

# Migliori prestazioni di ergonomia e comfort in ufficio con l'analisi multicriteriale AHP in fase di progetto

Il raggiungimento di elevati livelli di benessere e *comfort* del contesto fisico dell'ufficio è legato e dipendente da numerosi requisiti, alcuni tra loro correlati. La migliore soluzione progettuale non necessariamente si ottiene massimizzando ognuno dei requisiti: infatti non vale, ai fini del conseguimento della più alta prestazione ambientale complessiva, la semplice sovrapposizione degli effetti. Il confronto strutturato tra soluzioni in fase di progetto può essere affidato ai metodi dell'analisi multicriteriale. L'articolo presenta il caso di applicazione del metodo AHP – Analytic Hierarchy Process al progetto di riqualificazione, sviluppato da Contec Ingegneria - Gruppo Contec, dei nuovi uffici, a Verona, di Autovision Lifestyle s.r.l. appartenente al Gruppo Volkswagen.

**Stefano Savoia e Elena Padovani** - Ingegneri, progettisti - Contec Ingegneria

## I metodi analitici nell'analisi di progetto

I più recenti studi sul benessere ed il comfort nel particolare luogo di lavoro che è l'ufficio evidenziano come un ambiente progettato per garantire elevati livelli di benessere organizzativo e che sappia venire incontro alle specifiche esigenze dell'operatore in termini di salute, comfort ed ergonomia, può favorire la produttività associata ad una determinata funzione. L'attuazione delle norme in materia di salute e sicurezza negli ambienti di lavoro, la corretta progettazione e un'organizzazione adeguata del *workplace* possono infatti impattare favorevolmente e in via diretta sul benessere dell'individuo.

Il raggiungimento di elevati livelli di benessere e comfort del contesto fisico dell'ufficio dipende da numerosi requisiti, alcuni tra loro correlati. La definizione e la misura della prestazione di molti di tali requisiti è oggi consolidata e trova evidenza in un ricco corpo normativo a disposizione del progettista. L'UNI, Ente Nazionale di Normazione, pubblica e aggiorna da tempo i riferimenti tecnici specifici (quasi tutti di origine comunitaria) che consentono la puntuale caratterizzazione di ciascuno dei singoli parametri in campo. Tuttavia la migliore soluzione progettuale non necessariamente si ottiene massimizzando ognuno dei requisiti per i quali non vale, ai fini del conseguimento della più alta prestazione ambientale

complessiva, la semplice sovrapposizione degli effetti. In fase di progetto è pertanto necessario un confronto strutturato tra soluzioni e ipotesi alternative che consenta una valutazione oggettiva e la convergenza alla soluzione più idonea per la specifica organizzazione e per lo specifico contesto.

Il metodo di valutazione maggiormente efficace può essere ricercato tra i metodi dell'analisi multicriteriale ed in particolare nell'applicazione della AHP – *Analytic Hierarchy Process*, di cui questo articolo presenta il caso di applicazione al progetto di riqualificazione, sviluppato da Contec Ingegneria - Gruppo Contec, dei nuovi uffici di Autovision Lifestyle s.r.l., appartenente al Gruppo Volkswagen.



### I requisiti di comfort per l'ufficio

#### Il layout

La standardizzazione dei singoli elementi che compongono la postazione di lavoro per l'ufficio (sedute, scrivanie, mobili contenitori e pareti divisorie mobili) si può ritenere ormai consolidata e diffusa. Gli elementi di arredo sono infatti normati singolarmente e nella loro composizione (si veda ad es. UNI 11534:2014 "Mobili per ufficio - Posto di lavoro in ufficio - Criteri per la disposizione dei mobili") da regole tecniche obbligatorie per la commercializzazione e la marchiatura CE dei prodotti.

Il tema si sposta sulla distribuzione spaziale delle postazioni e delle funzioni di completamento al lavoro d'ufficio.

Il dibattito riguarda ora le innovative logiche distributive e organizzative dell'ufficio, lo stile del lavoro nelle organizzazioni e le modalità attraverso le quali questo si svolge. Si definisce *smart workplace* lo spazio nel quale le persone sono protagoniste in un luogo pensato per essere in costante scambio con il mondo circostante, ma anche tra gli operatori. Spazi nei quali la versatilità è sempre più un elemento chiave. In effetti le attuali tendenze per i layout nel mondo office prevedono un approccio orientato ad una maggior flessibilità dei collaboratori,

nell'ottica di favorire la conciliazione delle esigenze personali e professionali. I più recenti *concept* distributivi prevedono l'utilizzo di spazi funzionali e tecnologie innovative per massimizzare allo stesso tempo produttività, collaborazione e raggiungimento degli obiettivi. Gli spazi vengono concepiti secondo un'organizzazione libera e fluida. Le aree di lavoro *open space* non prevedono postazioni dedicate: ogni persona si muove a seconda delle necessità, trovando spazi di supporto adatti alle differenti esigenze di ogni giornata lavorativa. Si possono prevedere tipologie di postazioni lavoro, differenziate in base alle diverse esigenze: dalle scrivanie in *open space*, dotate di pannelli per garantire l'isolamento acustico e in alcuni casi anche di monitor fissi, laddove si preveda un utilizzo prolungato del computer o un tipo di attività che richieda un maggior comfort visivo e acustico.

Si alternano spazi pensati per le attività di collaborazione, brainstorming e incontro (meeting room) a spazi disegnati per un lavoro individuale di breve durata o per le attività che richiedono maggiore concentrazione o riservatezza (quiet room).

Si realizza insomma una separazione fisica e funzionale tra il momento del pensiero, della condivisione e il momento vero e proprio del fare.

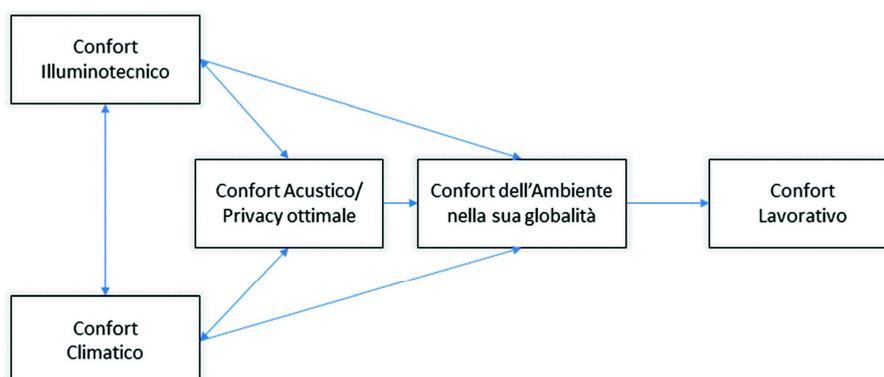
Ricorrenti in questi contesti di nuova concezione gli ambienti accoglienti attrezzati con cucina, dove è possibile pranzare o semplicemente fare un breve pausa caffè, ma anche svolgere attività e riunioni con i colleghi in spazi informali e stimolanti (si vedano ad esempio le nuove sedi milanesi di Microsoft e Google).

#### Caratteristiche climatiche

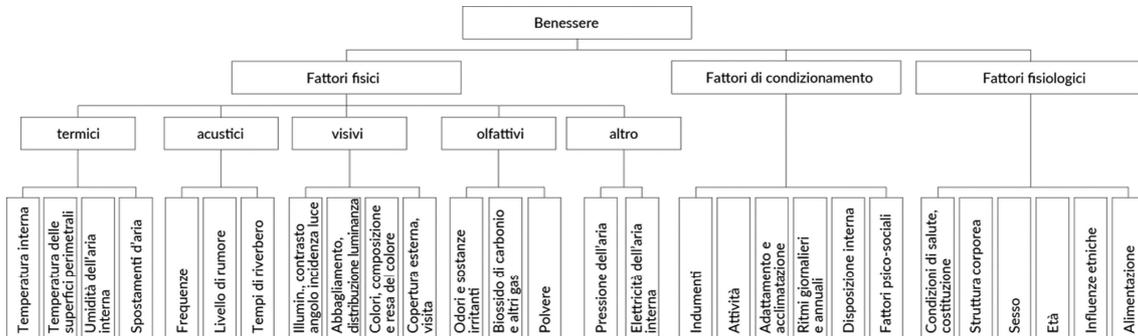
I fattori che determinano l'ambiente termigrometrico in uno spazio ufficio sono principalmente le caratteristiche termiche degli elementi dell'involucro edilizio, la tipologia delle sorgenti di calore presenti all'interno, il clima esterno e le caratteristiche dell'impianto di climatizzazione. Il dato finale da considerare è il grado di benessere percepito dagli occupanti nello spazio considerato, ovvero il grado di comfort termico (Figura 2).

Il benessere termigrometrico è quella condizione in cui la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e il movimento dell'aria insieme a parametri quali l'attività metabolica e l'abbigliamento sono tali per cui il lavoratore prova un senso di soddisfazione. Sebbene i parametri fisici siano correlati e la sensazione di comfort sia sempre influenzata da fattori soggettivi, è tuttavia possibile definire alcuni valori di

Figura 1 - Schema di comfort nello spazio lavorativo

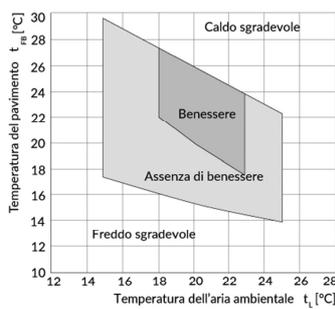


**Figura 2 - Fattori che influiscono sul benessere**

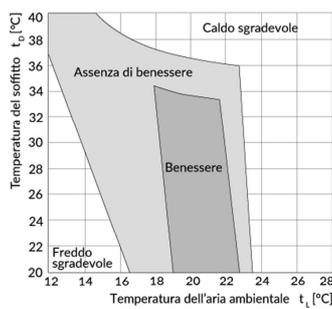


Fonte: Atlante della Sostenibilità, UTET, Milano, 2008

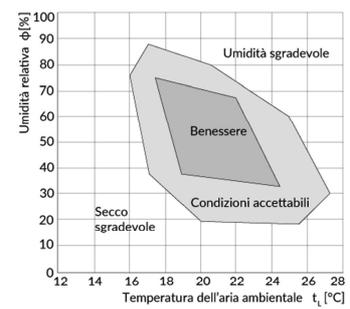
**Figura 3 - Valori di comfort**



Benessere in relazione alla temperatura dell'aria ambiente e alla temperatura del pavimento



Benessere in relazione alla temperatura dell'aria ambiente e alla temperatura del soffitto



Benessere in relazione alla temperatura dell'aria ambiente e all'umidità relativa.

Fonte: Atlante della Sostenibilità, UTET, Milano, 2008

riferimento o range di valori che indicano una condizione di comfort come illustrato nei grafici di Figura 3.

I metodi per la valutazione delle condizioni termo-igrometriche attualmente applicati sono per lo più contenuti nella norma UNI EN ISO 7730:2016 "Ergonomia degli ambienti termici- Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.

### Caratteristiche illuminotecniche

Fino a pochi anni fa l'approccio progettuale illuminotecnico era focalizzato sulla mera

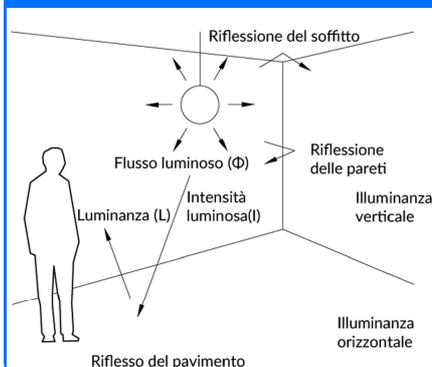
applicazione della normativa per l'illuminazione degli ambienti di lavoro e alla determinazione del solo valore d'illuminamento per un'area specifica. L'allegato IV (Requisiti dei luoghi di lavoro) del D.Lgs. 81/2008 riporta indicazioni sull'illuminazione naturale e artificiale degli ambienti di lavoro. Ad esempio, indica che i luoghi di lavoro devono disporre di sufficiente luce naturale e devono essere dotati di dispositivi che consentano un'illuminazione artificiale adeguata per salvaguardare la sicurezza, la salute e il benessere dei lavoratori. Inoltre descrive che gli impianti di illuminazione dei locali di lavoro e delle vie di circolazione devono essere installati in modo che il tipo d'illuminazione previsto non

rappresenti un rischio di infortunio per i lavoratori. Con la pubblicazione della norma UNI EN 12464-1: 2011 "Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni" il progettista si concentra sulle reali esigenze della persona e del comfort visivo all'interno degli ambienti di lavoro, garantendo la giusta distribuzione dei livelli di illuminamento e delle luminanze nella zona di lavoro e in quelle circostanti. Tale condizione di comfort è perseguibile tramite un corretto utilizzo di luce naturale ed artificiale (Figure 4 e 5).

Il contributo della luce naturale nell'illuminazione degli interni va senza dubbio privilegiato in quanto la presenza di

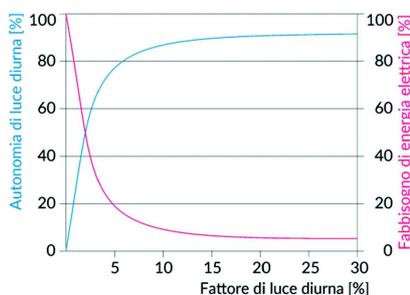
## Metodi analitici

**Figura 4 - Parametri per la descrizione e la valutazione dei sistemi di illuminazione**



Fonte: Atlante della Sostenibilità, UTET, Milano, 2008

**Figura 5 - Valutazione del livello di uniformità dell'illuminazione di un ambiente\***



\* Ad esempio gli spazi degli uffici dovrebbero disporre in media di un fattore di luce diurna pari al 3% (circa il 50% di autonomia di luce diurna sul luogo di lavoro  
Fonte: Atlante della Sostenibilità, UTET, Milano, 2008

aperture verso l'esterno nell'involucro di un edificio permette di mantenere un legame visivo col mondo circostante e cogliere il passare del tempo. Tuttavia la luce diurna naturale può essere fonte di abbagliamento generato da diversi fattori quali ad esempio: l'intensità luminosa emessa da una sorgente; la posizione e la

dimensione della superficie vetrata; il contrasto di intensità luminosa tra le superfici interne e la presenza di superfici riflettenti esterne o interne. Altri parametri da considerare per la determinazione del cd. ambiente luminoso sono la distribuzione dell'illuminazione tra le postazioni di lavoro, la direzione della luce che illumina gli spazi interni e la variabilità della luce (livelli e colori della luce), la luminosità di tutte le superfici, i riflessi e i contrasti che si determinano. Per compensare la carenza o l'assenza di illuminazione naturale diventa importante lo studio dell'illuminazione artificiale prodotta dall'insieme dei corpi illuminanti installati, sempre più orientati alle esigenze del lavoratore che può regolare la luce, adattandola alle proprie esigenze.

### Caratteristiche acustiche

Nel progettare spazi di lavoro *open space* non bisogna trascurare la buona intelligibilità del parlato fra una postazione e l'altra che causa minore efficienza e concentrazione del singolo lavoratore.

La norma di riferimento è la UNI EN ISO 3382-3:2012 "Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 3: *Open space*" che specifica le procedure di misurazioni, l'apparecchiatura necessaria, i metodi per la valutazione dei dati e la presentazione del rapporto di prova. I risultati della misurazione possono essere usati per valutare le proprietà acustiche dell'ambiente tipo *open space*.

Ridurre i rumori "fastidiosi" e aumentare il rumore di fondo sono due modalità per migliorare l'intimità delle conversazioni, tenendo conto che oltre un certo limite anche il rumore di fondo può diventare esso stesso un problema. L'indice di intelligibilità del parlato (STI, *Speech Transmission Index*) è la misura principale della qualità della riservatezza delle conversazioni, che dipende dal

rapporto tra il livello di rumore provocato dalla conversazione e il livello del rumore di fondo.

L'indice di intelligibilità varia da 0 a 1, dove 0 corrisponde all'inintelligibilità completa e 1 corrisponde al 100% di intelligibilità della conversazione con l'operatore della postazione più vicina. Tuttavia, la qualità di risposta acustica di un ambiente è funzione anche di un altro importante parametro: il tempo di riverberazione o riverbero, che generalmente è percepito come "coda sonora" (eco o rimbombo) dei suoni prodotti in un locale chiuso.

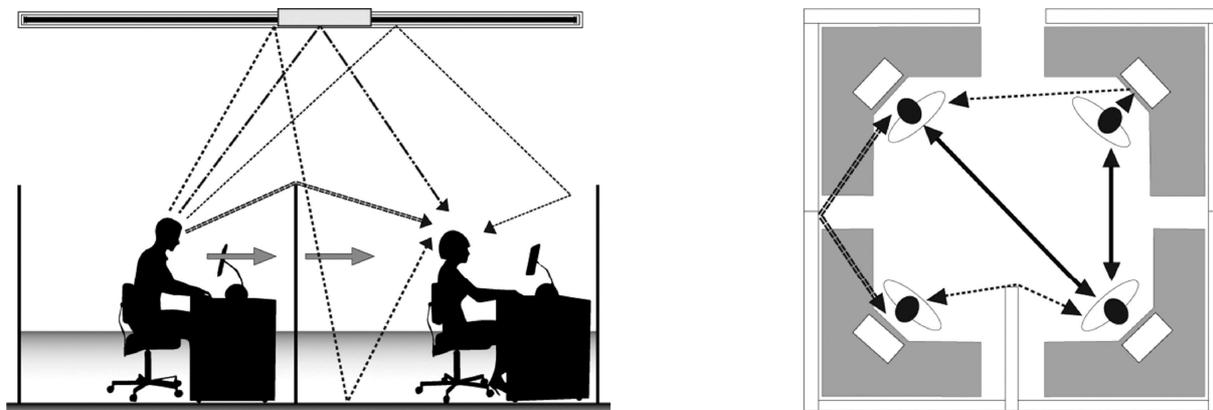
Se la coda sonora è troppo lunga, tutti i suoni si sovrappongono, il rumore di fondo aumenta notevolmente e si genera una spiacevole sensazione di rimbombo. Ogni ambiente, a seconda della destinazione di utilizzo, ha un suo tempo di riverbero ottimale, espresso in secondi (T60). Nel caso di un locale piccolo con numerose superfici fonoassorbenti, il rumore viene assorbito e il riverbero ridotto. Invece, se il locale è ampio e privo di elementi fonoassorbenti, il rumore risona e la stanza risulta più rumorosa con tempo di riverbero più lungo (Figura 6).

Studi recenti hanno dimostrato che le traiettorie delle onde sonore più critiche sono quelle dei suoni riflessi dal soffitto e dal suono diffratto dal bordo delle alzate divisorie tra differenti postazioni.

Nella prima fase di progettazione del layout degli spazi di un ufficio in un edificio esistente:

- si verificano le prestazioni acustiche dell'ambiente confinato tramite un'analisi nelle varie bande di frequenza del tipo di assorbimento del locale e del tipo di rumore degli impianti tecnologici;
- si determina il valore del tempo di riverbero (T60) mediante misurazione o modellazione acustica dell'ambiente confinato;

**Figura 6 - Esempi di traiettorie dell'onda sonora**



Esempi di traiettorie dell'onda sonora di tipo: diretta (linea continua), diffratta (linea-punto) e riflessa (riflessione semplice con linea segmentata; riflessione multipla con linea puntinata) tra differenti postazioni di lavoro

- si individua un tempo di riverbero ottimale in base alle esigenze espresse dagli utilizzatori dello spazio e alla ipotesi di distribuzione delle postazioni di lavoro;
- si procede alla scelta della tipologia e quantità di pannelli fonoassorbenti da applicare a pareti, soffitti e tra le postazioni di lavoro per raggiungere il comfort atteso.

### AHP - Analitic Hierarchy Process

L'AHP è uno dei metodi di analisi multicriterio maggiormente utilizzati; consente di assegnare una priorità ad una serie di alternative decisionali o di mettere in relazione criteri caratterizzati da valutazioni qualitative e quantitative e quindi non direttamente confrontabili, combinando scale multidimensionali di misure in una singola scala di priorità (Saaty, 1980).

Il metodo si basa su una serie di confronti a coppie fra i criteri attribuendo ad essi un punteggio di importanza relativa e termina con l'assegnazione di un peso percentuale. Naturalmente la somma di tutti i pesi percentuali deve essere pari a 100%.

I punteggi da utilizzare ad ogni confronto sono, in linea di massima, arbitrari e corrispondono generalmente al numero di livelli qualitativi da considerare durante i confronti a coppie.

Definiamo  $A_i$  il singolo criterio e  $a_{ij}$  il valore numerico risultante dal confronto fra i criteri  $i$  e  $j$  e consideriamo un numero di criteri pari a  $n$ . Il risultato di tutti i confronti

$$\text{Totale} = n(n-1)/2$$

genererà la matrice  $A_{n \times n}$  che verrà poi utilizzata per creare il vettore dei pesi percentuali (priorità) di ogni singolo criterio.

Generalmente si considera una scala di valutazione che varia da 1 a 9, dove ogni livello della scala corrisponde alla valutazione esposta in Tabella 1.

Ottenuta la matrice  $A$  dei confronti a coppie, per calcolare il vettore dei pesi percentuali da assegnare ad ogni criterio basta determinare il massimo autovalore  $\lambda$  e il relativo autovettore  $v_\lambda$  di  $A$  stessa. Normalizzando l'autovettore in modo che la somma dei suoi elementi sia pari a 1, otteniamo il vettore dei pesi percentuali o delle priorità relativi ai criteri  $A_i$ .

$$P = \frac{v_\lambda}{\sum_{i=1}^n v_\lambda(i)}$$

Occorre precisare che il vettore dei pesi mantiene l'ordine  $n$  delle righe della matrice dei confronti a coppie impostato dal decisore.

**Tabella 1 - Scala di valutazione di Saaty**

| Valore $a_{ij}$ | interpretazione                           |
|-----------------|---|
| 1               | $i$ e $j$ sono equamente importanti       |
| 3               | $i$ è poco più importante di $j$          |
| 5               | $i$ è abbastanza più importante di $j$    |
| 7               | $i$ è decisamente più importante di $j$   |
| 9               | $i$ è assolutamente più importante di $j$ |

Nel presente lavoro, per il calcolo dell'autovettore principale della matrice del confronto a coppie, si è utilizzato il metodo approssimato della media geometrica (1). Questo metodo prevede l'estrazione della radice  $n$ -esima dei prodotti degli  $n$  elementi di ciascuna riga della matrice del confronto a coppie, ottenendo il vettore  $v$  di componenti  $v_i$ :

$$\begin{aligned} v_1 &= \sqrt[n]{a_{11} * a_{12} * \dots * a_{1n}} \\ v_2 &= \sqrt[n]{a_{21} * a_{22} * \dots * a_{2n}} \\ &\dots \\ v_n &= \sqrt[n]{a_{n1} * a_{n2} * \dots * a_{nn}} \end{aligned}$$

Successivamente sommando queste componenti e proporzionando i singoli valori a tale somma, si possono ottenere le componenti  $x_i$  del vettore delle priorità  $x$ .

$$\begin{aligned} v_1 + v_2 + \dots + v_n &= S \\ x_1 &= \frac{v_1}{S} \\ &\dots \\ x_n &= \frac{v_n}{S} \end{aligned}$$

L'autovettore così ricavato viene pesato con la priorità dell'elemento (criterio) rispetto al quale il confronto è stato fatto. Dalla somma di tutti gli autovettori pesati, corrispondenti ai vari criteri, si ottiene il peso globale di ogni alternativa. Una volta determinato il vettore delle priorità, è importante capire se la matrice dei confronti a coppie è consistente o meno,

ovvero si cerca di "misurare" se i giudizi soggettivi del decisore ad ogni confronto sono consistenti o meno. A tale scopo si calcola un apposito valore di controllo definito *Consistency Index* (CI) che viene confrontato con *Random Consistency Index* (RI). Nel caso specifico dei nuovi uffici di Auto-*vision* I lifestyle s.r.l. di Volkswagen Group Italia s.p.a. a Verona si sono definiti i seguenti parametri di valutazione del progetto, ovvero i requisiti da proporre in evidenza alle ditte invitate alla gara di general contractor (forniture e lavori).

I requisiti, organizzati per peso di importanza sulla base del confronto a coppie come sopra descritto sono elencati in Tabella 2.

A tali requisiti, descritti tecnicamente nelle prestazioni minime nei documenti di progetto, hanno dato risposta con le proprie proposte le tre ditte (preventivamente qualificate dal committente) invitate a presentare l'offerta. Dalle offerte tecnico-economiche si sono desunti e valutati i valori delle prestazioni di ciascun requisito di ogni offerente. Il confronto a coppie di ogni soluzione offerta per ogni criterio pesato secondo la priorità sopra definita ha fornito il diagramma di confronto in Figura 7.

Risulta evidente che l'applicazione del metodo Analytic Hierarchy Process (AHP) nella valutazione delle tre opzioni alternative non costituisca un automatismo di risposta autoreferenziale, ma consenta la condivisione e oggettivazione di criteri valutativi tra loro correlati ed interferenti.

In tale modo, pur nell'arbitrarietà delle valutazioni effettuate, queste risultano leggibili e condivisibili (o criticabili) in forma esplicita da ogni *stakeholder* coinvolto.

### Il caso di studio

L'intervento ha interessato l'adeguamento di uno spazio per ufficio su due livelli di una palazzina esistente con superficie calpestabile complessiva di circa 650 mq e caratterizzato da una zona centrale a doppia altezza. Gli uffici sono stati concepiti come un unico *open space*.

Gli unici locali definiti da pareti mobili sono quelli destinati ad una permanenza saltuaria di personale come: sale riunioni, magazzino, archivio e locali fotocopiatrici/stampanti. La separazione tra postazioni isolate di lavoro è stata realizzata mediante l'inserimento di mobili contenitore e tra postazioni mediante l'apposizione di pannelli fonoassorbenti. Si è inoltre intervenuti nella messa in sicurezza della pedana esistente per la segnalazione del dislivello (gradino) e nell'adeguamento del parapetto esistente affinché rispondesse ai requisiti richiesti dalla normativa vigente. Per migliorare il comfort climatico e luminoso, dato l'orientamento del fabbricato, si sono applicate pellicole a protezione solare e sistemi di oscuramento per modulare e regolare luce. Inoltre la scelta dell'impianto di illuminazione si è orientata a corpi illuminanti a LED caratterizzati da sistema automatico a dimmer, mediante sensori, e manualmente per singola postazione.

(1) Riccardo Roscelli (a cura di), *Misurare nell'incertezza. Valutazioni e trasformazioni territoriali*. Torino, Celid, 2005.

### Tabella 2 - Requisiti di comfort per il caso di studio

|    |   |       |
|----|---|-------|
| 1) | costo soluzione complessiva (riferimento al budget di progetto)                                       | 28,1% |
| 2) | caratteristiche prestazionale ed estetiche della postazione operativa (seduta, scrivania, cassettera) | 21,4% |
| 3) | caratteristiche estetiche dei mobili contenitori  | 13,4% |
| 4) | soluzione illuminotecnica   | 12,7% |
| 5) | partizioni interne verticali (caratteristiche isolamento acustico)                                    | 7,4%  |
| 6) | caratteristiche prestazionali della pavimentazione  | 6,4%  |
| 7) | soluzione abbattimento apporto solare   | 3,6%  |
| 8) | qualità della proposta di arredo per la zona living centrale  | 3,4%  |
| 9) | adeguamento parapetto esistente   | 3,4%  |

### Figura 7 – Diagramma di confronto

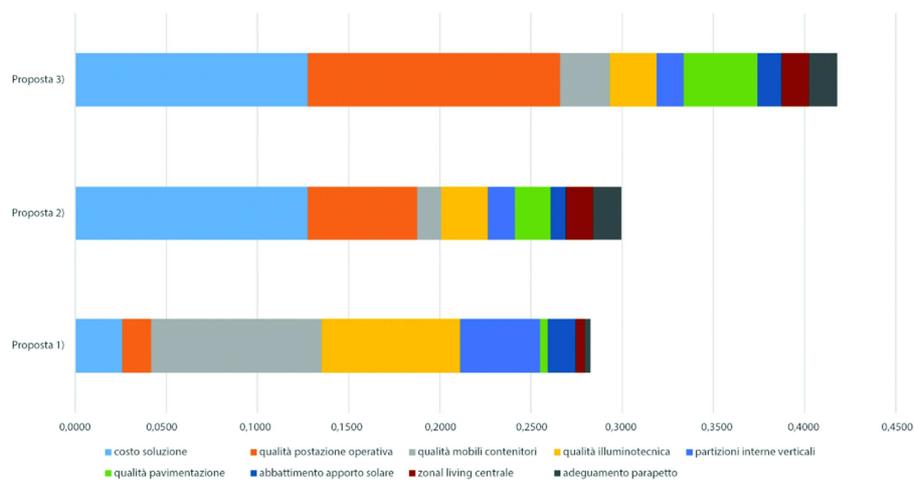
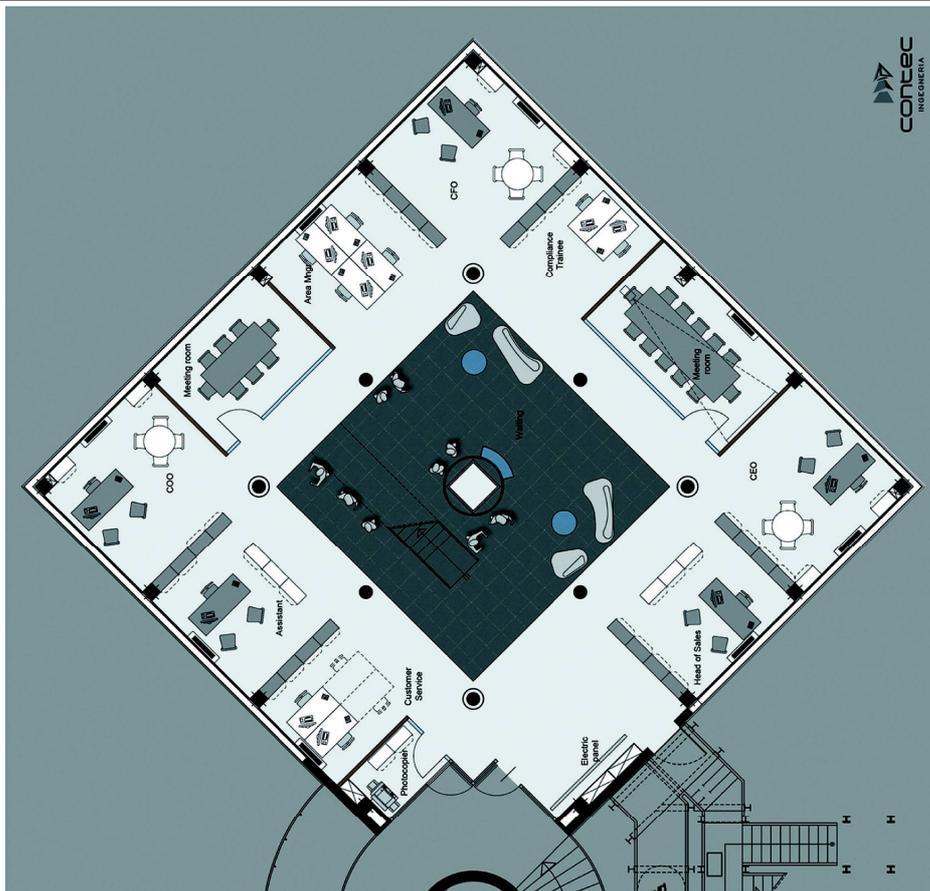
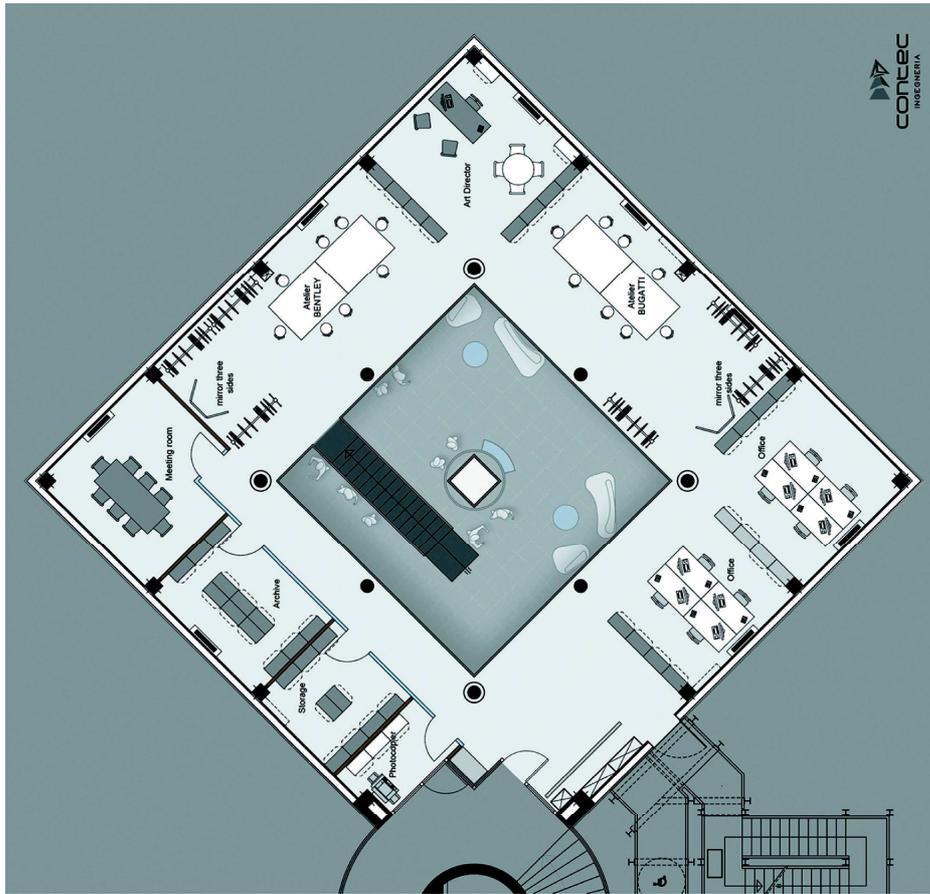


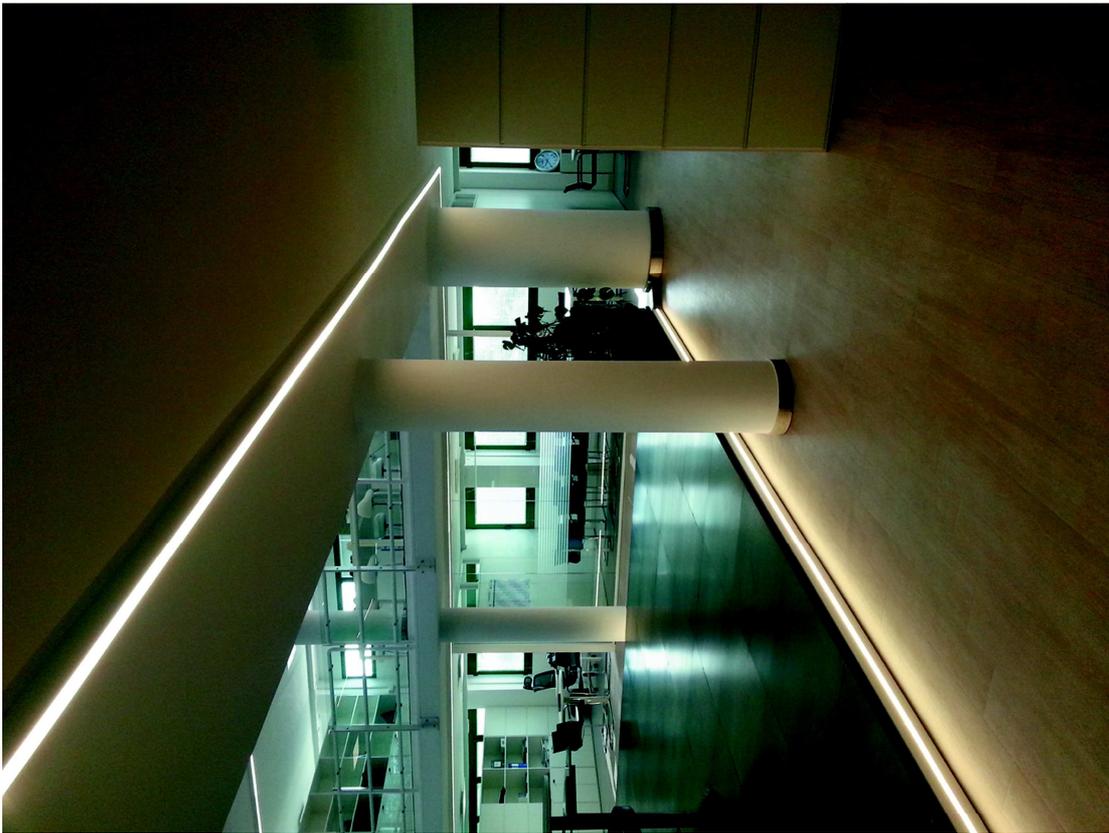


Figura 8 – Piante dei piani primo e secondo dei nuovi Uffici di Autovision Lifestyle s.r.l. progettati da Contec Ingegneria



Piano 1° e Piano 2°

Figura 9 - Nuovi uffici di Autovision Lifestyle S.r.l. progettati da Contec Ingegneria



Piano Primo - Vista dall'ingresso verso il corridoio di distribuzione

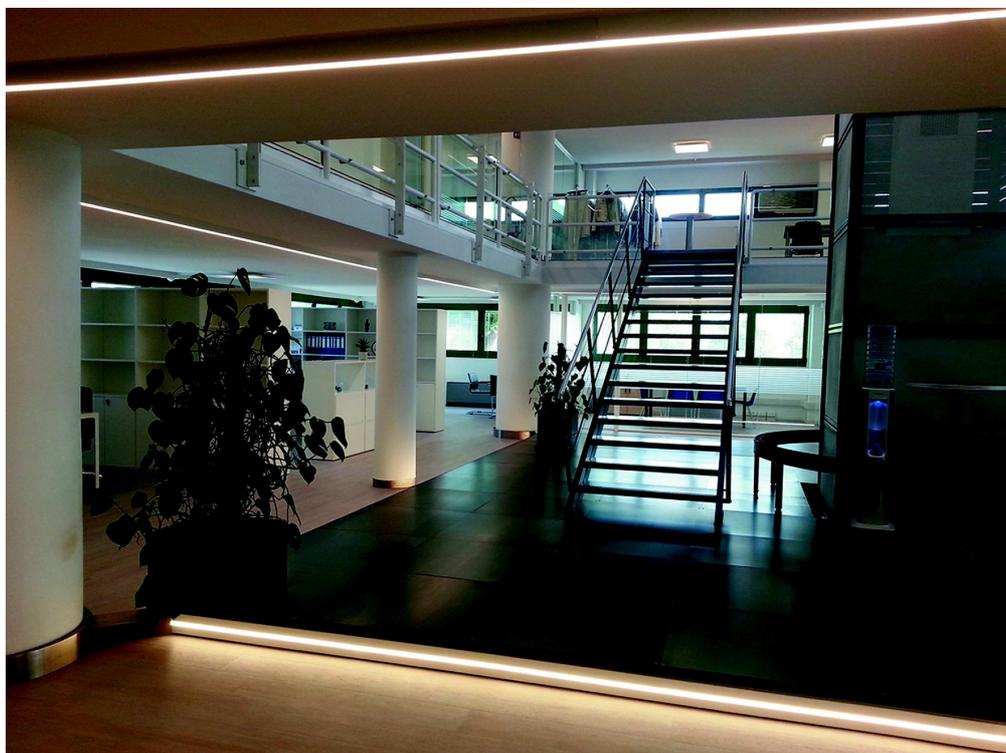


Piano Primo - Sale riunioni e attacco scala adeguato alla normativa

Figura 10 - Nuovi uffici di Autovision Lifestyle S.r.l. progettati da Contec Ingegneria



Piano secondo - Vista delle isole di lavoro a quattro postazioni



Piano primo - Vista dello spazio centrale a doppia altezza. Messa in sicurezza della pedana con la segnalazione luminosa del gradino.