

Zumtobel Research

Effetti dei cambiamenti di luce generale sulla produttività di lavoratori industriali addetti stabilmente al turno di prima mattina

Markus Canazei, Bartenbach GmbH, Aldrans | AT
Peter Dehoff, Zumtobel Lighting, Dornbirn | AT
Marzo 2013

ISBN 978-3-902940-42-1



Zumtobel Research

Effetti dei cambiamenti di luce generale sulla produttività di lavoratori industriali addetti stabilmente al turno di prima mattina

Prefazione		5
Sintesi		6
1 Problematica		8
2 Stato attuale della scienza		9
3 Ipotesi della ricerca		10
4 Metodi di ricerca	4.1 Scelta dei metodi	11
	4.2 Impostazione dell'esperimento	13
	4.3 Strumenti di valutazione e misurazione	15
	4.4 Parte esecutiva	19
5 Risultati		24
6 Best Practice		31
7 Discussione e prospettive		32
8 Bibliografia		34
Breve profilo dei partner/ricercatori/sostenitori		35



Posti di lavoro nell'industria Flextronics

Ci si chiede spesso in che misura la produttività benefici di un miglioramento delle condizioni di lavoro. La luce rappresenta un aspetto cruciale. Infatti la luce non si limita a migliorare le condizioni visive ma agisce anche sulle funzioni biologiche subconscie. In più la luce ha sempre un contenuto emotivo.

Per quantificare scientificamente un incremento della produttività non basta prendere in esame soltanto i numeri di produzione: questi infatti non sono riconducibili in modo univoco a una buona illuminazione.

Di conseguenza il presente studio ricorre a metodi molto più approfonditi per trarre conclusioni sugli effetti della luce sull'uomo.

È interessante osservare che basta già disporre di condizioni a norma per far sì che i processi lavorativi siano svolti senza trascuratezze e senza lamentele. A maggior ragione si apprezza il fatto che una «illuminazione con cambiamenti dinamici» induca effetti positivi sul sonno notturno e sulla riduzione dei tempi lavorativi, contribuendo pertanto effettivamente all'incremento della produttività.

Uno studio specifico ha analizzato gli effetti di ordine psicofisico e in termini di produttività legati ai cambiamenti d'illuminazione. Lo studio è stato condotto nello stabilimento Flextronics di Althofen prendendo in esame i lavoratori del turno di prima mattina.

In una prima fase (studio preliminare) si sono messi a confronto due tipi d'illuminazione dinamica. Nella prima scena i cambiamenti di luce erano pochi ma percepibili, nella seconda le variazioni di luminosità erano frequenti ma non percepibili.

Nella seconda fase, intesa come studio pilota, sono state testate 6 condizioni di luce. Due di queste sono state poi scelte per lo studio principale. In entrambi i casi si tratta di illuminazione con dinamismi, attivata in una stagione con poca luce diurna per un periodo di 9 settimane. Le scene sono state messe a confronto con un'illuminazione standard a norma EN 12464-1 utilizzando metodi di analisi multidisciplinari (ad esempio questionari di psicologia del lavoro, elettrocardiogrammi, actigrafie, registrazione di dati specifici sulla produttività).

Dal momento che il processo lavorativo subiva disturbi evidenti (ad es. cambi di orari e di squadra), nell'analisi dei dati sono confluiti campionamenti differenti.

Diversamente da quanto accadeva con l'illuminazione standard, in entrambe le situazioni di luce dinamica la vagotonia* dei lavoratori è aumentata nel primo e nell'ultimo terzo dell'orario mattutino. Inoltre, sempre con le due illuminazioni dinamiche, è migliorata in maniera palpabile la qualità del sonno.

I dinamismi di luminosità percepibili hanno indotto anche uno stato d'animo più positivo degli operai presenti nel capannone. Per contro si è rilevata un'attività corporea molto più ridotta nella situazione di luce con dinamismi non percepibili.

Durante lo studio 1 il tipo di organizzazione lavorativa non ha permesso inizialmente di misurare in modo diretto l'influsso dell'illuminazione generale sulla produttività degli operai. Valutando i tempi medi di lavorazione dei singoli pezzi prodotti si è potuti risalire a un incremento di produttività del 4 % nei mesi invernali.

Riassumendo si può affermare che un'illuminazione con cambiamenti dinamici in aggiunta ai parametri standard ha effetti positivi sui lavoratori sia nel turno di prima mattina che di notte. Dallo studio condotto si evince infine che l'influenza della luce sulla produttività dei lavoratori in uno stabilimento moderno è sì molto mascherata da un'organizzazione lavorativa rigida, ma che comunque lo svolgimento dei processi lavorativi risulta alleggerito e accelerato.

* Vagotonia: stato di stimolazione del sistema nervoso parasimpatico, influenzato essenzialmente dal nervo vago.

Il progetto di ricerca è stato guidato dal centro di competenza k-Licht con il coinvolgimento di partner interdisciplinari e con il sostegno di stato e regioni (vedi ultima pagina).

Le analisi sono cominciate nel 2006. Una volta concluse è seguita la valutazione dei molti dati raccolti. In questa fase si è inserito uno studio di laboratorio (vedi studio «Esperimento di laboratorio sugli effetti della luce dinamica sulla produttività»). I risultati del primo studio condotto nello stabilimento Flextronics sono stati pubblicati nella celebre rivista scientifica «Lighting Research & Technology».



1 Problematica

In uno stabilimento di produzione i dati che riguardano la produttività sono indubbiamente di grande rilevanza. Ma rilevare un incremento di produttività indotto dall'illuminazione non è compito facile. Infatti, anche se si accerta un incremento, questo può essere ricondotto a tutta una serie di altri fattori.

Per quanto concerne l'illuminazione, esistono già molte possibilità di creare buone condizioni visive anche solo con un impianto statico a norma. Ad esse si aggiungono quelle dei dinamismi che variano intensità luminosa e/o temperatura di colore. Questi cambiamenti possono essere lenti o veloci, quindi percepibili o non percepibili.

Per valutare l'effetto sui lavoratori si può ricorrere a questionari e misurazioni. Appare sensato adottare un tipo di ricerca interdisciplinare, ossia che coinvolga specialisti di psicologia, ergonomia, medicina e illuminotecnica. Da un lavoro congiunto si descrivono e si valutano gli effetti sullo stato d'animo e sullo stress, sulla qualità del sonno e sulla concentrazione, sulla capacità di rigenerarsi dopo il lavoro, sulla qualità della situazione di luce.

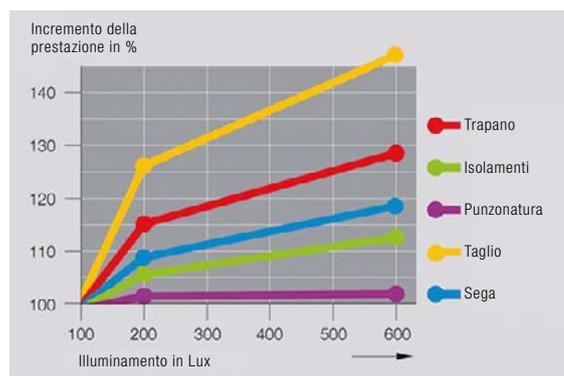
Infine è indispensabile che un'azienda sia disposta a rendersi disponibile per condurre le analisi.



È scientificamente comprovato che la luce influenza in modo rilevante la prestazione visiva e lo stato di benessere di chi lavora. Si deduce pertanto che una buona qualità di luce ha effetti sulla produttività. In presenza di illuminamenti scarsi il margine d'errore aumenta con evidenza /Völker/. Nel caso di lavori artigianali semplici, i margini d'errore si riducono solo a partire da un illuminamento di circa 500 lx. Juslén ha dimostrato che aumentando l'illuminamento da 800 a 1 200 lx i tempi di produzione di chi lavora di prima mattina si accelerano, determinando una produttività migliorata del 4,7 % circa nei mesi invernali. In estate invece non si è rilevato alcun effetto /Juslén/. Lo studioso ha condotto le sue ricerche in diversi complessi industriali con differenti impianti d'illuminazione.

Osservare gli effetti della luce sull'uomo è un tema che occupa diverse branche della scienza: psicologia, ergonomia, medicina e illuminotecnica. Il progetto preliminare messo a punto da k-Licht ha unito questionari, esami medici, osservazioni e misurazioni, ricavandone un complesso di strumenti con cui condurre l'indagine nelle condizioni reali di un'industria.

Gli esiti dello studio preliminare a cura del centro k-Licht hanno dimostrato che un'illuminazione generale dinamica è in grado di influenzare positivamente sia lo stato psicofisico che la produttività di chi lavora. Gli effetti di luce considerati sono quelli di cambiamenti di luminosità molto lenti, analoghi cioè a quanto accade in una giornata senza nuvole. Partendo da tali risultati, ci si è chiesti se gli effetti si intensificano con cambi di luminosità più veloci (ossia nel giro di pochi minuti o al massimo mezz'ora) e con un livello di luce più elevato (variando tra 1 000, 2 000 e 3 000 lx sui piani di lavoro orizzontali).



3 Ipotesi della ricerca

Il progetto si è posto come obiettivo quello di quantificare l'influenza di un'illuminazione estremamente variabile sullo stato di benessere psicofisico e sulla produttività dei lavoratori in uno stabilimento industriale.

L'illuminazione variabile è una luce artificiale che nel tempo cambia:

- intensità (illuminamento)
- tonalità (spettro)
- distribuzione (composizione delle luminanze nell'ambiente).

Primariamente si dovevano misurare gli effetti diretti di un'illuminazione variabile sui lavoratori nel primo turno di mattina. I dati sono stati raccolti volutamente nella stagione invernale, quella con meno luce. Di conseguenza ci si aspettava un effetto più forte della luce artificiale, visto che il contributo di quella naturale al di fuori degli orari lavorativi è meno intenso in inverno.

Il compito centrale era creare condizioni di luce diversificate e molto dinamiche, tali da produrre due risultati:

1. indurre effetti psicofisici,
2. essere accettate dai lavoratori.

In molti lavori di ricerca pubblicati sino ad ora questi due aspetti sembrano essere del tutto incompatibili.

4.1 Scelta dei metodi

L'indagine si è suddivisa in due fasi, e cioè uno studio pilota e uno studio principale.

Lo **studio pilota** serviva a giudicare il grado di accettazione e la compatibilità con il lavoro quotidiano di sei diversi andamenti della luce, ognuno dei quali è stato proposto per una settimana.

Prima di avviare lo studio pilota si è effettuata una **valutazione ergonomica** dei posti di lavoro, classificandoli secondo le mansioni specifiche. In seguito sono stati selezionati quei posti di lavoro nei quali gli studi dovevano raccogliere i dati sullo stato psicofisico dei lavoratori.

Le osservazioni si sono svolte in estate e in inverno. Vi hanno partecipato 24–29 donne, di cui il 61 % sopra i 40 anni.

In parallelo alla valutazione ergonomica, insieme al direttore di produzione sono stati definiti i **parametri produttivi** dei posti di lavoro scelti. I posti di lavoro erano ripartiti per gruppi di persone che lavoravano sullo stesso prodotto (linee di produzione). Dal numero di prodotti fabbricati quotidianamente da una squadra di lavoro e dal tempo che impiega complessivamente si ricava il tempo di lavorazione relativo di ogni singolo pezzo. È proprio quest'ultimo dato a descrivere la produttività di un gruppo di lavoro.

Solitamente negli studi sull'efficacia biologica della luce non si intervistano le persone sulla qualità stessa dell'illuminazione. Eppure si tratta di un aspetto decisivo se pensiamo alla fattibilità di future concezioni illuminotecniche: soprattutto i cambi di luminosità molto repentini possono indurre disturbi visivi, cognitivi o anche fisiologici. Valutando le opinioni delle persone coinvolte è stato più facile selezionare due algoritmi di comando di un'illuminazione dinamica i cui effetti psicofisici andavano poi confrontati con quelli di una situazione di riferimento.

I lavoratori non dovevano sapere esattamente quando venivano cambiate le condizioni di luce: per questo i comandi venivano riprogrammati di sabato, cioè fuori dagli orari di lavoro.

Nei risultati dello studio ci sono tanti fattori che non hanno a che fare con la luce e che quindi sono pressoché impossibili da controllare: per esempio casi di malattia, preoccupazioni familiari fuori dagli orari di lavoro, aggiunta inattesa di nuove mansioni lavorative, guasti alle macchine o problemi di reperimento del materiale. Si tratta di effetti che si sovrappongono in maniera forte agli effetti psicofisici cercati con l'illuminazione. Tuttavia, la direttrice dello studio era costantemente presente sul posto ed ha preso nota meticolosamente di ogni evento: per questo si sono potuti filtrare i dati registrati prima di cominciarne l'analisi.

Prima e dopo lo studio principale le operaie partecipanti si sono sottoposte a una visita medica della durata di mezz'ora in cui è stato registrato il loro **stato medico-fisiologico e lavorativo-psicologico**. Anche questo provvedimento è servito a controllare esattamente le eventuali interferenze sui risultati dello studio.

Quale altro accorgimento per ridurre al minimo le interferenze si è definito un modello di **misurazioni ripetute** a breve termine. In pratica ognuna delle tre condizioni di luce è stata attivata per tre volte alla settimana.

Un cambio frequente delle condizioni di luce lascia sperare anche che alle lavoratrici rimanga un'impressione meno forte di una certa situazione.

Riassumendo si può dire che è stato implementato un **doppio studio, randomizzato e controllato**, con un **design cross-over 3 x 3**. È un modello che si applica spesso anche nelle ricerche sugli effetti farmacologici, attualmente uno degli standard scientifici più avanzati in quanto a metodica di ricerca.

Al di là dei questionari sui dati soggettivi, per l'intera durata del turno di lavoro si registrava l'attività cardiaca. A tale scopo le persone indossavano una cintura toracica, facilmente regolabile e di nessun disturbo. Inoltre erano dotate di un sistema di monitoraggio sul polso (actigrafo) che rilevava costantemente l'attività corporea da lunedì prima di iniziare il turno a venerdì fino a turno concluso (anche fuori dagli orari di lavoro).

Le cinture toraciche e i sistemi di monitoraggio, complessivamente quindici, sono state distribuite tra le persone in modo tale da registrare un numero sufficiente di dati cardiaci e di attività corporea per ogni diversa condizione di luce.

Ogni sabato venivano impostate le condizioni di luce per la settimana successiva, di modo che le lavoratrici non potevano sapere quale programmazione si sarebbe presentata.

4.2 Impostazione

Ambiente

La ditta partecipante aveva costruito un nuovo stabilimento, con la necessità di installare anche un nuovo impianto illuminotecnico. Una peculiarità di questo nuovo reparto erano pareti e pavimenti di colore bianco. Tale scelta è motivata dalla volontà di trasmettere un'immagine di posti di lavoro molto puliti dove si fabbricano prodotti per la medicina: un aspetto importante quando la Flextronics riceve visite dei suoi committenti.



Il reparto, non ancora interamente arredato, subito dopo l'installazione dell'impianto illuminotecnico nel 2005. Dimostrativamente è suddiviso in due diverse condizioni di luce, in modo da rappresentare le differenti temperature di colore.

Inserimento dell'illuminazione generale

Nel reparto sono stati montati apparecchi TECTON RC 2/54 W con lampade fluorescenti di tonalità 4000 K ($R_a > 80$) e comandi della luce «EMOTION-Touch». L'impianto era a norma ÖNORM EN 12464-1 (ad es. limitazione dell'abbagliamento $UGR < 19$.) I comandi erano automatici, vale a dire che i dipendenti non potevano intervenire. L'unica possibilità era accendere e spegnere manualmente prima e dopo i turni.

Sulle finestre (che danno sul lato nordovest) sono state montate **pellicole** con grado di trasmissione del 13 %. In questo modo si manteneva il rapporto con la situazione esterna (il quoziente di luce diurna era ≤ 2 %) e si controllava bene l'influenza di quantità variabili di luce diurna. Di conseguenza nei vari posti di lavoro si misurava un'incidenza di luce diurna che andava solo da 30 a 150 lx di illuminamento orizzontale.

Tempistica

Lo studio si è suddiviso in tre fasi. Innanzitutto si sono sviluppate sequenze di luce **molto dinamiche** da testare, cui è seguito uno **studio pilota** delle 6 sequenze dinamiche selezionate.

Lo studio pilota aveva soprattutto due obiettivi:

1. Verificare che le nuove condizioni di luce dinamica fossero accettate, ovvero stabilire quali si preferivano.
2. Controllare i dati sulla produttività e verificare che fossero utilizzabili, testare la trasmissione quotidiana dei dati al server php della ditta Bartenbach e mettere a punto una strategia di valutazione.

Sulla base dei risultati dello studio pilota sono state scelte due delle sei sequenze: su di esse è stato condotto lo **studio principale** che faceva riferimento a una terza illuminazione (quella normata).

Sviluppo di sequenze di luce altamente dinamiche

Sono state messe a punto molte sequenze con forti dinamismi che in parte dovevano essere percepibili. Ciò è motivato dal fatto che i cambiamenti di luce evidenti scatenano una certa aspettativa e che quindi sono giudicati soggettivamente in maniera diversa che non quelli impercettibili.

Nel progetto in questione il **dinamismo della luce** è inteso non come cambiamento di colorazione ma solo di illuminamento. La tonalità delle sorgenti primarie (lampade fluorescenti) è rimasta sempre invariata a 4000 K.

Nelle scene di luce dinamica il valore di illuminamento più basso era quello previsto dalle normative, e cioè 1000 lx. Gli andamenti dinamici lo alzavano poi fino a raggiungere i 3000 lx di illuminamento medio orizzontale nelle zone di lavoro.

In generale variavano sia la durata che l'ora di attivazione che il grado di dinamismo.

Per lo studio pilota sono state programmate tre sequenze altamente dinamiche, di cui una con cambiamenti di luminosità non percepibili e le altre due invece con variazioni evidenti.

4.3 Strumenti di valutazione e misurazione

Gli strumenti utilizzati sono legati alle diverse discipline e quindi così ripartiti:

Psicologia del lavoro

Questionari su come si vive stress, stato d'animo, cronotipo, sonno e veglia

Medicina del lavoro

Stato medico-fisiologico e anamnesi sociale, misurazione della frequenza cardiaca e dell'attività corporea

Produzione

Registrazione dei pezzi lavorati e del tempo impiegato da ogni persona

Ergonomia

Valutazione ergonomica dei posti di lavoro

Illuminotecnica

Documentazione illuminotecnica, questionari sulla qualità di luce

Gli strumenti utilizzati sono legati alle diverse discipline e quindi così ripartiti:

Parametro I

Questionario sullo stato d'animo momentaneo

Qui si cerca di capire in che modo le condizioni di luce influenzino lo stato d'animo momentaneo e singoli aspetti del modo di interagire con i colleghi (ad esempio piacere di avere contatti, aggressività etc.). In ogni giornata lavorativa il questionario veniva sottoposto tre volte, pertanto si sono potute registrare anche le modifiche cronologiche dei vari parametri.

Diario sulla qualità del sonno e sulla sensazione al risveglio

Il diario era da compilare quotidianamente prima di iniziare il turno di lavoro. Le domande sulla qualità del sonno dell'ultima notte e sullo stato di veglia all'inizio del lavoro erano formulate sotto forma di scale rating a sette livelli. Il diario è servito a indagare gli effetti che l'illuminazione ha a lungo termine sul sonno e sulla capacità di rigenerarsi. Dal momento che le risposte erano date ogni giorno si è potuto quantificare anche un andamento settimanale.

Parametro III

Questionari sulla qualità della luce

I questionari sulla qualità della luce venivano sottoposti il mercoledì e il venerdì, sempre alla fine del turno di lavoro. Scopo delle domande: capire in che misura un'illuminazione dinamica influenzi la qualità dell'ambiente in una stagione di poca luce esterna; questo nel confronto con un'illuminazione standard. Fin qui non è stato ancora indagato il grado di accettazione dei dinamismi di luce in un contesto lavorativo. L'argomento pertanto doveva diventare oggetto di uno studio a parte.

Rilevazione nelle 24 ore dell'attività corporea e del dosaggio di luce

Per registrare l'attività corporea legata al dosaggio quotidiano di luce ci è serviti di uno strumento a forma di orologio da polso, portatile comodamente (vale a dire antiurto, impermeabile eccetera).

Trattandosi di uno strumento non invasivo, si poteva lasciarlo applicato da lunedì alle 5:45 di mattina a venerdì alle 14:00. Molte ricerche si sono già avvalse di questo sistema per dimostrare l'effetto diretto della luce sul corpo umano.

Oltre allo stato di attività durante i turni di lavoro, ci interessavano anche le condizioni fuori dalla fabbrica (quali eventuali fattori che potessero alterare l'influenza dell'illuminazione). Il sistema di monitoraggio è servito anche a registrare esattamente la qualità del sonno (momento in cui ci si addormenta e ci si sveglia, risvegli notturni, attività notturne in totale).

Accanto all'attività corporea si è rilevato anche il dosaggio di luce nell'arco della giornata. In pratica è stato possibile quantificare l'esposizione alla luce durante le pause fuori dalla fabbrica, dopo il lavoro (vale a dire con l'aggiunta di luce naturale) e di notte: tutto questo come fattore di potenziale alterazione dello studio.

Misurazione della frequenza cardiaca

Per misurare la frequenza cardiaca (nelle 24 ore) le operaie indossavano una comoda cintura pettorale. Grazie ad essa è stato possibile mettere in rapporto la quantità di luce presente con l'autoregolazione del fisico.

Dato sul tempo di lavorazione dei prodotti

Cronometrando il tempo di lavorazione di ogni prodotto si voleva dimostrare il suo legame con l'illuminazione. Infatti un incremento di produttività dovuto alla modifica della luce giustificerebbe facilmente un investimento maggiore e costi di esercizio maggiori.

Fattori di disturbo

Questionario sullo stato di stress cronico

Il questionario è stato distribuito prima di iniziare lo studio principale e dopo averlo concluso, allo scopo di conoscere lo stress cronico condizionato dal lavoro. Qui i valori indicati da ogni persona dovrebbero rimanere possibilmente invariati in entrambi i questionari.

Questionario sulla qualità del sonno

Dal momento che la qualità del sonno ha un'influenza rilevante sugli effetti psicofisici delle varie esposizioni alla luce, prima e dopo lo studio principale si sono formulate domande con un questionario standardizzato. I dati non servivano tanto ad escludere una persona dallo studio (per via di valori sballati), quanto piuttosto a dimostrare che la loro qualità del sonno non cambiava in maniera significativa durante il rilevamento.

Questionario sulle condizioni di lavoro

Il questionario è stato distribuito prima di iniziare lo studio principale e dopo averlo concluso, allo scopo di registrare le condizioni del loro posto di lavoro. Anche in questo caso i valori indicati da ogni persona dovrebbero rimanere possibilmente invariati in entrambi i questionari.

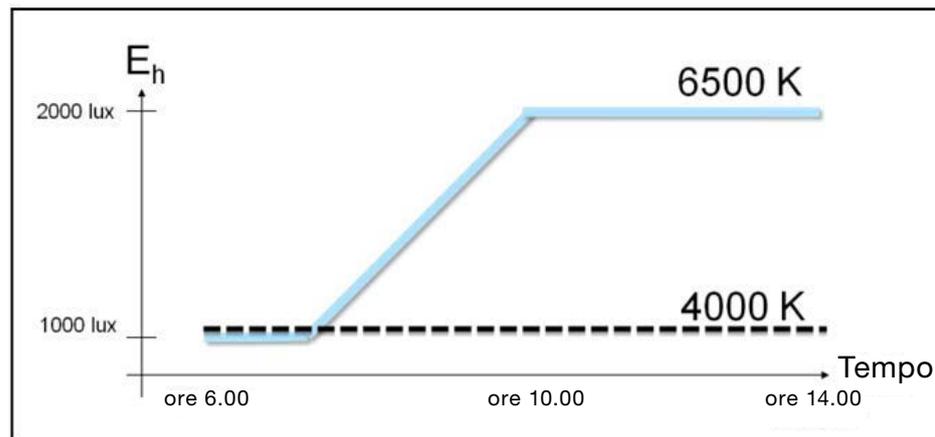
Riassumendo, i rilevamenti in materia di psicologia del lavoro, medicina del lavoro, ergonomia e illuminotecnica hanno fatto ricorso ai seguenti strumenti:

- Questionario «Analisi delle condizioni di lavoro in azienda» (IMPULS)
- Questionario «Inventario di Trier sullo stress cronico» (TICS)
- Questionario «Scala dello stato di benessere» (BSKE)
- Questionario «Indice di Pittsburgh della qualità del sonno» (PSQI)
- Diario settimanale sulla «qualità del sonno e sensazione di veglia mattutina» (FBWTB)
- Questionario sulla qualità della luce (FQL 2)
- Questionario «Morningness–Eveningness Questionnaire» (MEQ-SA)
- Dati sulla produttività
- Sistema di monitoraggio dell'attività corporea e del dosaggio di luce
- Registrazione dell'attività del sistema nervoso autonomo
- Valutazione ergonomica basata su ispezione

4.4 Parte esecutiva

Nello studio preliminare di k-Licht, già pubblicato nella rivista *Lighting Research and Technology*, sono stati messi a confronto gli effetti psicofisici della luce di due ambienti con diverse condizioni. La prima era un illuminamento costante di 1 000 lx orizzontali nella zona di lavoro, con colorazione di 4 000 K. La seconda invece aveva una colorazione primaria di 6 500 K e un andamento dinamico dell'intensità.

Tra le ore 6:00 e le 8:00 c'erano 1 000 lx di illuminamento orizzontale nella zona di lavoro. In seguito la luminosità raddoppiava nell'arco di due ore (cioè in maniera impercettibile). Questa luminosità raddoppiata rimaneva fino alla fine del turno di lavoro. L'andamento dell'illuminazione artificiale qui descritto imitava il ritmo della luce diurna in una giornata serena.



Condizioni di luce A: luce normata, 4000 K (3859 K negli occhi)

Condizioni di luce B: luce sperimentale nel progetto preliminare, 6500 K (6398 K negli occhi)

Nel progetto preliminare gli effetti psicofisici delle due diverse condizioni di luce sono stati misurati per un mese in estate e per un mese in inverno.

Nell'analisi dei dati si è appurato che l'illuminazione dinamica procurava un miglioramento della produttività nel mese invernale (tempo di lavorazione abbreviato del 4 %). Sempre per il periodo invernale si è dimostrato che l'illuminazione dinamica generava un sensibile miglioramento sia nel recupero fisiologico con il sonno sia nello stato di benessere degli operai alla fine del turno di lavoro.

Condizioni di luce dello studio pilota

Le sei condizioni di luce dello studio pilota possono essere ripartite in tre gruppi:

- luce generale con dinamismo dell'intensità non percepibile
- luce generale con dinamismo dell'intensità percepibile
- luce generale costante

Cambi di luminosità frequenti e brevi, non percepibili («tipo seghettato»)

Cambiamenti di luminosità in tredici cicli da 30 minuti (15 minuti di aumento e 15 di calo) nel corso del turno di lavoro. Le variazioni non erano percepibili.

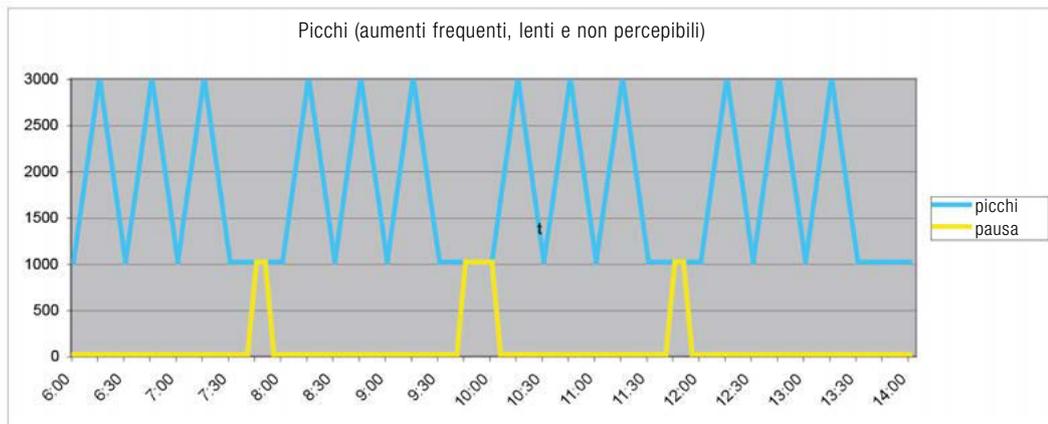


Fig. 01: condizioni di luce tipo «seghettato» nello studio pilota

Cambi di luminosità duplici, percepibili («veglia»)

All'inizio e verso la fine del turno la luminosità nella zona di lavoro aumentava rapidamente. I cambiamenti erano percepibili. Il loro scopo era incrementare lo stato di veglia all'inizio del turno e ridurre lo stato di stanchezza verso la fine attraverso un aumento di luminosità percepibile.

Ognuno dei due cambi rapidi di luminosità durava in totale 90 minuti, laddove in seguito all'aumento rimaneva una luminosità forte per 30 minuti che poi per altri 60 minuti si andava riducendo lentamente e in maniera impercettibile fino a tornare al livello originario. Dato che questa riduzione era per l'appunto lenta e impercettibile, si può presumere che le persone rimanevano con un'impressione di forte luminosità (3000 lx) per più di 30 minuti.

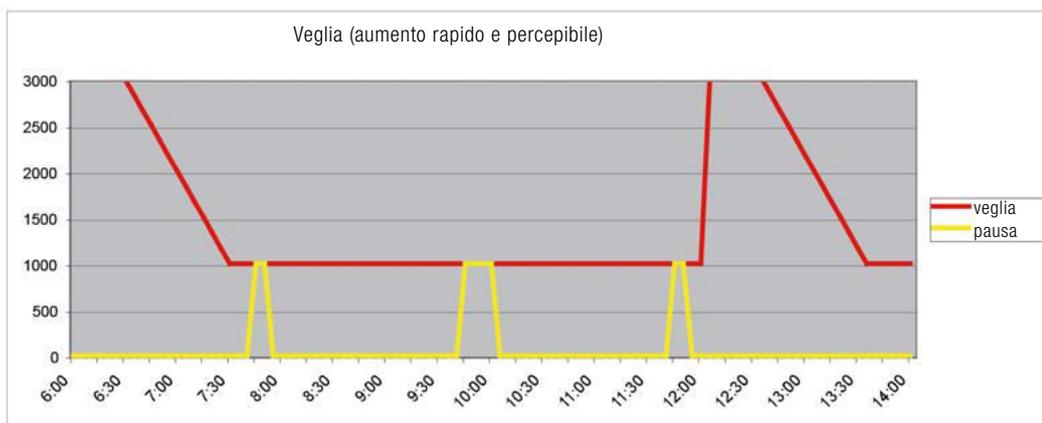


Fig. 02: condizioni di luce tipo «veglia» nello studio pilota

Cambi di luminosità molteplici, percepibili («veglia²»)

Sempre nel turno di prima mattina, la luminosità veniva aumentata rapidamente per cinque volte. A differenza delle condizioni «veglia», in questo caso il cambio di luminosità durava solo 45 minuti: prima con un aumento nel giro di 3 minuti e poi con una progressiva riduzione per 35 minuti. Questa ripartizione estremamente dinamica è stata così composta: due cambi automatici di luce all'inizio del lavoro, uno a metà del turno dopo una pausa di 15 minuti, altri due dopo l'ultima pausa breve (verso la fine del turno).

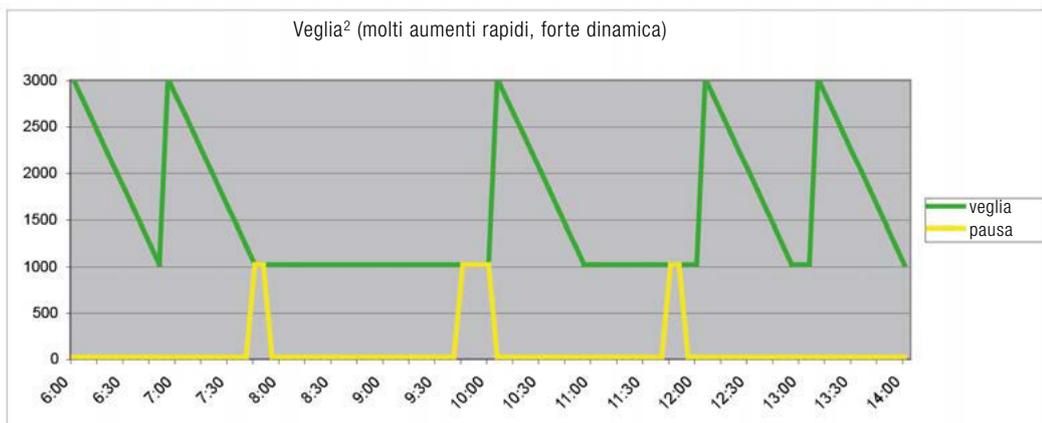


Fig. 03: condizioni di luce tipo «veglia²» nello studio pilota

Luce generale costante di 2 000 lx («norma²»):

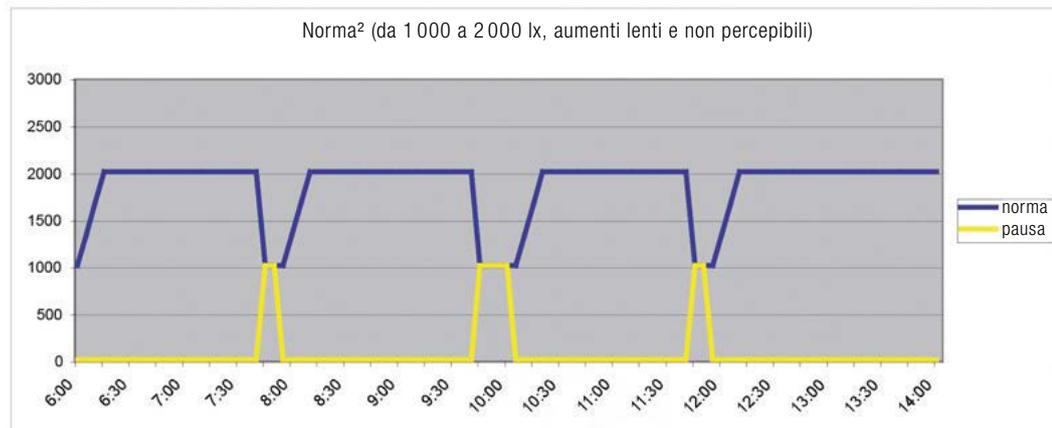


Fig. 04: condizioni di luce tipo «norma²» nello studio pilota (le parti evidenziate in giallo rappresentano le pause di lavoro; prima e dopo ogni pausa la luce veniva dimmerata a 1 000 lx in modo da avere un cambio di ambiente senza disturbi visivi).

Luce generale costante di 3 000 lx («norma³»):

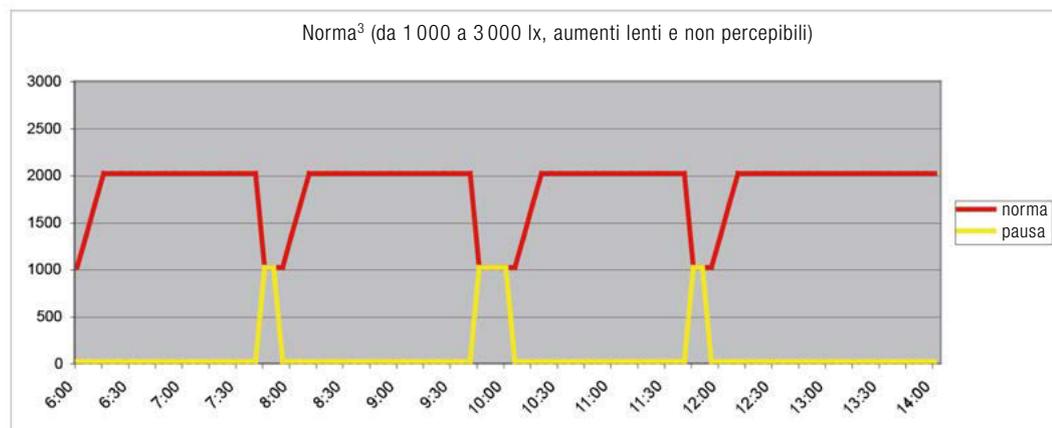


Fig. 05: condizioni di luce tipo «norma³» nello studio pilota

Condizioni di luce nello studio principale

1. Una volta concluso lo studio pilota si sono valutati i questionari sulla qualità della luce. Tutte le condizioni di luce in cui prevalevano 3000 lx di illuminamento orizzontale sono state giudicate negative sotto il profilo della qualità. Di conseguenza si è deciso di fissare un illuminamento orizzontale massimo di 2000 lx.
2. Sono stati dati giudizi molto differenti sulla qualità di luce dei cambi non percepibili e di quelli percepibili. Pertanto si è deciso che anche nello studio principale bisognava considerare le due diverse dinamiche.
3. Si è decisa una condizione di luce di controllo («norma»): questo per poterne confrontare gli effetti psicofisici con quelli delle altre condizioni.

Nello studio principale sono state inserite pertanto tre condizioni di luce:

- cambi percepibili (vedi figg. 02 e 03)
- cambi non percepibili (vedi fig. 01)
- condizione di controllo («norma»): 1 000 lx, 4 000 K

Cambi di luminosità molteplici, non percepibili («tipo seghettato»)

Nel giro di 30 minuti la luminosità della zona di lavoro aumentava passando da 1 000 a 2 000 lx e poi calava ritornando a 1 000 lx. Questi cambiamenti non percepibili avvenivano di continuo, senza intervalli di tempo, per un totale di quindici volte nel corso del turno. Lo scopo di questo forte dinamismo era stimolare di continuo i centri corticali regolatori dell'arousal. Dal momento che lo stimolo avveniva in maniera subconscia, è stato possibile misurare il puro effetto biologico della luce senza il rischio che questo fosse contaminato da fattori di ordine psicologico.

Cambi di luminosità duplici, percepibili («veglia»)

All'inizio e verso la fine del turno la luminosità nella zona di lavoro aumentava nel giro di 3 minuti, in maniera percepibile, passando da 1 000 a 2 000 lx. Poi rimaneva a quel livello per 2 ore e infine ritornava a 1 000 lx nel giro di 30 minuti. Al pari delle condizioni «veglia» e «veglia²» nello studio pilota, anche in questo caso lo scopo era incrementare lo stato di veglia all'inizio e verso la fine del turno.

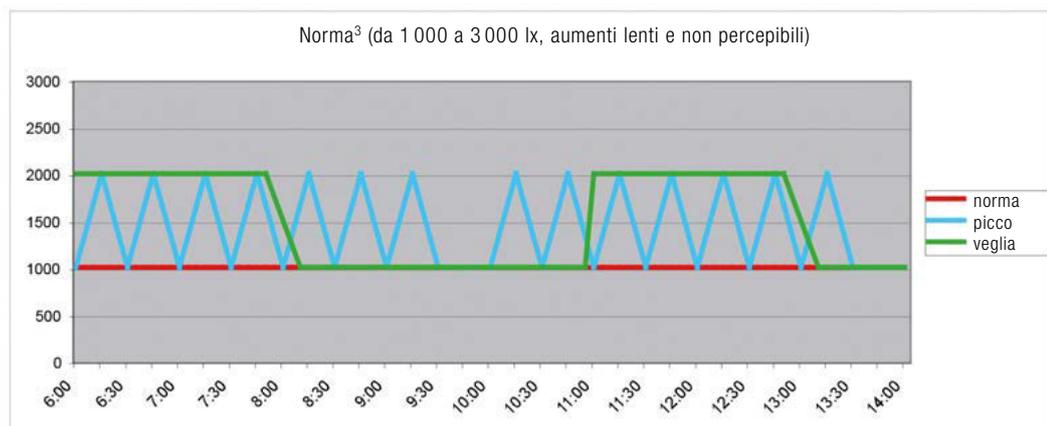


Fig. 06: condizioni di luce nello studio principale

Infine va ricordato che in entrambe le condizioni di luce dinamica il dosaggio quotidiano di luce era superiore del 50 % a quello dell'illuminazione normata.

5 Risultati

Dello studio principale si presentano qui i risultati dell'analisi dei dati actigrafici. Seguono le analisi dei dati di frequenza cardiaca, i questionari sullo stato di benessere, i questionari sulla qualità della luce e i dati di produttività.

Valutazione dei dati actigrafici

I dati actigrafici che riguardano il periodo di lavoro vanno dalle ore 7:00 alle 13:00.

I dati actigrafici relativi alla notte vanno dalle ore 23:00 alle 3:00. Questo è il lasso di tempo identificato in modo univoco come ore di sonno di tutte le persone testate (nota: d'abitudine si addormentavano alle ore 22:30 e si svegliavano alle 4:00).

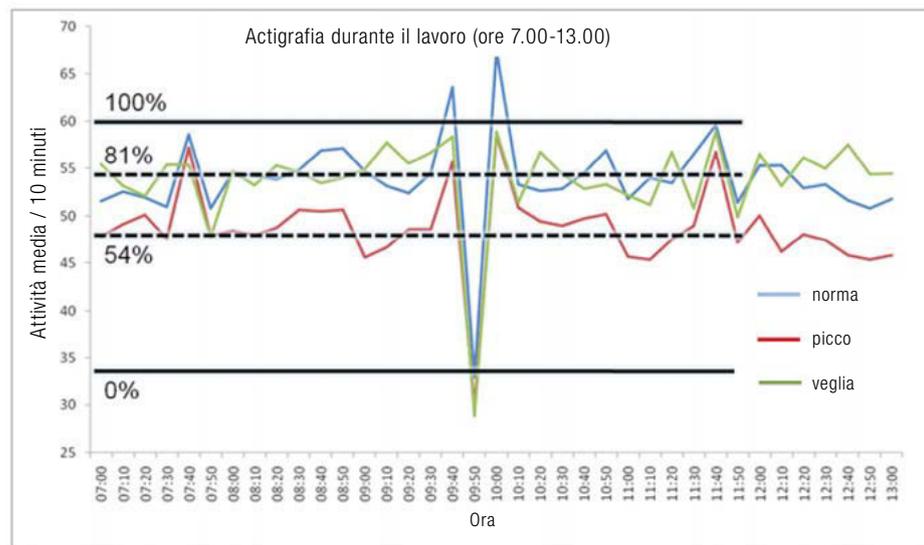


Fig. 07: attività corporea (actigrafia)

Riassumendo si può affermare che nelle condizioni di tipo «seghettato» si registra un'attività corporea chiaramente ridotta. Sorprendentemente questo fatto contraddice l'ipotesi originaria, e cioè quella secondo cui un dinamismo frequente («seghettato») avrebbe un effetto più stimolante sull'attività corporea che non un dinamismo rallentato («veglia»).

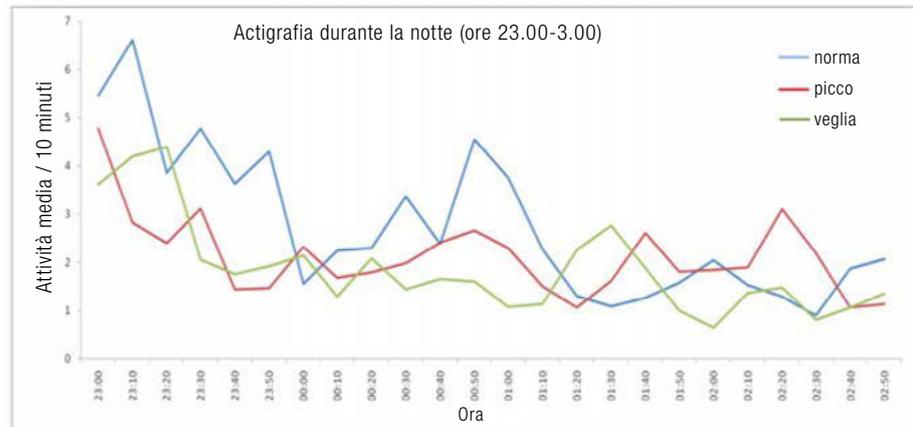


Fig. 08: actigrafia di notte

Per quanto riguarda il movimento notturno degli arti si osserva che una luce dinamica durante il giorno lavorativo, con un dosaggio aumentato del 50 % e a prescindere che i cambiamenti siano percepibili o meno, ha un effetto rilevante sul riposo fisico durante il sonno. Un risultato di questo tipo era già emerso dallo studio preliminare esaminando i dati fisiologici (analisi della variabilità della frequenza cardiaca). Il presente risultato non fa altro che confermare gli effetti di un maggior dosaggio di luce durante il lavoro sul successivo sonno notturno.

Valutazione dei dati di frequenza cardiaca

Nello studio principale i dati di frequenza cardiaca sono stati rilevati esclusivamente durante l'orario lavorativo. Ai pari dei dati actigrafici, anche quelli cardiaci confluiscono nelle analisi statistiche solo per il periodo dalle ore 7:00 alle 13:00.

Tutti i risultati in dettaglio dell'analisi di frequenza cardiaca durante il lavoro portano ad affermare che entrambe le condizioni di luce dinamica hanno il maggior effetto sul sistema nervoso autonomo all'inizio e alla fine del turno di lavoro. Nella fase intermedia, invece, non si rilevano differenze significative tra l'illuminazione normata e le due illuminazioni dinamiche.

Valutazione dei questionari sullo stato di benessere

Per registrare lo stato di benessere momentaneo sono stati sottoposti questionari ogni mercoledì (vale a dire a metà della settimana lavorativa), e cioè prima di iniziare il turno, durante la pausa di 15 minuti alle ore 9:50 e subito dopo la fine del turno. I questionari permettono di valutare le sensazioni momentanee positive (con punteggi allo stato di attività, equilibrio, estroversione, buonumore) e negative (con punteggi allo stato di paura, mancanza di energia, agitazione e irritabilità).

Riassumendo si può affermare che le condizioni di luce dinamica esaminate avevano un effetto lieve ma reale sullo stato di benessere delle persone. Per esempio, alla fine del turno si rileva che nella categoria dello stato di benessere positivo c'è un cambiamento al punto «veglia» (dinamica della luminosità percepibile).

Valutazione dei diari settimanali

Tutti i giorni le persone del test dovevano registrare in un diario il loro stato di rigenerazione dopo il sonno della notte precedente e il loro attuale stato di veglia. Questo avveniva subito prima di iniziare il lavoro, alle ore 5:45 circa.

Contro ogni aspettativa, non sono risultati effetti procurati dalla luce né sulla percezione soggettiva della qualità del sonno né sullo stato di veglia momentaneo all'inizio del lavoro. Tale risultato sorprende proprio perché i dati actigrafici segnalavano che dopo le due condizioni di luce dinamica le persone trascorrevano notti molto più tranquille e di media le ore di sonno erano poche. Questo mette chiaramente in dubbio la valutazione soggettiva di un ottimo sonno e dello stato di veglia all'inizio del turno. Si può allora presumere che l'autovalutazione delle persone sia stata imprecisa, oppure che le risposte nel diario siano semplicemente quelle auspiccate (reazione sociale).

Questionario sulla qualità della luce

Sia lo studio pilota che quello principale hanno formulato sei domande sulla qualità della luce:

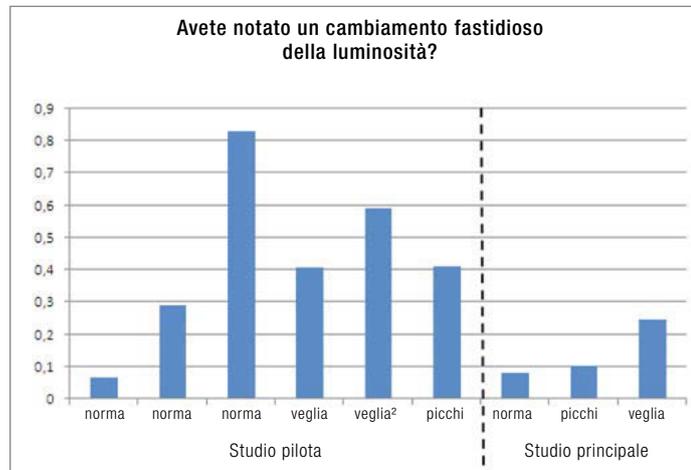


Fig. 09: domanda 1 (asse verticale: percentuale relativa di persone del test)

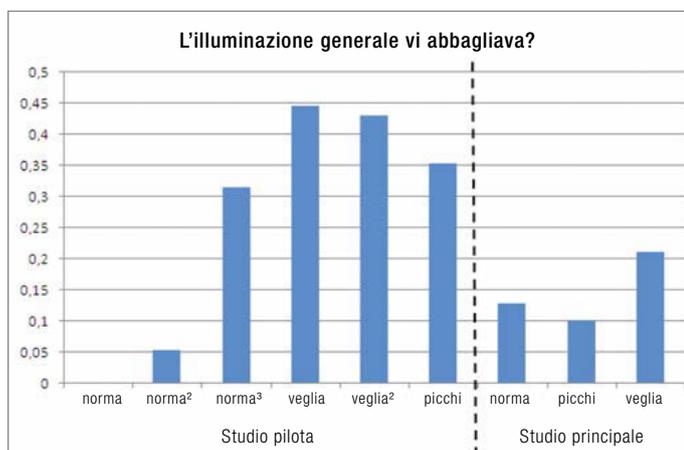


Fig. 10: domanda 2 (asse verticale: percentuale relativa di persone del test)

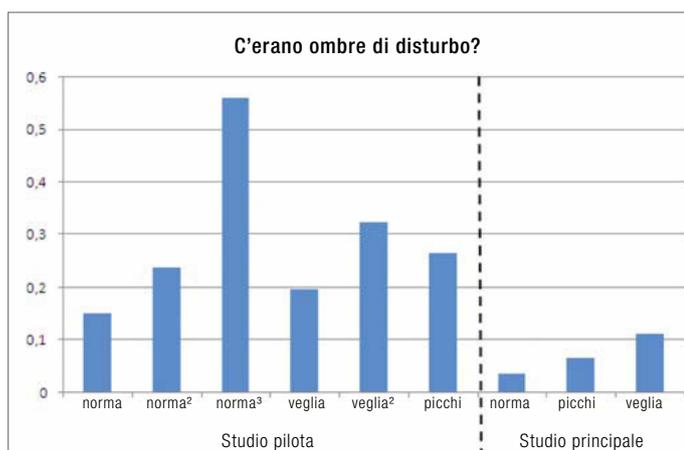
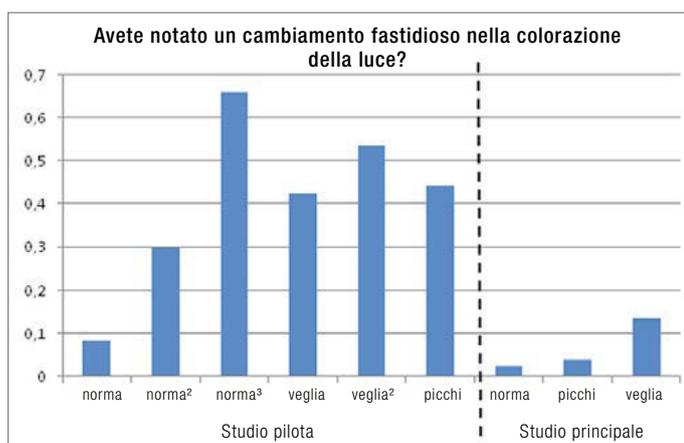


Fig. 11: domanda 3 (asse verticale: percentuale relativa di persone del test)

Fig. 12: domanda 4 (asse verticale: percentuale relativa di persone del test)
Nota: la colorazione non è stata cambiata mai, ragione per cui queste risposte sono indicative di quanto «si sia tirato a indovinare».

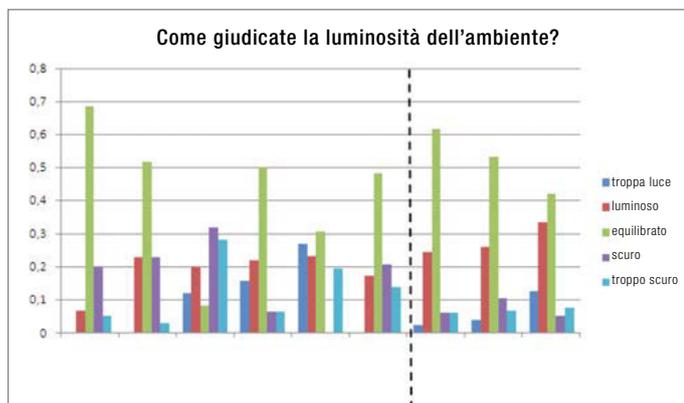


Fig. 13: domanda 5 (asse verticale: percentuale relativa di persone del test)

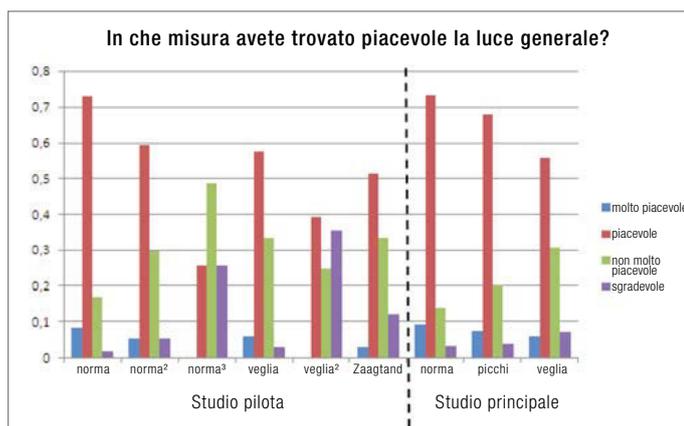


Fig. 14: domanda 6 (asse verticale: percentuale relativa di persone del test)

Nello studio pilota l'analisi dei dati dei questionari sulle condizioni di luce ha dimostrato con chiarezza che tutte le persone del test rifiutavano i cambiamenti di luminosità da 1000 a 3000 lx, a prescindere che fossero percepibili o meno, in quanto giudicati abbaglianti e fastidiosi.

Si rileva poi che le tre condizioni di luce nello studio principale si differenziano solo in merito alla valutazione di un effetto fastidioso dei cambi di luminosità. Per contro sono giudicate equivalenti in termini di ombra, abbagliamento, vivacità e piacevolezza.

La tabella che segue riporta schematicamente le percezioni soggettive della qualità di luce in quanto a «percezione dei dinamismi», «variazione di luminosità» e «frequenza delle variazioni». Da un lato si evince che l'illuminamento orizzontale nella zona di lavoro dovrebbe essere limitato a 2000 lx. Dall'altro si direbbe che i cambi di luminosità frequenti e percepibili, quelli frequenti ma impercettibili e quelli rari ma percepibili, sempre con una forte variazione di luminosità (da 1000 a 3000 lx), sembrano peggiorare la percezione soggettiva della qualità di luce.

Qui rimandiamo ai risultati dello studio 1.

Dinamica luminosità	Variazioni di luminosità		Qualità di luce percepita
	Frequenza delle variazioni		
percepibile	1 000 – 2 000 lx	rara	++
percepibile	1 000 – 2 000 lx	frequente	- (ipotetica)
non percepibile	1 000 – 2 000 lx	rara	++
non percepibile	1 000 – 2 000 lx	frequente	++
non percepibile	1 000 – 3 000 lx	rara	+ (ipotetica)
non percepibile	1 000 – 3 000 lx	frequente	--
percepibile	1 000 – 3 000 lx	rara	--
percepibile	1 000 – 3 000 lx	frequente	--

Fig. 15: sintesi della qualità di luce percepita soggettivamente.

Valutazione dei dati sulla produttività

Per valutare la produttività si è fatto ricorso al tempo di lavorazione di ogni pezzo in rapporto a un tempo nominale.

I risultati dello studio 1 dimostrano che di principio il tempo di lavorazione in estate è sempre più breve di quello in inverno. In estate pertanto non emergono differenze nei tempi di lavorazione.

In inverno i tempi di lavorazione sono di principio più lunghi. Cambiando l'illuminazione si riducono del 4 % circa.

	Valore medio	
Illuminazione di controllo statica (estate)	90,06 %	
Illuminazione dinamica (estate)	90,53 %	+ 9 %
Illuminazione di controllo statica (inverno)	99,08 %	+ 4 %
Illuminazione dinamica (inverno)	95,07 %	+ 4,5 %

100 % ... tempo di lavorazione nominale

Nello studio principale non è stato possibile quantificare altri dati tipici che identificano la produttività (ad es. margine di scarto, assenze per malattia): questo per via dell'organizzazione lavorativa molto specifica (vale a dire linea di produzione, organizzazione KAIZEN, programma 6 Sigma).

Un'analisi statistica dei tempi di lavorazione relativi ha potuto essere condotta su un totale di 14 persone per le quali, nel periodo osservato di 3 settimane, non c'è mai stato un cambio di posto di lavoro, di contenuto lavorativo, di numero di pezzi da produrre giornalmente, di interventi di aiuto da parte di altri, né di magagne tecniche.

Dall'analisi statistica non è emersa un'influenza sui numeri della produttività.

Il tempo di lavoro a disposizione viene sfruttato intuitivamente in modo uniforme. Lo studio 1 rivela che un'illuminazione variabile permette di ridurre individualmente i tempi di lavorazione ricavando così più «momenti liberi» nell'arco della giornata lavorativa. Questo spiega gli effetti positivi sullo stato di benessere alla fine del turno di lavoro.

Infine l'effetto positivo si dimostra anche fuori dall'orario di lavoro, visto che le condizioni di luce variabile migliorano la qualità del sonno rilevata.

In conclusione si può affermare che l'illuminazione ha un effetto tangibile sui lavoratori.

Tuttavia l'analisi completa e interdisciplinare dimostra anche che condurre misurazioni sulle persone risulta estremamente complicato e che oggi non esistono ancora metodi sistematici applicabili con facilità.

Una buona illuminazione a norma è già sufficiente per lavorare correttamente. La qualità di luce, percepita come positiva, indica che non ci sono da aspettarsi lamentele o carenze.

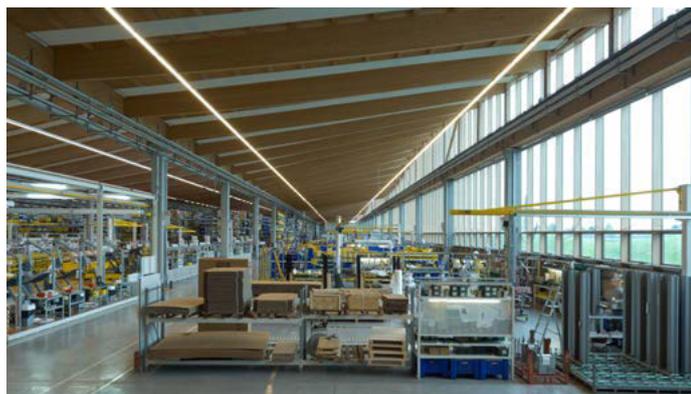
Zumtobel cura insieme ai suoi partner una buona progettazione e una buona esecuzione degli impianti illuminotecnici, basandosi sempre sul rispetto delle normative in vigore e in particolare delle EN 12464-1. Alle caratteristiche qualitative dell'illuminotecnica viene attribuita grande importanza: questo significa non solo mantenere un corretto livello di illuminamento ma anche fare attenzione ad aspetti come uniformità, abbagliamenti e riflessi, predisporre un valido illuminamento cilindrico e componenti di luce verticale che garantiscano la capacità di vedere e distinguere agevolmente.



Pasticceria La Baita srl, Caselle Torinese | IT



RSD Electronic, Naturno | IT



Technogym, Cesena | IT

7 Discussione e prospettive

Nel complesso lo studio ha dato tre risultati essenziali:

1. La luce agisce sulle persone che lavorano.

I metodi applicati in modo interdisciplinare rivelano che misurare gli effetti della luce sull'uomo è molto complesso. Ma un'assenza di risultati non significa per nulla che non ci siano effetti, bensì soltanto che gli strumenti a disposizione non sono ancora quelli ottimali. Ci vorranno altri sforzi per perfezionare il sistema.

2. La luce variabile, confrontata ad una luce statica, **ha effetto soprattutto in inverno**. Si è dimostrato che i tempi di lavorazione individuali si abbreviano, dando come risultato un incremento della produttività pari al 4 % (vedi fig. 16); questo dato tuttavia non indica un incremento assoluto dei numeri prodotti bensì un ritmo lavorativo meno oneroso. Lo confermano anche i dati che rilevano uno **stato di benessere migliore** alla fine del turno e un **sonno migliore** dopo il lavoro. Di questo beneficiano in egual misura sia i dipendenti che l'azienda stessa. Il concetto di «produttività» va pertanto considerato nel suo senso più ampio.

3. L'effetto positivo sulle persone può essere dato da un aumento di luminosità (statica) oppure da una luminosità che varia. Le sequenze di luce variabile vantano il pregio di consumare molto **meno energia**, quindi risultano vantaggiose anche solo per ragioni economiche. Rimane ancora molto da indagare sui tipi di cambiamento di luce. Nel presente studio sono stati esaminati alcuni dinamismi esemplificativi. Tuttavia non si è ancora arrivati a definire un andamento «ideale».

Merita citare anche un altro risvolto positivo dello studio Flextronics: quest'azienda promuove le sue vendite ricevendo molta clientela internazionale. L'opzione della luce di tonalità diurna (6500 K) con illuminamenti di 2000 lx è già stata sfruttata spesso, con successo, per presentare i reparti con un'immagine di pulizia ed efficienza.

Da questo studio difficile e lungo, dettagliato ed interdisciplinare, sono nati moltissimi spunti per migliorare l'efficienza di un'industria e il benessere dei suoi dipendenti.

Ricollegandosi a molte analisi condotte da Juslén (vedi fig. 16), lo studio dimostra che basta già un livello alto di illuminamento per ottenere effetti sulla produttività.

8 Bibliografia

1. Relazione interna di k-Licht: Illuminazione e produttività P232
2. M. Canazei, P. Dehoff, S. Staggl e W. Pohl:
Effects of dynamic ambient lighting on female permanent morning shift workers, *Lighting research and technology*, published online 20. February 2013
3. Boyce, P.: Incremento della produttività con un'illuminazione ottimizzata. *Lighting research center*, Troy, New York 2003
4. Völker, S.: Idoneità di metodi per stabilire un livello d'illuminazione necessario. (Tesi di laurea) Ilmenau 1999
5. Völker, S.: Definizione del livello d'illuminazione in posti di lavoro industriali.

Serie di pubblicazioni a cura del ministero tedesco per la tutela e medicina del lavoro, FB 881, Bremerhaven: NW Verlag, 2000
6. Juslén H. *Lighting, productivity and preferred illuminances – field studies in the industrial environment*. PhD thesis. Helsinki University of Technology, 2007.
EN 12464-1, Illuminazione di luoghi di lavoro in interni, giugno 2011

Zumtobel Lighting, Dornbirn: Peter Dehoff, Alexander Berger
Settore lavorativo: illuminotecnica, committente del progetto
Produttore di soluzioni illuminotecniche d'alto livello

BLL: Bartenbach GmbH, Aldrans: Markus Canazei, Siegfried Mayr, Siegmund, Staggl, Julia Wörgötter
Settore lavorativo: analisi psicofisiche, illuminotecnica, valutazioni
Le attività di Bartenbach GmbH riguardano il progetto di luce artificiale e diurna, dalla concezione al monitoraggio. Inoltre sviluppi di prodotti, consulenze, workshop e perizie. I nostri specialisti elaborano soluzioni ottimizzate per ricerca e sviluppo, progettazioni, psicologia della percezione e costruzione di modelli.

Flextronics, stabilimento Althofen, Carinzia: direttore produzione Bergner
Settore lavorativo: luogo dell'analisi
Flextronics International Ltd. è una delle industrie leader mondiali di EMS (Electronic Manufacturing Services), con filiali in 30 paesi.

Centro ergonomia Tirolo, Innsbruck: Ing. Walter Ambros, Partner: Dr. Kurt Seipel
Settore lavorativo: valutazioni ergonomiche

Consulting di management e organizzazione, sviluppo della personalità, gestione ergo-economica, promozione della salute.

Team Prevent, centro Klagenfurt, Dr. Juvan
Settore lavorativo: analisi di medicina del lavoro
Con le nostre soluzioni a tutela della salute e del lavoro siamo i primi a proporre una consulenza in grado di uscire dai confini nazionali offrendo ai clienti pacchetti completi e mirati

ABoVe, Gießen: Charlotte Sust, Prof. Dieter Lorenz
Settore lavorativo: psicologia, sondaggi
Ci occupiamo di persone nei moderni sistemi lavorativi cercando da un lato la produttività e l'efficienza, dall'altro l'impegno, la salute e il benessere.

AUVA, società di assicurazione infortuni, Vienna: Michael Wichtl
Settore lavorativo: ergonomia, partner sostenitore
La AUVA è la compagnia di assicurazione sociale per 3,2 milioni di lavoratori, 1,3 milioni di studenti e numerose organizzazioni umanitarie.

k-Licht, Aldrans/Dornbirn: Peter Hein
Coordinamento del progetto e dei sostenitori

FLEXTRONICS 

Bartenbach 

KOMPETENZZENTRUM



ABoVe
Arbeitswissenschaft, Büroorganisation
Veränderungsmanagement GmbH

 **THM**
TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

 **Team**
prevent

 *ergonomie
zentrum
tirol*®


AUVA



Industrielle
Kompetenzzentren und Netzwerke



EIN PROGRAMM DES BMWA





ZUMTOBEL

Italia

ZG Lighting s.r.l. socio unico

Sede legale e amministrativa
Via Isarco, 1/B
39040 Varna (BZ)
T +39/0472/27 33 00
F +39/0472/83 75 51
infovarna@zumtobelgroup.com
zumtobel.it

Light Centre Milano
Via G.B. Pirelli, 26
20124 Milano
T +39/02/66 74 5-1
F +39/02/66 74 5-310
infomilano@zumtobelgroup.com
zumtobel.it

Light Centre Roma
Viale Somalia, 33
00199 Roma
T +39/06/86 58 03 61
F +39/06/86 39 19 46
inforoma@zumtobelgroup.com
zumtobel.it

Svizzera

Zumtobel Licht AG
Thurgauerstrasse 39
8050 Zurigo
T +41/(0)44/305 35 35
F +41/(0)44/305 35 36
info@zumtobel.ch
zumtobel.ch

Zumtobel Lumière SA
Ch. des Fayards 2
Z.I. Ouest B
1032 Romanel-sur-Lausanne
T +41/(0)21/648 13 31
F +41/(0)21/647 90 05
info@zumtobel.ch
zumtobel.ch

Zumtobel Illuminazione SA
Via Besso 11, C.P. 745
6903 Lugano
T +41/(0)91/942 61 51
F +41/(0)91/942 25 41
info@zumtobel.ch
zumtobel.ch

Headquarters

Zumtobel Lighting GmbH
Schweizer Strasse 30
Postfach 72
6851 Dornbirn, AUSTRIA
T +43/(0)5572/390-0
info@zumtobel.info

zumtobel.com