

**UC Berkeley**  
**Indoor Environmental Quality (IEQ)**

**Title**

Indoor climate and productivity in office buildings

**Permalink**

<https://escholarship.org/uc/item/79p3q5n4>

**Authors**

Schiavon, Stefano  
Zecchin, Roberto

**Publication Date**

2009

# Clima interno e produttività negli uffici

Come la qualità dell'ambiente interno influenza le prestazioni lavorative

La letteratura scientifica evidenzia che la temperatura, la qualità dell'aria interna, la ventilazione, il rumore, la luce e la possibilità di controllare questi parametri individualmente, influenzano le prestazioni umane.

L'obiettivo principale dell'articolo è quello di presentare la traduzione della guida Rehva dedicata all'influenza del clima interno sulle prestazioni lavorative al fine di promuovere nei proprietari degli edifici, nei datori di lavoro, negli utenti degli edifici e nei progettisti italiani la consapevolezza su questo argomento.

di Stefano Schiavon, Roberto Zecchin



Questo articolo è una introduzione alla guida Rehva n. 6, scritta da Wargocki P., Seppänen O., Andersson J., Boerstra A., Clements-Croome D., Fitzner K., Olaf Hanssen S., intitolata "Indoor Climate and Productivity in Offices. How to integrate productivity in life-cycle cost analysis of building services". La guida è stata tradotta per Aicarr e pubblicata da Dario Flaccovio Editore. In questo lavoro sono espone le motivazioni che hanno portato alla traduzione e alla diffusione della guida: ne vengono evidenziati gli aspetti principali con l'obiettivo di stimolare il lettore ad approfondire l'argomento.

Le prove scientifiche che dimostrano che la qualità dell'ambiente interno (*Indoor Environmental Quality - leq*) influenza significativamente la salute e la produttività sono chiare e numerose. Un ambiente interno deteriorato causa un aumento dei sintomi della sindrome da edificio malato, delle malattie respiratorie, delle assenze per malattia, e una riduzione della produttività. Alcuni studi mostrano che i costi generati da un ambiente interno deteriorato sono superiori ai costi per il riscaldamento [19]. Stime macro-economiche indicano che è possibile ottenere grandi benefici economici migliorando l'*leq* [3-11]. Alcuni studi hanno mostrato che le azioni per migliorare l'*leq* sono molto vantaggiose dal punto di vista economico se si prende in considerazione il valore dei benefici conseguenti sulla salute e sulla produttività [27-3-4-5-9-20-21].

Il ritorno dell'investimento per migliorare la qualità dell'ambiente interno viene ottenuto attraverso il miglioramento delle prestazioni lavorative e della salute degli occupanti, con conseguente riduzione del numero di giorni di assenza per malattia. La guida spiega come valutare in modo integrato i costi iniziali, energetici e di manutenzione da una parte, e i benefici economici legati alla salute e alla produttività dall'altra, in modo da poter quantificare i vantaggi economici legati ad azioni di miglioramento della qualità dell'ambiente interno.

## Principali caratteristiche della guida

- L'attenzione è rivolta al clima interno e agli investimenti che lo influenzano.
- Il libro si focalizza sugli effetti della qualità dell'aria e del comfort termico sulle prestazioni. La maggior parte dei dati disponibili fa riferimento a questi argomenti.
- Sono stati identificati solo quei fattori della qualità dell'ambiente interno sui quali sono disponibili informazioni quantitative, relative alle prestazioni lavorative e alle assenze per malattia, e che possono essere modificate in fase progettuale e costruttiva.
- L'attenzione è rivolta agli ambienti adibiti a uffici, ma i risultati possono essere estrapolati e applicati ad altri ambienti, purché le condizioni stiano all'interno dei limiti posti dai modelli.
- Nell'analisi dei costi dell'edificio la guida considera an-

che i costi della forza lavoro, ciò in contrasto con la pratica comune che prende in considerazione solo i costi d'investimento e d'esercizio.

- I benefici sono stimati usando i giorni di assenza per malattia e le prestazioni lavorative. Le stime sono conservative.
- Per effettuare i calcoli è stato scelto il metodo di ammortamento dei costi.
- Il principale limite della guida sta nelle relazioni quantitative presentate. Esse si basano su un numero di studi limitato e questo implica che hanno un elevato grado d'incertezza.

### **EFFETTI DELLA QUALITÀ DELL'AMBIENTE INTERNO SULLE PRESTAZIONI LAVORATIVE NEGLI UFFICI**

In questo paragrafo si riassumono brevemente gli effetti qualitativi, riportati nella letteratura scientifica, della temperatura, della qualità dell'aria interna, della luce, del rumore, della regolazione individuale, e dei sintomi della sindrome da edificio malato (*Sick Building Syndrome, SBS*) sulla produttività. Non vengono riportati i risultati degli studi che possono essere trovati nella guida. I dati presentati sono stati utilizzati per sviluppare le relazioni quantitative tra la qualità dell'ambiente interno e le prestazioni lavorative e le assenze per malattia. Per necessità di sintesi, in questo articolo, verrà presentato solo l'effetto quantitativo della portata di ventilazione sulle prestazioni lavorative.

#### **Relazioni qualitative**

##### *Effetti della temperatura sulle prestazioni lavorative*

La temperatura dell'ambiente influenza le prestazioni attraverso vari meccanismi [31]:

- il disagio termico genera distrazioni e lamentele che fanno aumentare i costi di manutenzione;
- il caldo riduce l'attivazione (arousal), acuisce i sintomi della sindrome da edificio malato (Sbs) e ha un effetto negativo sul lavoro intellettuale,
- il freddo abbassa la temperatura delle dita con effetti negativi sulle capacità manuali;
- rapide oscillazioni di temperatura hanno lo stesso effetto sulle prestazioni lavorative di leggeri incrementi di temperatura, mentre lente oscillazioni della temperatura generano semplicemente disagio.

Anche quando si rispettano i valori minimi di comfort termico presenti nella normativa si può osservare una riduzione delle prestazioni tra il 5% e il 15% causata dalla variazione della temperatura.

##### *Effetti della ventilazione sulle prestazioni lavorative*

Il meccanismo attraverso il quale la ventilazione influisce sulle prestazioni è sconosciuto, ma è plausibile pensare che aumentando la portata di ventilazione si riduca la concentrazione di inquinanti nell'aria, e migliorando la



qualità dell'aria si riduca la prevalenza di sintomi della Sbs, quali mal di testa, difficoltà a concentrarsi e a pensare chiaramente che influiscono direttamente sulle prestazioni. Ci sono pochi dati disponibili sull'influenza della ventilazione sulle prestazioni.

##### *Effetti della qualità dell'aria sulle prestazioni lavorative*

Il meccanismo attraverso il quale la qualità dell'aria influenza le prestazioni non è ancora completamente chiaro, ma è ragionevole assumere che quando le persone non si sentono molto bene a causa di una cattiva qualità dell'aria, non lavorano molto bene. Altri possibili meccanismi dell'influenza della qualità dell'aria sulle prestazioni includono la distrazione causata dagli odori, l'irritazione agli organi sensoriali, le reazioni allergiche o gli effetti tossicologici diretti. È stato mostrato [24-25] che le prestazioni lavorative migliorano linearmente con il miglioramento della qualità dell'aria valutata da persone appena entrate in una stanza. La letteratura scientifica mostra che aumentando la portata di ventilazione, la qualità dell'aria percepita aumenta di conseguenza [19-26].

##### *Effetti dei sintomi Sbs sulle prestazioni lavorative*

Molti studi hanno dimostrato che l'incremento della temperatura, la riduzione della ventilazione e della qualità dell'aria sono collegate ai sintomi della sindrome dell'edificio malato (Sbs) [21-16-17-26-31-32]. I sintomi Sbs causano distrazione dal lavoro e includono mal di testa, difficoltà a concentrarsi o a pensare chiaramente. È ragionevole aspettarsi che influenzino anche le prestazioni lavorative.

##### *Effetti del rumore sulle prestazioni lavorative*

Le informazioni sonore possono essere fonte di stimoli o di distrazione. Spesso negli edifici adibiti a uffici la conversazione tra colleghi è uno dei fattori più irritanti per i lavoratori, in modo particolare negli uffici open space. Le ricerche presenti in letteratura sull'argomento non sono sufficienti a sviluppare relazioni quantitative. Recentemente un tentativo è stato fatto: Hongisto (2005) ha svi-

luppato un modello matematico che mette in relazione le prestazioni con l'intelligibilità del parlato, misurando fisicamente lo Speech Transmission Index (Sti). Il modello basato sui dati riportati in letteratura suggerisce che le prestazioni si riducono dal 4 al 45% in funzione del compito su cui è stato sviluppato il modello. Ciò implica che le prestazioni iniziano a calare a  $STI = 0,2$ , e la massima riduzione delle prestazioni si raggiunge a  $STI = 0,6$  (a  $STI = 1$  il discorso si sente perfettamente, a  $STI = 0$  è completamente assente).

#### *Effetti dell'illuminazione sulle prestazioni lavorative*

Teoricamente è verosimile che l'illuminamento, il grado di abbagliamento, il contrasto, la dimensione del campo visivo e lo spettro della luce influenzino le prestazioni. Tuttavia c'è una relazione non chiara tra le prestazioni lavorative e comfort visivo [12]. Ci sono troppi pochi dati in letteratura per sviluppare relazioni quantitative tra le condizioni luminose e le prestazioni lavorative.

#### *Effetti della regolazione individuale sulle prestazioni lavorative*

È stato dimostrato che la regolazione individuale dell'ambiente interno riduce le assenze per malattia causate da Sbs e migliora le prestazioni autovalutate. In un esperimento con soggetti umani che svolgono lavoro d'ufficio simulato (ad esempio battitura di un testo, addizioni ecc.) le prestazioni autovalutate sono migliorate quando i soggetti sono stati equipaggiati con un sistema di ventilazione personalizzata [8]. Poiché le preferenze per quanto riguarda l'intensità di illuminamento differiscono da persona a persona, la regolazione individuale della luce sembra essere una via praticabile per aumentare le prestazioni [13]. I dati presentati suggeriscono che la regolazione individuale dei differenti parametri che influiscono sul clima interno può avere un grande impatto sulla produttività. Ciononostante, attualmente i dati sono ancora troppo pochi per sviluppare delle relazioni quantitative.

#### *Interazioni*

Molte delle ricerche sopra descritte hanno studiato gli effetti di ogni singolo fattore sulle prestazioni lavorative, ma si sa molto poco sugli effetti delle combinazioni di questi fattori. Nelle normali condizioni di lavoro questi fattori non agiscono singolarmente e perciò gli effetti delle loro combinazioni sembrano essere molto importanti. Gli effetti della combinazione di molteplici fattori ambientali sono spesso spiegati attraverso la teoria dell'attivazione (*arousal theory*), nella quale le prestazioni sono legate al livello di attivazione (prontezza, vigilanza, ecc.); le prestazioni per un compito semplice sono massime per elevati livelli di attivazione, mentre per compiti complessi la condizione ottimale si ottiene per bassi livelli di attivazione [7]. La teoria dell'attivazione è adatta a spiegare le interazioni quando

l'effetto sulle prestazioni di un parametro ambientale è contrastato da un altro parametro. Ad esempio, il caldo riduce il grado di attivazione mentre un elevato livello di rumore lo fa aumentare, perciò creare un ambiente leggermente caldo in una situazione nella quale sia inevitabile un elevato livello di rumore riduce l'attivazione e, di conseguenza, fa aumentare le prestazioni se si stanno svolgendo compiti complessi, e le diminuisce se si stanno svolgendo lavori semplici. Ricerche su soggetti umani hanno confermato questi meccanismi teorici [30-15-28].

#### *Altri fattori*

Molti altri fattori collegati all'ambiente interno possono influenzare le prestazioni. Tra essi si elencano i composti organici volatili (Voc) e altre sostanze chimiche presenti nell'aria (ad esempio l'ozono), la possibilità di aprire le finestre e la distanza tra finestra e scrivania, la concentrazione di particolato, di allergeni, di pollini e di umidità nell'aria ecc.

### **RELAZIONI QUANTITATIVE**

Per le analisi ingegneristiche e i calcoli dei costi e dei benefici è necessario conoscere le relazioni quantitative tra i parametri dell'ambiente interno e la produttività. Nella guida sono proposte le seguenti relazioni:

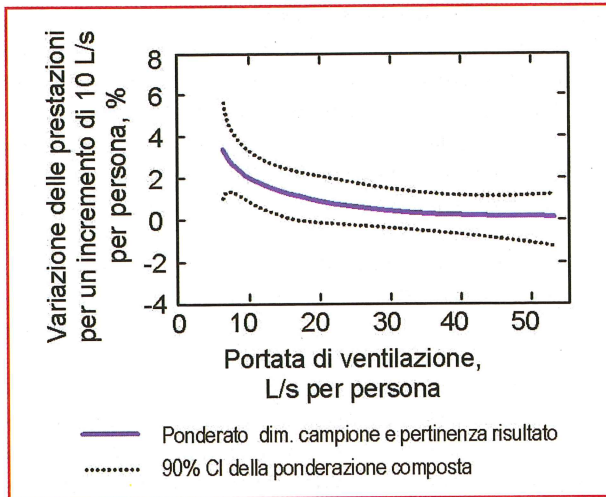
- la relazione tra la portata d'aria e le assenze brevi per malattia;
- la relazione tra la portata d'aria e le prestazioni lavorative negli uffici;
- la relazione tra la qualità dell'aria percepita e le prestazioni lavorative negli uffici;
- la relazione tra la temperatura e le prestazioni lavorative negli uffici.

Come esempio viene riportata la relazione tra la portata di ventilazione e la produttività.

La relazione tra la portata di ventilazione e le prestazioni è basata su cinque studi svolti in altrettanti uffici e sui dati raccolti in due esperimenti svolti in laboratorio [18]. Questi studi quantificano le prestazioni lavorative negli uffici misurando il tempo di reazione, le prestazioni del lavoro simulato (prove di battitura di testi, di addizioni e di lettura) e le prestazioni reali (durata media di una chiamata in un call centre).

Ogni dato ottenuto è stato ponderato rispetto al numero di soggetti coinvolti nell'esperimento. Alle differenti metodologie di misura delle prestazioni sono stati assegnati dei fattori di ponderazione, in funzione della loro importanza rispetto alle prestazioni globali del lavoro d'ufficio. I dati sono stati normalizzati calcolando la variazione delle prestazioni quando la portata veniva fatta aumentare di 10 L/s per persona.

La variazione corretta e normalizzata della produttività (%) in funzione della portata di ventilazione è raffigurata in fig. 1; è riportato l'intervallo di confidenza (*Confidential Intervals, CI*)  $CI = 90\%$ . La relazione mostrata in figura 1



**Figura 1** - Incremento percentuale delle prestazioni per un incremento di portata di 10 L/s per persona in funzione della portata di ventilazione (Seppänen et al. 2006)

indica che, quando le portate di ventilazione crescono, il miglioramento relativo delle prestazioni diminuisce. In altre parole l'effetto positivo dell'incremento della portata di ventilazione è più forte quando la portata di ventilazione iniziale è minore, ed è più debole quando la portata iniziale è elevata.

## PRODUTTIVITÀ E COSTI NEGLI EDIFICI

### Costi tipici in un edificio per uffici

Tipicamente i costi di un edificio includono i costi d'investimento e d'esercizio. Questi costi variano in funzione del tipo di edificio, della sua ubicazione e di molti altri fattori. I costi annuali di un edificio comprendono i costi annuali di costruzione, di esercizio e di manutenzione. Il costo annuale di costruzione dipende dalla durata del ciclo di vita e dal tasso d'interesse scelto nei calcoli. I costi d'esercizio e di manutenzione sono circa un terzo dei costi annuali totali: questa percentuale diminuisce con l'aumentare del tasso d'interesse.

### Produttività

La produttività è un concetto complesso che ha differenti definizioni in funzione del campo disciplinare. In generale, la produttività è il rapporto tra gli output e gli input. Perciò può aumentare se vengono ridotti gli input (costi) o se si fanno aumentare gli output. Ogni condizione ambientale che riduce le prestazioni personali (in termini qualitativi o quantitativi), fa aumentare l'assenteismo e riduce il fatturato, è più costosa della somma dei costi d'investimento e d'esercizio necessari per ottenere una qualità ambientale superiore [29]. Di conseguenza, un ambiente interno di bassa qualità che riduce la produttività dell'organizzazione fa contemporaneamente aumentare i costi e diminuire i ricavi. Tra i benefici economici ottenibili da un incre-

mento della produttività dovuta ad una migliore qualità dell'ambiente interno si elenca: un aumento dei giorni lavorati grazie a una riduzione dei giorni di assenza per malattia, migliori prestazioni, una riduzione del ricambio del personale, e costi di manutenzione più bassi dovuti a un numero inferiore di lamentele legate alla qualità dell'ambiente interno (leq). Le prestazioni lavorative sono difficili da valutare. Le loro tre caratteristiche distintive sono la quantità (ad esempio la velocità), la qualità (ad esempio il numero di errori) e l'effetto di gruppo (ad esempio quanto bene lavora un gruppo). La qualità e la quantità sono facili da misurare per un lavoro ripetitivo (ad esempio nei call centre dove si processano documenti e lamentele e dove si risponde alle telefonate dei clienti). Le condizioni dell'leq possono, attraverso le lamentele e le discussioni tra i dipendenti, far mutare l'attitudine verso il datore di lavoro, e in alcuni casi ridurre le prestazioni lavorative. Se i problemi dell'leq non sono propriamente risolti, può sorgere un conflitto tra la direzione e i dipendenti e complicare il processo di risoluzione dei problemi [10]. Per ora non è però conosciuta l'intensità di questo effetto. Una riduzione del ricambio degli addetti può significativamente ridurre i costi. Una riduzione delle lamentele da parte degli addetti può far ridurre il carico di lavoro dell'ufficio per la gestione dell'edificio (impianti e servizi). Poiché ci sono molti modi di stimare i benefici economici, come prima approssimazione, essi possono essere basati sul salario dei lavoratori e sui relativi benefici e costi.

### Relazioni tra la produttività e i costi negli edifici

Quando si confrontano i costi e i benefici possono essere usati gli stessi modelli e le stesse procedure di calcolo usate nell'analisi del costo del ciclo di vita (Life Cycle Cost-analysis, LCC-analysis). Normalmente nell'analisi del costo del ciclo di vita di un edificio non si prende in considerazione il costo del lavoro poiché lo si ritiene indipendente dal tipo dell'edificio, ma se si mettono in relazione le condizioni ambientali e la produttività diviene necessario includerlo nella valutazione. Il costo del lavoro ha un forte impatto rispetto agli altri costi. I seguenti rapporti sono suggeriti come indici qualitativi dei costi dell'analisi dell'intera vita di un edificio adibito a uffici [2-14]:

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| Costi di costruzione:               | 1   |
| Costi di manutenzione ed esercizio: | 5-9 |
| Costo del lavoro:                   | 200 |

Nella guida viene presentata una semplice equazione, che include i costi e i benefici più significativi legati all'edificio, può essere utilizzata per visualizzare le correlazioni tra i vari fattori che influiscono sui costi e sui profitti. In questa relazione si devono utilizzare i costi annuali e non semplicemente considerare solo le spese iniziali. Per costi annuali si intende la distribuzione dei costi iniziali in

**Tabella 1** - Comparazione tra costi tipici per l'energia e per il personale negli uffici degli Stati Uniti (Cibse, 1999)

| Costi  | Rosenfeld                     | Abdou & Lorsch                    | EPA                           | Woods | BOMA  |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------|-------|
| Costi per il personale (\$/m <sup>2</sup> /anno)             | 3.000                         | 2.180                             | 2.000                         | 2.370 | 1.300 |
| Costi d'esercizio dell'Hvac (\$/m <sup>2</sup> /anno)        | -                             | 20...100                          | 60                            | 120   | 29    |
| Costi per l'energia (\$/m <sup>2</sup> /anno)                | 15                            | 10...20                           | 20                            | 20    | 15    |
| Rapporto tra i costi per il personale e quelli per l'energia | 200                           | 114...218                         | 100                           | 118   | 87    |
| Offset della produttività sull'energia (%)                   | 0,5                           | 0,5...0,9                         | 1,0                           | 0,9   | 1,2   |
| Offset della produttività (min/giorno per persona)           | 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> | 2...3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> | 4 <sup>1</sup> / <sub>3</sub> | -     | 5     |

un certo periodo di tempo. Tale distribuzione viene fatta utilizzando il metodo dell'ammortamento dei costi. Nel modello di ammortamento dei costi l'investimento iniziale è ugualmente distribuito su tutti gli anni della durata dell'investimento. Il fattore di ammortamento dipende dal numero di anni scelto e dal tasso di interesse fissato. L'equazione presentata nella guida include i costi d'investimento collegati all'edificio, all'arredamento, all'attrezzatura e alla messa in funzionamento, il fattore di ammortamento, i costi annuali per l'energia, i costi annuali per la manutenzione e l'esercizio, i costi annuali per la pulizia, i costi annuali dei salari e relative spese, i ricavi annuali (prodotti, parcelle ecc.) e i profitti annuali. Essa può essere utilizzata per valutare la relazione tra costi e benefici quando vengono introdotte le variazioni delle quantità in esame e perciò può essere utilizzata nell'analisi di sensitività per dimostrare l'importanza relativa di ogni parametro. Utilizzando questa equazione e assumendo dei costi tipici per i Paesi scandinavi si sono ottenuti tra i vari risultati presentati nella guida anche le seguenti considerazioni: un incremento del 20% dei costi energetici può essere ripagato da un modesto incremento dell'0,1% della produttività, un guadagno della produttività di circa il 10% dovrebbe compensare completamente i costi di installazione e d'esercizio. In opinione di chi scrive, oggigiorno in relazioni alle ben note istanze sui cambiamenti climatici, tale punto di vista non deve essere preso in maniera assoluta: il guadagno di produttività deve essere utilizzato più per migliorare l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto, piuttosto che per una semplice giustificazione di maggior spesa energetica.

La procedura di calcolo, seppur semplificata, illustra chiaramente che anche il più piccolo incremento di produttività è importante per gli utili.

Inoltre, essa mostra che anche un piccolo cambiamento in uno dei parametri in grado di ridurre l'leq, può causare una sostanziale perdita di denaro causata dalla riduzione della produttività. Il motivo è che i costi dell'edificio e delle attrezzature sono modesti rispetto agli elevati costi legati ai salari del personale. Una rassegna della lettera-

tura scientifica fatta da Cibse (The Chartered Institution of Building Services Engineers, Gran Bretagna) nel 1999 mostra che i costi del personale sono dalle 100 alle 200 volte superiori ai costi dell'energia e che questi possono essere completamente compensati da una riduzione dei costi del personale dello 0,5-1% (Offset della produttività sull'energia - tabella 1).

### METODOLOGIA DI CALCOLO

In questo paragrafo viene brevemente spiegato come introdurre i due indicatori della produttività, assenze per malattia e prestazioni, nelle analisi ingegneristiche, comparando gli investimenti o le alternative d'esercizio con i potenziali benefici. Nel metodo di calcolo si assume che l'aumento della redditività sia dovuto al miglioramento della produttività causato da migliori prestazioni lavorative e da una riduzione del rischio di assenze per malattia. Gli altri fattori che influenzano la redditività, quali ad esempio la situazione del mercato, sono stati considerati costanti. Si suppone inoltre che alla fine della durata della vita dell'investimento, il suo valore sia da considerare trascurabile.

Nella guida viene presentato un metodo per stimare i limiti superiori e inferiori degli effetti combinati sulla produttività.

Nella procedura di calcolo presentata nella guida i costi e i benefici totali dell'edificio includono i costi d'investimento (costi iniziali), i costi d'esercizio (energia e manutenzione) e gli effetti dell'ambiente interno sulle prestazioni lavorative (prestazioni e assenze per malattia). Per comparare i costi d'investimento con i costi annuali è stato usato il modello di ammortamento dei costi. Le annualità possono essere comparate con i costi annuali d'esercizio e le variazioni di produttività. L'alternativa più economica è quella con la somma delle tre voci di costi più bassa. L'incremento dei costi d'investimento e la variazione dei costi d'esercizio e manutenzione legati ad un miglior ambiente interno non vengono qui descritti poiché sono calcoli noti a molti progettisti. Verrà invece analizzata la perdita di produttività.

### Perdita di produttività

Per quantificare la perdita di produttività si calcola di quanto la condizione ambientale in esame si discosta da quella ottimale. Nota la deviazione, usando le relazioni fornite nella guida, si valuta la perdita di produttività. I seguenti fattori devono essere valutati in percentuale:

- effetto della temperatura sulle prestazioni;
- effetto della ventilazione sulle assenze per malattia;
- effetto della ventilazione sulle prestazioni;
- effetto della qualità dell'aria percepita sulle prestazioni.

Gli effetti possono non essere indipendenti. Nella guida vengono riportate delle regole e degli esempi per il calcolo dell'effetto combinato di più parametri interni sulla varia-

zione di produttività. Per convertire la perdita di produttività in un'unità omogenea a quella degli altri costi devono essere stimati il costo annuale del lavoro e l'area impiegata per ogni dipendente; ciò deve essere fatto poiché gli altri costi annuali sono dati in euro per unità di superficie utile. Il costo del lavoro può essere ottenuto dividendo la somma del salario lordo medio, delle spese generali e degli utili per il numero di persone impiegate.

La convenienza economica di un investimento per il miglioramento dell'ambiente interno dipende dai seguenti fattori:

- il costo del lavoro (composto dal salario lordo, dalle spese generali e dagli utili);
- l'area utile calpestabile per dipendente;
- il tasso d'interesse;
- la durata dell'investimento;
- i costi netti dell'investimento (comprese le variazioni dei costi d'esercizio e di manutenzione).

### CASI DI STUDIO

La guida riporta cinque casi di studio che mostrano al progettista come calcolare i benefici legati al miglioramento delle condizioni dell'ambiente interno. Inoltre descrive come includere questi benefici nell'analisi del costo del ciclo di vita delle misure selezionate. I casi sono:

- Caso 1.** miglioramenti della qualità dell'aria ottenuti aumentando la portata di ventilazione o selezionando materiali per l'edilizia poco inquinanti;
- Caso 2.** raffrescamento con ventilazione notturna;
- Caso 3.** diverse alternative per il raffrescamento, quali la ventilazione notturna, l'incremento del tempo d'esercizio, l'aumento della portata d'aria, il raffrescamento meccanico centralizzato o loro combinazioni;
- Caso 4.** l'utilizzo di un ciclo economizzatore che faccia variare la portata d'aria esterna;
- Caso 5.** incremento della portata di ventilazione.

I costi d'implementazione di queste misure sono stati comparati ai benefici ottenibili dal miglioramento delle prestazioni lavorative negli uffici.

Quando il costo del lavoro viene preso in considerazione, in tutti i casi analizzati, è risultato che è molto vantaggioso dal punto di vista economico migliorare le condizioni ambientali. Per esempio il tempo di ritorno per il miglioramento della qualità dell'aria è di circa un anno, il rapporto benefici-costi può arrivare sino a 80, e i risparmi annuali generati da una migliore regolazione della temperatura sono maggiori della somma dei costi annuali d'investimento e dell'incremento dei costi annuali per il raffrescamento.

Come precedentemente menzionato, i benefici economici ottenibili attraverso l'aumento della produttività possono essere considerati più come maggiore disponibilità economica per l'aumento dell'efficienza energetica del sistema edificio-impianto che per un mero incremento dei consumi energetici.

## Terminologia

### Fattore di ammortamento

Il costo annuale dell'investimento si ottiene moltiplicando il valore attuale dell'investimento per il fattore di ammortamento. Esso dipende dal tasso d'interesse e dalla durata dell'investimento.

### Qualità dell'ambiente interno (leq)

La qualità dell'ambiente interno (Indoor Environmental Quality, leq) è la sintesi della qualità dei parametri che caratterizzano l'ambiente interno, quali la temperatura, il rumore, la qualità dell'aria ecc.

### Qualità dell'aria interna (laq)

La qualità dell'aria interna (Indoor Air Quality, laq) è l'insieme delle caratteristiche del clima interno a un edificio. Sono comprese la composizione dell'aria, la temperatura, l'umidità relativa e il livello dei contaminanti aerotrasmessi.

### Qualità dell'aria percepita (Paq)

La qualità dell'aria percepita (Perceived Air Quality, Paq) è la qualità dell'aria interna dal punto di vista della percezione umana.

### Produttività

La produttività è la quantità di output prodotti (in termini di prodotti creati o servizi resi) per unità di input. Può essere migliorata incrementando l'output (le prestazioni ecc.) o diminuendo gli input (costi e altre risorse).

### Sintomi della sindrome da edificio malato (Sbs)

I sintomi della sindrome da edificio malato (Sick Building Syndrome, Sbs) sono l'insieme di sintomi non specifici, sperimentati dagli occupanti dell'edificio e collegati alle caratteristiche dell'edificio e dell'ambiente interno. Tra questi: irritazione agli occhi, al naso e alla pelle, mal di testa, senso di fatica, e di difficoltà a respirare. I sintomi spariscono quando la persona si allontana dall'edificio e non sono collegati a nessuna malattia specifica.

### Speech Transmission Index (Sti)

È la misura dell'intelligibilità del parlato, è direttamente dipendente dal rumore di fondo (background) e dal tempo di riverberazione e dalle dimensioni della stanza. L'Sti varia da 0 = completamente non intelligibile a 1 = perfettamente intelligibile.

## CONCLUSIONI

I miglioramenti della produttività dovrebbero essere inclusi nell'analisi del costo del ciclo di vita degli edifici poiché l'ambiente interno influenza significativamente le prestazioni lavorative.

I costi legati ad un ambiente interno deteriorato sono significativi e sono generalmente superiori ai costi energetici dell'edificio.

La maggior parte dei miglioramenti della qualità dell'ambiente interno sono economicamente efficienti se vengono presi in considerazione i benefici legati alla produttività.

## RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare Rehva per aver dato il consenso alla traduzione della guida n. 6 intitolata "Indoor Climate and Productivity in Offices. How to integrate productivity in life-cycle cost analysis of building services"; inoltre si

ringrazia Aicarr e Dario Flaccovio Editore per aver supportato il lavoro di traduzione e diffusione.

Stefano Schiavon<sup>1,2</sup>, Roberto Zecchin<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Fisica

<sup>2</sup>Tecnica; <sup>2</sup>Technical University of Denmark, International Centre for Indoor Environment and Energy, Department of Civil Engineering;

<sup>3</sup>TiFS Ingegneria srl, Padova

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Cibse, 1999. *Technical Memorandum 24: Environmental Factors Affecting Office Worker Performance; a Review of the Evidence*.
- [2] Evans, R., et al. 1998. *The Long Term Costs of Owning and Using Buildings*, The Royal Academy of Engineering ([www.raeng.org.uk](http://www.raeng.org.uk)).
- [3] Fisk, W.J. 2000. *Health and productivity gains from better indoor environment and their relationship with building energy efficiency*. *Annual Review of Energy and the Environment* 25: 537-566.
- [4] Fisk, W.J., Seppänen O, Faulkner D, Huang J. 2003. *Cost benefit analysis of ventilation control strategies in an office building*, *Proceedings of Healthy Buildings 2003 Conference*. Singapore. December 2003. Vol. 3:361-366.
- [5] Hanssen, S-O. 1997. *Economical consequences of poor indoor air quality and its relation to the total building operation costs*. *Proc. EuroFM/Ifma Conference & Exhibition, Torino, Italy*, pp. 1-21, International Facility Management Association.
- [6] Hongisto, V. 2005. "A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance", *Indoor Air*, 15, 458-468.
- [7] Hygge, S. 1992. "Heat and performance", In: *Handbook of Human Performance*, Vol. 1, *The Physical Environment*, Academic Press, San Diego, CA.
- [8] Kaczmarczyk, J., Melikov, A., Fanger, P.O. 2004 *Human response to personalized and mixing ventilation*. *Indoor Air*, 14 (suppl.8) 1-13.
- [9] Kempster, von D. *Air and well being - A way to more profitability*. *Proceedings of Healthy Buildings 2003 Conference*. Singapore. December 2003. Vol. 3, 348-354.
- [10] Lahtinen, M., Huuhtanen, P., Kahkonen, E., Reijula, K. 2002. *Psychosocial dimensions of solving an indoor air problem*. *International Journal of Indoor Environment and Health* 12:33-46.
- [11] Mendell, M, Fisk, W.J., Kreiss, K., Levin, H., Alexander, D. et al. 2002. *Improving the health of workers indoor environments: Priority research needs for a national of occupational research agenda*, *American Journal of Public Health*. 92:9;14301-440.
- [12] Nema, 1989. *Lighting and human performance: a review*, Washington, D.C., National Electrical Manufacturers Association.
- [13] Newsham, G.R. and Veitch, J.A. 2001. "Lighting quality recommendations for Vdt offices: a new method of derivation", *Lighting Research and Technology*, Vol. 33(2), pp. 97 - 116.
- [14] Oseland, N. and Willis, S. 2000. *Property Performance and Productivity*, 157-163 in *Facility Management: Risks and Opportunities* ed. Nutt and McLennan (Blackwell Science).
- [15] Poulton, E.C. and Edwards, R.S. 1974. "Interaction and range effects in experiments on pairs of stresses: mild heat and low-frequency noise", *Journal of Experimental Psychology*, 102(4), 621-628.
- [16] Seppänen, O. 1999. *Estimated cost of indoor climate in Finnish buildings*. *Proceedings of Indoor Air 1999*, 3, pp 13-18.
- [17] Seppänen, O. and Fisk, W. 2002. *Association of Ventilation Type with SBS symptoms in Office Workers*. *Indoor Air J.* 12, 2:98-112.
- [18] Seppänen, O., Fisk, W., Lei, Q.H. 2006. *Ventilation and performance in office work*. *Indoor Air Journal*, 16 (1), 28-35.
- [19] Seppänen, O., Fisk, W.J., Mendell, M. 1999. *Association of ventilation rates and CO<sub>2</sub> concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings*. *Indoor Air J.* 9:226-252.
- [20] Seppänen, O., Vuolle, M. 2000. *Cost effectiveness of some remedial measures to control summer time temperatures in an office building*. *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Vol. 1 pp. 665-670, Say Indoor Air Information Oy, Helsinki, Finland
- [21] Smolander, J., Palonen, J., Tuomainen, M., Korhonen, P., Seppänen, O. 2003. *Potential benefits of reduced summer time room temperatures in an office building*. *Proceedings of Healthy Buildings 2003 Conference*. Singapore. December 2003. Vol. 3, 389-394
- [22] Tuomainen, M., Smolander, J., Korhonen, P., Eskola, L., Seppänen, O. 2003 *Potential economic benefits of balancing air flows in an office building*. *Proceedings of Healthy Buildings Conference*. Singapore. Vol. 2, 516-521.
- [23] Veitch, J.A. and Newsham, G.R. 1998. "Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction and comfort", *Journal of the Illuminating Engineering Society*, Vol. 27 (1) pp. 107 - 129.
- [24] Wargocki, P., Wyon, D.P. and Fanger, P.O. 2000 a. "Productivity is affected by the air quality in offices", In: *Proceedings of Healthy Buildings '2000*, Espoo, Vol. 1, pp. 635-640.
- [25] Wargocki, P., Wyon, D.P. and Fanger, P.O. 2000 b. "Pollution source control and ventilation improve health, comfort and productivity", In: *Proceeding of Cold Climate Hvac '2000*, Sapporo, pp. 445-450.
- [26] Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P.O., Gynzelberg, F., Hanssen, S.O., Harrison, P., Pickering, A., Seppänen, O. and Wouters, P. 2002. "Ventilation and Health in Nonindustrial Indoor Environments. Report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting", *Indoor Air*, 12, pp. 113-128.
- [27] Wargocki, P. and Djukanovic, R. 2005. "Simulations of the potential revenue from investment in improved indoor air quality in an office building", *Ashrae Transactions*, Vol. 111 (pt.2), pp. 699-711.
- [28] Witterseh, T., Wyon, D.P. and Clausen, G. 2004. "The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work", *Indoor Air*, 14 (Suppl. 8), 30-40.
- [29] Woods, J.E. 1989: "Cost avoidance and productivity in owning and operating buildings", *Journal of Occupational Medicine*, n. 4.
- [30] Wyon, D.P. 1969. "The effects of moderate heat stress on the mental performance by children", *The National Swedish Institute for Building Research*, Document 8.
- [31] Wyon, D.P. and Wargocki, P. 2006 a. "Room temperature effects on office work", In: Croome, D. (ed.) *Creating the Productive Environment*, 181-192.
- [32] Wyon D.P. and Wargocki, P. 2006 b. "Indoor air quality effects on office work", In: Croome, D. (ed.) *Creating the Productive Environment*, 193-205.