
**Analisi dello stato dell'arte e individuazione dei criteri per la
misurabilità delle performance richieste al manager del
comfort acustico e visivo**

Vittorio Miori (CNR) – Dario Russo (CNR) – Luca Ferrucci (CNR) – Loredana Pillitteri (CNR)

Breve sommario

In questo documento vengono descritte e presentate le problematiche relative al comfort visivo ed acustico. Per ognuno di questi, dopo una breve introduzione e una spiegazione sull'importanza nel considerare questi aspetti, vengono affrontate le norme vigenti in materia, spiegati i concetti teorici importanti anche attraverso l'uso di esempi pratici, ed infine, definiti i criteri per la misurabilità delle performance.

Parole chiave

Comfort acustico, comfort visivo, comfort ambientale, illuminazione, illuminotecnica, rumore, misurazione performance acustiche, misurazione performance visive

Indice

Introduzione	4
Comfort acustico	6
Il livello sonoro	7
Soluzioni progettuali per il comfort acustico	7
L'inquinamento acustico e i suoi effetti	8
L'isolamento acustico	9
Meccanismi di dissipazione dell'energia sonora.....	9
Criteri per la misurabilità delle performance del comfort acustico	10
La strumentazione	10
Comfort visivo.....	13
Normativa e definizioni	14
Comfort visivo per ogni ambiente	18
Criteri per la misurabilità delle performance del comfort visivo	19
Conclusioni	21
Biblio/Sitografia	22
Indice delle figure	23

Introduzione

Il benessere ambientale è dato dalla combinazione di differenti fattori definiti come livelli di comfort. Oltre al comfort termoigrometrico, trattato nel Deliverable 3.1.3.1, rivestono un ruolo fondamentale anche quello acustico e visivo.

Il mondo di oggi è spesso rumoroso. Oltre la metà della popolazione mondiale vive oggi nelle città, circondata da mezzi di trasporto, apparecchi e attività che producono rumori. L'ambiente moderno porta quindi nuove sfide acustiche nella nostra vita quotidiana. Oltre la perdita dell'udito, l'esposizione al rumore può causare numerosi effetti indesiderati sulla salute.

Il comfort acustico può essere definito come la condizione in cui un soggetto non sia disturbato nella sua attività dalla presenza di altri suoni/rumori, e non subisca danni all'apparato uditivo provocati da una esposizione a fonti di rumore. Tra le possibili conseguenze di un'eccessiva esposizione al rumore troviamo inoltre malattie cardiovascolari, alta pressione sanguigna, mal di testa, cambiamenti ormonali, malattie psicosomatiche, disturbi del sonno, diminuzione delle prestazioni fisiche e mentali, reazioni di stress, aggressività, costante sensazione di fastidio e riduzione della sensazione generale di benessere dell'individuo.

In gran parte degli edifici lo scarso comfort acustico è la fonte di disturbo più comune ed immediata; per questo è importante assicurare il massimo comfort acustico durante la fase progettuale, costruttiva e di esercizio di un edificio nei confronti dei rumori provenienti dall'esterno, ma anche da quelli provenienti da appartamenti contigui.

Al progettista acustico è affidata la scelta di materiali, arredi, macchinari, infissi, rivestimenti ed altro ancora, che, inseriti all'interno dell'involucro edilizio, non siano causa di rumori e garantiscano il benessere acustico.

Il comfort visivo, invece, può essere definito come lo stato in cui una persona può svolgere nel miglior modo possibile i diversi compiti all'interno di un'abitazione.

L'illuminazione all'interno di un ambiente (artificiale o naturale che sia) è il fattore principale responsabile del comfort visivo. Infatti, un'illuminazione inadeguata può causare malessere e stanchezza agli occhi.

La maggior parte delle persone trascorre più di otto ore al giorno con la luce artificiale e davanti ad uno schermo lamentando, in caso di illuminazione insufficiente o cattiva, mal di testa, visione sfocata e stanchezza e affaticamento agli occhi.

Per l'Organizzazione Mondiale della Sanità una persona su due entro il 2050 sarà miope anche a causa del poco tempo trascorso alla luce naturale. "L'illuminazione che utilizziamo quotidianamente può avere un impatto significativo sulla qualità della nostra vita - ha detto Andrew Stockman, professore all'Institute of Ophthalmology dell'University College di Londra.

Controllare il colore e l'intensità dell'illuminazione nel corso della giornata può ad esempio migliorare il nostro sonno, fondamentale per il benessere e la salute.

Oggi, sempre più diffuse sono le lampade a Led, alimentate da un circuito elettronico che consente di ridurre la tensione di rete a pochi volt. A differenza delle lampadine a incandescenza, ormai obsolete, i Led si degradano con una progressiva perdita di luminosità.

Quindi, se è vero che costano più delle classiche lampadine, è vero anche che durano dalle 50.000 alle 80.000 ore e, alla lunga, fanno risparmiare. Inoltre, la quantità di energia sprecata sotto forma di radiazione infrarossa e di calore sono molto ridotti.

L'illuminazione di un ambiente deve svolgere fundamentalmente tre funzioni:

- sicurezza: deve consentire lo svolgimento dell'attività ed il movimento in condizioni di sicurezza;
- prestazione: deve consentire lo svolgimento del compito visivo in condizioni ottimali;
- comfort: deve garantire un ambiente interno confortevole.

Comfort acustico

Le onde sonore sono vibrazioni di molecole di aria che vengono trasportate da una fonte che genera il suono all'orecchio. Il suono è tipicamente descritto in termini di volume (ampiezza) e altezza (frequenza) dell'onda. Il volume (chiamato anche livello di pressione sonora, o SPL, sound pressure level) viene misurato in unità logaritmiche chiamate decibel (dB).

Il normale orecchio umano può rilevare suoni compresi tra 0 dB (soglia dell'udito) e circa 140 dB, con suoni tra 120 dB e 140 dB che causano dolore (soglia del dolore).

Le fonti di rumore all'interno di un ambiente provengono generalmente sia da fonti esterne, che da fonti interne (Figura 1).

I rumori provenienti da fonti esterne vengono scaturiti da eventi provenienti al di fuori dell'ambiente, come ad esempio il traffico veicolare, lavori edili, e da attività produttive industriali in prossimità dell'edificio. Questi tipi di rumori si propagano per via aerea all'interno dell'edificio attraverso il suo involucro.

I rumori provenienti da fonti interne, invece, sono quelle presenti sia nell'ambiente oggetto di studio, sia in altri ambienti dello stesso edificio ad esso attinenti.

Esempi di questi rumori sono gli impianti (come ascensori, montacarichi, idraulico, ecc.), gli elettrodomestici e le apparecchiature radio-televisive. In questo caso la propagazione avviene sia per via aerea che attraverso le parti solide della costruzione.



Figura 1: Fonti di rumore

Per ottenere un adeguato comfort acustico in un ambiente, occorre principalmente considerare due fattori: il livello sonoro delle emissioni e le soluzioni progettuali nel costruire gli edifici.

Il livello sonoro

Il *livello sonoro* (pressione sonora) si misura in decibel (dB) è l'incremento in scala logaritmica della pressione dell'aria rispetto ad una situazione di quiete nell'aria stessa.

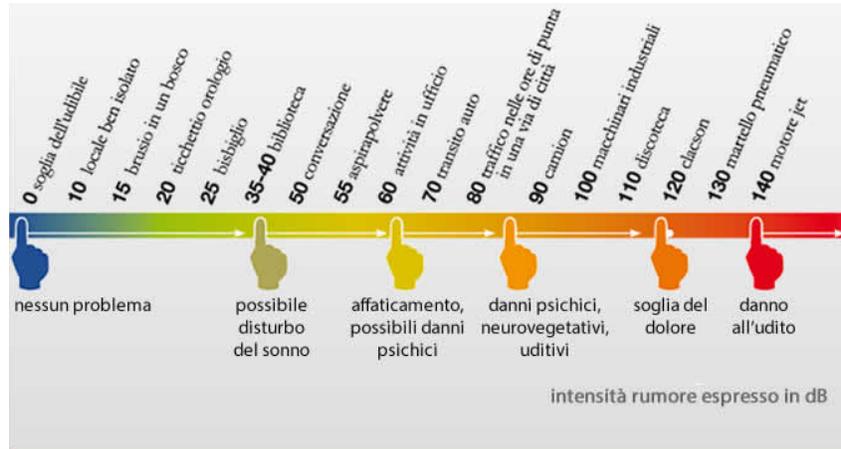


Figura 2: Livelli del suono e soglia del dolore

Il *decibel* è la decima parte del *bel*; è un numero puro (senza unità di misura) ed è ottenuto come logaritmo del rapporto fra due grandezze omogenee (esprimibili cioè nella stessa unità di misura e tali, quindi, che il loro rapporto è un numero puro adimensionale).

Il livello massimo sonoro tollerabile è la soglia massima di un rumore che viene ritenuta accettabile perché non prova disagio all'utente. Questa dipende dalla destinazione d'uso dell'ambiente e dall'attività che l'utente deve compiere all'interno. Il superamento di tale soglia porta alla perdita della condizione di benessere.

Soluzioni progettuali per il comfort acustico

Le soluzioni progettuali nel costruire gli edifici devono invece tener conto delle sorgenti di rumore presenti nell'insediamento al fine di ridurre l'inquinamento acustico. Ad esempio, in un contesto urbano, le emissioni di rumore sono dovute agli impianti e al traffico veicolare indotto. Tali emissioni possono propagarsi in taluni casi prevalentemente all'interno dell'edificio, causando quindi un disturbo agli occupanti. Invece, altri tipi di rumori provenienti dall'interno dell'ambiente, possono propagarsi prevalentemente all'esterno, determinando quindi un degrado della qualità dell'ambiente circostante.

Le categorie di impianto più comuni e cruciali dal punto di vista delle emissioni acustiche, sono:

- centrali termiche e frigorifere: l'attenzione deve essere prestata alla loro localizzazione, alla posizione ed eventuale insonorizzazione delle prese d'aria, alle eventuali emissioni di rumore da parte di camini, alla trasmissione di vibrazioni e rumore per via solida attraverso i basamenti su cui poggiano caldaie, gruppi frigoriferi, pompe, ecc.;
- centrali di condizionamento dell'aria: le sorgenti di rumore sono rappresentate dai ventilatori di mandata e ripresa delle unità di trattamento aria. Per questi locali tecnici valgono le considerazioni analoghe a quelle formulate per le centrali termo-frigorifere; cura deve essere inoltre posta all'insonorizzazione dei condotti di distribuzione dell'aria;
- macchine frigorifere, torri evaporative, unità motocondensanti, unità di trattamento aria, ecc. di cui è prevista l'installazione all'esterno; anche in questo caso l'emissione di rumore è

prevalentemente dovuta a ventilatori. Particolare cura deve essere posta nella scelta di macchine caratterizzate da ridotte emissioni e nel loro posizionamento, che dovrà essere effettuato alla massima distanza dai ricettori sensibili, evitando se possibile la riflessione del suono da parte di pareti adiacenti e prevedendo nel caso adeguate schermature;

- impianti di distribuzione di fluidi (riscaldamento, condizionamento, ventilazione, idrico-sanitari): le emissioni di rumore derivano da pompe e ventilatori, dalle reti di distribuzione e dai dispositivi di regolazione e terminali. Particolare cura deve essere posta nella scelta dei componenti, nel loro dimensionamento e nella realizzazione a regola d'arte dell'impianto;
- impianti meccanici di movimentazione (ascensori, montacarichi, scale mobili, etc.).

Per ridurre al minimo questo tipo di emissioni acustiche, gli impianti dovrebbero essere progettati considerando:

- la scelta di componenti silenziosi o silenziabili;
- che i problemi maggiori riguardano i componenti di impianto che devono essere installati all'esterno: gruppi frigoriferi condensati ad aria, unità motocondensati di impianti "split", unità di trattamento aria, torri evaporative, etc. Per tali componenti, l'emissione di rumore è prevalentemente dovuta a ventilatori e ai compressori delle macchine frigorifere. E' raccomandabile la scelta di componenti silenziosi (ad es. gruppi frigoriferi con compressori rotativi, unità raffreddate con ventilatori a basso numero di giri, ecc.) o comunque debitamente silenziati;
- di installare i componenti esterni in posizione schermata rispetto ai ricettori sensibili;
- il posizionamento dei componenti esterni scelto, compatibilmente con i vincoli funzionali e di sicurezza (accessibilità, manutenibilità, ecc.) tenendo conto della presenza di ricettori potenzialmente disturbati (abitazioni, scuole, ospedali, ecc.). Se è possibile, è opportuno evitare che il componente abbia alle spalle una parete riflettente. Qualora l'impianto risultasse eccessivo, sarà necessario prevedere la posa di schermi insonorizzanti attorno alla sorgente di rumore;
- di curare l'insonorizzazione delle centrali tecnologiche;
- per gli impianti rumorosi installati in appositi locali tecnici (centrali termiche, termofrigorifere, di cogenerazione, di trattamento dell'aria, idriche, etc.), curare l'insonorizzazione degli elementi che comunicano con l'ambiente esterno: prese d'aria, camini, porte di accesso, serramenti, ecc.

L'Inquinamento acustico e i suoi effetti

Il rumore può essere molto più di un semplice fastidio. Quando vengono raggiunti determinati livelli e tempi di esposizione, infatti, il suono stesso può causare danni al timpano e alle varie cellule presenti all'interno del nostro orecchio.

In casi estremi questo può condurre ad una parziale o totale perdita dell'udito permanente. Di solito, la perdita di udito non avviene per esposizioni prolungate al di sopra degli 80-85 dB, ma le persone che ripetutamente vengono esposte a più di 105 dB senza interruzioni, molto probabilmente ad un certo punto noteranno una perdita di udito. Oltre all'effetto collaterale appena descritto, l'esposizione ad un livello di pressione sonora eccessivo può portare ad innalzamenti della pressione sanguigna e delle pulsazioni, causare irritabilità, ansia e fatica mentale, interferendo con le fasi del sonno e con la comunicazione.

Controllare il più possibile l'inquinamento acustico è molto importante, sia sul posto di lavoro, sia nell'ambiente in cui si vive quotidianamente. Le ordinanze e le leggi emanate da enti locali, regionali e statali sono certamente un aiuto nella limitazione dell'inquinamento acustico.

A livello italiano, la legge di riferimento per l'inquinamento acustico è la 447/95, che delega le varie istituzioni locali al controllo dei livelli del rumore. Successivamente, con la direttiva della Comunità Europea n°49 del 2002, vengono definiti i parametri per valutare in modo uniforme il livello di inquinamento. Questa direttiva è stata recepita dall'ordinamento italiano con il decreto legge 194/2005. Oltre alle leggi in vigore, l'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) ha affermato che il livello di rumore massimo deve essere di 65 dB per il giorno e di 55 dB per la notte e che il livello ottimale non dovrebbe oltrepassare i 45 dB. Anche il Codice Civile del nostro Paese menziona al suo interno l'inquinamento acustico, invitando i cittadini a contenere i rumori e di adoperarsi in prima persona al fine di ridurre il livello di pressione sonora, anche installando soluzioni fonoassorbenti o fonoisolanti.

L'isolamento acustico

L'*isolamento acustico* nasce come soluzione per coloro che molto spesso sottoposti a rumori fastidiosi provenienti da fonti esterne all'ambiente in considerazione. Ad esempio, per chi vive in un condominio, e deve sentire i rumori provocati dai vicini del piano superiore, inferiore o dell'appartamento a fianco. L'*isolamento acustico* può essere utile in determinate situazioni, come quando si ha la necessità di insonorizzare una stanza che servirà per la creazione di un ambiente in cui magari bisogna registrare qualcosa, come una canzone, un doppiaggio o cose simili.

La Legge 447/1995 regola l'inquinamento acustico e il DPM del 5 Dicembre 1997 determina i requisiti acustici passivi degli edifici. Tutte le strutture devono garantire prestazioni minime di isolamento acustico. Tali soglie variano a seconda della destinazione d'uso del locale e dalla provenienza del rumore. L'isolamento acustico può essere ottenuto tramite materiali:

- in fibra minerali (come lana di roccia e di vetro): avviene grazie all'assorbimento per porosità ed è una soluzione consigliata per le alte frequenze. Tali materiali sono economicamente vantaggiosi e vengono spesso utilizzati per insonorizzare le pareti perimetrali;
- vegetali (come il sughero e le fibre in legno): sfruttano la loro porosità per offrire un ottimo isolamento acustico e antivibrazione. Vengono utilizzati per ridurre rumori aerei, ma anche quelli per calpestio e per le pareti laterali;
- materiali sintetici: sono solitamente generati dal processo di lavorazione del petrolio, hanno un basso costo e offrono un discreto isolamento acustico. Pur se facilmente utilizzabili, grazie ad un processo di messa in posa semplice, vanno gestiti con attenzione in quanto tali materiali potrebbero creare problemi in caso di incendi;
- materiali fonoisolanti (come per esempio la gomma): riflettono il suono nell'ambiente da cui proviene. Essi hanno ottime capacità fonoisolanti e hanno uno spessore contenuto. Tali materiali vengono spesso accoppiati a materiali fonoassorbenti per offrire un isolamento ottimale.

Meccanismi di dissipazione dell'energia sonora

I principali meccanismi di dissipazione dell'energia sonora all'interno dei materiali sono:

- assorbimento per porosità: un materiale viene definito poroso quando il rapporto tra spazio vuoto e volume totale è alto. La presenza di porosità permette di dissipare energia sonora trasformandola in calore in quanto vi è vibrazione delle particelle d'aria presenti nei pori.

- per risonanza di cavità: la presenza di cavità all'interno del materiale facilitano la vibrazione dell'aria, ed anche in questo caso, a causa dell'attrito si verifica assorbimento del suono. È inoltre possibile riempire le cavità con del materiale fonoassorbente in modo da ottenere il valore desiderato di smorzamento del suono;
- per risonanza di membrana: la presenza di pannelli vibranti permette di trasformare parte dell'energia sonora in energia meccanica, favorendo quindi l'assorbimento.

Criteri per la misurabilità delle performance del comfort acustico

La misura dei livelli di rumore si effettua principalmente con l'impiego dei fonometri (Figura 3). Con tali apparecchi si determina l'intensità del rumore in decibel e i livelli delle bande di frequenza analizzate in ottave.



Figura 3: Fonometro

Il rumore può comunque essere misurato in modi diversi, funzione del tipo di informazione che si desidera ottenere. A seconda dello scopo della misura è quindi opportuno fare alcune considerazioni preventive, al fine di eseguire un rilievo che sia significativo e che fornisca tutti i dati cercati. Spesso, inoltre, una successiva nuova misurazione che si dovesse rendere necessaria perché la prima non ha permesso di ottenere quanto atteso, oltre ad essere certamente onerosa, non è comunque sempre possibile per problemi organizzativi o di altro tipo.

La strumentazione

Gli strumenti per la misura del rumore possono essere di vario tipo e di diverse classi di precisione. Nel caso in cui non vi siano prescrizioni in merito, dettate dalle norme, è possibile utilizzare un fonometro non integratore per la misura di rumori di tipo continuo, mentre si impone la scelta di un fonometro integratore per i fenomeni variabili nel tempo. E' tuttavia bene ricordare, che la quasi totalità delle norme prevedono comunque l'utilizzo di un fonometro integratore di classe 1. Ovviamente quest'ultimo tipo di fonometro può essere utilizzato, oltre che per fenomeni variabili, anche per fenomeni di tipo stazionario. Per alcune applicazioni, in presenza di fenomeni variabili, può essere interessante ottenere anche il tracciato temporale del livello di rumore, al fine di verificare l'emissione nei diversi momenti della misura. La Figura 4 mostra un tracciato relativo ad un rumore variabile, su un periodo di 10 secondi, effettuato trasferendo i dati acquisiti dal fonometro, su un personal computer dotato di apposito software.

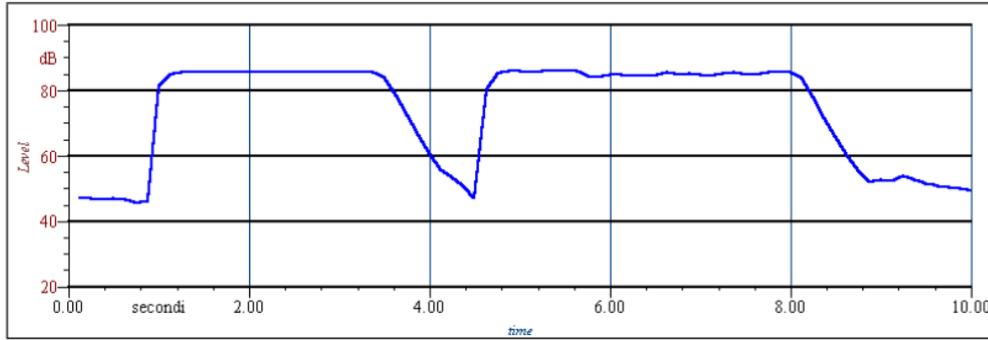


Figura 4: Tracciato di un rumore variabile

Qualora la misura debba fornire anche informazioni circa il contenuto spettrale del rumore, è necessario utilizzare uno strumento dotato di filtri in banda di ottava o in banda di un terzo di ottava, a seconda del grado di raffinatezza dell'indagine e comunque secondo quanto prescritto dalla norma di riferimento seguita. La Figura 5 mostra un'analisi in banda di 1/3 di ottava. Laddove è poi necessario conoscere con estrema precisione la frequenza di una componente tonale particolare (ad esempio in laboratorio per il miglioramento di un prodotto o per la soluzione di un problema), è possibile eseguire una analisi in frequenza ancora più selettiva come ad esempio la *Fast Fourier Transform*. In questo caso è quindi possibile ottenere risoluzioni anche nell'ordine di frazioni di Hertz, al fine di discriminare fenomeni che si presentano a frequenze molto vicine tra loro.

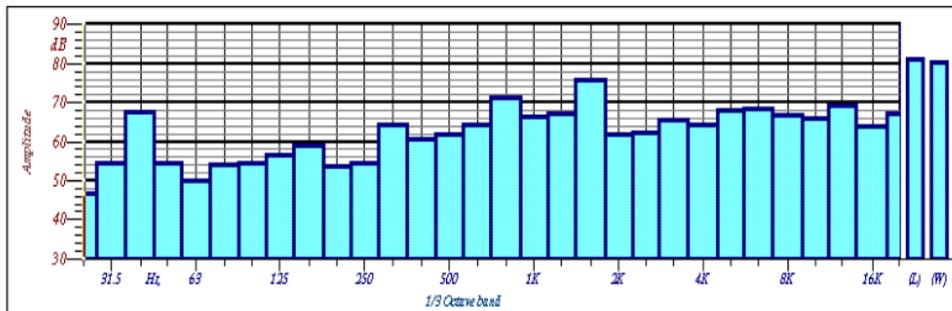


Figura 5: Analisi in frequenza in banda di 1/3 di ottava

Prima di iniziare il rilievo è necessario procedere alla calibrazione della catena di misura. Tale operazione si esegue per mezzo di una sorgente di riferimento, chiamata appunto calibratore, la quale consente di verificare che lo strumento misuri effettivamente il valore corretto. Piccoli scostamenti dal valore atteso possono venire compensati per mezzo di una procedura di regolazione. Deviazioni più ampie devono invece indurre a supporre che qualche cosa non funzioni correttamente, oppure che qualche impostazione non sia regolata in modo appropriato. La calibrazione deve inoltre essere ripetuta al termine della misura (ed eventualmente in momenti intermedi, se la misura ha notevole durata), al fine di verificare che tutto si è mantenuto nei limiti previsti. Molte norme richiedono inoltre che la strumentazione da utilizzarsi venga tarata da un laboratorio riconosciuto, ad intervalli di tempo regolari; in questo caso è opportuno accludere i certificati di taratura al report di misura. Una volta definiti con precisione i punti precedentemente esposti, è possibile procedere quindi alla misura propriamente detta. Per quanto banale possa sembrare, una causa abbastanza comune che porta ad eseguire nuovamente la misura, è data dalla incompletezza dei dati a corredo di quest'ultima. E' infatti fondamentale che, oltre ad eseguire una misura corretta, venga presa nota con precisione delle

impostazioni selezionate nel fonometro, del punto in cui la misura è stata effettuata, delle condizioni di funzionamento della macchina in esame, delle eventuali altre sorgenti presenti, eccetera. Tutti questi parametri andranno poi a completare il report di misura, e consentiranno quindi di caratterizzare completamente il dato al quale si è pervenuti.

Comfort visivo

L'illuminazione di un ambiente può essere irradiata da una luce naturale o da una luce artificiale (Figura 6).

La luce naturale, rispetto a quella artificiale, offre senza dubbio dei vantaggi. Ad esempio, riproduce i colori fedelmente, giova al benessere psicofisico delle persone ed è gratuita. Per questo motivo, è una risorsa importante, e da sfruttare al meglio, al fine di avere edifici sostenibili e qualitativamente confortevoli. Inoltre, integrando in maniera ottimale la luce naturale con quella artificiale, è possibile contribuire in maniera significativa al risparmio energetico. Attraverso dispositivi elettronici e sistemi computerizzati di controllo è possibile infatti variare il flusso luminoso emesso dai vari tipi di lampade adattandolo (e, se necessario, programmandolo nel tempo) al livello di illuminamento più indicato negli ambienti. Per regolare il flusso luminoso si impiegano potenziometri elettronici azionati da pulsanti oppure da variatori di intensità luminosa (dimmer) eventualmente collegati a cellule fotoelettriche che modulano l'intensità luminosa in funzione della quantità di luce proveniente dall'esterno.

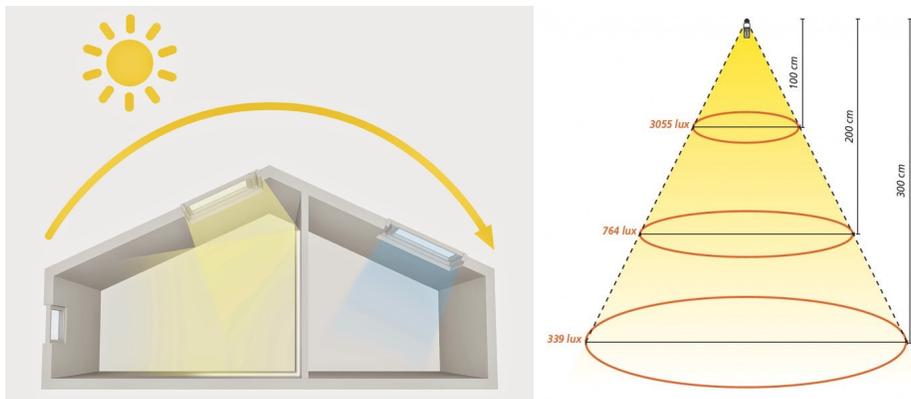


Figura 6: Illuminazione naturale e artificiale

In determinate condizioni, al contrario, una disponibilità di luce naturale particolarmente elevata può avere degli effetti negativi. Un esempio su tutti è il surriscaldamento di un ambiente dovuto ai raggi solari durante i mesi più caldi, con un conseguente incremento del fabbisogno energetico per la climatizzazione. In questi casi, risulta utile diminuire la luce naturale utilizzando meccanismi di ombreggiamento (Figura 7).

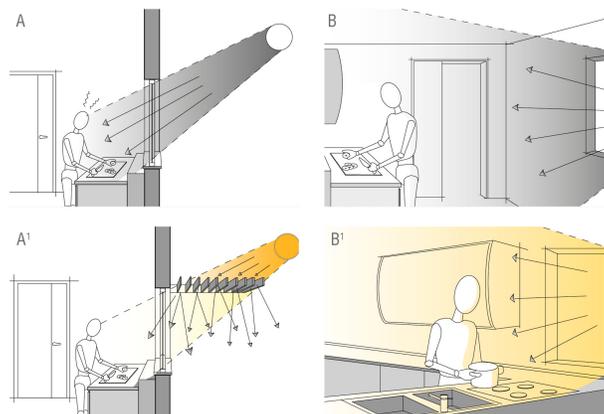


Figura 7: Surriscaldamento e meccanismi di ombreggiamento

Per riuscire a fruttare al meglio i benefici della luce naturale, riducendo al minimo gli effetti negativi, in fase di progettazione e costruzione di un edificio, occorre considerare:

- la collocazione, l'orientamento e le dimensioni dell'edificio;
- le ubicazioni delle finestre;
- il controllo delle riflessioni e degli abbagliamenti;
- la sua funzione (commerciale, produttiva, sanitaria);
- i compiti visivi degli utilizzatori;
- la previsione di schermature.

Normativa e definizioni

Il comfort visivo di un ambiente dipende da diverse componenti tra cui:

- un livello adeguato di illuminamento;
- una sufficiente uniformità di illuminamento;
- una buona distribuzione delle luminanze;
- assenza di abbagliamento;
- una corretta direzionalità della luce;
- una buona resa cromatica delle sorgenti e degli ambienti

Nella normativa italiana, il comfort visivo viene trattato nelle norme UNI 10380/A1 e UNI 10840 che prevedono dei valori di soglia per l'illuminamento e per l'uniformità di illuminamento sui piani di lavoro e nei locali, in relazione ai compiti visivi previsti.

L'*illuminamento* è definito come una grandezza fotometrica definita come il rapporto tra il flusso luminoso misurato in *lumen (lux)*, emesso da una sorgente luminosa e l'area dell'oggetto illuminato. L'*illuminamento* è riferito all'oggetto illuminato e non alla sorgente. In termini pratici, questo determina la capacità e il tempo necessario ad un individuo di percepire piccoli dettagli nell'ambiente, ad una data distanza. L'*illuminamento* è massimo quando la superficie è disposta perpendicolarmente ai raggi luminosi e diventa nullo quando i raggi sono paralleli alla superficie.

Mentre la vecchia normativa si parlava di illuminazione in generale ad una certa altezza dal pavimento uguale ed uniforme in tutto il locale, la nuova introduce l'idea di differenziare l'illuminazione concentrandola dove è richiesto un determinato compito (es. lettura, scrittura, disegno, lavoro sul computer). A questo scopo è stato definito l'*illuminamento Medio Mantenuto Em*, cioè il minimo valore di illuminamento medio consentito in una zona dove deve essere svolto un determinato compito visivo (non si può mai scendere al di sotto, di conseguenza l'avvicinamento a questo valore indica che è giunto il momento di effettuare una manutenzione).

Si definisce anche come *Fattore di Manutenzione (M)* il rapporto tra illuminamento medio sul piano di lavoro dopo un dato periodo ed illuminamento medio sullo stesso piano di lavoro ad installazione nuova. Non essendo sempre possibile individuare con esattezza la zona dove si svolgerà il compito visivo in fase di progettazione, la norma attuale considera un'area più estesa attorno a quella sede del compito visivo, all'interno della quale mantenere l'illuminamento *Em*. Attorno a questa zona viene definita una zona immediatamente circostante che è una fascia attorno alla zona del compito di ampiezza minima di 0,5

m, nella quale l'illuminamento può essere diminuito rispetto a quello della zona del compito. Questo permette di avere una *illuminazione uniforme* evitando così l'affaticamento visivo e abbagliamento. Nella Tabella 1 viene definita la correlazione tra illuminamenti delle zone del compito con le zone circostanti.

Lux	Lux
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Uguale a quello della zona del compito visivo

Tabella 1: Correlazione tra illuminamenti delle zone del compito con le zone circostanti

Nel caso in cui non sia possibile individuare le zone del compito visivo, queste si estendono a tutto l'ambiente.

La norma UNI EN 12464-1 definisce due valori minimi di uniformità al di sotto dei quali non scendere; uno per le zone del compito visivo (almeno 0,7) ed uno per le zone immediatamente circostanti (almeno 0,5). La stessa norma, per i livelli di illuminamento dei vari locali, propone una scala di valori espressi in lux, di questo tipo: 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000. Detto che 20 lux sono il livello minimo indicato, in quanto è il valore al di sotto del quale non si riesce ad identificare una persona, e che 200 lux è il valore minimo di illuminamento che la norma concede in zone occupate continuamente, si possono accettare delle deviazioni dai valori, aumentandone i lux di un fattore 1,5 quando esista una delle seguenti condizioni particolarmente critiche di lavoro:

- Compito visivo critico
- Errori non economicamente accettabili
- Compito svolto per tempi eccezionalmente lunghi
- Dettagli del compito eccezionalmente piccoli
- Capacità visive del lavoratore inferiori alla norma
- Importanti alta produttività e accuratezza nel lavoro

o diminuendone i lux dello stesso fattore 1,5, quando le condizioni di lavoro lo consentono:

- Compito visivo con dettagli non particolarmente piccoli o con alti contrasti
- Compito svolto per tempi eccezionalmente brevi

La *luminanza* in un punto di una superficie in una certa direzione, è il rapporto fra l'intensità luminosa emessa in quella direzione e l'area della superficie emittente apparente. La *luminanza* di un oggetto varia con la direzione di osservazione e dipende anche dalle proprietà riflettenti o assorbenti delle superfici (anch'esse direzionali).

Il *contrasto* è il rapporto fra la differenza di *luminanza* dei due oggetti e la minore delle due *luminanze*:

$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\min}}$$

Il comfort visivo è garantito da una adeguata gradazione dei contrasti nel campo visivo (campo centrale di visione, sfondo e ambiente). Infatti, la percezione di un oggetto è funzione del contrasto di luminanza dell'oggetto e dello sfondo. L'occhio percepisce la forma degli oggetti se all'interno del campo visivo esiste un contrasto luminoso adeguato fra due oggetti o fra l'oggetto e lo sfondo.

L'*abbagliamento* è un fenomeno che si verifica quando le differenze di luminanza all'interno del campo visivo diventano eccessive, causando fastidio o diminuzione delle capacità visive. Possiamo distinguere l'abbagliamento come *diretto* e *riflesso* (Figura 8). L'abbagliamento diretto si verifica in presenza di superfici o oggetti (sorgenti luminose, vetrate, il sole) con *luminanza* elevata, mentre quello riflesso quando la riflessione di oggetti posti sul piano di lavoro della luce proviene da altri corpi.

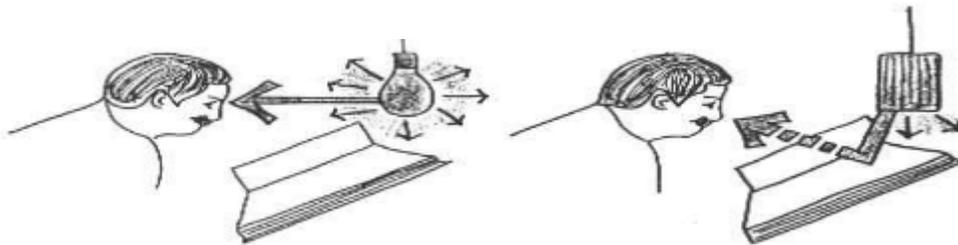


Figura 8: Abbagliamento diretto (sinistra) e riflesso (destra)

Per limitare l'abbagliamento di tipo diretto occorre verificare i valori assoluti di *luminanza* delle sorgenti luminose (artificiali o naturali). La zona visiva critica è compresa fra gli angoli verticali di 45° e 85° . In questo intervallo, la *luminanza media* di ciascun apparecchio non deve essere maggiore di un valore limite stabilito in funzione del tipo di apparecchio e del compito visivo (Figura 9).

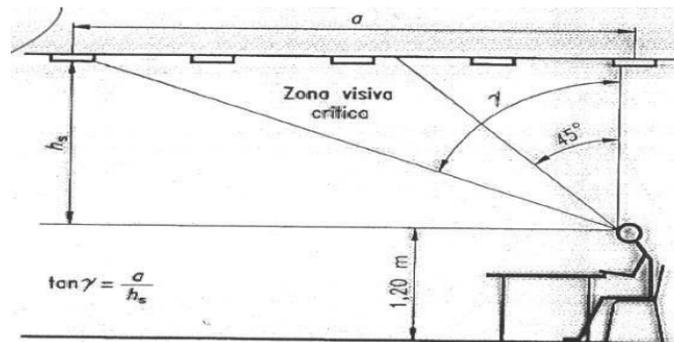


Figura 9: Individuazione zona visiva critica

Nel caso di *abbagliamento diretto* è possibile calcolare un indice di *discomfort DGR (discomfort glare rate)* che è influenzato dai seguenti fattori:

- luminanza del campo visivo;
- posizione di ogni sorgente abbagliante;
- dimensione angolare di ogni sorgente abbagliante;
- luminanza di ogni sorgente abbagliante;
- numero di sorgenti abbaglianti.

Per ciascuna sorgente viene calcolato l'abbagliamento da essa generato attraverso l'equazione:

$$M_i = 0.5 * \frac{LQ}{PF^{0,44}}$$

dove:

- L è la luminanza della sorgente [cd/m2]
- Q è la dimensione angolare della sorgente [steradiani]
- F è la luminanza di campo [cd/m2]
- P è l'indice di posizione sorgente-osservatore, e rappresenta un fattore di vista calcolato in funzione della posizione relativa osservatore sorgente, utilizzando dei diagrammi del tipo in Figura 10.

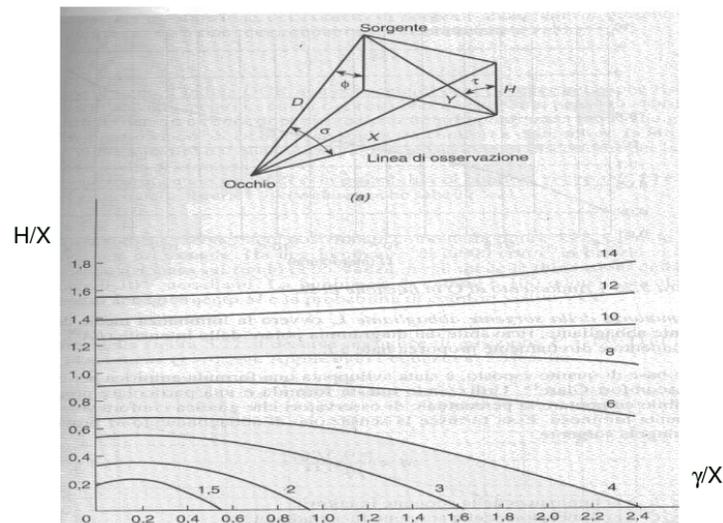


Figura 10: Nomogramma per calcolo dell'indice di posizione

Per garantire una buona qualità di luminosità all'interno delle abitazioni, la dimensione delle finestre dovrebbe corrispondere al 10% – 12% di quella del pavimento.

In particolare, la normativa nazionale (DM 5 luglio 1975) stabilisce un fattore medio di luce diurna non inferiore al 2% e una superficie apribile non inferiore a 1/8 della superficie calpestabile. Entrambi i fattori determinano il rapporto aero-illuminante che deve assicurare due condizioni: luce e ricambio d'aria sufficiente all'interno dei locali.

Ciò significa che, in una stanza di dimensioni 5 m x 4 m, le finestre dovrebbero avere una superficie vetrata pari a 2 m² (NB: la luminosità non cresce proporzionalmente con l'aumento della dimensione delle finestre: raddoppiando la superficie vetrata, la luminosità aumenterà solo del 60% circa).

Il comfort visivo dipende non solo dal livello dell'illuminamento interno, ma include anche il rapporto visivo che si ha tra l'interno verso l'esterno. Pertanto le finestre non solo devono procurare la luce necessaria per svolgere un'attività, ma anche consentire la vista dell'esterno.

Indipendentemente dal rispetto dei rapporti aero-illuminanti di legge, il fattore più indicativo del livello di illuminazione naturale di un ambiente interno è il fattore di luce diurna: esso esprime il rapporto fra l'illuminamento in un punto all'interno dell'edificio e quello che si avrebbe in assenza dell'edificio stesso.

Quindi è evidente che il *fattore di luce diurna (DF)* serve anche a dimostrare se le scelte progettuali sono state più o meno corrette per lo sfruttamento della luce naturale esterna.

Nel caso di residenze il *DF* può assumere i seguenti valori minimi:

- per saloni e stanze dove si svolgono attività continue: DF superiore a 1% su almeno metà della superficie
- per stanze da letto: DF superiore a 0,5% su almeno metà della superficie
- per cucine: DF superiore a 2% su almeno metà della superficie

Comfort visivo per ogni ambiente

Per ogni ambiente è possibile individuare la miglior condizione di illuminazione interna. Partiamo dall'ingresso: esso è uno spazio di filtro con l'esterno perciò è ideale un bagliore diffuso e un livello di illuminamento dai 50 ai 150 lx.

La zona cucina è uno degli ambienti che necessita di ottima illuminazione. In questo ambiente è importante riuscire a vedere ciò che si cucina e ciò che si mangia. Oltre ad una luce centrale, è opportuno illuminare i piani di lavoro prevedendo dei punti luce sotto i pensili.

Se in casa è presente un open space, occorre delimitare le diverse aree. In sala pranzo è indispensabile garantire una luce centrale sopra il tavolo: la soluzione ottimale è un bagliore diretto ad una distanza di circa 60 cm così da evitare ombre o fastidiosi abbagliamenti. Nella zona relax-conversazione sono perfetti dei led regolabili e diversi punti luci così da creare la giusta atmosfera per rilassarci o conversare con familiari e amici.

Attenzione all'angolo tv: guardare la televisione al buio è una diffusa ma cattiva abitudine. Bisogna illuminare lievemente l'apparecchio con una lampada da appoggio o un faretto dall'alto con un fascio che sfiora la parete. No ad un raggio intenso diffuso.

Nella camera da letto è consigliabile un lampadario centrale che crea una luminosità uniforme nell'intero spazio per le attività di tutti i giorni. Se è vostra abitudine leggere a letto, sono consigliabili delle lampade direzionali a parete o sui comodini, seppur ben schermate in modo da non rischiare il fastidioso effetto d'abbagliamento o infastidire chi ci sta di fianco. In presenza di una cabina armadio è possibile pensare all'utilizzo di LED con sensori di movimento per evitare sprechi. Inoltre, in camera, è sempre opportuno usare un dimmer che permetta di regolare l'intensità luminosa.

In presenza di uno studio è necessaria una fonte luminosa diretta sul piano di lavoro per ottenere un illuminamento medio dai 200 ai 500 lx.

In bagno si svolgono innumerevoli attività che possono richiedere diversi gradi di illuminazione. Per una luminosità generale della camera è sufficiente un lampadario a soffitto. No alle luci troppo fredde perché alterano il colorito del viso quando ci si specchia. È consigliato l'uso di uno specchio con luce perimetrale che aiuta la rasatura o il make-up. L'utilizzo di un dimmer può essere la soluzione ideale per assecondare le diverse funzioni ed evitare spiacevoli abbagli al mattino o durante la notte.

Un discorso a parte va fatto per la camera dei più piccoli. Qui si studia, si gioca, ci si riposa, dunque occorre la giusta illuminazione per ciascuna attività. Va' perciò predisposta una fonte illuminante principale a soffitto a cui affiancare una lampada da tavolo per la scrivania, ricordando che la luce deve

provenire dal lato opposto della mano con cui si scrive, e un faretto orientabile a muro o una lampada per il comodino. Da evitare piantane e lampade a terra che nel gioco potrebbero essere urtate e diventare oggetti pericolosi per i bimbi.

Per un'abitazione, i valori di illuminamento consigliati sono:

- salotto – 150-200 lux
- soggiorno – 150-200 lux
- cucina – 200-250 lux
- camera da letto – 100-150 lux
- zona di lettura – 300 lux
- bagno – 100-150 lux
- corridoi, scale – 50-100 lux
- garage, cantine, solai – 50-100 lux

Mentre per altre tipologie di ambienti sono:

- uffici - 250-500 lux
- scuole - 250-500 lux
- negozi - 250-500 lux
- grandi magazzini - 500-1000 lux

Criteria per la misurabilità delle performance del comfort visivo

Il comfort illuminotecnico dipende da diverse grandezze. Misurare l'intensità della luce è importante quando si deve progettare il sistema di illuminazione di una stanza oppure si deve scattare una fotografia. I fotometri, o luxmetri, (Figura 11) sono gli strumenti principali per la valutazione dell'intensità luminosa in *lux* e *foot-candle*. Entrambe queste unità di misura (la seconda prettamente statunitense) descrivono l'intensità della luce su una superficie o illuminamento. I fotometri sono lo strumento indispensabile per verificare se una stanza è troppo luminosa o troppo buia in quanto misurano il livello di illuminamento in un ambiente. Durante il monitoraggio, un sensore reagisce all'energia luminosa provocando una corrente elettrica, rilevata da un galvanometro e misurata in lux.



Figura 11: Luxmetro

Il *fotometro Joly* invece è un dispositivo facilmente realizzabile in casa, dopo avere acquistato alcuni materiali indispensabili. Questo strumento si può usare per misurare l'intensità relativa di due sorgenti

di luce e, ad esempio, di capire quale delle lampadine prese in considerazione emette una quantità superiore o inferiore di luce e qual è la più efficiente in rapporto all'energia consumata. Le misurazioni relative non offrono dei valori espressi in unità di misura ma è possibile quantificare l'intensità luminosa emessa da una fonte in relazione a quella emessa da una seconda fonte, ma non sarà possibile paragonarle a una terza senza ripetere l'esperimento.

Conclusioni

In questo documento sono stati introdotti i concetti che si trovano alla base per affrontare il tema del comfort acustico e visivo. In particolare sono state introdotte le tematiche evidenziando l'importanza di tali aspetti nella vita quotidiana per il miglioramento della qualità di vita all'interno degli ambienti frequentati sia per lavoro, svago e riposo. Inoltre, è stata data una rigorosa definizione dei termini mettendo chiarezza su significati, formule e definizioni utilizzati.

Particolare importanza e spazio è stato dedicato alle normative, al fine di definire uno stato dell'arte in materia ed i parametri di legge che consentono di definire le soglie del comfort.

Inoltre, sono stati messi in evidenza i criteri per la misurabilità delle performance mettendo in mostra gli strumenti e le tecniche per il loro utilizzo, al fine di utilizzarli per validare l'operato dei manager in oggetto.

Biblio/Sitografia

- M. Harris, "Manuale di controllo del rumore", Tecniche Nuove, Milano, 1983M.
- Vigone, "Progettare il silenzio", Hoepli 1985A.
- Cerniglia, "Misure acustiche: nuovi traguardi", RCI anno XXV n. 8, Tecniche Nuove
- Larson & Davis 2800 Training Manual, Larson & Davis inc.
- Spectra technical internet home page, <http://www.spectra.it/docum.htm>
- Renato Spagnolo (a cura di), "Manuale di acustica applicata", Torino, Città Studi Edizioni, 2008, ISBN 978-88-251-7320-8
- Sergio Cingolani, Renato Spagnolo (a cura di), "Acustica musicale e architettonica", Torino, Città Studi Edizioni, 2008, ISBN 978-88-251-7321-5
- John R. Pierce, "La scienza del suono", Bologna, Zanichelli, 1988, ISBN 88-08-02166-1
- Ing. Giuliano Cammarata, "Illuminotecnica: la visione, le lampade, illuminazione artificiale", 2016, <https://www.giulianocammarata.it/ILLUMINOTECNICA.pdf>
- Mario Bonomo, "Guida alla progettazione dell'illuminazione stradale e urbana", Mancosu Editore, Roma, (2006).
- Pietro Palladino, "Manuale di Illuminazione", Tecniche Nuove, Milano: (2005).
- Mario Bonomo, "Teoria e tecnica dell'illuminazione d'interni", Maggioli Editore, Milano: (2009).
- Donatella Ravizza, "Progettare con la luce", FrancoAngeli Editore, Milano:(2001).
- Marco Frascarolo (a cura di), "Manuale di progettazione illuminotecnica", Mancosu, Roma 2011

Indice delle figure

Figura 1: Fonti di rumore	6
Figura 2: Livelli del suono e soglia del dolore	7
Figura 3: Fonometro	10
Figura 4: Tracciato di un rumore variabile	11
Figura 5: Analisi in frequenza in banda di 1/3 di ottava.....	11
Figura 6: Illuminazione naturale e artificiale	13
Figura 7: Surriscaldamento e meccanismi di ombreggiamento.....	13
Figura 8: Abbagliamento diretto (sinistra) e riflesso (destra)	16
Figura 9: Individuazione zona visiva critica	16
Figura 10: Nomogramma per calcolo dell'indice di posizione	17
Figura 11: Luxmetro.....	19