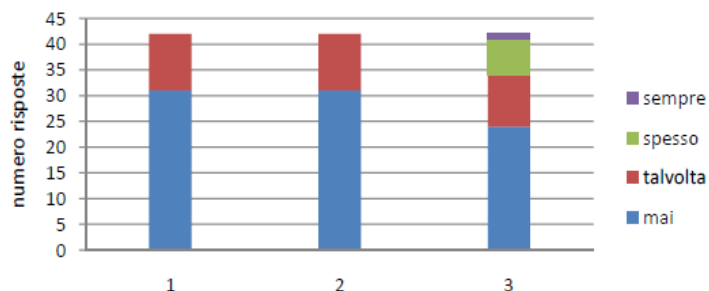
Come giudica la distribuzione della luce all'interno dell'ambiente?

Illuminazione postazione



La quantità di luce presente nella sua postazione è:

Quantità illuminazione postazione



Controllo illuminazione



Quanta importanza attribuisce al fatto di poter controllare l'illuminazione dell'ambiente?

Legenda

- 1 Si verificano episodi di sovrailluminamento sulla superficie della postazione che comportano, ad esempio, difficoltà a leggere il libro? Con che frequenza capita di essere disturbato dalla eccessiva luminosità?
- 2 È necessario ricorrere all'uso della luce artificiale aggiuntiva?
- 3

Disturbi visivi

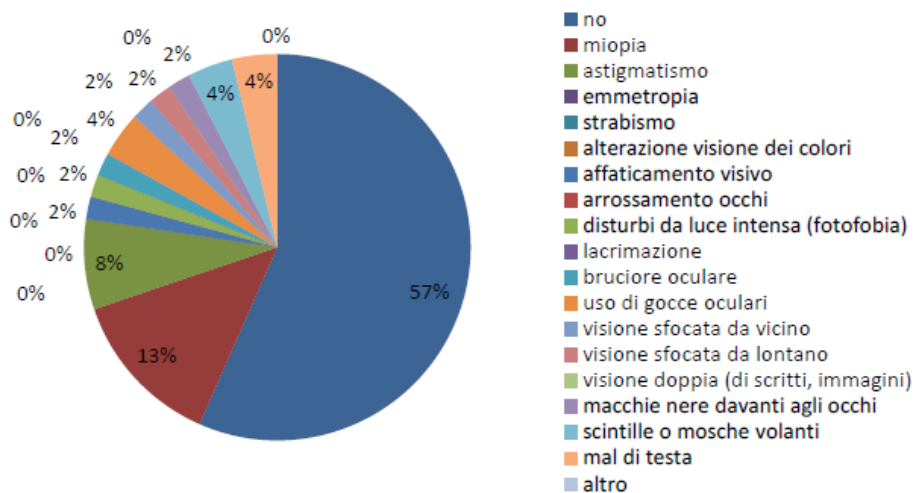
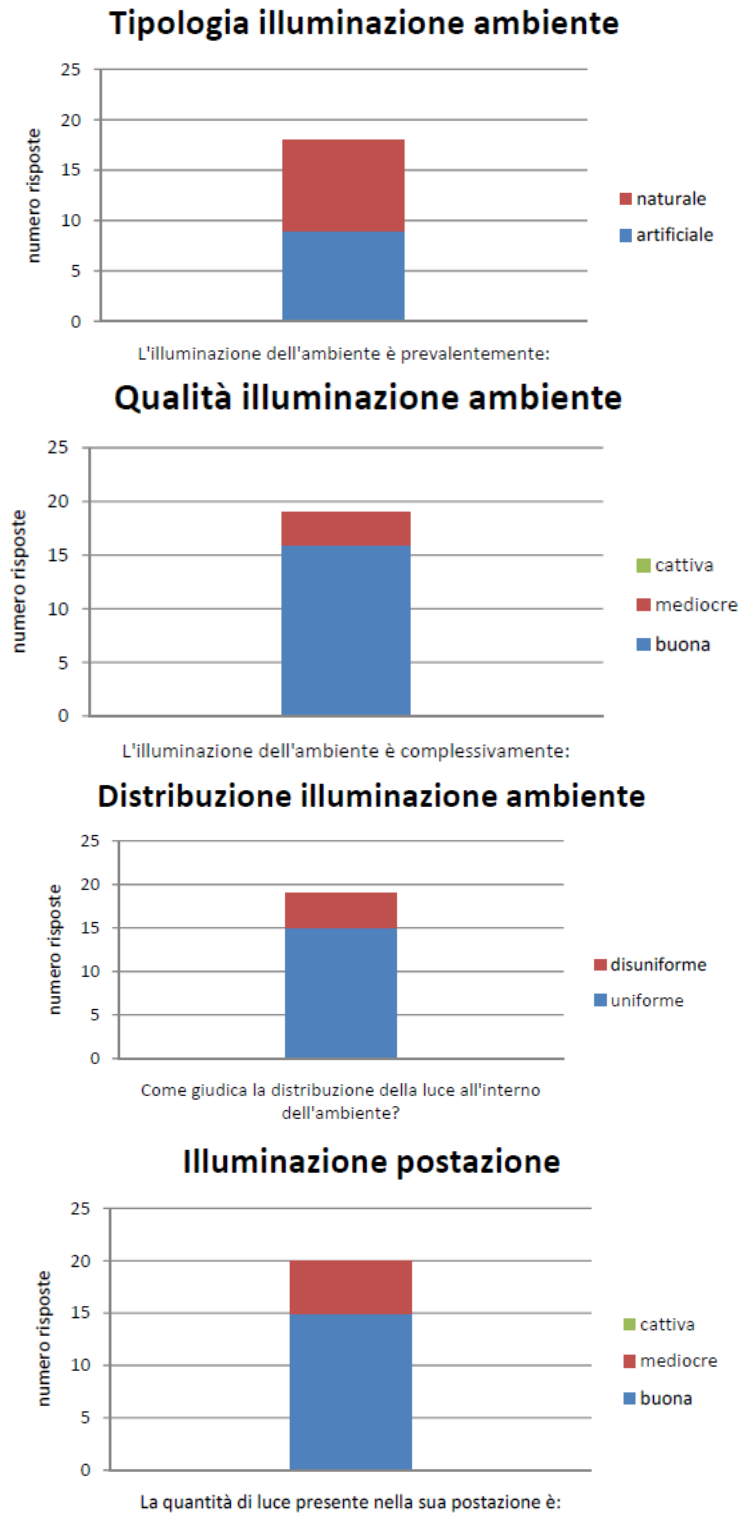
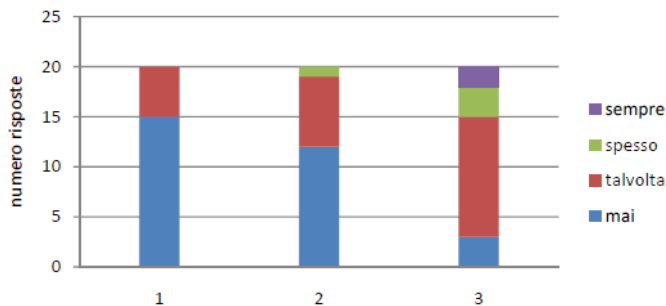


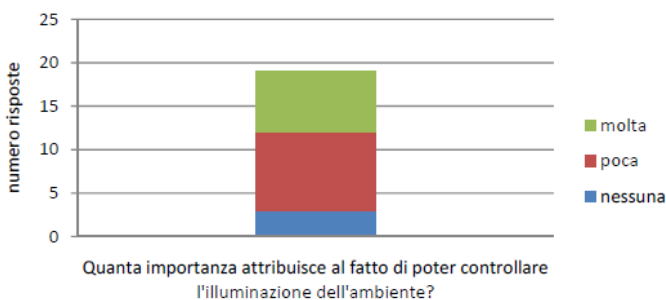
Fig. 53 - Biblioteca di dipartimento facoltà di Agraria: sintesi dei risultati



Quantità illuminazione postazione



Controllo illuminazione

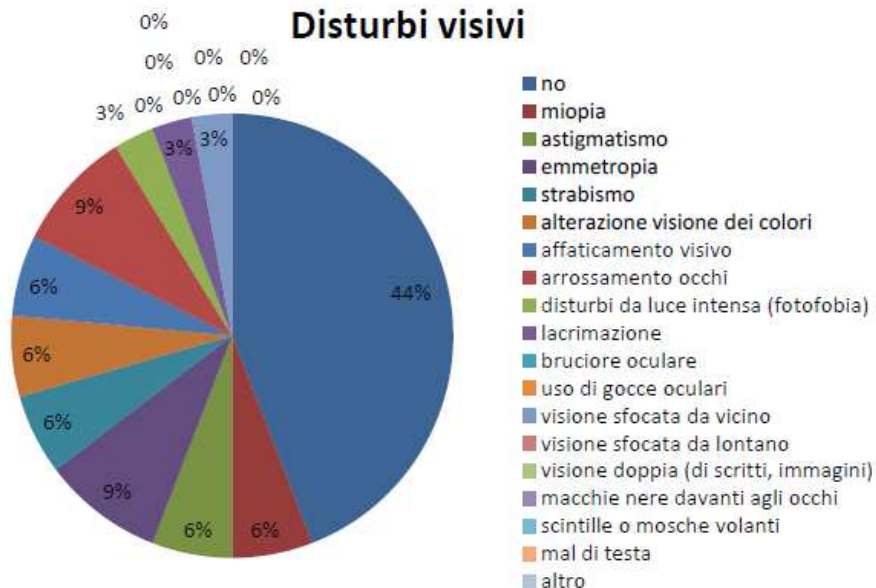


Quanta importanza attribuisce al fatto di poter controllare l'illuminazione dell'ambiente?

Legenda

- 1 Si verificano episodi di sovrailluminamento sulla superficie della postazione che comportano, ad esempio, difficoltà a leggere il libro?
- 2 Con che frequenza capita di essere disturbato dalla eccessiva luminosità?
- 3 È necessario ricorrere all'uso della luce artificiale aggiuntiva?

Disturbi visivi



Biblioteca ed emeroteca della Facoltà di Architettura, Università di Palermo

Le sale lettura, entrambe orientate a Nord-Ovest, si presentano (Fig.54.), come due grandi ambienti unici, chiusi verso l'esterno solo da superfici trasparenti. I tavoli da lettura, al loro interno, in entrambi i casi, sono disposti in prossimità di tali superfici e sono dotati di corpi illuminati puntali sospesi, mentre l'illuminazione artificiale ambiente è affidata a tubi fluorescenti non integrati. Entrambi i sistemi di illuminazione sono costantemente in funzione durante tutto l'orario di apertura al pubblico delle sale lettura. Le aperture sono dotate di sistemi di ombreggiamento esterno direttamente manovrabili dall'utente (Fig.55).

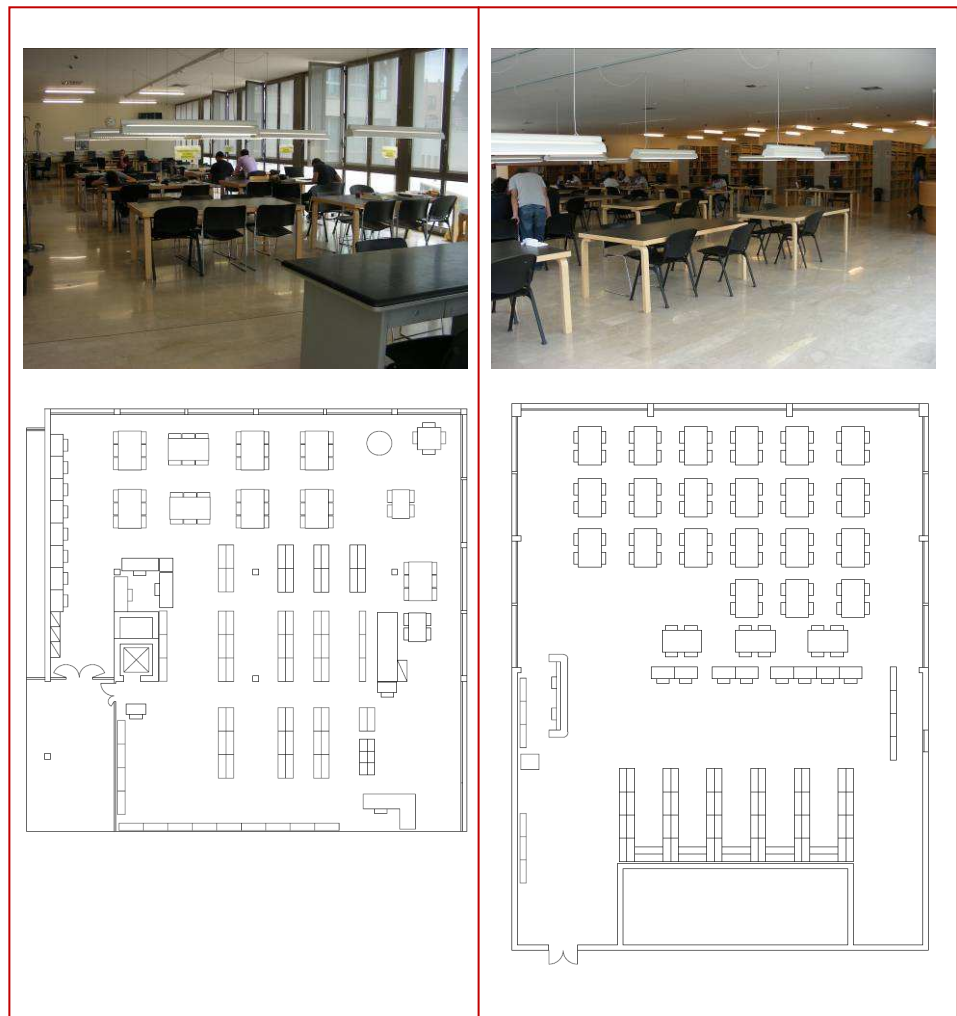
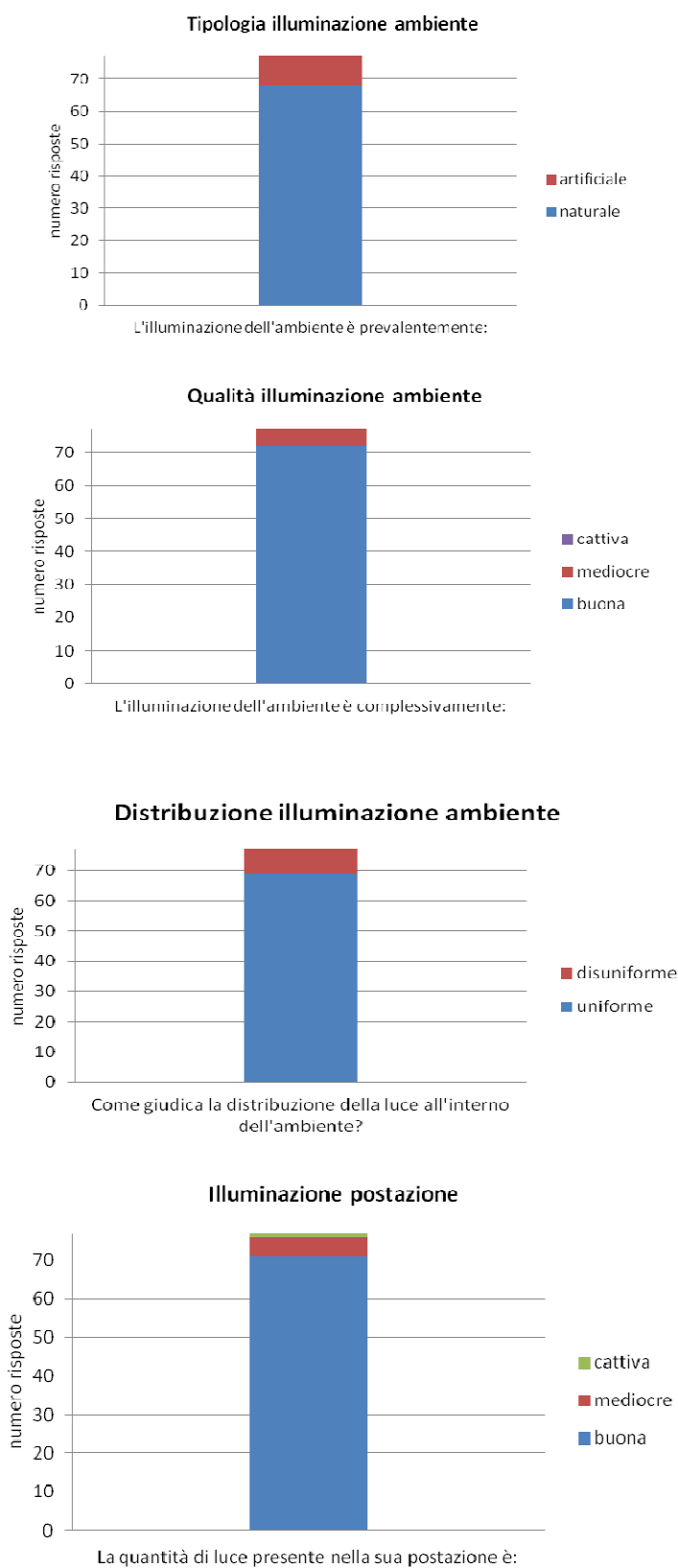
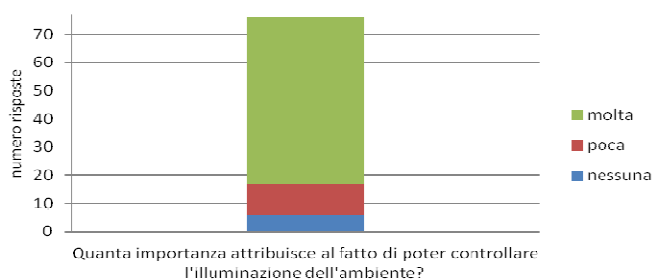
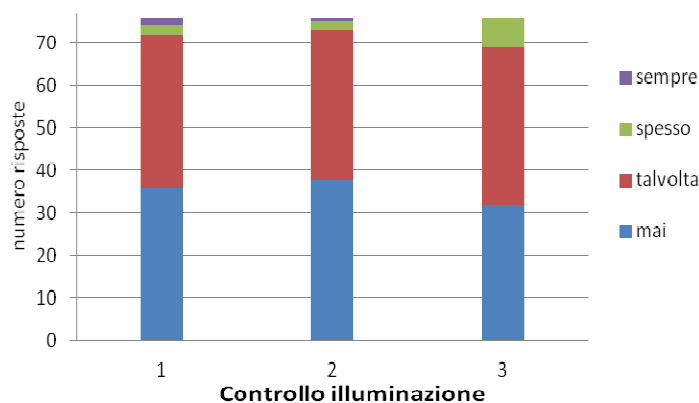


Fig. 54 – Biblioteca e emeroteca della Facoltà di Architettura

Fig. 55 - Emeroteca della Facoltà di Architettura: sintesi dei risultati



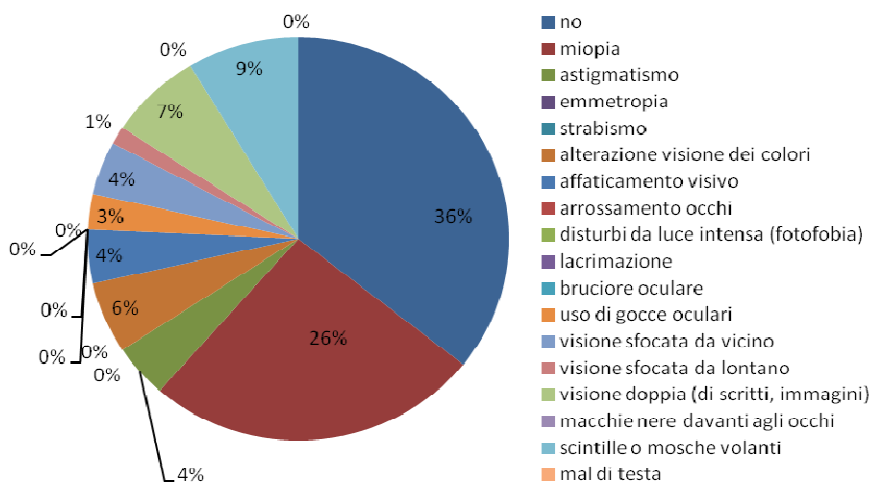
Quantità illuminazione postazione



Legenda

- 1 Si verificano episodi di sovrailluminamento sulla superficie della postazione che comportano, ad esempio, difficoltà a leggere il libro?
- 2 Con che frequenza capita di essere disturbato dalla eccessiva luminosità?
- 3 È necessario ricorrere all'uso della luce artificiale aggiuntiva?

Disturbi visivi



Lo short-test applicato nella Biblioteca della Facoltà di Architettura

Nella biblioteca della Facoltà di Architettura, è stata condotta una ulteriore indagine il giorno 21 settembre del 2011.

È stata effettuata una selezione di alcune domande del test proposto, il quale è stato sottoposto ad un campione selezionato di 80 soggetti di età compresa tra i 20 e 22 anni. Lo svolgimento dello short-test è stato preceduto dallo spegnimento dei corpi illuminanti in ambiente e puntuali sui tavoli, allo scopo di valutare il solo contributo da luce naturale in condizioni consuete di esercizio, le condizioni di cielo al momento dell'indagine erano di cielo sereno. Il test è stato distribuito 10 minuti dopo l'ingresso dei soggetti per consentire l'adattamento alle condizioni illuminotecniche di questi. Contestualmente allo svolgimento del test, sono state effettuate misurazioni volte al rilevamento dei livelli di illuminamento sulle postazioni da lettura. Dall'elaborazione dei dati relativi alle misurazioni è stato ricavato l'illuminamento E_{medio} mostrato in Fig. 56. Le domande dello short-test sono rivolte alla valutazione del solo contributo da luce naturale ed in particolare prendono in considerazione: la posizione occupata dal soggetto al momento della compilazione, il giudizio sulla valutazione complessiva dell'ambiente luminoso, il giudizio sul livello di illuminamento sulla postazione, il giudizio sulla distribuzione di questi in ambiente e la possibilità o meno di controllare e modificare le condizioni illuminotecniche dell'ambiente. Anche in questo caso, si ritenuto opportuno considerare la condizione di partenza del soggetto, facendo indicare a questo eventuali patologie relative alla capacità visiva. Il test in oggetto è riportato nella Fig.57 che segue.

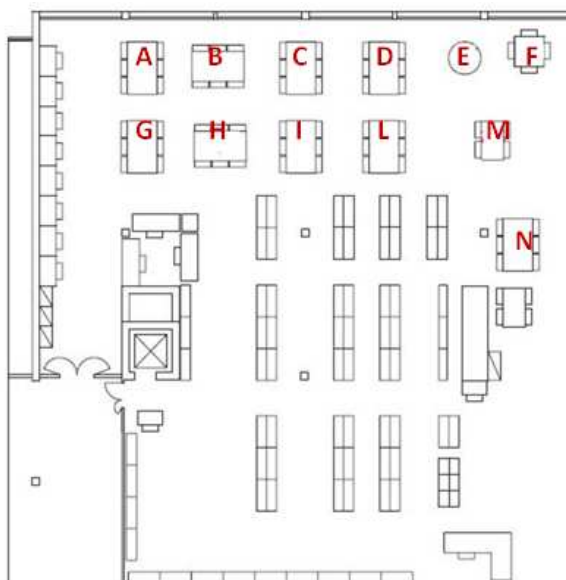


Fig. 56 – E_{medio} sulle postazioni della Biblioteca della Facoltà di Architettura

1. Indicare La posizione occupata al momento della compilazione;
2. L'illuminazione dell'ambiente è complessivamente:
BUONA MEDIOCRE CATTIVA
3. La quantità di luce presente nella sua postazione è:
BUONA MEDIOCRE CATTIVA
4. Come giudica la distribuzione della luce all'interno dell'ambiente?
UNIFORME DISUNIFORME
5. Quanta importanza attribuisce alla possibilità di controllare l'illuminazione in ambiente? NESSUNA POCA MOLTA
6. È possibile controllare l'illuminazione naturale e artificiale in ambiente? NO SI

Ore trascorse nell'edificio (ora/settimana): _____ h/settimana (ore al giorno): _____ h/gg

22. SOFFRE DI DISTURBI VISIVI? NO SI

<input type="checkbox"/> MIOPIA <input type="checkbox"/> ASTIGMATISMO <input type="checkbox"/> EMMETROPIA <input type="checkbox"/> STRABISMO <input type="checkbox"/> ALTERAZIONE VISIONE DEI COLORI <input type="checkbox"/> AFFATICAMENTO VISIVO <input type="checkbox"/> ARROSSAMENTO OCCHI <input type="checkbox"/> DISTURBI DA LUCE INTENSA (FOTOFOBIA) <input type="checkbox"/> LACRIMAZIONE	<input type="checkbox"/> BRUCIORE OCULARE <input type="checkbox"/> USO DI GOCCE OCULARI <input type="checkbox"/> VISIONE SFOCATATA DA VICINO <input type="checkbox"/> VISIONE SFOCATATA DA LONTANO <input type="checkbox"/> VISIONE DOPPIA (DI SCRITTI, IMMAGINI) <input type="checkbox"/> MACCHIE NERE DAVANTI AGLI OCCHI. <input type="checkbox"/> SCINTILLE, O MOSCHE VOLANTI <input type="checkbox"/> MAL DI TESTA <input type="checkbox"/> ALTRO _____
---	--

23. MALATTIE ALLERGICHE: ? NO

<input type="checkbox"/> ASMA <input type="checkbox"/> RINITE <input type="checkbox"/> CONGIUNTIVITE <input type="checkbox"/> DERMATITE
--

Fig. 57 – Short- test sottoposto nella Biblioteca della Facoltà di Architettura

L'indagine condotta, nel suo complesso evidenzia un buon grado di soddisfazione da parte dei soggetti utilizzatori di tutti gli ambienti analizzati. I soggetti, in quasi tutti i test analizzati, non trovano difficoltà nella lettura del testo sulla postazione, giudicano buona la qualità e quantità di luce presente su questa ed attribuiscono notevole importanza al controllo dell'illuminazione naturale ed artificiale in ambiente. Tuttavia, sono da considerarsi molteplici aspetti come le condizioni meteorologiche nel giorno in cui i soggetti hanno compilato i test, o ancora il duplice contributo di luce naturale ed artificiale sulla postazione e in ambiente, le quali, nella elaborazione complessiva richiedono specifica attenzione.

Le condizioni indicate come "buone" in ambiente, spesso non coincidono con le reali condizioni degli ambienti, i quali spesso sono

fonte di discomfort a causa della presenza di schermature alle finestre non controllabili dall'utente, come nel caso della biblioteca centrale di Lettere e Filosofia, errata esposizione, come nel caso della biblioteca di Agraria, errata disposizione dei tavoli da lettura rispetto le aperture, o ancora l'ingresso eccessivo ed non gestito della luce naturale in ambiente come nel caso della Biblioteca ed emeroteca della Facoltà di Architettura. In particolare, la cattiva gestione della quantità di luce naturale, comporta l'oscuramento delle superficie trasparenti e la conseguente costante accensione dei corpi illuminanti ambiente e puntuali sulle postazioni, con importanti livelli di dispendio energetico, altrimenti limitabili.

La parte del test focalizzata sul rilevamento delle patologie della vista dei soggetti ha fatto emergere un dato relativo ad una grande quantità di soggetti affetti da miopia e astigmatismo, in tutti gli ambienti analizzati.

PARTE SECONDA

STRUMENTI DI ANALISI DELLA DISUNIFORMITÀ

L'organizzazione sociale e spaziale, l'insieme delle reti e delle infrastrutture così come gli ambienti che l'uomo quotidianamente abita, sono sistemi complessi che dal punto di vista termodinamico scambiano flussi di energia con l'ambiente e possono essere analizzati secondo leggi proprie, appunto, della Termodinamica.

Ogni tipo di processo richiede energia e questo comporta la sua degradazione in stati più utili per il sistema al fine di supportare le sua funzione. Ciò comporta un aumento delle irreversibilità misurato attraverso l'aumento di entropia.

Nella teoria dell'informazione, considerando la teoria dei segnali, l'entropia misura la quantità di incertezza o informazione presente in un segnale aleatorio. In generale, esistono diversi tipi di segnali, ma tutti sono accomunati dall'essere in natura segnali casuali e continui e quasi mai deterministici. La teoria dei segnali studia la rappresentazione dei segnali in modo da poter poi manipolarli e trattarli matematicamente. In questa ricerca, vengono presi in esame i segnali "segnali determinati" o deterministici, di cui è possibile predire il valore in un qualunque istante a piacere.

In statistica, la definizione più vicina all'approccio entropico riguarda un concetto intuitivo, in cui ad una certa condizione macroscopica di equilibrio del sistema corrisponda una moltitudine di configurazioni microscopiche³. Le applicazioni della teoria dell'informazione di Shannon⁴ in differenti campi sono note. Ciò è dovuto alla possibilità di

³ Allora è possibile definire l'Entropia secondo Stefan-Boltzmann come: $S = k \ln G$, dove k è la costante di Boltzmann. Questa relazione è analoga all'Entropia introdotta da Shannon.

⁴ Nella teoria dell'informazione, in rapporto alla teoria dei segnali, l'entropia misura la quantità di incertezza o informazione presente in un segnale aleatorio.

Shannon dimostrò come una sorgente casuale d'informazione non può essere rappresentata con un numero di bit inferiore alla sua entropia, cioè alla sua autoinformazione media. la relazione matematica che egli indicò fu la seguente: $S = -p$

definire e quantificare la connessione tra l'informazione e l'entropia. Il problema base di tutte queste applicazioni riguarda il confronto, l'analisi e l'interpretazione dei risultati. Per Shannon, la teoria dell'informazione è, come l'entropia in termodinamica, una caratteristica dei sistemi, in particolare di quei sistemi che vengono usati per comunicare. L'informazione di un messaggio non può mai aumentare oltre il valore che aveva al momento della trasmissione del messaggio.

Essa può, invece, diminuire per colpa di processi che conducono ad un deterioramento del messaggio.

A seconda del messaggio, ogni carattere può essere previsto o non previsto con diversi gradi di certezza a partire dai caratteri che precedono, permettendo di attribuire una distribuzione di probabilità anche al messaggio (ogni carattere ha una probabilità di essere previsto in funzione dei caratteri che seguono). L'Entropia dell'informazione è collegata a questa probabilità esattamente nello stesso modo in cui l'entropia termodinamica è collegata alla probabilità dello stato di un sistema. Questa Entropia di informazione gode di diverse proprietà simili a quella termodinamica, tra cui quella di non diminuire mai nel corso del tempo, perché con il passare del tempo un messaggio può diventare meno chiaro a causa dei disturbi di trasmissione. Questi introducono caratteri che non possono essere previsti da quelli precedenti, per cui hanno una distribuzione di probabilità piatta, con l'effetto di aumentare l'Entropia.

Il collegamento è abbastanza immediato, in entrambi i casi, l'Entropia (termodinamica o di informazione) è una misura di quanto si sia degradato il contenuto utilizzabile del sistema, un contenuto energetico nel caso termodinamico, un contenuto di informazione nel caso di un messaggio. L'informazione gioca il ruolo dell'energia disponibile, che diminuisce con il passare del tempo.

Il concetto di entropia è applicabile anche nei sistemi sociali e a tal proposito un interessante spunto di riflessione è suggerito dalla teoria di M. Hannan e di J. Freeman che, in *Ecologia Organizzativa. Per una teoria evoluzionista dell'organizzazione*, in cui è esplicito il concetto secondo cui un sistema con una maggiore varietà organizzativa ha superiori

$\log(p)$, dove con p si intende la probabilità. Tale risultato richiamò la definizione statistica dell'entropia. Come ricordò Shannon più tardi: « La mia più grande preoccupazione era come chiamarla. Pensavo di chiamarla informazione, ma la parola era fin troppo usata, così decisi di chiamarla incertezza. Quando discussi della cosa con John Von Neumann, lui ebbe un'idea migliore. Mi disse che avrei dovuto chiamarla entropia, per due motivi: innanzitutto, la tua funzione d'incertezza è già nota nella meccanica statistica con quel nome. In secondo luogo, e più significativamente, nessuno sa cosa sia con certezza l'entropia, così in una discussione sarai sempre in vantaggio».

probabilità di trovare al suo interno una certa forma di organizzazione che riesca a fornire una prestazione ragionevolmente soddisfacente nel fronteggiare le mutate condizioni ambientali. Ma, all'interno di tale sistema, così come in tutti i sistemi, tutti gli interrogativi riguardanti la varietà organizzativa del sistema stesso si concentrano sul ruolo del controllo dell'incertezza.

L'analisi delle disuniformità mediante la teoria dell'informazione

Anche la qualità dello spazio, sia interno che esterno, può essere indagato attraverso questo tipo di analisi. L'ambiente interno, secondo questo approccio, viene definito secondo alcuni aspetti specifici del comfort assunti tra i "compartimenti" termico, visivo, acustico, considerati anche nel loro aspetto soggettivo e psicologico.

Molti di questi parametri devono, di solito, essere monitorati, ma non tutti possono essere assunti come valori quantificabili essendo subordinati a giudizi soggettivi.

Anche se non tutti questi aspetti hanno già una accettata metodologia valida, volta a valutare per via numerica un indice di qualità, la comunità scientifica va verso la definizione di una procedura standardizzata.

Fino ad oggi due aspetti rimangono indefiniti: il primo, tutti gli indici di comfort sono calcolati come dati statici per singoli punti; il secondo, non esiste un indice globale che tenga conto della qualità dello spazio.

In relazione ad un normale uso dell'ambiente, una forte disuniformità spaziale dei livelli di comfort è una cattiva caratteristica dell'ambiente. Più alta è questa variabilità più alta sarà la domanda di adattamento per i soggetti che si muovono in esso al fine di adattarsi alle diverse condizioni.

Così si può affermare che, anche se i valori medi dei parametri utili alla definizione del comfort sono un fattore importante, un'analisi più approfondita di questi valori può fornire ulteriori e importanti indicatori della variabilità di tutti i valori.

L'analisi può essere sviluppata attraverso l'analisi entropica della distribuzione dei valori. L'equazione di Shannon-Wiever (4):

$$H = \sum_{i=1}^n p_i \ln_i p_i$$

(4)

dove p_i è la probabilità del segnale i -esimo.

Se si dichiara che tutti i segnali emessi da una sorgente assumono lo stesso valore, l'entropia della sorgente è uguale a zero, mentre se i segnali assumono tutti i possibili valori con la stessa probabilità l'entropia è massima.

Il valore considerato dipende dal numero dei differenti segnali emessi e ciò è pari al numero dei bit⁵ necessari a determinare il messaggio in un'unica via.

Se si considera una stanza come una sorgente di più informazioni, la struttura dei segnali emessi è variabile. Poiché i parametri caratteristici del comfort possono assumere tutti i possibili valori con la stessa probabilità, si può predire che in alcune zone dell'ambiente il livello del comfort risulti molto basso, in questo caso l'entropia del sistema sarà massima.

Di contro, in un ambiente in cui i segnali risultano uniformi (il segnale è privo di rumore), l'entropia del messaggio trasmesso è pari all'entropia della sorgente, che risulta la minima entropia possibile, la sua interpretazione diviene, quindi, unica e certa. Tuttavia, non esistono, o quasi, sistemi di tale natura. In realtà, ogni sistema è permeato dal "rumore", il quale contribuisce in modo sostanziale all'ambiguità della sorgente secondo la lettura da parte del ricevente, in breve diminuisce il potenziale dell'efficacia del segnale.

La misura di Shannon ha differenti peculiarità, infatti, è indipendente dalla scala usata (si può calcolare sia per variabili aleatorie che per variabili discrete), è una funzione continua di p_i , i segnali rari contribuiscono pochissimo alla misura, essendo una funzione logaritmica ed è additiva[tesi dott marco]

È necessario quindi, una volta identificato il processo (o i processi) all'interno di un sistema, quantificare il valore di informazione potenziale H_i della sorgente e del ricevente, il rumore associato alla sorgente e al ricevente e quindi l'informazione complessivamente trasmessa all'interno del sistema ed infine entropia, informazione e rumore per ogni risposta.

⁵ Un bit è la quantità di informazione necessaria per controllare, senza errori, quale delle due alternative equiprobabili deve essere scelta dal ricevente. In generale, il numero di bit associabile ad ogni messaggio equiprobabile è pari alla potenza a cui occorre elevare il numero 2 per ottenere un numero di messaggi equiprobabili.

Se il segnale è ripetuto, definiamo *ridondanza* dell'intero sistema o di un suo singolo componente una misura inversa all'efficienza di trasmissione del segnale, calcolata come il complemento a 1 del rapporto tra l'informazione e l'entropia, come mostrato nella (5).

$$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}} \quad (5)$$

Dalla (4) è chiaro che più i livelli di comfort sono uniformemente distribuiti, più il livello di comfort in un punto è prevedibile (pari a 1 in una distribuzione molto uniforme), in questo caso l'entropia è pari a zero e la R è uguale a 1.

È possibile analizzare, all'interno di un ambiente, secondo questo approccio entropico-probabilistico, la distribuzione del comfort termico, visivo e acustico. Il primo è rappresentato dal PMV, il secondo è analizzato dal Daylight Factor, il terzo dal livello di pressione sonora in Db.

Se definiamo il comfort visivo all'interno degli ambienti come il mantenimento della condizione del soggetto secondo cui questo non debba continuamente adattarsi a mutate condizioni illuminotecniche e conseguentemente non essere esposto a rischi per la propria salute, in questa ricerca, si vuole approfondire la definizione di una metodologia scientifica utile alla valutazione delle condizioni del microclima luminoso all'interno degli ambienti confinati e all'uso razionale dell'energia in tali spazi.

L'analisi entropico-probabilistica dell'illuminazione naturale di un ambiente

In riferimento all'applicazione della teoria dell'Informazione, ed utilizzando l'approccio di Brillouin si propone un nuovo metodo di valutazione e confronto, tra diverse configurazioni progettuali. Il metodo si basa sul presupposto che l'ambiente è espressione di variazione di entropia internamente generata (per un valore compreso tra 0 e 1) e la variazione di questa può essere letta come informazione trasmessa.

La modellazione, individua con approccio probabilistico, il numero dei valori che si verifica (o si ripete) all'interno di un intervallo predefinito. Maggiore è il numero di probabilità che ha un valore di verificarsi all'interno di un dato intervallo, minore sarà l'entropia del sistema e

quindi H_{max} . Il parametro utilizzato, per confrontare la variazione di entropia, all'interno delle configurazioni oggetto dello studio, è H/H_{max} , dove H è l'entropia del sistema e H_{max} è l'entropia massima che il sistema avrebbe, se per ogni segnale sussistesse la medesima probabilità di accadimento. Il numero degli intervalli P_i è fissato tenendo conto del massimo e del minimo valore che si verifica nelle configurazioni. Ciò consente di evidenziare la variazione di H su un valore costante di H_{max} . In Fig. 58, si riportano, a titolo esemplificativo, tre configurazioni possibili, si tratta infatti di tre ambienti di uguale dimensione, ma con differenti caratteristiche spaziali (qui non prese in considerazione) in cui varia la distribuzione dei livelli di illuminamento con conseguente variazione del valore di H/H_{max} .

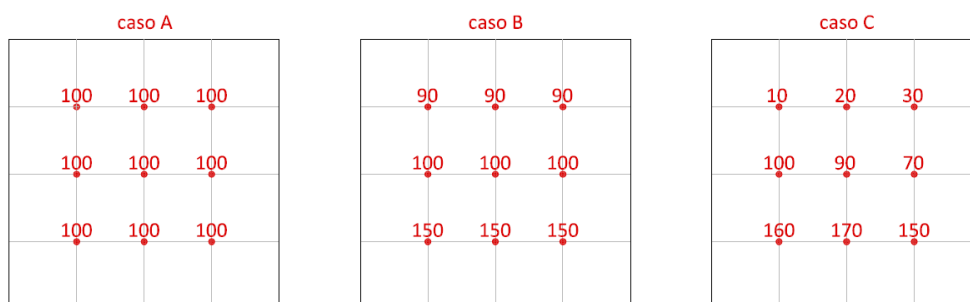


Fig. 58 - Casistica esemplificativa di tre differenti distribuzioni spaziali dei valori.

La metodologia di individuazione dei termini oggetto di questa trattazione, è evidenziata nel seguente schema matriciale di calcolo (Tab.6), dove:

- $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: sono il sistema dei valori di cui si vogliono calcolare i termini H , H_{max} , R ;
- $A, B=(A-x)$, etc...: sono i valori del range all'interno del quale il valore si verifica n volte;
- $\alpha < A$; $\alpha \geq B$, etc...: indica con il valore 1 il verificarsi del singolo valore all'interno dell'intervallo;
- $nAToT$, etc...: è il numero di valori che si ripete nello stesso intervallo;
- 1 è l'unico valore possibile per ogni riga, indica cioè il verificarsi del valore in un solo intervallo;
- TOT : è il numero TOT dei valori che compone il sistema.

Tab.6 – Costruzione della matrice di calcolo per la determinazione di H, H_{max} ed R

	A	B=(A-x)	C=(B-x)	D =(C-x)	.. Z=(...-x)	
α	$\alpha < A; \alpha \geq B$	$\alpha < B; \alpha \geq C$	$\alpha < C; \alpha \geq D$	$\alpha < D; \alpha \geq \dots$	$\alpha < \dots; \alpha \geq Z$	1
β	$\beta < A; \beta \geq B$	$\beta < B; \beta \geq C$	$\beta < C; \beta \geq D$	$\beta < D; \beta \geq \dots$	$\beta < \dots; \beta \geq Z$	1
γ	$\gamma < A; \gamma \geq B$	$\gamma < B; \gamma \geq C$	$\gamma < C; \gamma \geq D$	$\gamma < D; \gamma \geq \dots$	$\gamma < \dots; \gamma \geq Z$	1
δ	$\delta < A; \delta \geq B$	$\delta < B; \delta \geq C$	$\delta < C; \delta \geq D$	$\delta < D; \delta \geq \dots$	$\delta < \dots; \delta \geq Z$	1
	<i>nA TOT</i>	<i>nB TOT</i>	<i>nC TOT</i>	<i>nD TOT</i>	<i>nZ TOT</i>	TOT

Ciò detto, è possibile calcolare i termini H, H_{max}, ed R. Se il numero di intervalli, viene posto pari a 23 in tutte le configurazioni analizzate, H_{max}, sarà la massima entropia possibile in ambiente derivante dalla condizione che tutti i valori hanno la stessa probabilità di verificarsi, poiché P_i sarà uguale a 1/23. Il termine H, invece, corrisponde alla reale distribuzione dei valori all'interno del sistema, difatti si avrà H= 0, nel caso A in cui tutti i valori sono uguali (Ridondanza del segnale R=1), H=1.58 nel CASO B, in cui è stata introdotta una leggera disuniformità e H=2.64 nel CASO C in cui esiste una importante disuniformità spaziale. La Tab. 7, riportata di seguito, riassume la casistica esemplificativa del metodo proposto.

Tab.7–Distribuzione dei livelli di illuminamento all'interno di tra configurazioni esemplificative del metodo

CASO A		CASO B		CASO C	
H _{max}	4.52	H _{max}	4.52	H _{max}	4.52
H	0	H	1.58	H	2.64
H/H _{max}	0	H/H _{max}	0.35	H/H _{max}	0.58
R	1	R	0.64	R	0.41
n intervalli	23	n intervalli	23	n intervalli	23

APPLICAZIONE DEL METODO: SVILUPPO DELLA CASISTICA DI STUDIO DELLA DISSUNIFORMITÀ

Al fine di identificare gli strumenti di analisi di analisi della disuniformità spaziale, relativamente alle condizioni illuminotecniche di un ambiente confinato, è stata sviluppata una casistica comprendente tre configurazioni esemplificative di alcune condizioni progettuali tipo. Tale casistica è stata poi ampliata introducendo alcune disuniformità spaziali riguardanti le aperture e le caratteristiche di alcune pareti perimetrali.

Casi studio base

I casi studio base individuati sono ambienti di dimensioni 5.00mx5.00m con interpiano pari a 3.00m e 10.00x10.00 con interpiano 3.00m.

Il sito di simulazione ipotizzato per tutte le configurazioni è Palermo (LAT 38°07, LONG 13°21, 14,0 m s.l.m.). Le configurazioni presentano le aperture orientate a Sud con vetro chiaro (Gw 0.94, Coefficiente di trasmissione 0.753), come mostrano le Figg. 59, 60, 61 e 62 che seguono. Le pareti ipotizzate sono di colore “grigio chiaro”, in particolare la casistica è così suddivisa:

CASO BASE 5.00X5.00m

Configurazione 1: 1 finestra “a nastro” di dimensioni 0.8x3.0m, h dal piano di calpestio: 1.0 metri;

Configurazione 2: 3 finestre quadrate di dimensioni 1.0x1.0m, distanziate l’una dall’altra di 0.30 metri, h dal piano di calpestio: 1.0 metri;

Configurazione 3: 1 finestra quadrata di dimensioni 1.6 x 1.6m, h dal piano di calpestio: 0.8 metri;

CASO BASE 10.00X10.00m

Configurazione 1: 1 finestra "a nastro" di dimensioni 1.6 x 3.0 m, h dal piano di calpestio: 1.0 metri;

Configurazione 2: 3 finestre quadrate di dimensioni 1.50 x 1.5 m, distanziate l'una dall'altra di 0.60 metri, h dal piano di calpestio: 1.0 metri;

Configurazione 3: 1 finestra quadrata di dimensioni 2.5 x 2.5m, h dal piano di calpestio: 0.3 metri;

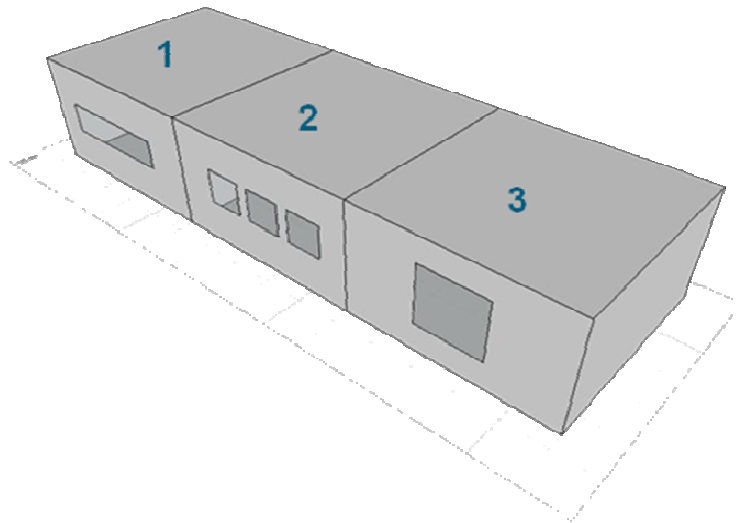


Fig. 59 – Schema assonometrico delle tre configurazioni base 5.0 x 5.0

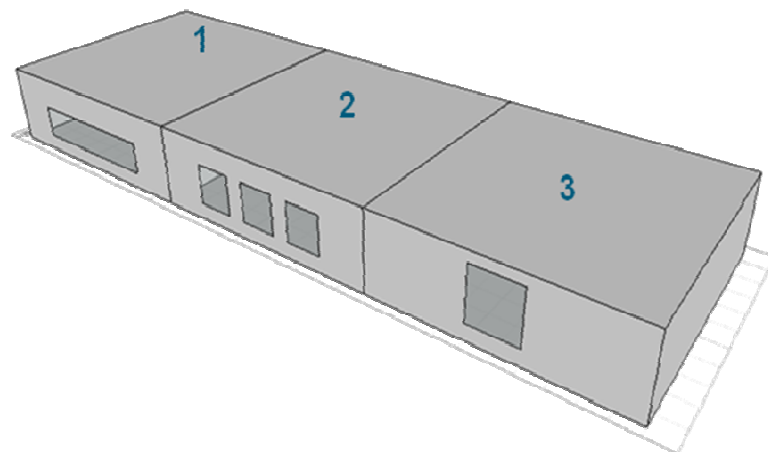
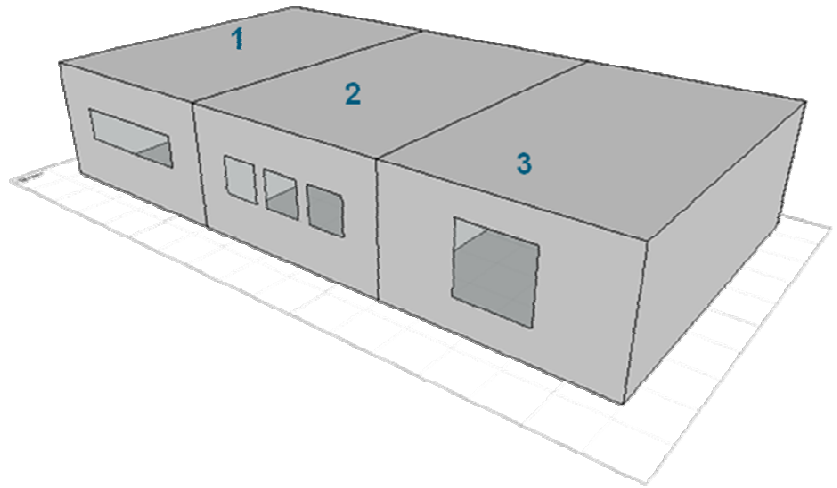
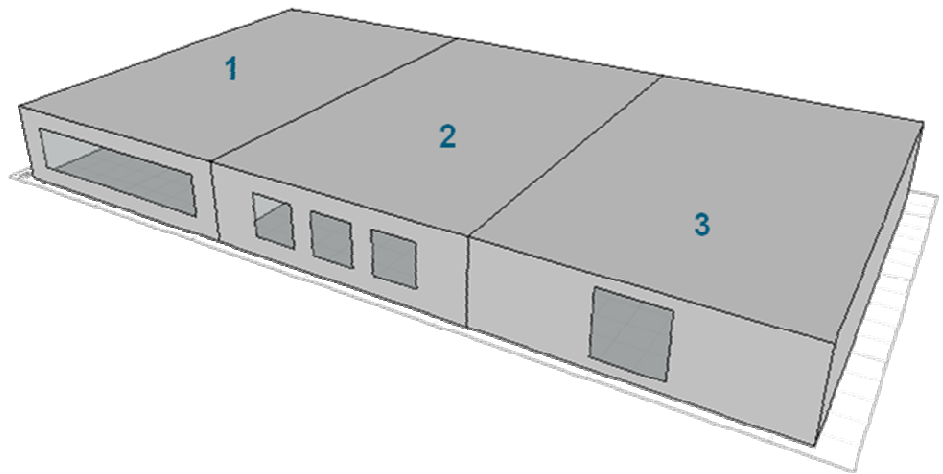


Fig. 60 – Schema assonometrico delle tre configurazioni base 10.0 x 10.0



**Fig. 61 – Schema assonometrico delle tre configurazioni
base 5.00 x 8.00**



**Fig. 62 – Schema assonometrico delle tre configurazioni
base 10.00 x 16.00**

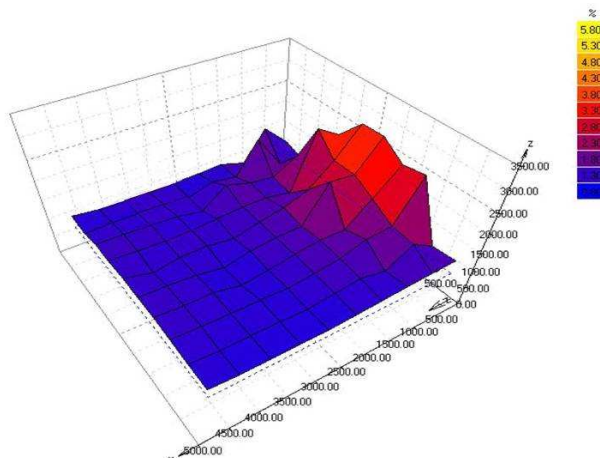
*Analisi della disuniformità spaziale.**Casi studio base: distribuzione spaziale del Daylight Factor [%]*

La metodologia proposta prevede una prima fase di studio e analisi del Daylight Factor [%], negli ambienti campione ipotizzati, al fine di individuare le condizioni illuminotecniche qualitative interne. L'analisi è stata sviluppata con il software di calcolo Autodesk Ecotect®. Il software fornisce i valori puntuali di Daylight Factor, in condizioni di distribuzione di luminanza: cielo coperto CIE Standard Overcast.

È stata, quindi, posta una griglia di calcolo in ogni ambiente a 0.80 m dal piano di calpestio. Le griglie di calcolo risultano composte da un numero diverso di punti di simulazione del DF [%] in relazione alle dimensioni degli stessi ambienti. Il numero di punti simulati costituenti le mappature sono:

- Ambiente 5.00x5.00m: 100 Pt;
- Ambiente 10.00x10.00m: 400 Pt;
- Ambiente 5.00x8.00m: 150Pt;
- Ambiente 10.00x16.00m: 600Pt.

Nelle Figg. 63, 64, 65, e 66 di seguito riportate, è possibile apprezzare una prima distribuzione spaziale di tale parametro nel caso base Configurazione 1 “finestra a nastro”.



**Fig. 63 – Caso base 5.00x5.00m – configurazione 1 – Finestra “a nastro”
Distribuzione spaziale del DF [%]**

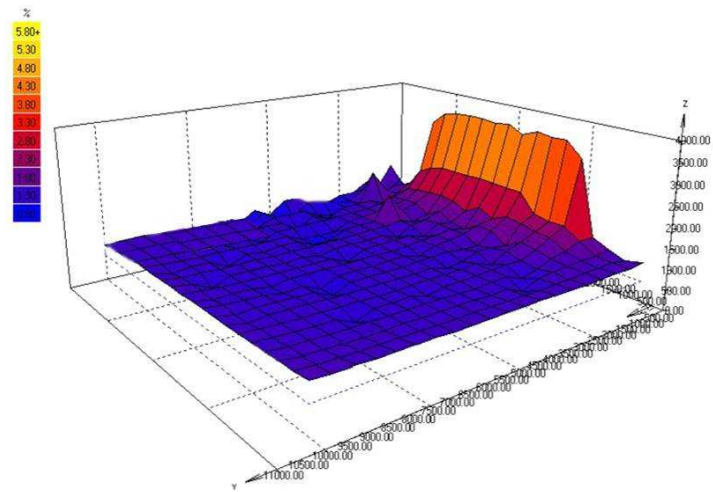


Fig. 64 – Caso base 10.00x10.00m – configurazione 1 – Finestra “a nastro”. Distribuzione spaziale del DF [%]

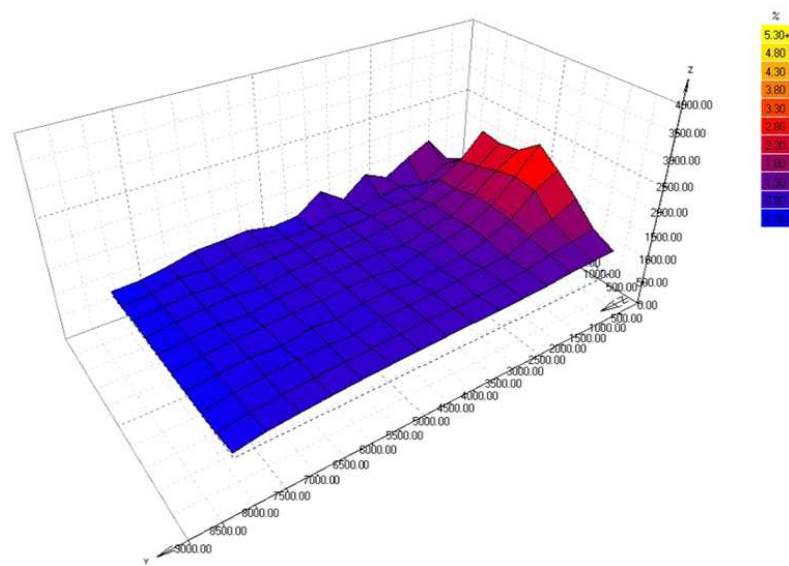


Fig. 65 – Caso base 5.00x8.00m – configurazione 1 – Finestra “a nastro” Distribuzione spaziale del DF [%]

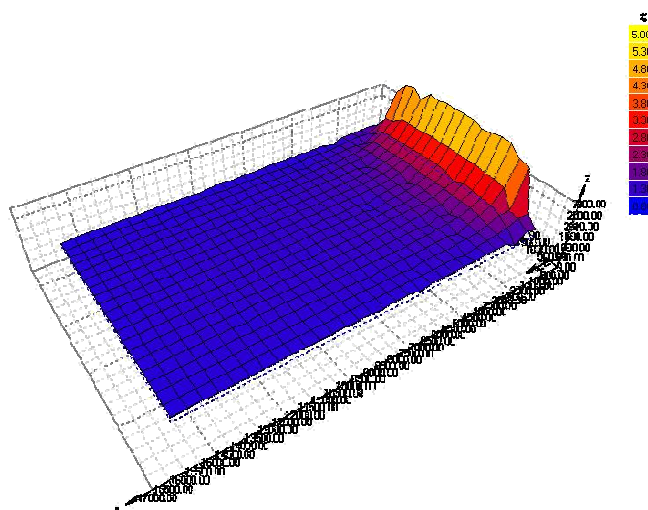


Fig. 66 – Caso base 10.00x16.00m, configurazione 1 – Finestra “a nastro” Distribuzione spaziale del DF [%]

Individuata la distribuzione spaziale del Daylight Factor [%], per le diverse tipologie geometriche degli ambienti, si è ritenuto opportuno introdurre alcune variazioni delle caratteristiche spaziali degli ambienti, al fine di analizzare la variazione dello stesso parametro in ambienti di eguali dimensioni. In particolare, le disuniformità spaziali introdotte riguardano elementi caratteristici come il colore di alcune pareti e la posizione delle aperture, difatti la casistica comprende la modifica del coefficiente di assorbimento a pari a 0.9 per due pareti dell’ambiente, rispettivamente:

- Parete Laterale;
- Parete di Fondo;
- Decentramento orizzontale delle aperture;
- Decentramento verticale delle aperture (Fig. 67).

Tali disuniformità sono state analizzate in 60 simulazioni totali, riguardanti questo aspetto dello studio, per l’intera casistica prima descritta come mostra il prospetto di sintesi in Tab.8, di seguito riportato. Le prime analisi mostrano l’andamento del Daylight Factor [%],

elevato in prossimità delle aperture fino a raggiungere valori quasi costanti con l'aumentare della distanza da queste. La valutazione del DF_{medio} [%] secondo normativa vigente, di ambienti di tale tipologia, porterebbe ai risultati descritti in Tab. 8.

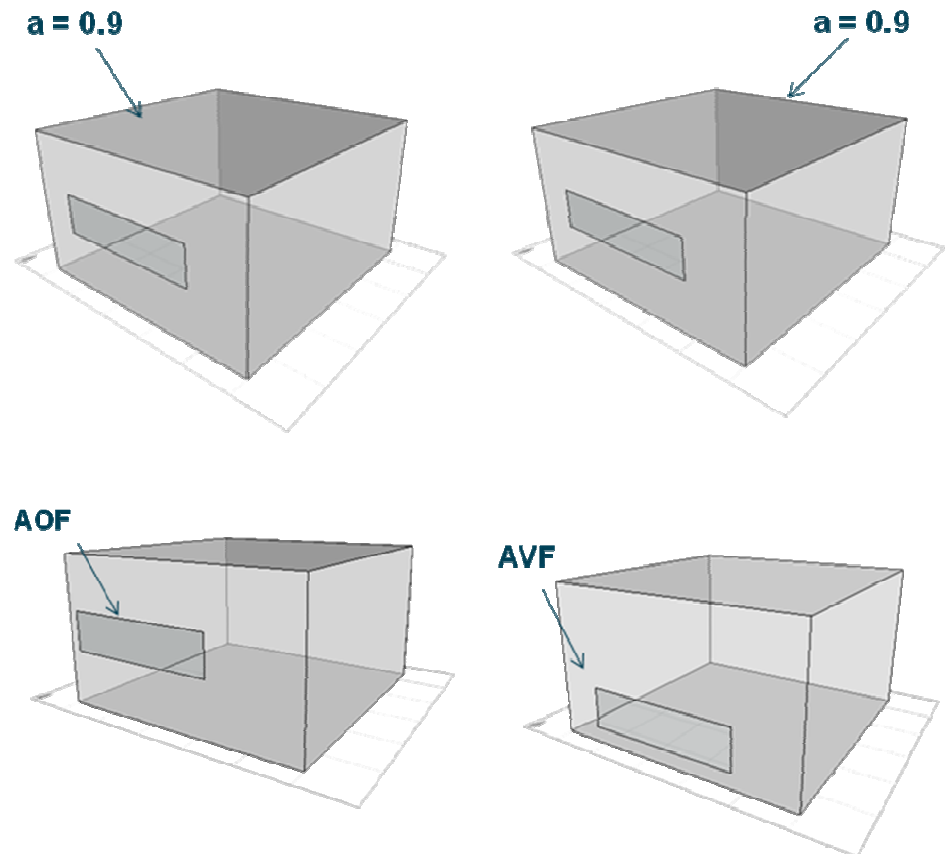


Fig. 67 – Schematizzazione delle disuniformità spaziali introdotte

Tab. 8 – PROSPETTO DI SINTESI DELLE SIMULAZIONI EFFETTUATE NEI VARI SCENARI

CASO BASE 5.00x5.00m	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	CASO BASE 10.00x10.00m	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata
<i>Parete laterale α=0.9</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	<i>Parete laterale α=0.9</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata
<i>Parete di fondo α=0.9</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	<i>Parete di fondo α=0.9</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata
<i>Asimmetria Orizzontale Finestre (AOF)</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	<i>Asimmetria Orizzontale Finestre (AOF)</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata
<i>Asimmetria Verticale Finestre (AVF)</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	<i>Asimmetria Verticale Finestre (AVF)</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata
CASO BASE 5.00x8.00m	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	CASO BASE 10.00x16.00m	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata
<i>Parete laterale α=0.9</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	<i>Parete laterale α=0.9</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata
<i>Parete di fondo α=0.9</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	<i>Parete di fondo α=0.9</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata
<i>Asimmetria Orizzontale Finestre (AOF)</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	<i>Asimmetria Orizzontale Finestre (AOF)</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata
<i>Asimmetria Verticale Finestre (AVF)</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata	<i>Asimmetria Verticale Finestre (AVF)</i>	Finestra a nastro 3 finestre quadrate 1 finestra quadrata

Tab.9–Analisi del DF_{medio} e del Fattore di Uniformità in tutte le configurazioni

Ambiente 5.00x5.00		
Caso Base	F.U.	DF%
Configurazione 1: Finestra a nastro	0.5	1,93
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.5	1,97
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.6	2,10
Parete laterale a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro	0.5	2,36
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	2,53
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.6	2,77
Parete di fondo a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro	0.6	2,36
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.6	2,55
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.6	2,79
Asimmetria Orizzontale Finestre		DF%
Configurazione 1: Finestra a nastro	0.6	2,65
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	1,55
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.6	2,73
Asimmetria Verticale Finestre		
Configurazione 1: Finestra a nastro	0.6	1,97
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.6	1,57
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.5	2,55
Ambiente 10.00x10.00		
Caso Base	F.U.	DF%
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.6	2,45
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.5	2,22
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.5	1,40
Parete laterale a=1		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.1	1,86
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	1,83
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.3	1,14
Parete di fondo a=1		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.4	1,84
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	1,77
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.3	1,11
Asimmetria Orizzontale Finestre		DF%
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.4	2,24
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	1,77
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.3	1,11
Asimmetria Verticale Finestre		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.6	2,02
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	1,77
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.3	1,11

Ambiente 5.00x8.00		
Caso Base	F.U.	DF%
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.7	1,93
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.6	2,03
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.7	2,08
Parete laterale a=1		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.3	0,92
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	1,01
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.2	1,35
Parete di fondo a=1		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.2	1,43
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	1,52
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.3	1,58
Asimmetria Orizzontale Finestre		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.3	1,42
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	1,51
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.4	1,56
Asimmetria Verticale Finestre		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.4	1,40
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.3	1,41
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.2	1,40

Ambiente 10.00x16.00		
Caso Base	F.U.	DF%
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.5	2,58
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.5	1,62
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.5	1,67
Parete laterale a=1		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.4	2,08
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.1	1,30
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.2	1,32
Parete di fondo a=1		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.2	2,25
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.2	1,41
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.2	1,43
Asimmetria Orizzontale Finestre		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.5	2,63
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.5	1,86
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.5	1,71
Asimmetria Verticale Finestre		
Configurazione 1: "Finestra a nastro"	0.5	2,42
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0.5	1,47
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0.6	0,98

Se si volesse, in una prima analisi dei dati, esaminare ogni ambiente della casistica sviluppata, come “comune ambiente reale” e quindi classificare questo con l’ausilio degli strumenti di valutazione secondo la normativa vigente di settore, si riscontrerebbero condizioni di discomfort date dai valori relativi al Fattore di Uniformità, il quale non raggiunge quasi mai il valore soglia indicato dalla norma UNI EN 12464-1 (≥ 0.7), tranne in sporadici episodi riguardanti il caso base 5.00x8.00m nelle configurazioni “finestra a nastro” e “1 Finestra grande”, in quasi tutti gli altri casi i valori riscontrati si avvicinano al valore soglia senza raggiungerlo. È necessario evidenziare il valore di 0.1 nei casi Ambiente 10.00x10.00m e 10.00x16.00m, in cui è stata volontariamente introdotta una importante di disuniformità spaziale (coefficiente di assorbimento parete laterale $a=1$).

Simili considerazioni possono essere fatte relativamente ai valori di Daylight Factor medio in ambiente. Il valore soglia, preso in considerazione in questo studio, è pari al 3.00% relativo, secondo la norma UNI 10840:2007, ad un agevole svolgimento del compito visivo all’interno di sale lettura e biblioteche⁶. Dall’elaborazione dei dati, possibile quindi affermare in generale che, se il valore puntuale di Daylight Factor tende a diminuire con l’aumento della distanza dalla finestra, il valore di medio di Daylight Factor tende a diminuire con l’introduzione delle disuniformità spaziali (in alcuni casi in prossimità delle disuniformità stesse), essendo i valori più prossimi al valore soglia 3.00% riscontrati nei casi base. È possibile dunque fare alcune considerazioni di carattere generale. L’indice di performance Daylight Factor medio fornisce una valutazione qualitativa ed approssimata dell’ambiente non considerando nel particolare, le “sottozone” ad esempio prossime alle aperture o alle disuniformità spaziali, la cui valutazione in caso di ambiente reale verrebbe affidata all’analisi dei livelli di illuminamento, ma si tratterebbe di una valutazione quantitativa specifica e non qualitativa come quella qui analizzata⁷.

⁶ La scelta di tale valore non è casuale, poiché questo è relazionato ad un aspetto dell’indagine descritto precedentemente.

⁷ L’obiettivo di questo studio è quello di analizzare gli strumenti di valutazione del microclima luminoso individuandone criticità e punti di forza. Nell’analisi qualitativa del Daylight Factor medio, attraverso lo studio si sono riscontrate evidenti criticità.

Analisi della disuniformità spaziale in ambiente

In Tab.10, di seguito riportata, sono mostrati i valori di H/H_{max} per ogni valore di DF_{medio} [%] in ambiente, unitamente ai P_i fissati per ogni caso proposto.

Tab.10–Analisi della disuniformità spaziale in tutte le configurazioni

Caso Base Ambiente 5.00x5.00		H/H_{max}
Configurazione 1: Finestra a nastro	$P_i = 1/23$	0,561
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,580
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,326
Parete laterale a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,639
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,648
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,663
Parete di fondo a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,639
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,675
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,670
Asimmetria Orizzontale Finestre		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,629
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,634
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,167
Asimmetria Verticale Finestre		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,515
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,539
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0,632	
Caso Base Ambiente 10.00x10.00		H/H_{max}
Configurazione 1: Finestra a nastro	$P_i = 1/30$	0,560
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,561
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,337
Parete laterale a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,568
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,605
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,430
Parete di fondo a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,584
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,570
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,479
Asimmetria Orizzontale Finestre		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,476
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,628
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,479
Asimmetria Verticale Finestre		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,326

Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,628
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,479

Caso Base Ambiente 5.00x8.00		H/H_{max}
Configurazione 1: Finestra a nastro	Pi= 1/25	0,546
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,552
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,510
Parete laterale a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,530
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,580
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,601
Parete di fondo a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,626
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,665
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,620
Asimmetria Orizzontale Finestre		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,632
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,646
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,579
Asimmetria Verticale Finestre		
Configurazione 1: Finestra a nastro	0,553	
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0,595	
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0,593	

Caso Base Ambiente 10.00x16.00		H/H_{max}
Configurazione 1: Finestra a nastro	Pi= 1/27	0,532
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,477
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,429
Parete laterale a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,615
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,518
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,508
Parete di fondo a=1		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,676
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,551
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,511
Asimmetria Orizzontale Finestre		
Configurazione 1: Finestra a nastro		0,565
Configurazione 2: 3 finestre quadrate		0,505
Configurazione 3: 1 finestra quadrata		0,356
Asimmetria Verticale Finestre		
Configurazione 1: Finestra a nastro	0,482	
Configurazione 2: 3 finestre quadrate	0,435	
Configurazione 3: 1 finestra quadrata	0,275	

La parte della metodologia, qui descritta, consiste quindi nel calcolare un valore H/H_{\max} all'ambiente, di cui conosciamo Daylight Factor medio e Fattore di Uniformità, allo scopo di analizzare, nel caso del Daylight Factor la distribuzione del valore puntuale di questo. Si tratta quindi di un utilizzo diverso e più approfondito, di questo indice di performance.

L'elaborazione dei dati mostra come i valori di H/H_{\max} , relativi ai casi base, non superino il valore di 0.580, relativo al caso base di dimensioni più piccole (caso 5.00x5.00m) nella configurazione "3 finestre quadrate". Se si volesse approfondire il perché di questo valore, potremmo dire che a fronte del numero di punti considerati nell'analisi spaziale (in questo caso 100), H è dato dalle discontinuità tra superficie vetrata e non, le quali alla luce dei presupposti di partenza sono peculiarità dell'informazione trasmessa.

Una delle fasi di analisi dei dati, ha portato alla verifica della scarsa correlazione tra il Daylight Factor medio e il Fattore di Uniformità, apprezzabile nel grafico in Fig. 68, di seguito riportato. Ogni punto, infatti, è rappresentativo di una configurazione ed è individuato rispetto al valore di Daylight Factor medio (calcolato sulla media della totalità dei punti individuati) e del fattore di Uniformità calcolato come il rapporto tra E_{\min} ed E_{med} in ambiente. Ciò significa che garantire elevati valori di DF[%] in ambiente non sempre comporta il raggiungimento di buone condizioni di uniformità.

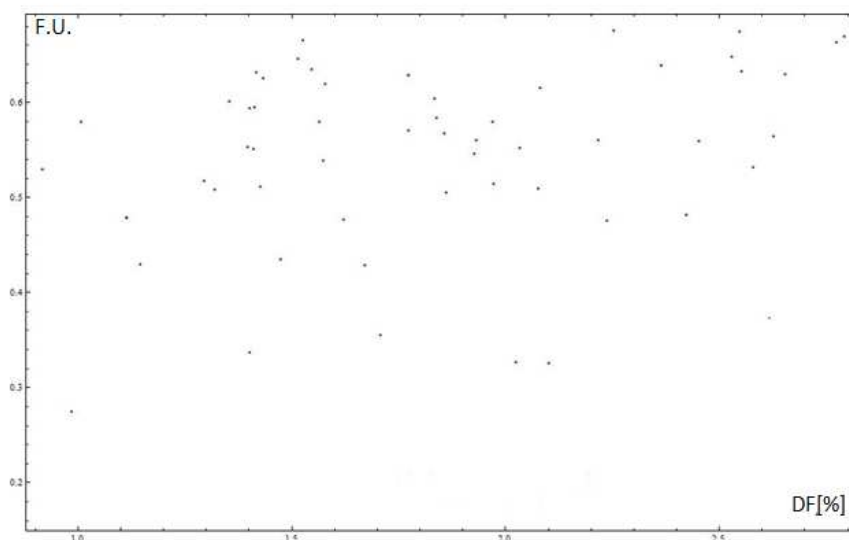


Fig. 68 – Il grafico mostra la scarsa correlazione tra il Daylight Factor e il Fattore di Uniformità in tutte le configurazioni analizzate

A partire da questo presupposto, si è ritenuto opportuno ricercare una correlazione tra il Fattore di Uniformità e l'indice di performance DF_{medio} [%] con il termine, H/H_{max} , che misura, in modo più approfondito, la distribuzione dei valori di illuminamento. Tuttavia, come mostrato nelle Figg. 69 e 70 che seguono, in questa fase, entrambe le correlazioni (FU vs H/H_{max} e DF_{medio} vs H/H_{max}) risultano essere deboli. Il Coefficiente di correlazione R^2 riscontrato, infatti, non risulta significativo. Una prima analisi di questi risultati, viene avvalorata dalla considerazione che si tratta di un valore di DF medio, quindi tendente ad "appiattire" tutte le informazioni puntuali, che in realtà vengono fornite, in particolar modo all'interno di ambienti molto grandi (con superfici finestrate proporzionate) all'interno dei quali si verificano simultaneamente condizioni estremamente diverse. Non si ricerca, qui, necessariamente un rapporto di causa ed effetto, ma la tendenza di una variabile a variare in funzione di un'altra. Si noti come il valore del DF_{medio} [%] sia prossimo a quello dalla norma UNI 12464-1, per gli ambienti con compito visivo richiedente il valore $DF=3\%$, qui scelto come riferimento.

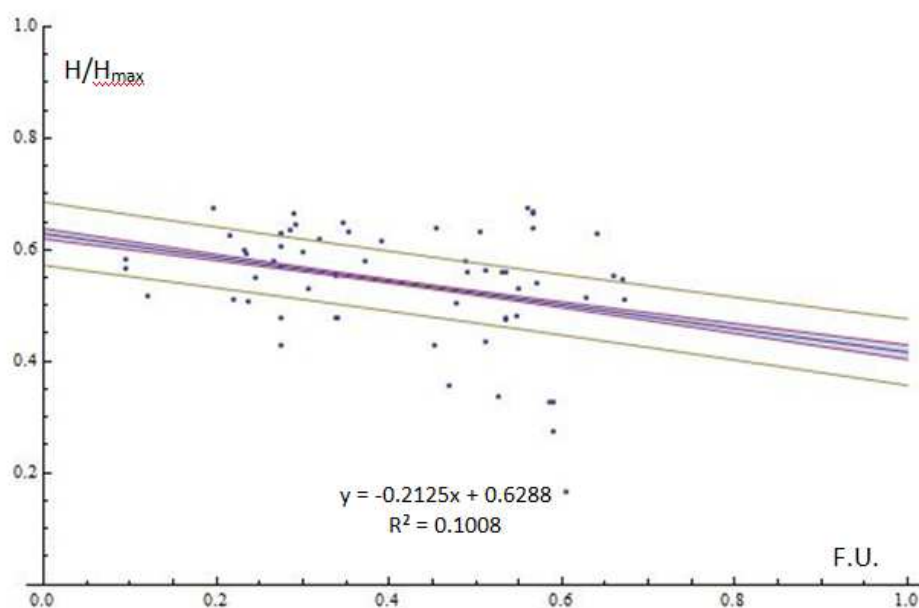


Fig. 69 – Ricerca della correlazione tra il Fattore di Uniformità e H/H_{max}

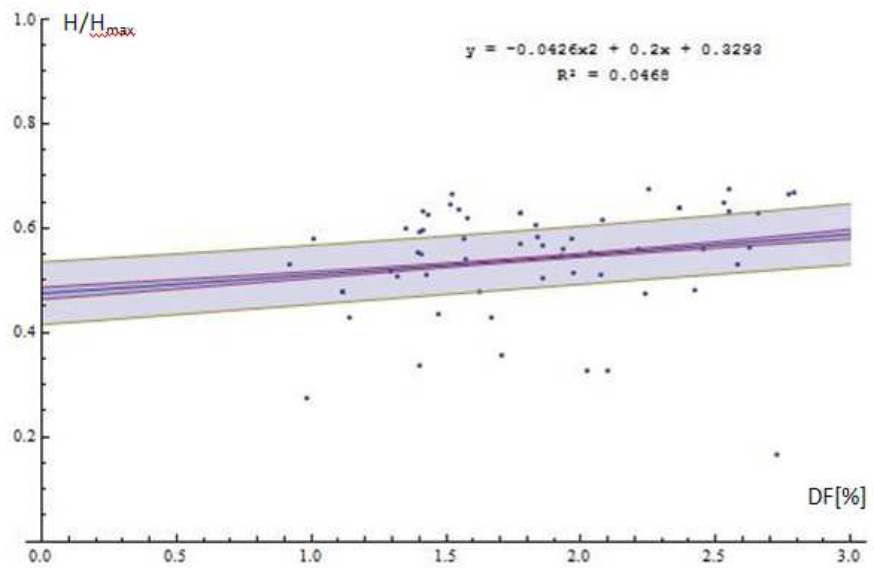


Fig. 70 –Ricerca della correlazione tra il Daylight Factor e H/H_{max}

Considerati i risultati ottenuti, a questo livello dell'analisi, si è ritenuto opportuno indagare l'ambiente in modo più approfondito, esaminando non più l'intero ambiente, ma delle sottoaree assimilabili a postazioni su cui il soggetto svolge il compito visivo, allo scopo di ricercare su, zone maggiormente caratterizzate nello spazio, l'eventuale correlazione tra la variazione di entropia H/H_{max} e gli indici di performance eliminando il rumore generato dai valori assunti dal DF in zone dell'ambiente non significative ai fini dello svolgimento del compito visivo.

Analisi della disuniformità spaziale sulle postazioni

All'interno degli ambienti campione, precedentemente descritti ed analizzati su base spaziale, sono state collocate superfici, di colore verde chiaro, ciascuna di dimensioni 1.50x0.80m e poste a 0.80m dal piano di calpestio. Il numero totale delle postazioni analizzate è pari a 28, in particolare

- 2 postazioni per ambiente nel caso 5.0 x 5.0 m,
- 3 per ambiente nel caso 5.0 x 8.0 m,
- 12 postazioni per ambiente nel caso 10.0 x 10.0m
- 21 postazioni per ambiente nel caso 10.00x16.00m.

Ogni postazione è stata indagata attraverso la costruzione di una griglia, per ottenere una campionatura di 24 punti per postazione, per un totale, in tutte le configurazioni, di 912 punti. La distribuzione delle postazioni è apprezzabile dalle Figg. 71-74 di seguito riportate.

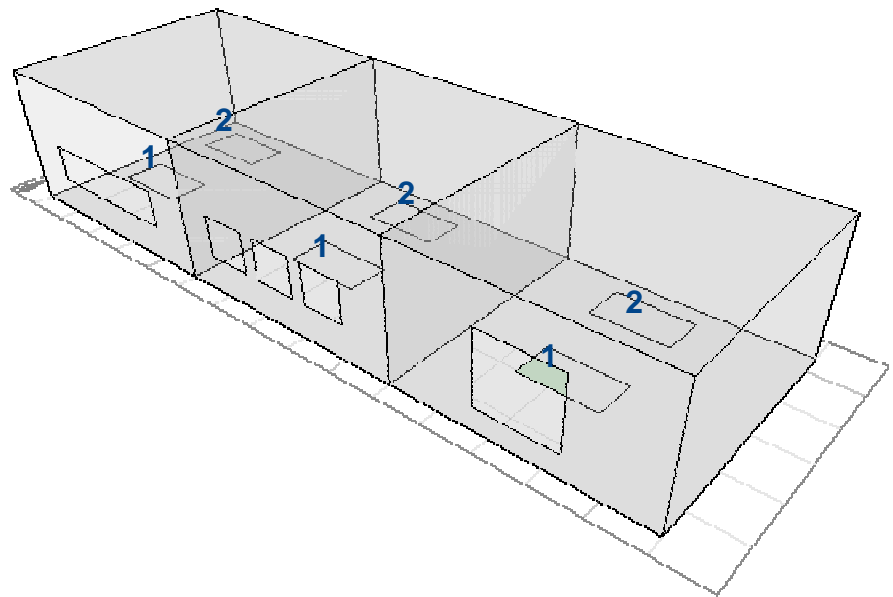


Fig. 71 – Caso base 5.0 x5.0 m – 2 postazioni per ambiente

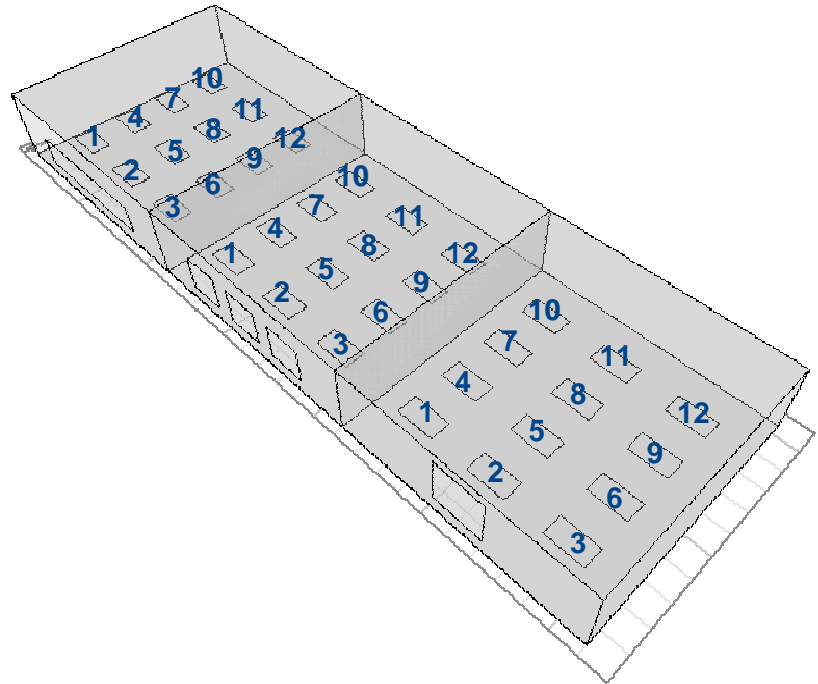


Fig. 72 – Caso base 10.0 x 10.0m – 12 postazioni per ambiente

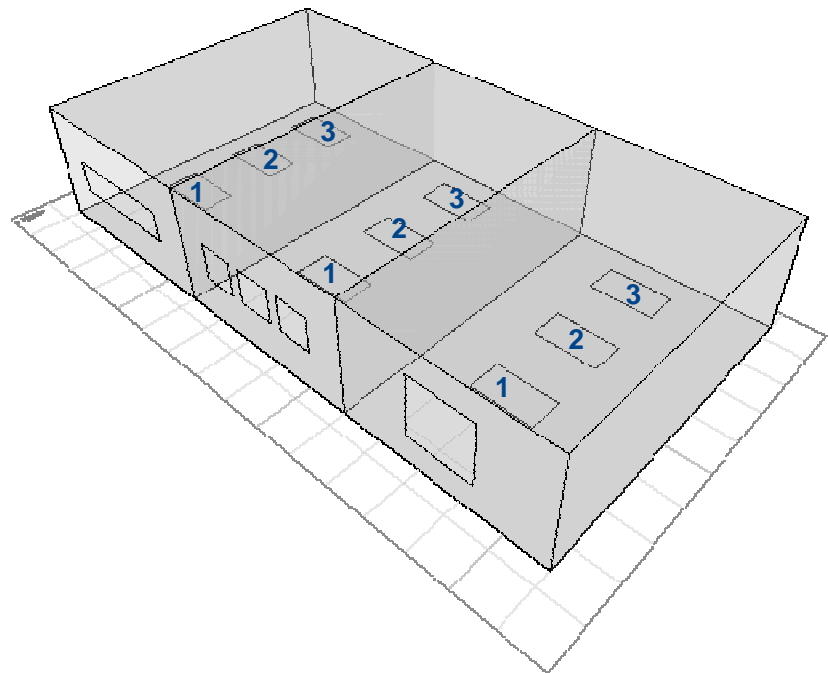


Fig. 73 – Caso base 5.0 x 8.0m – 3 postazioni per ambiente

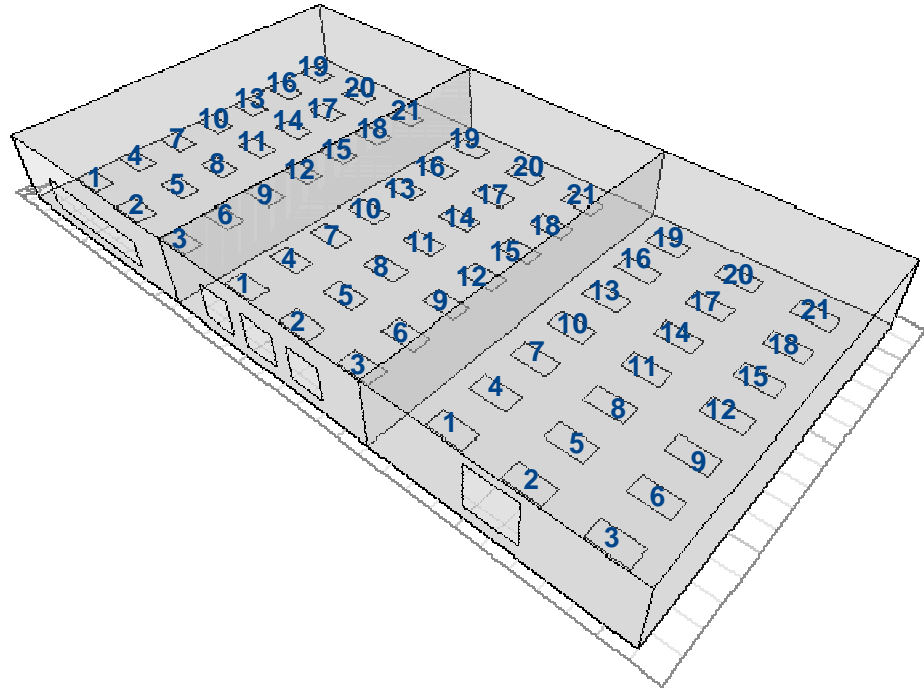


Fig. 74 - Caso base 10.0 x16.0 m, 21 postazioni per ambiente

Anche in questa fase l'elaborazione dei dati è stata svolta definendo il valore di H_{max} , tenendo in considerazione il più alto valore riscontrato sul totale delle postazioni, facendo una opportuna distinzione tra gli ambienti e, successivamente fissato opportunamente il valore di P_i è stata analizzata la variazione di H/H_{max} . La Tab. 11, di seguito riportata, mostra, in sintesi, il valore di H_{max} , di P_i , il numero di postazioni considerate e il totale dei punti studiati per ogni ambiente.

Tab.11–Prospetto di sintesi relativo all’analisi entropico-probabilistica sulle postazioni

Ambiente 5.00x5.00m		Ambiente 5.00x8.00m	
H _{max}	4,087	H _{max}	4,322
Pi	1/17	Pi	1/20
num. Postazioni	2	num. Postazioni	12
num. Pt	48	num. Pt	288
Ambiente 10.00x10.00m		Ambiente 10.00x16.00m	
H _{max}	4,087	H _{max}	4,322
Pi	1/17	Pi	1/20
num. postazioni	3	num. postazioni	21
num. Pt	72	num. Pt	504

È interessante notare che anche in questo caso, è stata evidenziata la scarsa correlazione che esiste tra l’indice di performance DF medio [%] e il Fattore di Uniformità (entrambi relativi ai valori analizzati sulla singola postazione) e il valore H/H_{max} , per ogni postazione apprezzabile in Fig. 75 , di seguito riportata.

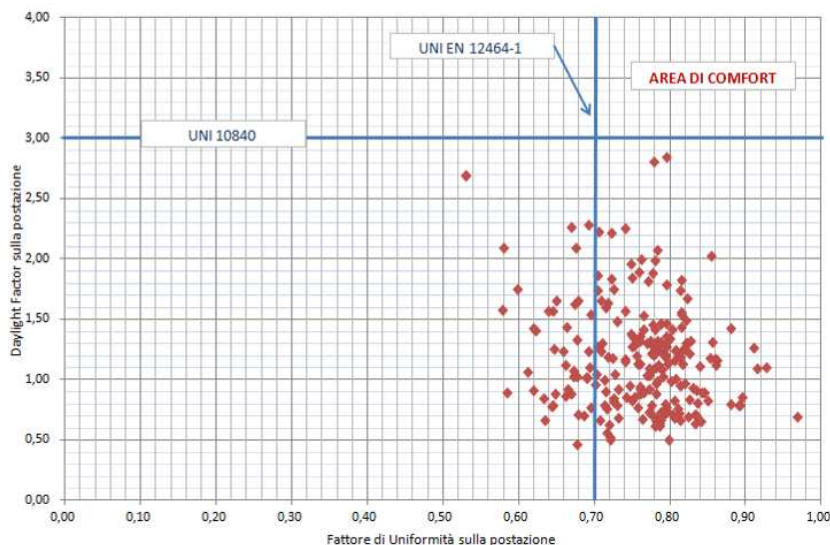


Fig. 75 – assenza di correlazione tra l’indice di Performance Daylight Factor e il Fattore di Uniformità.

I risultati ottenuti in questa fase dello studio inducono a differenti considerazioni: esiste infatti, in alcuni casi, una più significativa correlazione tra le variabili H/H_{max} e $DF_{medio}[\%]$ su postazione. La motivazione di ciò è da ricercarsi nella maggiore omogeneità delle caratteristiche spaziali delle aree esaminate. Una buona correlazione è apprezzabile nel grafico riportato, in Fig. 76, in cui sono mostrati i valori del Daylight Factor medio [%] e del termine H/H_{max} riferiti al totale dei valori misurati sulle due postazioni inserite all'interno degli ambienti 5.00x5.00m, nelle tre diverse possibili configurazioni.

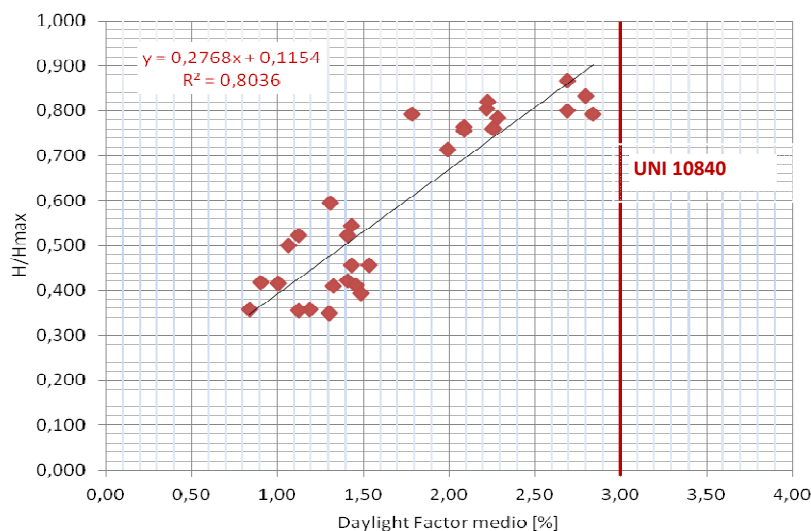


Fig. 76 – Caso 5.00x5.00m, ricerca della correlazione tra $DF[\%]$ e H/H_{max} . Il grafico mostra una significativa correlazione tra le due variabili.

I valori più elevati di H/H_{max} sono riferiti alle due postazioni analizzate nella configurazione in cui è stata introdotta la disuniformità di una parete laterale con coefficiente di assorbimento $a=1$. Entrambe le postazioni, nonostante l'aumento progressivo della distanza dalla finestra, risentono di tale disuniformità evidenziando la più alta variazione di entropia. Anche in questo caso, si noti come $DF_{medio}[\%]$ registri valori prossimi a quelli previsti dalla norma UNI EN 12464-1. Stesse considerazioni non possono essere fatte per il parametro Fattore di Uniformità. In tutti i casi esaminati, infatti, non è stata riscontrata una significativa correlazione con il parametro H/H_{max} . Tale risultato è mostrato in Fig. 77. Se si volesse effettuare un confronto con i valori della normativa vigente UNI EN 12464-1, al fine di valutare la distribuzione della luce naturale sul workplan, si noterebbe che la maggior parte delle configurazioni, in cui sono state analizzate le postazioni (nel caso 5.00x5.00m), risulterebbe confortevole poiché i valori di FU sono maggiori del limite imposto dalla norma ($F.U. \geq 0.7$).

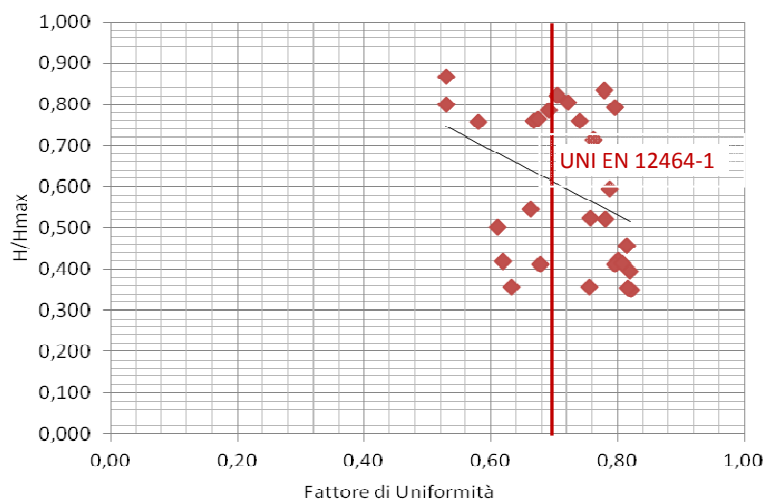


Fig. 77 – Caso 5.00x5.00m, ricerca della correlazione tra Fattore di Uniformità e H/H_{max} .

I risultati ottenuti dalle analisi, sulla totalità delle piani di lavoro, sono riportati nelle seguenti Figg. 78, 79 e 80, le quali confermano, mantenendo gli andamenti già commentati, i risultati ottenuti dall'esame svolto per ogni singola geometria degli ambienti. Malgrado la correlazione abbia dato risultati meno soddisfacenti, si può certamente affermare che il legame tra i parametri, a livello tendenziale, è confermato.

È chiaro che, trattandosi di una proposta metodologica di approccio non tradizionale, ed essendo lo scopo di questo studio quello di analizzare criticamente gli attuali metodi e strumenti di valutazione delle condizioni luminose negli ambienti confinati, l'intero studio può riportare, all'interno della casistica, risultati che vanno considerati solo alla luce del fatto che fanno parte di un sistema. Ciò detto, non è esclusa la possibilità di approfondimento mediante un ulteriore aumento tipologico e morfologico della casistica qui presentata, nonché la riproposizione dei presupposti di partenza attraverso l'implementazione dei dati con differenti strumenti di calcolo (Allegato A).

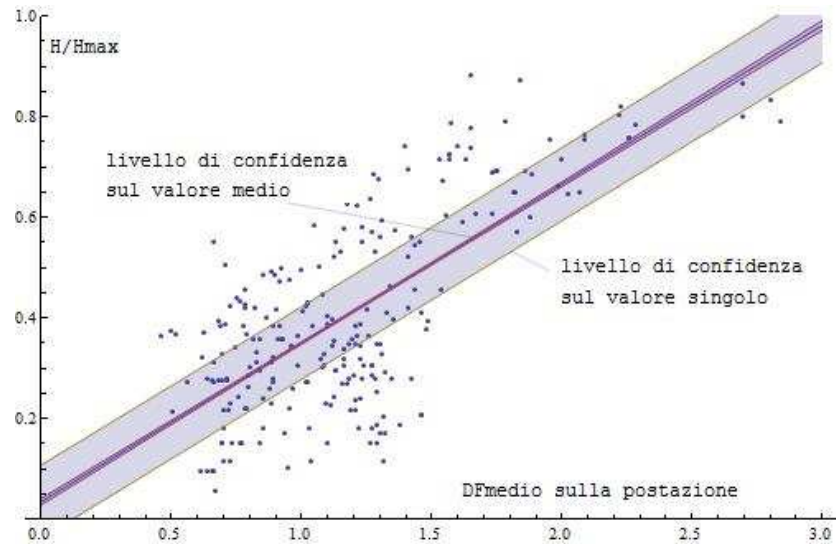


Fig. 79 – Analisi della disuniformità spaziale su tutte le postazioni, tutte le configurazioni. Correlazione tra DF_{medio} [%] e H/H_{max} .

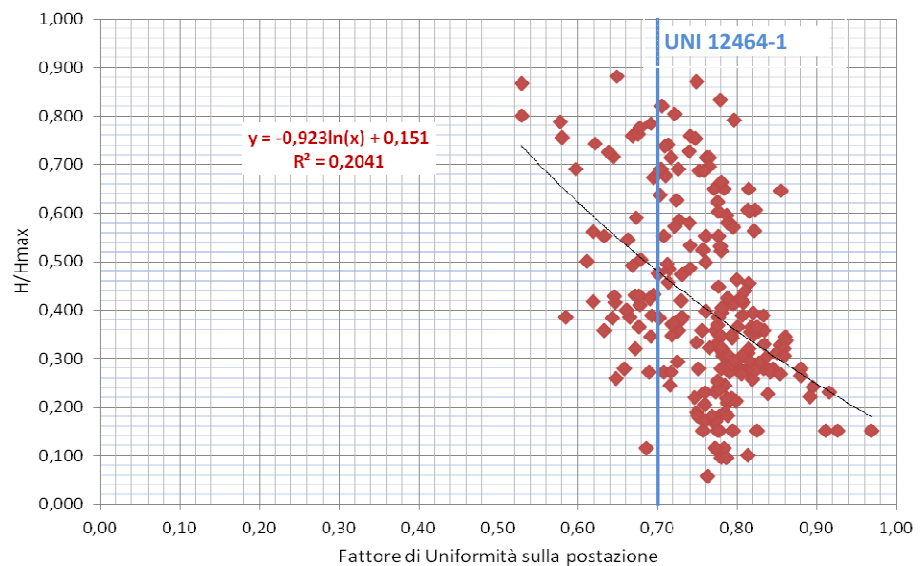


Fig. 80 – Analisi della disuniformità spaziale su tutte le postazioni, tutte le configurazioni. Correlazione tra Fattore di Uniformità e H/H_{max} .

Analisi della disuniformità temporale sulle postazioni

L’approccio entropico-probabilistico proposto come strumento di lettura e valutazione delle condizioni luminose dell’ambiente attraverso la disuniformità, è stato anche applicato per analizzare la variazione

temporale dei parametri. Questa è stata effettuata all'interno degli stessi ambienti campione.

Sulla base delle risultanze delle analisi fino ad ora svolte, si è deciso di tralasciare l'analisi generale sull'intero ambiente focalizzando l'attenzione sulle postazioni di lavoro.

L'intervallo temporale in cui si è svolta l'analisi è dal 20 al 22 settembre.

Si sono utilizzati i dati di illuminamento esterno (Fonte: DREAM 2005) con campionamento di 20 minuti per l'intero periodo. Dai valori di DF puntuale, ricavati mediante la simulazione su ogni postazione, sono stati calcolati gli andamenti temporali dell'illuminamento su ogni punto della griglia definita su tutti i piani di lavoro.

La definizione del numero e dell'ampiezza degli intervalli, è avvenuta anche in questa fase attraverso l'individuazione del massimo e del minimo valore riscontrato all'interno dell'intero sistema, limitatamente alla tipologia di caso (es: caso 5.00x5.00, postazione 1; $E_{max} = 1248 \text{ lx}$, $E_{min} = 1.05$, $P_i = 1/25$, n intervalli = 25, ampiezza intervallo = 50lux).

L'analisi ha riguardato una campionatura totale di 34344 valori posti su 108 postazioni lavorative.

La cui elaborazione mostra interessanti risultati. È stata riscontrata, infatti una più che significativa correlazione tra il Daylight Factor medio sulla postazione e il parametro H/H_{max} . Anche in questa fase dell'analisi all'aumentare del valore di H/H_{max} si riscontra un contestuale aumento del DF puntuale [%] apprezzabile nelle Figg.81 e 82 anche se con una correlazione molto più elevata rispetto a quella riscontrata nell'analisi della distribuzione spaziale dei valori.

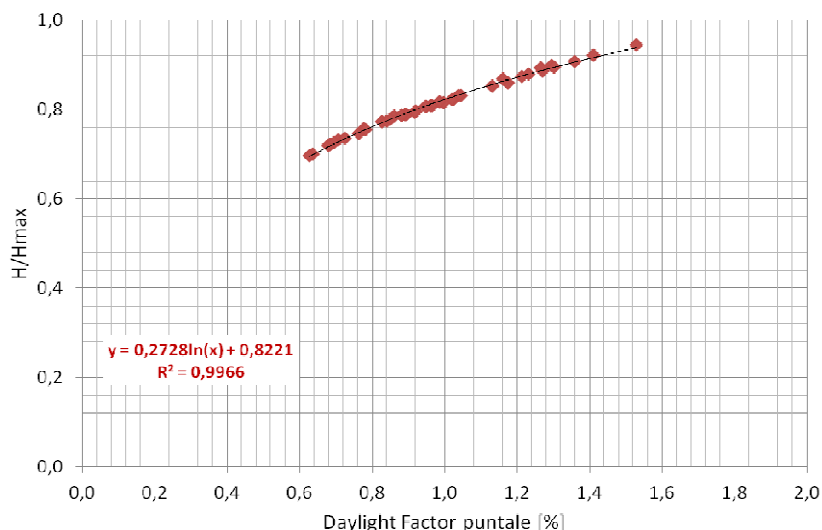


Fig. 81 – Analisi della disuniformità temporale. Caso 5.00x8.00m, n.3 postazioni. Correlazione tra il DF_{puntuale} [%] e H/H_{max} .

La Fig.81 mostra la correlazione relativa ai punti posti sulle postazioni in ambiente 5.00x8.00 per il periodo di analisi considerato. La Fig.82 mostra, invece, l'andamento dei valori, rappresentativi di ogni configurazione, dell'intera casistica oggetto dello studio.

Si noti come all'aumentare del DF[%] aumenti il parametro H/H_{max} , tuttavia sono da considerarsi i casi in cui avviene esattamente l'opposto. Questi casi sono relativi alle postazioni più vicine alle aperture.

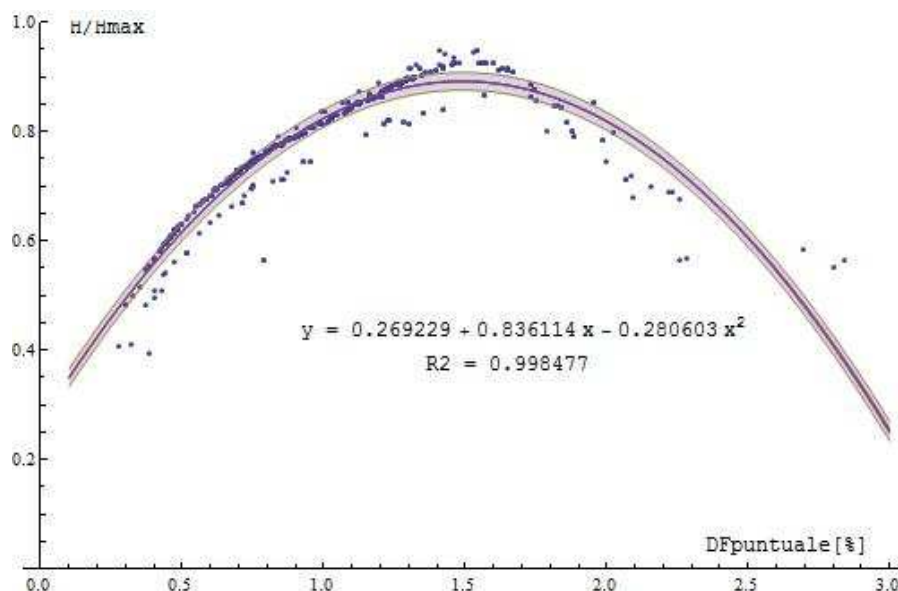


Fig. 82 – Analisi della disuniformità temporale sulle postazioni, tutte le configurazioni. Correlazione tra il DF[%] e H/H_{max} .

Alla luce di quanto esposto fino ad ora, è necessario fare alcune considerazioni. Prima fra tutte, è necessario fare una distinzione tra le analisi fatte in riferimento al DF medio e quelle fatte in riferimento a al DF puntuale. Il primo indice è strumento normativo, per la valutazione delle condizioni generali di un ambiente, il secondo è stato preso in considerazione esclusivamente ai fini dell'analisi qui sviluppata. Ciò detto, è da considerarsi l'esistenza di una correlazione tra l'indice DF[%] e la variazione di entropia che può verificarsi all'interno del "sistema ambiente", in altre parole:

- tale correlazione si dimostra assai più significativa nell'analisi temporale piuttosto che in quella spaziale;

- nell'analisi spaziale siamo di fronte ad un indice generalizzato o troppo generalizzato delle condizioni interne;

- nell'analisi temporale (svolta in un unico punto di ogni postazione), tale correlazione risulta amplificata poiché le condizioni spaziali sono costanti, così come costante è il valore del DF [%];

- il variare delle condizioni temporali risulta strettamente legato ad un valore, intrinseco al quel sistema, che è l'entropia.

Alla luce di ciò è possibile affermare che, se il DF[%] è un parametro di descrizione qualitativa delle condizioni ambientali, non risulta totalmente esaustivo, poiché tendente a trascurare alcune disuniformità, soprattutto spaziali.

Applicazione del metodo ad un ambiente reale. Analisi della disuniformità temporale sulle postazioni nella biblioteca della Facoltà di Architettura di Palermo.

La metodologia proposta richiede, in seguito allo sviluppo della casistica, l'applicazione ad un ambiente reale. A tale scopo è stato scelto un ambiente particolare dal punto di vista della morfologia architettonica come al Biblioteca della Facoltà di Architettura di Palermo. Come detto in precedenza, all'interno di questo ambiente è stato svolto una duplice analisi una riguardante la somministrazione del test così come avvenuto nelle altre sale lettura e uno *short-test* con alcune domande selezionate sottoposte agli occupanti 10 minuti dopo l'ingresso di questi in biblioteca. Contestualmente allo svolgimento del test, sono state effettuate misure di illuminamento sui tavoli da lettura riportati in Fig.89.

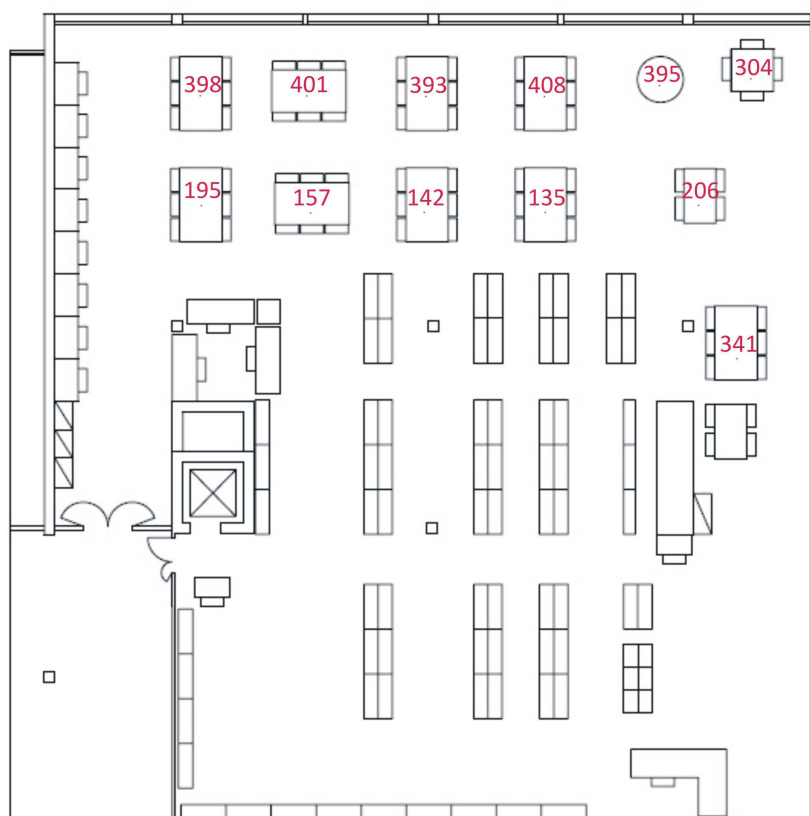


Fig. 83 – Elaborazione dei valori di illuminamento E_{med} , nella Biblioteca della Facoltà di Architettura di Palermo.

Sono state analizzate 12 postazioni di cui 9 rettangolari con 6 postazioni lettura, 1 quadrata con 4 postazioni lettura, 1 rotonda con 4 postazioni lettura ed infine 1 rettangolare con 4 postazioni lettura. Le postazioni scelte riguardano un'area omogenea dell'ambiente con simili condizioni illuminotecniche dovute al sistema di aperture e disposizione delle postazioni. I rilievi effettuati riguardano tre valori di illuminamento su ogni postazione, per un totale di 36 punti.

I valori rilevati sono stati elaborati ricercando il valore medio dei tre punti per postazione, fino ad ottenere una base di dati, in questo caso, di 12 punti.

Il valore medio è stato successivamente utilizzato per l'individuazione del valore di Daylight Factor [%] su ogni postazione che consideriamo puntuale, verificata anche la distribuzione degli illuminamenti riscontrata sulla singola postazione.

Con l'ausilio dei dati di illuminamento esterno (Fonte DREAM 2005), utilizzati anche per la creazione della casistica di studio, è stato ricavato il valore relativo agli illuminamenti, sulla postazione, nei tre giorni dell'anno 20, 21 e 22 settembre, tali andamenti sono rappresentati in Fig. 84 e sono relativi alle ore di luce e agli orari di apertura della biblioteca. La data relativa al rilevamento strumentale è il 21 settembre. L'universo dei dati ricavati è stato elaborato secondo l'approccio metodologico entropico-probabilistico. I dati sono stati inseriti in una matrice di calcolo per l'acquisizione dei termini H , H_{max} , R , E_{max} , E_{min} , E_{med} e H/H_{max} . In Tab. 12, è riportato un prospetto di sintesi con i risultati di tale studio sperimentale, in cui si evince il valore di H_{max} pari a 4.755 ricavato dal numero degli intervalli, il quale a sua volta è stato scelto considerando massimo e minimo valore di illuminamento E riscontrato sul totale delle postazioni.

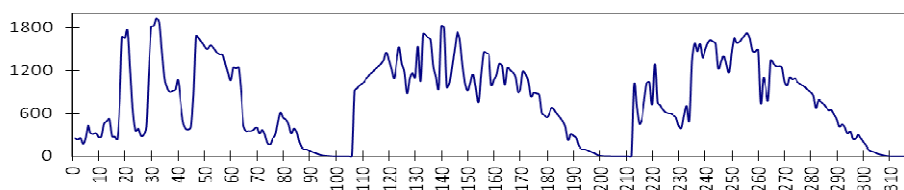


Fig. 84 – Andamento degli illuminamenti sulle postazioni, nella Biblioteca della Facoltà di Architettura di Palermo.

Tab.12 – Prospetto di sintesi, Biblioteca Facoltà di Architettura di Palermo.

Sala lettura della biblioteca Facoltà di Architettura				
H_{max}	4.755		N intervalli	27
Postazione	H/H_{max}	R	DF_{medio} postazione	
A	0.714	0.286	2.21	
B	0.837	0.163	1.08	
C	0.716	0.284	2.23	
D	0.847	0.153	1.43	
E	0.709	0.291	2.18	
F	0.774	0.226	0.84	
G	0.713	0.287	2.27	
H	0.748	0.252	0.75	
I	0.732	0.268	2.19	
L	0.908	0.092	1.69	
M	0.854	0.146	1.14	
N	0.841	0.159	1.78	

In Fig. 85, di seguito riportata, è possibile apprezzare la correlazione tra il termine H/H_{max} e il DF[%] su ogni postazione. È da notare come anche in questo caso il valore di DF[%] non raggiunga mai quello indicato dalla normativa (≥3%) nonostante la presenza di una grande superficie finestrata.

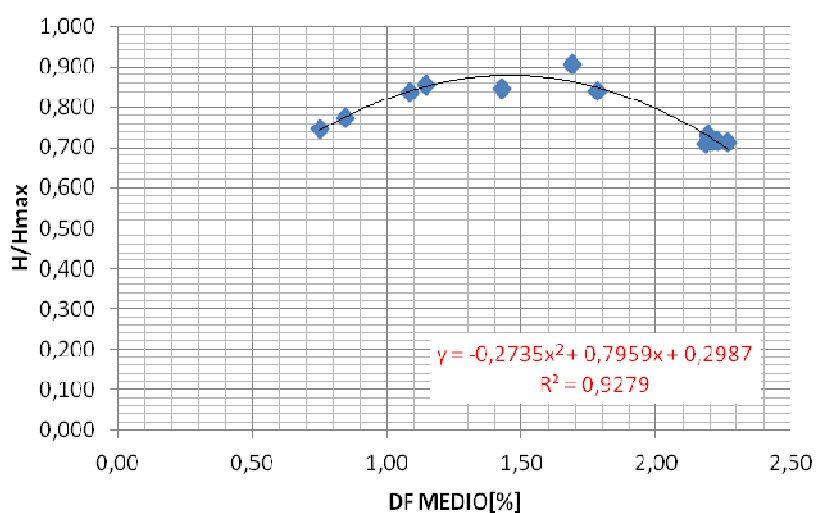


Fig. 85 –Correlazione H/Hmax vs DF[%], Biblioteca Facoltà di Architettura

CONCLUSIONI

La descrizione delle condizioni del microclima luminoso all'interno degli ambienti confinati, effettuata con strumenti tradizionali, risulta, oggi, poco omogenea e non esaustiva. Ciò a causa di indici troppo generalizzati e metodologie di calcolo i quali tengono in scarsa considerazione come varia nel tempo e nello spazio la condizione dell'occupante.

In questa trattazione si è affrontato questo tema secondo molteplici aspetti ed approcci, partendo da due presupposti fondamentali: l'analisi delle disuniformità del comfort in ambiente mediante un approfondimento teorico della distribuzione dei valori degli indicatori di comfort e l'osservazione sperimentale mediante questionari in alcuni ambienti campione.

- La normativa di settore analizzata considera solamente alcuni aspetti della condizione luminosa ambientale. Spesso, questa considerazione tende a non distinguere opportunamente i contributi di luce naturale ed artificiale sul *workplane*, soprattutto specificatamente al compito visivo da svolgere su di essi. Gli indici in oggetto, infatti, si pongono come strumenti di valutazione in ambiente riguardo l'uniformità dell'illuminamento generale e la qualità della luce naturale nello stesso. Compiti visivi di precisione richiedono largo contributo di luce artificiale, mentre compiti visivi, come quello preso in considerazione in questa trattazione, la lettura, richiedono corretto uso e integrazione dei contributi artificiale e naturale.

Valutare questo aspetto non risulta sempre semplice a causa delle caratteristiche architettoniche degli ambienti (spesso non progettati dal punto di vista illuminotecnico), errata disposizione dei tavoli da lettura, errata esposizione delle aperture, posizionamento di schermature fisse, etc...

Da queste brevi considerazioni, ciò che si evince è che questi indici sono utile strumento di valutazione, ma non descrivono esaustivamente ed in modo specifico le condizioni illuminotecniche degli ambienti. In altre parole, forniscono una visione qualitativa generale di questo, segnalando evidenti e gravi fenomeni come l'abbagliamento molesto o disabilitante, sia da luce naturale che artificiale, e omettendo per eccessiva standardizzazione, altri puntuali fenomeni che si verificano, in piccoli lassi di tempo o in alcune zone dello spazio esaminato, i quali sono spesso causa di discomfort per gli occupanti.

- L'analisi delle metodologie, basate sul rilievo strumentale e sulle simulazioni dinamiche dell'ambiente, ha evidenziato quanto questi possano essere utili nella valutazione delle condizioni ambientali, ma limitate sotto molti aspetti come, nel caso del rilevamento strumentale: l'orario disponibile per effettuare le operazioni di rilievo, gli spazi operativi messi a disposizione dai responsabili, l'impatto invasivo, l'interferenza con il normale funzionamento delle funzioni all'interno del luogo esaminato. Mentre nel caso della simulazione dinamica, le condizioni standard di analisi (CIE Overcast Sky), dati di illuminamento esterno medi, o semplificazione del modello di analisi, etc... l'unione delle due tradizionali metodologie di valutazione risulta quindi utile allo scopo di descrivere le condizioni ambientali, ma una più approfondita analisi, adatta allo scopo di questo studio, richiederebbe strumenti e precisione differenti, applicabili solo nella ricerca scientifica per tempi e costi di realizzazione. Questo tipo di metodo, inoltre, non tiene conto della condizione dell'occupante, quindi andrebbe accoppiato, specie in zone in cui si svolge prevalentemente lo stesso compito visivo, ad analisi che considerano il giudizio del soggetto.

- In merito alla valutazione soggettiva degli ambienti, si può affermare che, questa risulta oggi, dal punto di vista della valutazione del microclima luminoso, incompleta. Ciò perché tendenzialmente questo tipo di approccio tende a valutare la condizione ambientale nel suo complesso, spesso attribuendo peso maggiore alla condizione termoigrometrica piuttosto che a quella acustica o visiva. Infatti, la condizione termoigrometrica, qualora non adeguata, è reputata una delle cause principali di discomfort e di scarsa produttività sul luogo di lavoro, riguardo il microclima luminoso, invece, la letteratura scientifica è orientata alla tutela della sicurezza del lavoratore sul luogo di lavoro, allo svolgimento del compito al VDT e alla valutazione di eventuali fenomeni di abbagliamento molesto o disabilitante. Il test, qui proposto, vuole essere strumento di precisa valutazione dell'ambiente, soprattutto in considerazione delle peculiarità introdotte, come la forte componente soggettiva, legata alle condizioni visive di partenza del soggetto, a loro

volta legate all'età e ad abitudini lavorative che esulano dalla condizione momentanea di compilazione del test.

Esistono, però, delle limitazioni individuate nei tempi e modalità di sottoposizione ai soggetti o nella scelta del giusto linguaggio nella proposizione del quesito, per tale motivo, l'indagine conoscitiva riguardo il giudizio degli occupanti è stata svolta in più ambienti, in periodi differenti fino ad un'analisi sperimentale in un particolare ambiente, strettamente limitato nel tempo (*short-test*) e secondo preventiva definizione delle condizioni ambientali.

I risultati ottenuti diventano solida base di partenza per l'approfondimento e l'eventuale realizzazione di un ulteriore questionario che possa essere completo e corretto strumento di valutazione.

- In merito all'approccio sperimentale entropico-probabilistico, si presentano in questo studio, le prime risultanze della elaborazione dei dati tramite l'utilizzo del metodo cui la previsione di un evento può diventare, in questo particolare campo, strumento per evitare o correggere eventuali condizioni di discomfort in ambiente. Si parte qui, non dalla ricerca dell'uniformità, da norme e studi, fonte di comfort, ma dalla ricerca della disuniformità, anche lieve, causa di discomfort. L'entropia e la teoria dell'informazione, sono state utilizzate quali strumenti di elaborazione dei dati allo scopo di prevenire fenomeni in grado di inficiare le condizioni, ritenute corrette, illuminotecniche ambientali.

I risultati ottenuti, infatti, mostrano come esista una forte correlazione tra l'attuale indice di performance DF[%] e la variazione di entropia in ambiente, soprattutto se analizzata nel tempo.

Uno strumento di previsione come quello proposto, potrebbe quindi garantire all'occupante, fin dalla fase di progettazione degli ambienti, corrette condizioni illuminotecniche per lo svolgimento del compito visivo, far sì che l'ambiente non diventi esso stesso fonte di rischio per l'insorgere di malattie della vista, ma anche contribuire al contenimento dei consumi energetici legati all'utilizzo, spesso eccessivo e continuato, dell'illuminazione artificiale, largamente utilizzata a causa di una errata gestione dell'ingresso di quella naturale in ambiente.

La metodologia proposta presenta alcuni limiti dovuti alla possibile imprecisione dei risultati delle simulazioni, alla elaborazione dell'universo dei dati che è stata effettuata, di proposito, in condizioni medie e ad alcune condizioni standard definite all'inizio dello studio, ma in questa fase della ricerca, si è ritenuto opportuno fornire uno strumento come questo in grado di evidenziare carenze o imprecisioni degli attuali strumenti. L'ampia casistica elaborata, può essere incrementata, con la proposizione di ambienti dalle caratteristiche

architettoniche più complesse, tali da essere più vicine alle condizioni ambientali reali, anche di quegli ambienti che sono stati analizzati solo dal punto di vista della valutazione soggettiva. Inoltre l'applicazione del metodo ad ambienti reali (Biblioteca della Facoltà di Architettura di Palermo) ha dimostrato che la correlazione ipotizzata nello studio teorico è applicabile anche ad ambienti reali.

BIBLIOGRAFIA GENERALE

- [1] IESNA. Lighting Handbook. Lighting Design Guide. Reference & applications. IES - Illuminating Engineering Society of North America. 10th Edition, 2011.
- [2] Veitch J.A. *Principles of healthy lighting: highlights of CIE TC 6-11's forthcoming report*, In: Fifth International LRO lighting research symposium. Orlando (Fl) 1-8 (2004).
- [3] UNI EN 12464-1:2011. Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni.
- [4] G. Moncada Lo Giudice, A. de Lieto Vollaro, *Illuminotecnica*, Casa Editrice Ambrosiana, Terza Edizione, Casa Editrice Ambrosiana, 2007.
- [5] UNI 10840:2007. : Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale.
- [6] UNI EN 15251:2008. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- [7] UNI EN 15193:2008. Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione.
- [8] Nabil A., Mardaljevic J. *Useful Daylight Illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings*, Lighting Research and Technologies 37,1 (2005) 41-59.
- [9] Sick, F. *Zur Notwendigkeit einer umfassenden Bewertung des visuellen Komforts und zur Entwicklung eines entsprechenden Komfort-Indexes*, Proceedings of Licht '94, pp. 755-773, Interlaken, 1994, Austria.
- [10] Sick, F. *A simulation approach to determine a visual comfort index including daylight for adequate building performance evaluation*, Proceedings of Building Simulation '95 conference, the 4th International Conference of the International Building Performance Simulation Association, pp. 295-300, Madison, Wisconsin, 1995, USA.
- [11] Wienold J., Christoffersen J.; Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras; 38; 2006; 743-757; Energy and Buildings.
- [12] Velds, M. (2000). Assessment of lighting quality in office rooms with daylighting systems, Ph.D. Thesis of Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.
- [13] Roche L., Dewey E., Littlefair PJ. Occupant reactions to daylight in offices. Lighting Research and Technology 200032:119-26.
- [14] POE. Post occupancy evaluation of daylight in buildings. A Report of IEA SHC TASK 21 / ECBCS ANNEX 29, December 1999.

- [15] Gray R.M., Entropy and information theory, Internal report, Information Systems Laboratory Electrical Engineering Department, Stanford University, New York, 1990.
- [16] 2. Phipps M., Information theory and landscape analysis, Proc.Int.Congr. Netherlands Society for Landscape Ecology, Veldhoven, The Netherlands, April 6-11, 1981.
- [17] 3. Ruth Matthias, Information, order and knowledge in economic and ecological systems: implications for material and energy use, *Ecological Economics*, 13, pp. 99-114, 1995.
- [18] 4. Shannon C.E., Weaver W., *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, 1963.
- [19] 5. Cover T.M., Joy A.T., *Elements of Information Theory*, New York, Wiley, 1991.
- [20] 6. Chapman G.P., The application of information theory to the analysis of population distribution in space, *Economical Geography* 46 (2), suppl. pp.317-331, 1970.
- [21] 7. Martín M.A., Rey J.M., Taguas F.J., An entropy-based heterogeneity index for mass-size distributions in Earth science, *Ecological Modelling*, vol. 182, (3-4), pp.221-228, 2005.
- [22] 8. Takura Y., A statistical measure of complexity with nonextensive entropy, *Physica A, Statistical Mechanics and its Applications*, vol 340, (1-3), pp.131-137, 2004.
- [23] UNI EN ISO 13731:2001. Ergonomics of the thermal environment — Vocabulary and symbols (ISO 13731:2001).
- [24] UNI. Ente di Unificazione Nazionale. UNI EN ISO 13790:2004. Thermal performance of buildings — Calculation of energy use for space heating (ISO 13790:2004).
- [25] CIE 69. Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters; performance, characteristics and specifications.
- [26] Tesi dottorato [Iuliano UNINA_ XXII Ciclo]
- [27] Veitch J.A. Lighting quality contributions from biopsychological processes, *Journal of the Illuminating Engineering Society* 30 (1) (2001), 3–16.
- [28] Newsham G.R. et al. Individual control of electric lighting in a daylight space, *Lighting Research and Technologies* 40 (2008) 25-41.
- [29] Gugliermetti F., Bisegna F. A model study of light control systems operating with Electrochromic Windows, *Lighting Research and Technologies* 37,1 (2005) 3-20.
- [30] Osterhaus W.K.E. Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments, *Solar Energy* 79(2005) 140-158.
- [31] Cheung H.D., Chung T.M. A study on subjective preference to daylight residential environment using conjoint analysis, *Building and Environment* 2008 vol. 43, no12, pp. 2101-2111.

- [32] Heshong L. et al. Daylighting in schools: an investigation into the relationship between daylighting and human performance, Research report for Pacific Gas and Electric Company, San Francisco, California, 1999.
- [33] Lee E., Di Bartolomeo D. and Selkowitz S. (1998) Thermal and daylighting performance of an automated venetian blind and lighting system in a full-scale private office. *Energy and Buildings* 29, 47.
- [34] Nabil A., Mardaljevic J., Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research and Technologies* 37,1 (2005) 41-59.
- [35] Nabil A., Mardaljevic J., Useful daylight illuminance: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings* 38(2006) 905-913.
- [36] Nabil A., Mardaljevic J., Useful daylight illuminance: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings* 38(2006) 905-913.
- [37] Robbins C.L. 1984. A method for predicting Energy savings attributed to daylighting. SERI/TR-254-1664. Golden, Colorado: Solar Energy Research Institute.
- [38] Nazzal A.A., A new evaluation method for daylight discomfort glare. *International Journal of Industrial and Ergonomics* 35(2005) 295-306.
- [39] Nazzal A.A., A New Daylight Glare Evaluation Method. Introduction of The Monitoring Control and Calculation Method. *Energy and Building*, V. 33, pp. 257-265, 2001.
- [40] Pulpitlova, J., P. Detkova (1993). Impact of the cultural and social background on the visual perception in living and working perception, Proceedings of the international symposium 'Design of amenity', Fukuoka, Japan.
- [41] C. Peretti, V. De Giuli, M. De Carli, Analisi critica dei questionari come approccio soggettivo per la valutazione della qualità degli ambienti interni, 65° Congresso Nazionale ATI 2010.
- [42] M. Serva, Random dynamical systems, entropies and information, *Physica A* 290 (2001) 243-250, Elsevier Science.
- [43] WANG Zhao-hong, QIU Wan-hua, LIANG Mei-rong, Application of Optimized Entropy Weight Model to Post occupancy Evaluation.
- [44] Maria Franca Norese, Metodi e modelli per il supporto alle Decisioni, Politecnico di Torino Ce TeM.
- [45] C.F. Reinhart, Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds, *Solar Energy* 77 (1) (2004) 15–28.
- [46] E. Vine, E. Lee, R. Clear, D. DiBartolomeo, S. Selkowitz, Office workers response to an automated Venetian blind and electric lighting system—a pilot study, *Energy and Buildings* 28 (2) (1998).

- [47] S. Selkowitz, High performance glazing systems—architectural opportunities for the 21st century, in: Proceedings of Glass Processing Days (GPD) Conference, Tampere, Finland, 1999.
- [48] C.F. Reinhart, Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices, in: Conference Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficient Buildings, 2002, pp. 1–12.
- [49] IES, Outline of a Standard Procedure for Computing Visual Comfort Ratings for Interior Lighting Im-42-72, Illuminating Engineering Society (IES) of North America, 1991.
- [50] M. Schuler, Building simulation in application: developing concepts for low energy buildings through a co-operation between architect and engineer, in: Proceedings of the Solar World Congress, the International Solar Energy Society (ISES), Harare, Zimbabwe, 1995.
- [51] N. Baker, We are all outdoor animals, in: Proceedings of PLEA 2000, Cambridge, 2000.
- [52] L. Roache, E. Dewey, P. Littlefair, Occupant reaction to daylight in offices, *Lighting Research and Technology* 32 (3) (2000).
- [53] S. Selkowitz, M. Rubin, E.S. Lee, R. Sullivan, A review of electrochromic window performance factors, in: Proceedings of the SPIE International.
- [54] M. Fiordispina, A. Galatioto, S. Pitruzzella, D. Milone, G. Lacca, G. La Paglia, Indagine sulle condizioni del microclima luminoso in una sala lettura – Un approccio multidisciplinare, *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*. Volume XXXII. Supplemento 2 al n. 4. Ottobre-Dicembre 2010. Pag. 403.
- [55] CIE 69. Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters; performance, characteristics and specifications.
- [56] Newsham G.R. et al. Individual control of electric lighting in a daylight space, *Lighting Research and Technologies* 40 (2008) 25-41.
- [57] Osterhaus W.K.E. Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments, *Solar Energy* 79(2005) 140-158.
- [58] M. Beccali, “Nuove Tecnologie energetiche e sviluppo sostenibile, un approccio multicriterio per la valutazione delle probabilità di successo di una pianificazione innovativa alla regione Sardegna”, Ph.d. Thesis. Tutor F. Butera. 1994
- [59] Galasiu A.D., Newsham G.R., Suvagau C., Sander D.M., *Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study*, *Leukos*, v. 4, no. 1, July 2007, pp. 7-29.
- [60] Doulos L., Tsangrassoulis A., Topalis F.V., *Evaluation of lighting controls in office buildings*, 6th WSEAS International Conference on CIRCUITS, SYSTEMS, ELECTRONICS, CONTROL & SIGNAL PROCESSING, Cairo, Egypt, Dec 29-31, 2007.