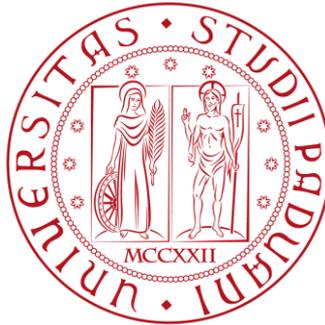


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Corso di Laurea in Ottica e Optometria



Tesi di Laurea

“STRESS VISIVO: CONFRONTO TRA LAMPADE
FLUORESCENTI A SPETTRO CONTINUO E LAMPADE
FLUORESCENTI TRADIZIONALI”

Relatore: Ortolan Dominga

Correlatore: Romani Barbara

Laureanda: Aldegheri Martina

Anno Accademico 2014/2015

INDICE

PREMESSA	pag. 5
ABSTRACT	pag. 7
Capitolo 1: VISIONE E STRESS	pag. 9
Capitolo 2: VISIONE E LUCE	pag. 19
2.1 LA LUCE	pag. 19
2.2 LA LUCE NATURALE	pag. 20
2.3 LA LUCE ARTIFICIALE	pag. 24
2.4 CONFRONTO TRA LAMPADE FLUORESCENTI TRADIZIONALI E A SPETTRO CONTINUO	pag. 28
Capitolo 3: LA RICERCA	pag. 33
3.1 OBIETTIVO DELLO STUDIO	pag. 33
3.2 SELEZIONE DEI SOGGETTI	pag. 33
3.3 PROCEDURA E PROTOCOLLO	pag. 33
3.4 STRUMENTI	pag. 37
3.5 ANALISI STATISTICA	pag. 38
Capitolo 4: RISULTATI	pag. 41
4.1 DESCRIZIONE DEL CAMPIONE	pag. 38
4.2 IL QUESTIONARIO	pag. 38
4.2.1 ANALISI DI COERENZA INTERNA	pag. 39
4.2.2 ANALISI DESCRITTIVE	pag. 39
4.3 ANALISI DESCRITTIVE DELLE LAMPADE	pag. 47
4.4 ANALISI DI TIPO INFERENZIALE	pag. 49

Capitolo 5: DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	pag. 54
APPENDICE 1	pag. 62
APPENDICE 2	pag. 63
BIBLIOGRAFIA	pag. 64
RINGRAZIAMENTI	pag. 71

PREMESSA

L'idea di questa tesi è nata dall'incontro con Luigi Perboni, Optometrista di Verona, cui era stato affidato il compito di svolgere una ricerca su delle lampade fluorescenti a spettro continuo, da presentare ad un Congresso di Medici Oculisti a Roma, nella quale veniva trattata l'illuminazione e la sua influenza sul sistema visivo.

Questa ricerca, cui ho poi preso parte, con protocollo e selezione soggetti indipendente, si è svolta nella sezione moderna della biblioteca Civica di Verona, dove sono state installate delle nuove lampade fluorescenti a spettro continuo che, a detta della ditta fornitrice, rappresentano “ una fonte di luce del tutto unica che aiuta a prevenire i malesseri visivi spesso causati dalla luce artificiale, come cefalee, affaticamento oculare, stanchezza” – e, a detta di diversi studi, svolgerebbero un'attività benefica e di rilassamento dell'intero sistema. Nella sezione antica della Biblioteca sono presenti, invece, delle tradizionali lampade fluorescenti.

Ricercando articoli e materiali, mi sono resa conto che i pareri sull'efficienza delle lampade fluorescenti a spettro continuo sono davvero molteplici e molto discordanti tra loro, e, oltretutto, non sono stata in grado di trovare, in letteratura, articoli o studi che andassero a valutare e quantificare i livelli di stress visivo sotto questa tipologia di illuminazione. È nato l'interesse, allora, di confrontare i due diversi tipi di lampade presenti all'interno della biblioteca, e quantificare gli effetti di queste sul sistema visivo, affaticato dal lavoro prossimale.

È risaputo, e intuibile, che buoni livelli di intensità luminosa favoriscono le performance, sia a livello generale, che al punto prossimo, ma non è chiaro se, e come, si riesca a farlo anche controllando la tipologia e le caratteristiche delle lampade utilizzate.

Rispetto a quanto succedeva in passato, dove l'uomo viveva in spazi aperti e lavorava utilizzando prevalentemente la luce naturale e la visione per lontano, ora, la società moderna impone all'uomo delle distanze di lavoro sempre più ridotte, che lo obbligano a mantenere una fissità posturale e di focalizzazione, spesso

sfruttando anche la notte, grazie alla luce artificiale. Si utilizza il sistema visivo prevalentemente sul vicino, concentrandosi su un'area ristretta e bidimensionale, a distanze ravvicinate e per lunghi periodi di tempo, con una specializzazione centrale e una inibizione a livello periferico e della percezione stereoscopica. Questo può portare a delle modificazioni e adattamenti sia visivi che posturali, che, come si riscontra in letteratura, possono generare discomfort, deficit a livello visivo, posturale e muscolare, astenopia, tensione generale, ansia, problemi circolatori e digestivi e malessere generale. Le problematiche relative allo stress visivo sono molto diffuse, e vi sono diverse strategie di modifica ambientale per cercare di prevenirlo, come il controllo dell'illuminazione, della dinamica dei colori, della postura, delle distanze di lavoro. Molto spesso, gli ambienti lavorativi, scolastici o di studio, non favoriscono un benessere globale e visivo, perché non si controllano sufficientemente quelle caratteristiche, precedentemente elencate, necessarie allo svolgimento dei compiti; se il soggetto si trova in un ambiente sfavorevole, molto probabilmente metterà in atto delle strategie per far fronte allo stress, modificando la sua performance e alterando la sua struttura corporea.

Per consentire, in modo agevole, lo svolgimento delle mansioni in tutte le stagioni e in tutte le ore del giorno, è necessaria una corretta illuminazione di ogni ambiente, che deve essere sempre adeguata, anche qualitativamente, al tipo di operazione eseguita. Se le caratteristiche delle lampade utilizzate non vengono controllate, chi svolge attività a distanze ravvicinate, come la lettura o lo studio, può lamentare disagi o disturbi - come mal di testa, bruciore agli occhi, lacrimazione - e tenderà ad avvicinarsi all'oggetto dell'impegno visivo, assumendo posture scorrette che potrebbero portare a disturbi a carico sia del sistema visivo che dell'apparato osseo muscolare. Ecco allora come l'illuminazione gioca un ruolo fondamentale nel benessere visivo e nella prevenzione allo stress al punto prossimo.

ABSTRACT

OBIETTIVI: Lo scopo dello studio è confrontare le variazioni indotte dallo stress prossimale nel sistema visivo, utilizzando due diverse tipologie di illuminazione, ovvero lampade fluorescenti standard e lampade fluorescenti a spettro continuo.

METODI: Lo studio si è svolto in due diversi momenti: prima e dopo l'attività visiva a distanza prossimale. Un totale di 112 soggetti, di età compresa tra i 14 e i 26 anni, è stato inizialmente sottoposto alla prima e seconda parte di un questionario e, successivamente, indossando la correzione per il vicino – ove presente – è stato sottoposto a PPC, PPN, flessibilità accomodativa, test per la valutazione delle forie e per la stereopsi. Questi test, assieme alla terza parte del questionario, sono stati ri-eseguiti sui medesimi soggetti dopo almeno due ore di attività visiva a distanza prossimale.

RISULTATI: Nel sottocampione che ha utilizzato lampade fluorescenti a spettro continuo si riscontra un aumento statisticamente significativo del numero di cicli al minuto nel test della flessibilità accomodativa ($p < 0.001$), un avvicinamento significativo del punto di recupero nel test del PPC ($p < 0.05$) e un avvicinamento del PPN ($p < 0.05$). Nel test del PPC effettuato sul sottocampione che ha utilizzato lampade fluorescenti tradizionali, troviamo un allontanamento statisticamente significativo sia del punto di rottura, che di quello di recupero ($p < 0.001$). E' presente significatività nei risultati anche per il test del PPN, che si assume un valore più remoto dopo l'attività prossimale ($p < 0.01$). Per quanto riguarda il questionario, i soggetti esposti alle lampade fluorescenti a spettro continuo non mostrano variazioni soggettive significative della percezione dello stress visivo ($p = 0.419$). Il gruppo esposto alle lampade tradizionali, invece, riporta una sensazione di stress visivo significativamente maggiore ($p < 0.001$).

CONCLUSIONI: La significatività statistica dei risultati ottenuti indica che le lampade fluorescenti a spettro continuo producono minori livelli di stress nel sistema visivo, rispetto alle tradizionali lampade fluorescenti.

VISIONE E STRESS

Il moderno concetto di «stress» si deve ai lavori effettuati da Seyle dagli anni '30 e rimasti storici per la loro innovatività. Biologicamente, questo termine è utilizzato per definire tutte quelle situazioni che tendono a modificare lo stato di equilibrio dell'organismo; perciò esso viene considerato come un elemento essenziale della vita di ogni essere vivente fin dalla nascita, tanto che alcuni ricercatori lo considerano come parte di un processo innato: lo stress è la risposta individuale dell'organismo rispetto allo stimolo, e può essere positivo, quindi vissuto attivamente (Eustress), oppure può essere negativo e vissuto passivamente (Distress). Le risposte a livello metabolico sono molto simili nelle due tipologie di stress, ma nel primo caso si verifica un apprendimento che invece nel secondo non avviene. È accertato, comunque, che elevati livelli di stress negativo provocano generalmente una riduzione del rendimento della persona, che tende a scendere ad un livello di performance più scadente (Seyle, 1956).

Il medico Viennese Hans Seyle è l'autore della prima serie di esperimenti che hanno portato alla formulazione del concetto di “sindrome generale di adattamento”, in altre parole, quella risposta che l'organismo mette in atto quando è soggetto agli effetti prolungati di svariati tipi di stressori, quali stimoli fisici, mentali, sociali o ambientali. È chiamata *generale* perché è prodotta da agenti che hanno un effetto generale su parti estese del corpo; è chiamata *adattativa* perché stimola la difesa; è una *sindrome* perché le sue manifestazioni individuali sono coordinate e anche parzialmente dipendenti l'una dall'altra. Seyle descrisse una triade di risposte che implica (1) il coinvolgimento del sistema endocrino, con un aumento nella secrezione di adrenocorticotropina (ACTH) dall'ipofisi e di corticosterone dalle ghiandole surrenali, (2) un aumento nell'attività del sistema nervoso autonomo (SNA), che si manifesta nelle ulcerazioni dello stomaco e (3) l'attivazione del sistema immunitario (Seyle, 1974). Secondo gli studi di Seyle, queste risposte si manifestano in maniera aspecifica in seguito a qualsiasi tipo di stimolazione, indipendentemente dalla natura dello stimolo stesso. Tale approccio umorale è comunemente indicato come “scarica di adrenalina”; i muscoli si

tendono, il respiro accelera, il cuore batte più forte, i vasi si restringono aumentando la pressione arteriosa, le pupille si dilatano e i sensi si acuiscono. In sostanza, l'organismo si prepara a rapide decisioni e ad azioni di difesa contro le possibili aggressioni (Seyle, 1956).

I concetti espressi da Seyle interessarono molto Skeffington (1928-74), che per primo introdusse il concetto di stress visivo, definendolo già negli anni '50 come "near-point visual stress" (stress visivo prossimale) perché attribuito alla prolungata attenzione visiva svolta a distanza prossimale durante attività cognitivamente e visivamente impegnative. L'impiego di pattern al punto prossimo, porta, nel tempo, a una specializzazione centrale e a una riduzione del campo visivo periferico, con conseguente inibizione della visione stereoscopica, riduzione di motricità generale ed oculare, fissità di accomodazione e di convergenza e postura inadeguata. Non è la distanza di lavoro in sé la causa del problema, ma è la continua concentrazione in un campo ristretto e su di un piano bidimensionale (Skeffington, 1947). La tensione che si verifica a livello visivo è generata dalla differenza tra la localizzazione e l'identificazione; più divario esiste, più stress è verificabile. Quando interviene uno stimolo, infatti, l'organismo "restringe il proprio ambiente", e deve possedere delle riserve di libertà di movimento per poter continuare ad operare con efficacia. Stando al modello funzionale proposto da Skeffington, la prima manifestazione di stress visivo sarebbe prettamente «percettiva» e non sarebbero misurabili deterioramenti delle funzioni, né effetti su organi e tessuti, ma esisterebbe una variazione nella performance visiva a livello qualitativo come, per esempio, la riduzione di velocità e di comprensione durante la lettura. Durante il secondo stadio, quello «neuromuscolare», sarebbero invece osservabili deterioramenti, in diversi aspetti della performance visiva, associati ad un quadro sintomatologico che diventerebbe progressivamente più specifico e caratterizzato da annebbiamenti, cefalee, astenopie, ecc. In questo stadio, attraverso l'Analisi Visiva, sarebbero già misurabili deterioramenti funzionali che evidenzierebbero l'origine e la direzione del processo di adattamento allo stress. Durante il terzo stadio, quello «somatico», sarebbero, infine, registrabili fenomeni di adattamento che produrrebbero

variazioni in larga misura irreversibili nelle strutture che compongono il sistema visivo (Skeffington, 1950). Quest'adattamento, in generale, può essere spiegato come il risultato della risposta dell'organismo nei confronti dello stress. Quando un individuo è sottoposto ad una condizione potenzialmente stressante può reagire in tre modi: evitando la condizione che genera stress (flight response), attuando delle strategie adattive che gli permettano di continuare lo svolgimento dell'attività (fight response) o alternando le due condizioni. Fino a quando il livello di adattamento sarà inadeguato per affrontare le necessità imposte dalla situazione, il sistema cercherà di alterare l'equilibrio e comportamento abituali nel tentativo di raggiungere un equilibrio dinamico e funzionale con lo stress. Il sistema tenderà ad aumentare le proprie riserve a scapito dell'organizzazione e dell'equilibrio: maggiore è la differenza fra la necessità e la funzione abitualmente espressa, e maggiore sarà il livello stressante che il sistema deve affrontare, e più velocemente gli schemi comportamentali abitualmente usati saranno alterati. L'adattamento inizia con una prima fase (fase neurale) scarsamente quantificabile analiticamente, totalmente reversibile e puramente operativa. Procede poi con una seconda fase (fase neuromuscolare) molto più testabile analiticamente, meno reversibile e caratterizzata da un crescente coinvolgimento funzionale. Infine, la terza fase (fase strutturale) è caratterizzata da una completa testabilità e da una modificazione strutturale che rende esigua la reversibilità. In questo modo, il sistema ha percorso tre diversi stadi per cercare di arrivare ad un equilibrio, giungendo ad uno stato di maggiore stabilità e funzionalità e rendendo la funzione stessa più efficiente, sacrificando però alcune funzioni, o la struttura del sistema, rendendolo meno flessibile (Skeffington, 1950). In poche parole, ogni adattamento strutturale impone alcune limitazioni al sistema. Skeffington analizzò, inoltre, tutta una serie di condizioni tra cui astenopia, disordini refrattivi, di vergenza e accomodativi; secondo le sue teorie, buona parte di queste insorgono perché le domande al punto prossimo, imposte dalla società moderna, sono incompatibili con la fisiologia umana. Come rilevò, infatti, "l'organismo umano costruisce gradi significativi di latitudine in ogni cosa che fa. Questi gradi di libertà si contraggono e si restringono quando l'individuo è sotto stress... Il compito visivo centrato al punto prossimo socialmente compulsivo... è

certamente il compito più stressante che conosciamo, poiché provoca il suo impatto sulla più elaborata organizzazione richiesta dall'essere umano, la sua ricerca di significato". Oltre alle condizioni precedentemente descritte, queste eccessive domande al punto prossimo provocano una risposta allo stress caratterizzata da una tendenza, da parte della convergenza, a localizzare più vicino rispetto all'accomodazione. Questa spinta a centrare o localizzare più vicino nello spazio interferisce con l'efficienza del sistema e si manifesta visivamente come una tendenza all'iper-convergenza, e deve assolutamente essere risolta per sostenere confortevolmente il lavoro da vicino. A questo punto, però, il soggetto si trova di fronte ad un bivio, perché se accomoda per il piano di sguardo, la convergenza localizzerà più vicino, portando a diplopia; se invece converge per il piano di sguardo, l'accomodazione localizzerà al di là di esso, portando ad una visione sfuocata. Il soggetto vedrà, quindi, nitido o singolo, ma mai entrambi, ed ecco qui che subentra lo stress visivo (Skeffington, 1947).

L'approccio psicocomportamentale di Elliott B. Forrest va oltre la visione di Skeffington per cui lo stress al punto prossimo è principalmente legato al compito da svolgere; egli suggerisce che gli stati mentali sono i fattori primari che sottostanno al disordine visivo funzionale (Forrest, 1980). Sebbene i problemi della visione possano essere causati dalle interazioni ambientali, egli conclude che le cause principali risiedono nei nostri atteggiamenti e nel sistema comportamentale. Forrest collega il concetto di stress al punto prossimo all'affaticamento generale ed ai comportamenti che sottostanno ad esso; dopo diversi studi, nota, ad esempio, che gli individui che sono intensi ed analitici, che sono impegnati in un compito con la massima concentrazione visiva, che cercano di raggiungere dei risultati nel più breve tempo possibile e che si focalizzano molto centralmente inibendo, quasi totalmente, la visione periferica, mostrano una più elevata risposta-stress. Questi individui sono, perciò, molto più soggetti ai disordini visivi e sistemici indotti dallo stress. Forrest suggerisce non solo che i fattori psicologici predominano nel determinare chi sviluppa problemi visivi indotti dall'attività prossimale, ma che addirittura, le conseguenze adattive specifiche, che si manifestano in un individuo particolare, riflettono il suo stato

mentale, i suoi atteggiamenti, le sue convinzioni e lo stile di elaborazione dell'informazione (Forrest, 1980).

Harmon (1958) enfatizza la relazione tra la visione, la postura e le relazioni spaziali, sostenendo che numerosi disordini, in particolare miopia, anisometropia, astigmatismo e iperforia sono il risultato di una performance al punto prossimo sotto condizioni di lavoro statiche e non ottimali che creano distorsioni a livello posturale e, di conseguenza, modifiche nel sistema visivo. Harmon ritiene che il lavoro e i moderni sistemi d'illuminazione costringano le persone ad una postura obliqua persistente e prolungata che provoca tensioni muscolari e che porta a una deformazione dell'asse corporeo; ciò determina deformazioni spaziali e cambiamenti nell'effettiva capacità spaziale di operazione. Per Harmon, quindi, il modo in cui noi organizziamo, interpretiamo ed agiamo nello spazio deriva dal modo in cui noi stessi siamo organizzati in termini del nostro sistema di coordinate interno. A causa delle estese domande posturali del mondo di oggi, quindi, è la postura distorta che provoca la maggior parte dei problemi visivi che s'incontrano (Harmon, 1959). La postura fisiologicamente ottimale per il lavoro da vicino sarebbe quella in cui le linee che connettono il punto intermedio tra i due occhi, il punto intermedio tra la seconda nocca del dito medio delle due mani e il punto intermedio tra le punte dei due gomiti formano approssimativamente un triangolo equilatero con la base inclinata di circa venti gradi rispetto al piano orizzontale. In questa postura ideale, la distanza dell'occhio dal compito da svolgere equivale alla distanza che c'è tra la punta del gomito e la seconda nocca del dito medio della stessa mano, che prende appunto il nome di Distanza di Harmon. Se questa posizione è raggiunta e mantenuta, il corpo è nel migliore equilibrio con la gravità, con un minimo di distorsione o pressione sul collo e i muscoli della schiena (Harmon, 1958). La postura ideale, è, quindi, quella che minimizza qualsiasi tipo di tensione e che permette un'efficace localizzazione spaziale.

Il sistema nervoso autonomo ha due rami complementari, quello simpatico e quello parasimpatico. Il primo protegge l'organismo in pericolo attraverso

reazioni di allarme e di difesa, il secondo mantiene l'organismo in vita, fornendo la forza vitale, e neutralizza gli effetti dell'attivazione simpatica. L'attivazione del SNA parasimpatico porta a: (1) rallentamento del metabolismo basale, (2) diminuzione della frequenza cardiaca e della pressione sanguigna, (3) aumento della motilità e dell'afflusso sanguigno del tratto digerente, (4) aumento della secrezione da parte delle ghiandole salivari e di quelle annesse all'apparato digerente (5) stimolazione della defecazione e della minzione. A livello oculare provoca: (1) attivazione dell'accomodazione (aumento del potere focale del cristallino) mediante la contrazione delle fibre circolari del corpo ciliare, (2) costrizione pupillare, (3) un restringimento dell'apertura palpebrale dovuta a un abbassamento combinato della palpebra superiore ed elevazione della palpebra inferiore, (4) una retrazione del bulbo oculare.

L'attivazione del SNA simpatico, invece, porta a: (1) stato di allerta a livello mentale, (2) aumento del metabolismo basale, (3) riduzione delle funzioni degli apparati digerente e urinario, (4) mobilitazione delle riserve energetiche, (5) aumento del ritmo respiratorio e dilatazione delle vie aeree, (6) aumento della frequenza cardiaca e della pressione sanguigna e (7) attivazione delle ghiandole sudoripare. A livello oculare provoca: (1) rilassamento dell'accomodazione (diminuzione del potere focale del cristallino) mediante una contrazione delle fibre radiali del corpo ciliare, (2) dilatazione pupillare, (3) un allargamento dell'apertura palpebrale, (4) una lieve sporgenza dell'occhio.

L'accomodazione è principalmente una funzione del sistema nervoso autonomo e dipende dall'innervazione al muscolo ciliare che controlla il cristallino dell'occhio. C'è anche un legame definito fra l'azione dell'accomodazione e della convergenza, infatti, ciascuna influisce sull'altra. L'attivazione parasimpatica dell'accomodazione provoca una stimolazione del terzo nervo cranico (oculomotore) che induce gli occhi a convergere. La stimolazione a convergere dell'oculomotore dei muscoli retti mediali dell'occhio provoca un aumento nella stimolazione parasimpatica dell'accomodazione. Il grado di convergenza indotta dall'accomodazione è chiamato convergenza accomodativa. Il grado di accomodazione indotta dalla convergenza è conosciuto come accomodazione convergente. Secondo la teoria dinamica dello stress, la concentrazione prolungata

da vicino porta ad uno stato di eccitazione caratterizzato da una attivazione del Sistema Nervoso Autonomo Simpatico (Birnbaum, 1985). L'attivazione di tale sistema porta ad un rilascio di Adrenalina, che possiede un effetto cicloplegico e contribuisce al rilassamento dell'accomodazione, allontanandola dal piano osservato e rendendo la visione non più nitida. Per cercare di ripristinare le funzioni, l'organismo cerca di adattarsi attivando il sistema parasimpatico, richiamando, quindi, l'accomodazione al piano di sguardo. Quest'aumento di sforzo accomodativo genera un aumento di convergenza, che si localizza più vicina all'individuo rispetto all'accomodazione; questo fenomeno prende il nome di Eso-shift. Per compensare questa tendenza esoforica e questo squilibrio tra i sistemi di accomodazione e vergenza viene nuovamente attivato il sistema simpatico; gli occhi sono perciò portati a divergere, con conseguente rilassamento del sistema accomodativo. In questo modo l'organismo è incanalato in un circolo vizioso, che produce stress a livello visivo (Formenti, 2013).

È importante rilevare che non tutti gli individui sviluppano problemi funzionali indotti; molte persone, infatti, mantengono un'adeguata flessibilità fra accomodazione e vergenza, e riescono a conservare processi di omeostasi efficaci che permettono di evitare ogni evoluzione di adattamento. Altri soggetti tendono invece a perdere la capacità di ripristinare l'equilibrio; in questo caso, la perdita di flessibilità e la tendenza a sovra convergere generano un aumento dell'energia necessaria per svolgere il lavoro al punto prossimo, e portano ad astenopia, affaticamento e ad interferenze nella comprensione e nell'efficienza.

La teoria funzionale sullo stress visivo prossimale suggerisce che diversi problemi visivi funzionali emergono da una fonte comune, la sovra convergenza generata dallo stress; condizioni come la miopia, l'insufficienza accomodativa, l'insufficienza o eccesso di convergenza, l'anisometropia sono interpretate non come problemi primari, ma come variazioni adattive secondarie allo stress prossimale indotto dalla sovra convergenza (Skeffington, Lesser & Barstow, 1947; Birnbaum, 1985). Lo stress visivo può portare, nel tempo, a un aumento della progressione miopica e allo sviluppo di anisometropia, se durante il lavoro prossimale viene mantenuta una postura scorretta ed asimmetrica (Harmon, 1958); oppure a un'ipermetropia più alta e significativa dell'ipermetropia fisiologica,

come strategia di adattamento per ridurre l'iperconvergenza, strutturando l'inibizione dell'accomodazione (Birnbaum, 1984). Secondo questo modello, la risposta di sovra convergenza per vicino è il primo segno di un problema visivo indotto dallo stress a distanza prossimale. Un altro precoce segno è la presenza di un basso range di Accomodazione Relativa Positiva (ARP), infatti, quando la convergenza tende ad essere localizzata più vicino dell'accomodazione, il soggetto con inadeguata flessibilità tra i sistemi di accomodazione e vergenza avrà difficoltà a spostare l'accomodazione più vicino della convergenza, come richiesto dal test di ARP (Birnbaum, 1985). La tendenza a sovra convergere in seguito all'attivazione del SNS crea, inoltre, un lieve effetto cicloplegico che ci si aspetta generi un aumento nel rapporto AC/A (Birnbaum, 1984).

I test optometrici per valutare tali segni di stress visivo, che ho incluso nel mio lavoro di ricerca, sono i seguenti:

- Punto prossimo di visione nitida: Il punto prossimo di visione nitida (PPN) è il punto più vicino (misurato in cm) che gli occhi, sia in monoculare che in binoculare, riescono a vedere ancora nitido avvicinando verso la radice del naso una mira otto tipica da vicino. Mentre nel punto prossimo di accomodazione (PPA) il soggetto è emmetropizzato (si esegue antepoendo le lenti del #7B), il PPN valuta la minima distanza di messa a fuoco nella condizione abituale del soggetto, quindi con l'eventuale ausilio ottico che porta da vicino (Giannelli, Giannelli & Moro, 2012).

- Punto prossimo di convergenza: Questo test viene effettuato per ricercare il punto più vicino cui gli occhi riescono a convergere, mantenendo una visione singola, seppur a volte sfuocata. I valori del test sono quello di rottura, che avviene quando si ha uno sdoppiamento della mira oppure quando uno dei due occhi devia verso l'esterno, e il punto di recupero, ottenuto quando entrambi gli occhi riescono ad allinearsi nuovamente alla mira, che da doppia ritorna ad essere singola (A.Rossetti & P.Gheller, 2012).

- Flessibilità accomodativa: Questo test viene effettuato per determinare l'abilità soggettiva di mantenere una visione nitida durante la stimolazione e il rilassamento dell'accomodazione. Questa abilità è legata alla flessibilità e facilità

con cui il soggetto può variare la messa a fuoco a diverse distanze d'osservazione in modo rapido ed efficace. Per reagire alla richiesta del sistema visivo, il soggetto deve rilassare o stimolare l'accomodazione e questa variazione viene fatta più o meno rapidamente, tale che sia possibile compiere 8-9 cicli al minuto se la visione è binoculare, oppure 11-12 cicli se la visione è monoculare (Rossetti & Gheller, 2012).

-Forie: La foria è una descrizione dell'allineamento dell'organismo in relazione a ciò che è stata selezionata come figura (Kraskin, 1962). I test per valutare le forie servono a rilevare la naturale tendenza alla deviazione degli assi visivi in condizioni di dissociazione, quindi in assenza di fusione. Questa tendenza, quando i due occhi lavorano assieme durante la visione binoculare, viene annullata dalla fusione motoria, e il soggetto perviene ad un aspetto ed a una visione binoculare normale (Rossetti & Gheller, 2012).

- Stereopsi: Questo test valuta la capacità percettiva di unire e fondere le immagini provenienti dai due occhi, che presentano uno spostamento laterale a causa del loro differente posizionamento a livello anatomico. È possibile distinguere due tipi di stereopsi, locale e globale. La stereopsi locale viene indotta da una coppia di mire simili con margini definiti, che vengono proposti in visione separata per i due occhi, spostate in orizzontale l'una rispetto all'altra (Rossetti & Gheller, 2012). La stereopsi globale, invece, è indotta da stimoli privi di dettagli monoculari evidenti; si tratta di matrici di punti pseudo casuali costruiti con una certa disparità laterale, ovvero spostati l'uno rispetto all'altro, che stimolano coppie di punti corrispondenti (Manzola, Rota, Facchin & Maffioletti, 2011).

VISIONE E LUCE

2.1 LA LUCE

La luce è energia raggiante, la cui propagazione avviene sotto forma di onde e particelle corpuscolari dette fotoni; è definita come il campo delle onde elettromagnetiche che creano una percezione luminosa visibile dall'occhio umano, approssimativamente compresa tra 400 e 700 nanometri di lunghezza d'onda (λ). L'energia che eccede questi limiti non è più visibile. La luce del sole viene percepita come “bianca”, senza colore, poiché i nostri occhi la percepiscono come sintesi delle radiazioni di diversa lunghezza d'onda in essa presenti; in realtà la luce naturale ha spettro intero e continuo, comprendente tutta la gamma delle lunghezze d'onda visibili. A radiazioni visibili di diversa lunghezza corrispondono, infatti, tutti i diversi colori dell'arcobaleno. La radiazione che possiede una lunghezza d'onda inferiore a 400 nm viene chiamata luce ultravioletta, non più visibile, ma responsabile delle reazioni fotochimiche. Questa zona scende fino a una lunghezza d'onda di circa 10 nm. La prima parte dell'UV viene solitamente suddivisa in tre porzioni; UVA (λ 380-315 nm), UVB (λ 315-280 nm) e UVC (λ 280-100nm). Gli UVA e gli UVB raggiungono la superficie terrestre, mentre gli UVC vengono assorbiti dall'atmosfera. Al di sotto della radiazione ultravioletta si trova quella dei raggi X (λ 0.001 nm - 1 nm) e, successivamente, dei raggi gamma ($\lambda < 0,1$ nm). A destra dello spettro visibile, ovvero dove la luce ha lunghezza d'onda maggiore, cioè oltre il rosso, si trova la zona denominata infrarossa (λ 760 nm - 0,4 mm); si susseguono, poi, le microonde e, per ultime, le onde radio. Ogni sorgente luminosa, naturale o artificiale, è caratterizzata dal proprio spettro di emissione; la curva spettrale ne indica la composizione in funzione delle lunghezze d'onda presenti.

Le grandezze che descrivono il fenomeno luminoso sono definite “fotometriche”, e sono il flusso luminoso, l'intensità luminosa, l'illuminamento e la luminanza. Il *flusso luminoso* è la quantità di energia luminosa emessa da una sorgente nell'unità di tempo (secondo); si identifica con il simbolo ϕ e si misura in lumen

(lm). Generalmente, il flusso luminoso emesso da una sorgente non è omnidirezionale, ma varia di intensità a seconda delle diverse direzioni.

Per misurare il flusso in una specifica direzione si ricorre all'*intensità luminosa*, che si rappresenta come un vettore, relativo ad una direzione data; si identifica con il simbolo I e si misura in candele (cd).

L'*illuminamento* è la quantità di flusso luminoso (φ) che, emesso da una sorgente, investe una superficie; si identifica con il simbolo E e si misura in lux (lx).

La *luminanza* definisce l'intensità luminosa emessa o riemessa da una superficie in una data direzione; dipende dalla natura della superficie stessa (materiale e colore), dal suo modo di riflessione (diffuso, misto, speculare) e dalla posizione dell'osservatore, s'identifica con il simbolo L e si misura in candela/metro quadrato (Moncada Lo Giudice & De Lieto Vollaro, 2011).

L'efficienza visiva, in rapporto con un certo compito, subisce l'influsso di diversi parametri, quali il livello della densità luminosa della superficie di lavoro, il contrasto di luminanza tra l'oggetto osservato ed il suo sfondo, le dimensioni dell'oggetto in questione, l'età della persona che esegue il lavoro, l'acuità visiva di questa persona e il tempo a disposizione per eseguire il compito (Moncada Lo Giudice & De Lieto Vollaro, 2011).

2.2 LA LUCE NATURALE

La luce naturale costituisce la sorgente luminosa di riferimento all'origine di ogni forma di vita; è indispensabile sia alla crescita e sviluppo armonioso del bambino, sia all'equilibrio psicofisiologico dell'adulto. La luce naturale è composta dalle lunghezze d'onda alle quali il sistema visivo dell'uomo è più sensibile; si tratta di quelle che vengono emesse in maggior quantità dal sole. È il motivo per cui l'efficienza luminosa della luce naturale è nettamente superiore a quella delle principali sorgenti d'illuminazione artificiale (Boyce, Hunter & Howlett, 2003). L'illuminazione naturale si presenta come uno spettro continuo; numerose ricerche hanno evidenziato come questo sia fondamentale per stimolare il sistema endocrino umano e di come questo, invece, subisca effetti collaterali quando

l'uomo passa la maggior parte del proprio tempo sotto luci artificiali che riproducono solamente una porzione limitata dello spettro elettromagnetico. Il nostro corpo richiede una quantità minima giornaliera di luce solare alla giusta intensità e a determinate ore del giorno per regolare l'orologio biologico; la luce mattutina aiuta l'organismo a svegliarsi e a sentirsi energico, mentre la luce che si attenua fino alla sera prepara il corpo al riposo (Barbalace, Gugliermetti, Lucchese, Bisegna, 2012). Questi ritmi, chiamati "circadiani" o nictemerali, dipendono da un sistema endogeno, una sorta di "orologio interno" all'organismo che si mantiene sincronizzato con il ciclo naturale del giorno e della notte utilizzando stimoli naturali come la luce solare e la temperatura ambientale. In assenza di questi stimoli che sincronizzano l'organismo, i ritmi continuano ad essere presenti, ma il loro periodo può assestarsi su valori alterati ed irregolari. L'"orologio circadiano" nell'uomo è collocato nel nucleo soprachiasmatico (SCN), un gruppo di cellule situato nell'ipotalamo, che riceve informazioni sull'illuminazione attraverso gli occhi. La retina degli occhi non contiene solo i "classici" fotorecettori, ma anche cellule gangliari fotosensibili che contengono un pigmento chiamato melanopsina. Sembra che il SCN prenda le informazioni sulla durata del giorno dalla retina, le interpreti e le invii alla ghiandola pineale, la quale secerne melatonina in risposta allo stimolo. L'esposizione alla luce inibisce la produzione di melatonina, mentre il picco della sua secrezione si raggiunge durante la notte per poi ridursi gradualmente all'approssimarsi del mattino. La melatonina non è l'unico ormone in stretta relazione con l'orologio biologico: tra i tanti altri riveste particolare importanza il cortisolo, noto anche come "ormone dello stress", che contribuisce ad aumentare gli zuccheri disponibili nel sangue, l'efficienza del sistema immunitario e protegge dalle infiammazioni (Barbalace, Gugliermetti, Lucchese, Bisegna, 2012). È bene sottolineare, però, che quando i livelli di quest'ormone sono troppo alti per un lungo periodo di tempo, l'organismo diventa stanco ed inefficiente. Un altro effetto benefico della radiazione solare lo abbiamo quando la nostra pelle è esposta ai raggi UVB emessi dal sole e viene prodotta la vitamina D. Secondo il Professor Michael Holick, dell'Università di Boston, tra l'80 ed il 100% della vitamina D necessaria all'uomo deriva esclusivamente dall'esposizione al sole, ed è questo il motivo per

cui è molto importante, per l'uomo, esporsi con continuità alla luce. La vitamina D è necessaria per la formazione delle ossa, permette la deposizione di calcio e fosfato nelle regioni cartilaginee, l'assorbimento di calcio (e con esso del fosfato) nel tratto digestivo, la mobilitazione del calcio dalle ossa e il suo riassorbimento a livello renale.

Per garantire al corpo la giusta dose di luce solare, è importante passare almeno un'ora al giorno all'aperto; la luce solare, infatti, è più forte e più luminosa rispetto a qualsiasi fonte di luce artificiale (Blum, and Naylor, 2004; and Heerwagen, 2004). Il sole costituisce una sorgente caratterizzata da un flusso luminoso, che dall'alba al tramonto fornisce livelli di densità luminosa che vanno dai 5.000 ai 100.000 lux, comparati alle tradizionali lampadine poste negli ambienti interni, con densità luminosa che va circa dai 200 ai 1600 lux (Ariès, 2005).

In letteratura vi sono diverse ricerche secondo le quali la luce brillante proveniente dall'ambiente esterno risulterebbe fondamentale per lo sviluppo oculare del bambino. Uno studio pubblicato negli "Archivi di Oftalmologia" ha fatto un confronto tra bambini Cinesi di 6 e 7 anni che vivevano a Sydney e bambini Cinesi residenti a Singapore. La presenza di miopia nei genitori di questi due gruppi era pressoché simile, ma la presenza di miopia nei bambini di Singapore (29%) era di circa nove volte superiore rispetto ai bambini residenti a Sydney. I primi passavano solamente tre ore a settimana all'aria aperta, mentre i secondi ne passavano almeno quattordici. Un altro studio svolto nel 2007 dagli studenti dell'Università dell'Ohio su bambini Americani con entrambi i genitori miopi ha evidenziato che, chi spendeva almeno due ore al giorno all'aperto, aveva quattro volte meno probabilità di sviluppare miopia rispetto a chi passava meno di una. In un articolo pubblicato da Lisa Heschong nel 2002 sull'ASHRAE Journal, è trattata l'importanza dell'illuminazione naturale proveniente dall'esterno anche all'interno di scuole e ambienti lavorativi; aumentando l'illuminazione proveniente dall'esterno si sono notati una riduzione dell'assenteismo al lavoro, un incremento delle vendite e una salute migliore degli studenti. Tra i diversi studi effettuati, la Heschong ne svolge uno sulle performance degli studenti in relazione ad un aumento dell'illuminazione proveniente dall'esterno. Lo studio è stato

condotto in tre diverse scuole con differenti condizioni d'illuminazione nelle classi. Gli studenti nelle classi con le finestre più grandi o con la maggiore illuminazione proveniente dall'esterno avevano risultati dal 7 al 18% superiori nei test standardizzati rispetto a coloro che si trovavano in presenza d'illuminazione naturale inferiore.

Boyce, Hunter & Howlett (2003) attribuiscono allo spettro elettromagnetico della luce solare un ruolo fondamentale nella percezione e nel rendimento dei colori, purché la luce sia indirizzata correttamente (questo vale anche per l'illuminazione artificiale). La luce solare non sempre massimizza le performance visive; può provocare abbagliamento, distrazione, mal di testa, irritazioni a livello oculare, perdita della messa a fuoco, affaticamento visivo e può diminuire lo stimolo che il compito presenta al sistema producendo immagini riflesse o ombre (Wibom and Carlsson, 1987; Wilkins et al., 1989).

Svariati studi di fotobiologia hanno evidenziato che la luce influisce sullo stato di salute sia come fattore coinvolto nell'insorgenza di patologie varie, che come elemento terapeutico di diverse malattie quali la depressione, il disturbo affettivo stagionale (SAD) e disturbi bipolari (Beauchemin & Hays, 1996; Benedetti, Colombo, Barbini, Campori, & Smeraldi, 2001); inoltre, migliora la durata del sonno, regola i ritmi circadiani (Beauchemin & Hays, 1998; Miller et.al, 1995), diminuisce l'agitazione nei pazienti affetti da demenza (LaGarce, 2002; Lovell, Ancoli-Israel, & Gevirtz, 1995) e aiuta nei disturbi del sonno.

È stato dimostrato che, solitamente, per lavorare, le persone preferiscono la luce naturale e la vicinanza alle finestre rispetto a qualsiasi altra forma d'illuminazione artificiale, per diversi motivi: comfort a livello psicologico, aspetto dell'ufficio, salute generale e a livello visivo, resa cromatica di persone e arredi, performance lavorative (Heerwagen & Heerwagen, 1986). La presenza di elementi trasparenti, come finestre, permette un rapporto con l'ambiente esterno che è fondamentale da un punto di vista psicologico; la luce può provenire direttamente dal sole (illuminazione diretta), oppure dalla volta celeste (illuminazione diffusa) e la somma di questi viene definita illuminazione diurna globale. Il flusso luminoso varia in funzione della posizione del sole e della presenza o meno di nuvole, e questa natura dinamica e variabile della radiazione solare è da interpretarsi come

un pregio, perché consente l'accoppiamento con le sorgenti di illuminazione artificiale, in modo tale da modulare le prestazioni luminose per riprodurre la dinamica della luce solare, con effetti di comfort e di risparmio energetico.

L'ideale sarebbe, quindi, riuscire a combinare in ogni ambiente illuminazione naturale ed artificiale, per massimizzare le performance, il comfort, il benessere e la salute.

2.3 LA LUCE ARTIFICIALE

La luce elettrica fa parte della nostra quotidianità da oltre 130 anni. Senza di essa la nostra vita moderna sarebbe impensabile; la società di oggi vive in tutte le 24 ore e passa la maggior parte di esse in ambienti chiusi. La necessità di luce artificiale è gigantesca ed anche i requisiti che deve possedere non sono da poco: ci serve luce ovunque e in qualsiasi momento, in una qualità determinata, a un costo accettabile, con attenzione per le risorse ambientali (Zumbobel lighting, 2013). I fattori da considerare in un progetto di illuminazione sono molteplici; bisogna valutare sia l'aspetto più strettamente illuminotecnico (livello di illuminazione, direzione della luce, disturbi della visibilità...), sia quello più legato alla percezione ambientale dello spazio (atmosfera luminosa, resa dei colori...). È fondamentale ricordare che la luce è un fattore estremamente condizionante per l'uomo; crea ombre e plasticità, influenza notevolmente la piacevolezza di uno spazio ed è uno dei fattori costituenti il comfort ambientale. Emotività, risposte comportamentali e accettazione dell'ambiente sono, infatti, strettamente dipendenti dall'effetto luce. L'illuminazione di un ambiente di lavoro deve essere tale da soddisfare esigenze umane fondamentali quali una buona visibilità, comfort visivo, sicurezza e facilità di movimento. L'adeguatezza dell'illuminazione negli ambienti di lavoro o di studio influenza gli stessi, modificando le prestazioni visive di chi ne fa uso. L'illuminazione di un qualsiasi ambiente deve fornire condizioni ottimali per lo svolgimento del compito visivo richiesto, anche quando si distoglie lo sguardo dal compito o per riposo o per variazione di attività. L'impressione visiva di un ambiente è influenzata

dall'aspetto delle superfici degli oggetti visivi principali (compito visivo, arredi, persone..), del suo interno (pareti, soffitti, pavimenti, arredi, macchine..) e delle sorgenti di luce (finestre, lampade..). La quantità di luce che cade sulle superfici influenza notevolmente la percezione visiva; la visione può essere resa difficoltosa da un difetto di illuminazione, come anche da un eccesso, perché possono insorgere fenomeni collaterali che disturbano e la alterano, come ad esempio l'abbagliamento. L'aumento del livello d'illuminazione determina un conseguente aumento dell'acuità visiva e della sensibilità al contrasto, ma un eccesso di luce riduce la stessa acuità visiva, quindi, è necessario effettuare dei controlli al fine di evitare eccessi sia in un senso che nell'altro (RCB - Ricerche Chimiche Biochimiche Torino). A tal proposito, esistono delle tabelle di riferimento delle associazioni normative internazionali, che danno indicazioni sui lux da utilizzare in base al compito visivo e all'ambiente. I valori variano da poche decine di lux per lavori grossolani, fino a migliaia di lux per compiti visivi particolarmente impegnativi, come, per esempio, lavori attinenti la micro-elettronica. L'illuminazione orientata sui posti di lavoro dovrebbe fornire una luce nella giusta quantità e miglior qualità possibile per ogni esigenza visiva specifica. Uniformità, limitazione di abbagliamento e riflessi, buona resa del contrasto e ombreggiatura sono tutti requisiti da calibrare sul tipo di attività svolta. In altre parole l'illuminazione non si basa sulla geometria di un locale bensì sulle necessità delle persone (Zumtobel Lighting). L'illuminazione dell'ambiente ha un forte impatto sull'uomo per quanto riguarda le sue reazioni, motivazioni, umore e benessere (Robert Scott McGoven); una buona qualità d'illuminazione in un ambiente di lavoro, infatti, può avere un effetto molto significativo sul rendimento e sulla produttività dei lavoratori, favorendo la concentrazione, l'accuratezza e una buona visione. Con un'illuminazione adeguata è possibile lavorare meglio e con meno errori, riducendo diversi sintomi come mal di testa, nausea e dolori muscolari a collo e schiena. Uno studio condotto da Santamaria e Bennett (1981) ha dimostrato che, se la quantità e la distribuzione della luce vengono opportunamente controllati, la maggior parte dei compiti visivi (lettura, scrittura ecc..) possono essere svolti al meglio anche utilizzando fonti di luce artificiale, anche se la luce naturale sembra essere superiore per quanto riguarda la

discriminazione dei colori, purchè non siano presenti abbagliamento, riflessi o ombre (Boyce, Hunter, & Howlett, 2003).

Le caratteristiche da considerare nella scelta della sorgente luminosa sono, a livello qualitativo (Ravizza, 2009):

- *spettro di emissione* : descrive in modo esauriente tutte le caratteristiche della luce prodotta, indicando la potenza emessa da ogni lunghezza d'onda. Dà indicazioni valutative sulla capacità di rendere i colori e, a volte, sulla presenza di eventuali nocività delle radiazioni emesse,
- *temperatura colore* : è la cromaticità, il colore apparente della luce emessa da una determinata sorgente luminosa. L'unità di misura è il grado Kelvin (k).
- *indice di resa cromatica (CRI)*: permette di stimare la capacità di riprodurre i colori di una determinata sorgente in rapporto ad una sorgente di riferimento. Il valore massimo è pari a 100.

La classificazione delle lampade può essere fatta riducendo le varie sorgenti attualmente in commercio a tre grandi famiglie distinte dal diverso principio fisico su cui si basa la produzione di radiazioni luminose prodotte dall'energia elettrica: ad incandescenza, a scarica di gas e semiconduttori LED (Zumtobel lighting, 2005).

In una lampada ad incandescenza il filamento metallico è portato ad altissime temperature (2000-3000 °C), si riscalda, diventa incandescente e non brucia, ma emette radiazioni in gran parte infrarosse, in piccola parte visibili ed in quantità ancora più ridotta ultraviolette. Queste lampade sono radiatori "termici", come il sole, ed emettono una piccola parte del calore prodotto ($\approx 15\%$) sottoforma di luce. Le lampade ad incandescenza hanno un vasto arco di potenza (dai 20 ai 1000 W), una notevole quantità di tipi di attacco, non necessitano di accessori ausiliari e hanno un basso costo. Hanno una grande flessibilità d'uso e diffusione, malgrado la scarsa efficienza, l'elevata emissione termica e la ridotta vita media. Tra le principali categorie di lampade ad incandescenza vi sono le lampade ad atmosfera gassosa, le lampade alogene e le lampade per utilizzazioni speciali,

quali le lampade per automobili, le lampade di segnalazione per le piste d'aeroporti oppure quelle per l'illuminazione dei palcoscenici (P. Jacomuss, 2004). Le lampade a scarica sono radiatori che emettono per luminescenza: l'emissione di luce è prodotta dall'eccitazione degli atomi di uno o più gas, presenti all'interno del tubo. In questo caso, la luce è l'effetto della conversione diretta dell'energia elettrica in energia luminosa. Le lampade a scarica ad alta intensità necessitano di certo periodo di tempo per raggiungere il pieno funzionamento, e anche una momentanea perdita di tensione può rendere necessario il riavviamento, con relativo tempo di riscaldamento. Hanno un'efficienza migliore e una vita media molto più lunga delle incandescenti, con minori costi di manutenzione e sostituzione. Alcune presentano una certa emissione di UV e necessitano, pertanto, di schermi protettivi. Tra le categorie principali di lampade a scarica elettrica ci sono i tubi o globi fluorescenti, le lampade fluorescenti compatte, le lampade ad alta pressione a vapori di mercurio, lampade ad alta / bassa pressione a vapori di sodio e lampade a vapori di alogenuri metallici. Il LED (lighting-emitting diode) è un semiconduttore elettronico che, percorso da corrente elettrica, emette luce. La lunghezza d'onda della luce dipende dal materiale del semiconduttore e dalla sua consistenza. Lo spettro dei LED presenta un importante vantaggio, cioè quello di emettere soltanto luce (vale a dire una radiazione elettromagnetica della lunghezza d'onda visibile), e non radiazioni infrarosse o ultraviolette. Attualmente le sorgenti LED presentano alcuni limiti rispetto alle sorgenti convenzionali per il basso valore di flusso luminoso emesso. In futuro, le elevate potenzialità di queste tecnologie, l'efficienza luminosa, l'assenza di componenti UV e IR e la durata del funzionamento, le renderanno sempre più presenti nel settore illuminotecnico. (Lo Giudice & De Lieto Vollaro, 2011).

Per gli interni, in generale, ci si orienta tra lampade incandescenti, alogene, fluorescenti e ioduri; le altre sorgenti, generalmente, non rispondono appieno alle esigenze di discernimento dei colori o possono non risultare indicate per le loro caratteristiche tecnologiche o di funzionamento. Le lampade fluorescenti sono le sorgenti maggiormente utilizzate all'interno degli uffici, mentre le ottimali per un lavoro al computer o altri VDT sono quelle bianche a tonalità calda che emanano

una luce tendente al giallo. Per evitare i riflessi, le lampade devono essere montate a soffitto in file parallele alla direzione di sguardo dell'operatore, ma non al di sopra della sua testa, provviste di paraluce e di schermi antiriflesso ed esenti da sfarfallio; in questo modo si eviteranno fenomeni fastidiosi di abbagliamento, riflessione ed affaticamento visivo. Le pareti del locale devono essere di colore chiaro e prive di superfici riflettenti (Formenti, 2012). Nel terziario la scelta si restringe a quelle sorgenti che offrono un buon indice di resa cromatica (negli uffici è raccomandato un indice di resa cromatica superiore ad 80), una temperatura di colore appropriata (3000-4000 °K), unitamente ad efficienza luminosa e caratteristiche di funzionamento adeguate (Ravizza, 2009).

2.4 CONFRONTO FRA LAMPADE FLUORESCENTI TRADIZIONALI E LAMPADE FLUORESCENTI A SPETTRO CONTINUO

Le lampade a vapori di mercurio a bassa pressione, chiamate anche fluorescenti, sono dei sistemi di illuminazione dove la scarica avviene in un tubo di vetro rivestito all'interno con polveri fluorescenti (Ravizza, 2009). I tubi in commercio hanno vari diametri (i più usati sono 16-26-38 mm) e diverse qualità di luce; si va da quelli a luce diurna (temperatura colore 5000-6000°K) a quelli a luce bianca (temperatura colore 4000°K) per arrivare a quelli a luce calda (temperatura colore 2900-3200°K) (Moncada Lo Giudice & De Lieto Vollaro, 2011). Le attuali lampade fluorescenti consentono di raggiungere valori di CRI compresi tra 85 e 95, con ottimi valori anche nell'efficienza luminosa (60-90 lm/W); queste caratteristiche, unite alla bassa emissione di calore, una vita media di circa 9-10.000 ore e ad una bassa luminanza che salvaguardia dall'abbagliamento, rendono le lampade fluorescenti particolarmente indicate per l'illuminazione generale, soprattutto di ambienti di lavoro, come scuole e uffici (Ravizza, 2009). Una delle problematiche legate alle lampade fluorescenti è il "flicker" (sfarfallio), dovuto al fatto che le pareti interne dei tubi contengono una polvere di sali fluorescenti che, eccitati dalla scarica, emettono con un certo ritardo nella banda del visibile. L'emissione è, quindi, discontinua nel tempo, ed eventuali ritardi di

emissione fluorescente possono causare la percezione dello sfarfallamento della luce, detto anche, appunto, flicker (Rossetti & Gheller, 2012). Questo fenomeno può essere più o meno fastidioso, e può causare mal di testa, tensione oculare, stress, ansia (Adams, 2010) e fenomeni stroboscopici (Rossetti & Gheller, 2012). Secondo diversi studi, i tubi fluorescenti possono inibire la produzione di melatonina, ma questo dipenderebbe essenzialmente dalla temperatura della lampada; mentre le sorgenti a spettro continuo sembrano capaci di ridurre significativamente i livelli di questo ormone, le altre tipologie di lampade fluorescenti sembrano esercitare un effetto molto minore su di esso (Whillock, Clark, McKinlay, Todd, and Mundy, 1988).

Alcune lampade fluorescenti, se non vengono schermate, emettono una piccola porzione di raggi UV potenzialmente dannosa; alcuni studi hanno rilevato, però, che l'esposizione per otto ore ai raggi UV emessi da questa tipologia di lampade equivale a poco più di un minuto di esposizione solare. Sembra, perciò, che non vi siano particolari conseguenze nell'organismo, se non possibili fastidi in soggetti estremamente sensibili alla radiazione UV della luce (Lytle; Cyr; Beer; Miller; James; Landry; Jacobs; Kaczmarek; Sharkness; Gaylor; et al., 1993).

La luce naturale prodotta da sole contiene come componente caratteristica un vasto e continuo spettro di raggi. L'area visibile da 400 a circa 700 nm contiene la scala di lunghezze d'onda dal viola, blu, verde, giallo, arancio e rosso. Nelle zone delle aree non visibili si hanno i raggi ultravioletti e infrarossi. È proprio la presenza di UV nella luce naturale, con un dosaggio moderato e senza rischio per la salute, che ricopre un'importanza fondamentale per la nostra vita. Da una parte per le sue caratteristiche fisiche, che comportano un rafforzamento della visione ottica, dall'altra parte per un effetto medico biologico sull'organismo e sulla psiche dell'uomo; è per questi motivi che un'illuminazione artificiale per uomini, animali e piante dovrebbe assomigliare il più possibile alla luce naturale (Ott, 1962). Una luce altamente qualitativa non si definisce solamente dalla riproduzione di illuminazione, ma soprattutto da una distribuzione dei raggi simile alla luce naturale su tutto lo spettro; le lampade che, attualmente, sono più simili alla radiazione solare, sono quelle fluorescenti a spettro continuo. La luce solare è,

in ogni caso, più intensa di qualsiasi luce artificiale, con una temperatura colore che varia da 5000 a 10000 °K in base alle condizioni del cielo, stagioni, e ore del giorno (Thorington, 1985).

Negli anni '60 il fotobiologo Dr. John Ott ha coniato il termine “illuminazione a spettro-continuo” per descrivere le fonti di luce che emettono lo spettro continuo caratteristico della luce naturale e che, secondo diversi studi, porterebbero gli stessi benefici della luce solare. Gli studi riguardanti questa tipologia di lampade sono iniziati da una semplice osservazione delle piante (Ott, 1973) e animali dello zoo (Blatchford, 1978; Laszlo, 1969), che sembravano prosperare e svilupparsi meglio se esposti a questa tipologia di illuminazione.

Una lampada fluorescente viene detta “a spettro continuo” se emette luce in tutte le parti dello spettro visibile e una piccola porzione di raggi ultravioletti, ha una temperatura colore di almeno 5000 °K e un CRI di almeno 90 (Boyce, 1994). Lo spettro dei raggi di queste lampade ha un'azione biologica stimolante e influisce positivamente sul metabolismo, la funzionalità ghiandolare e il sistema nervoso autocrino, garantisce un'ottima visione del contrasto, una perfetta riproduzione dei colori naturali, uno spettro più ampio e continuo rispetto ad altre lampade fluorescenti ed una qualità di luce regolare ed equilibrata (Stanjek, 1989; Liberman, 1996; True-Light, Lightfull). La luce che viene assorbita dalla pelle, inoltre, stimola reazioni chimiche nel sangue e in diversi tessuti (Wurtman, 1975; Holick, 1996), e vi sono diversi studi che favoriscono le lampade fluorescenti a spettro continuo per quanto riguarda il metabolismo della vitamina D e, indirettamente, l'assorbimento del calcio (Neer et al., 1971; Yeni, 2005).

I pareri riguardanti la validità di questa tipologia di lampade, però, sono molteplici e discordanti tra loro, e vi sono molti pensieri e studi differenti per quanto riguarda gli effetti sullo stress di queste lampade. C'è chi sostiene che questo spettro continuo riproduca fedelmente i benefici ottenuti dalla luce solare, e chi invece non trova una sostanziale differenza nel confort e nel rendimento rispetto alle principali fonti d'illuminazione. Secondo alcuni studi, queste lampade, essendo simili alla luce naturale, provocano una diminuzione dei livelli di stress e della fatica, comparati alle altre fonti di illuminazione (Maas et al., 1974; Morita

& Tokura, 1996); per questo, viene ampiamente consigliato l'utilizzo di lampade fluorescenti a spettro continuo all'interno di classi e uffici (Henderson, 1986).

Secondo altri studi, invece, le fonti di illuminazione che differiscono dalla luce solare sono degli stressori che aumentano i livelli di stress nell'organismo (Huges, 1980; Thorington, Parascandola, & Cunningham, 1971; Wurtman, 1975); questo comporta un'attivazione del sistema nervoso simpatico e la secrezione degli ormoni legati allo stress. Tra le varie fonti di luce artificiali, comunque, le lampade fluorescenti a spettro continuo sembrano essere le meno stressogene, dal momento in cui sono la sorgente di illuminazione che più si avvicina alla luce naturale (Tibbs, 1981; Chance, 1983; Wohlfarth, 1984).

Maas, Jayson & Kleiber (1996) hanno preso in esame gli effetti di diversi spettri fluorescenti sulla fatica, dopo un impegno visivo. Hanno comparato lampade fluorescenti a spettro continuo e lampade fluorescenti a luce bianca, non trovando differenze significative tra i due gruppi per quanto riguarda l'affaticamento soggettivo. Delle misurazioni oggettive, invece, è stato rilevato che, coloro che utilizzavano lampade fluorescenti a spettro continuo, rimanevano più svegli e si affaticavano meno velocemente negli esercizi di percezione. Tithof (1998) ha svolto degli studi sull'illuminazione artificiale, riportando come questa influisca sul comportamento depressivo e sulla motivazione degli studenti durante i mesi invernali (mancanza di energia, irritabilità, aumento dell'appetito, dell'ansia come espressione di disturbi dipendenti dalla stagione – chiamati “Seasonal Affective Disorder” o SAD). Facendo un confronto tra gli effetti di diverse tipologie di illuminazione su questi studenti, nota che, rispetto alla luce delle lampade bianche e fredde, con l'illuminazione di lampade a spettro completo si manifesta una regressione significativa della depressione e dei sintomi ad essa associati, (Tithof, 1998).

Ferguson & Munson (1987) conducono un esperimento in una stanza priva di finestre, nella quale degli studenti universitari devono svolgere, sul computer, dei compiti di memoria, sia sotto l'illuminazione di lampade fluorescenti tradizionali, sia sotto lampade a spettro continuo; in questo esperimento non sono state evidenziate differenze significative nella performance, a seconda dell'illuminazione utilizzata.

Uno studio simile, condotto da Boray et al. (1989), compara i punteggi ottenuti da test che includono esercizi grammaticali e problemi matematici, utilizzando lampade fluorescenti a luce bianca, a luce calda e a spettro continuo. Anche qui, la tipologia di lampada utilizzata non sembra influenzare le performance degli esaminati.

Erikson & Kuller (1983) riportano uno studio condotto in alcuni uffici. Dopo quattro e dieci mesi di utilizzo di lampade fluorescenti tradizionali oppure a spettro continuo, 55 partecipanti allo studio hanno completato un questionario riguardante l'umore generale. Gli autori riportano che in Dicembre, le lampade fluorescenti a spettro continuo hanno migliorato notevolmente l'umore, cosa che invece non è successa nel mese di Giugno, dove era presente anche luce solare dall'esterno, che probabilmente ha influenzato.

LA RICERCA

3.1 OBIETTIVO DELLO STUDIO

Questo studio è stato eseguito per confrontare le possibili variazioni indotte dallo stress prossimale nel sistema visivo, utilizzando due diverse tipologie di illuminazione, ovvero lampade fluorescenti standard e lampade fluorescenti a spettro continuo. Mediante la somministrazione di un questionario, e l'esecuzione di cinque test, che verranno successivamente elencati, si è voluto andare a valutare i cambiamenti, legati allo stress, nel sistema visivo tra prima e dopo almeno due ore di lavoro da vicino.

3.2 SELEZIONE DEI SOGGETTI

La raccolta dati per questo studio è stata realizzata su un gruppo di 112 soggetti, di età compresa tra i 14 e i 26 anni, unico criterio di inclusione allo studio. Il reclutamento è stato effettuato all'interno della Biblioteca Civica di Verona, sia sui soggetti che frequentavano la sezione antica, dove sono presenti lampade fluorescenti a tonalità calda e lampade fluorescenti standard, sia su quelli che frequentavano la sezione moderna della biblioteca, dove sono installate lampade fluorescenti a spettro continuo. Alle persone che sono state contattate per partecipare allo studio sono stati spiegati gli obiettivi della ricerca e le modalità di esecuzione dei diversi test. Non è stato fatto firmare il consenso informato, in quanto non sono stati presi i dati anagrafici dei partecipanti, ma solo nome, sesso ed età.

3.3 PROCEDURA E PROTOCOLLO

Questa ricerca è suddivisa in due parti: prima e dopo l'attività visiva prossimale; ai partecipanti è stato richiesto, quindi, di ripetere gli stessi test due volte nell'arco della stessa giornata. Lo studio prevede un questionario d'anamnesi preliminare,

riportato in Appendice 1, suddiviso in tre parti. La prima parte si compone di nove domande riguardanti la frequenza abituale di comparsa di alcuni sintomi soggettivi legati allo stress visivo prossimale; le possibili risposte sono “mai”, “a volte”, “spesso” e “sempre”.

La seconda e terza parte del questionario sono composte da sei domande, che vengono ripetute prima e dopo almeno due ore di attività visiva a distanza prossimale, come studio, utilizzo del computer, lettura, e che vanno a ricercare la presenza e la severità di sintomi associati allo stress visivo in quel preciso momento della giornata. Le possibili risposte, in questo caso, sono “no”, “poco” e “molto. La prima parte del questionario viene effettuata per avere un’idea generale sulla sintomatologia, legata allo stress, abituale del soggetto; la seconda parte è utile per avere un’indicazione sullo stato dei soggetti prima dello studio; la terza parte serve a valutare se vi siano dei benefici o variazioni, a livello soggettivo, con una o con l’altra tipologia di lampada. Dopo aver compilato la prima e la seconda parte del questionario, vengono svolti cinque test (riportati in Appendice 2); ai soggetti viene richiesto di indossare la correzione abituale utilizzata per il vicino, dove presente, per tutta la durata di questi.

I test utilizzati per eseguire la raccolta dei dati sperimentali sono elencati di seguito.

Punto prossimo di visione nitida (PPN)

Per l’esecuzione di questo test viene utilizzata una matita con una mira accomodativa costituita da lettere di acutezza 0,62 M. La mira viene fatta leggere ad alta voce dagli esaminati ad una distanza di circa 50 cm e leggermente sotto la linea di sguardo (20/30° circa); successivamente, viene avvicinata dall’esaminatore fino ad arrivare ad altezza occhi, chiedendo ai soggetti di riferire il momento in cui le lettere non appaiono più nitide, ma sfuocate. La distanza (in cm) tra gli occhi e il punto di annebbiamento corrisponde al PPN.

Punto prossimo di convergenza (PPC)

Ai soggetti viene chiesto di mantenere la fissazione sulla mira (punta di una matita) posta ad una distanza iniziale di 40 cm. Questa viene avvicinata

lentamente al naso degli esaminati, che sono stati precedentemente istruiti ad indicare il momento in cui la punta della matita avrebbe subito uno sdoppiamento, noto come punto di rottura. In seguito, la matita viene mossa in direzione opposta rispetto all'esaminato, al quale è chiesto di riferire quando la punta della matita sarebbe tornata nuovamente singola; questo corrisponde al punto di recupero. Per questo test vengono annotati entrambi i valori di rottura e recupero, in centimetri.

Flessibilità accomodativa

Questo test viene eseguito binocularmente, così da fare entrare in gioco sia l'accomodazione, che varia, sia la convergenza, che rimane fissa sul piano di lavoro. Agli esaminati viene chiesto di osservare, a 40 cm, un ottotipo a parole di acutezza 0,62 M, posizionato su una paletta che viene tenuta dall'esaminatore. Ad essi viene poi posto davanti agli occhi un flipper dotato di una coppia di lenti positive +2.00D e una coppia di lenti negative -2.00D. Ai soggetti viene dunque chiesto di avvertire l'esaminatore nel momento in cui il testo, da sfuocato, torna nitido. Ad ogni "sì", l'esaminatore procede con la rotazione del flipper accomodativo. Ogni passaggio dalla lente +2.00/-2.00/+2.00 corrisponde ad un ciclo; tenendo cronometrato il tempo, viene registrato il numero di cicli al minuto che gli esaminati riescono a compiere.

Stereopsi

Per l'esecuzione di questo test è stato utilizzato il Visionapp, strumento distribuito da Essilor, posto ad una distanza di 40 cm. Per quanto riguarda la stereopsi locale, viene utilizzato il test di Wirt; gli esaminati devono toccare lo schermo sul cerchio che percepiscono in rilievo, mentre gli altri cerchi non lo sono; questo test è stato tarato per valutare una stereopsi che va dai 580" ai 58". Per quanto riguarda la stereopsi globale viene usato il test Random-dot, che pone ai soggetti una scelta forzata tra mire neutre e una a forma di E in visione binoculare; guardandole attentamente, gli esaminati devono toccare lo schermo sulla E che appare in rilievo. Questo test permette di valutare una stereo acuità da 580" fino a 58".

Foria orizzontale

Per tale misurazione viene usato il test delle forie dissociate tramite la Howell card, presente all'interno del Visionapp, posto ad una distanza di 33 cm dall'esaminato. Per iniziare, viene applicata una lente prismatica di 6dp davanti all'occhio sinistro dei soggetti, con lo scopo di indurre dissociazione tra i due occhi. A conferma di ciò essi devono riferire di percepire due file orizzontali di numeri e due sottostanti frecce indicatrici. La freccia della riga superiore tocca la riga posta sotto essa. I soggetti devono riferire la posizione della freccia rispetto alla scala numerica sottostante, riportare quale numero essa punti e il corrispondente colore. I numeri in giallo dalla destra allo zero indicano la presenza di esoforia, mentre i numeri in blu da sinistra allo zero la presenza di exoforia.

Dopo aver compilato, alla fine, la terza parte del questionario, e dopo aver ripetuto per la seconda volta ognuno di questi test, agli esaminati viene chiesto in quale delle due sezioni (antica o moderna), della biblioteca, avessero studiato.

Nella sezione antica della Biblioteca Civica di Verona sono installate, sui tavoli, delle lampade fluorescenti a tonalità calda. Effettuando la misurazione con un doppio decimetro, le distanze delle lampade dal tavolo risultano: verticale (dai tubi alla superficie dei tavoli) 30 cm; diagonale (dai tubi alle posizioni dei supporti di lettura) circa 50 cm. Essendo, quelle posizionate in questa sezione della biblioteca, delle lampade fluorescenti a tonalità calda, si può supporre che la temperatura colore sia tra i 2900 e i 3200°K. Per quanto riguarda le lampade installate alle pareti, non è stato possibile rilevare la tipologia di lampada fluorescente, se a tonalità calda o fredda. In entrambi i casi non si è riusciti a risalire, però, alle informazioni tecniche specifiche (wattaggio, temperatura colore, CRI ecc.) delle lampade utilizzate. Per quanto riguarda le pareti delle diverse stanze, fondamentalmente si tratta di scaffali in legno di colore marrone di varie sfumature, su cui sono posti libri con copertine di diversi colori.

Nella sezione moderna della Biblioteca Civica di Verona sono installate, sia a soffitto che sul tavolo, delle lampade fluorescenti a spettro continuo. Anche qui, essendo unico il modello di portalampada per tutte le tipologie di tavolo, le

distanze delle lampade dal tavolo risultano: verticale (dai tubi alla superficie dei tavoli) 30 cm; diagonale (dai tubi alle posizioni dei supporti di lettura) circa 50 cm. Le pareti delle sale A-B-C, che compongono la sezione moderna, sono nude e di colore bianco/crema. Vengono elencate, qui sotto, le informazioni tecniche delle lampade utilizzate ai tavoli:

-wattaggio (W): 21

-flusso luminoso (lm/100h): 1450

-efficienza (lm/W): 69

-diametro (mm) e lunghezza (mm): rispettivamente 16 e 849

-temperatura colore (K): 5500

-CRI: 96

3.4 STRUMENTI

Gli strumenti utilizzati per l'esecuzione dei test optometrici sono:

- *Matita*: 6mm di diametro e 140 mm di lunghezza, punta di colore nero. La matita viene utilizzata per i test del PPC e del PPN.
- *Flipper sferico*: flipper composto da due lenti positive +2.00D e due lenti negative -2.00D; viene utilizzato per il test sulla flessibilità accomodativa.
- *Mira accomodativa*: come mira accomodativa per i test di PPN vengono utilizzate delle lettere poste sulla matita; per quanto riguarda la flessibilità accomodativa, viene usata una paletta con ottotipo per il vicino, facendo leggere agli esaminati i caratteri di grandezza corrispondente a 0.62 M.
- *Prisma 6 Dp*: il prisma viene usato in associazione alla Howell Card, al fine di indurre dissociazione, e viene tenuto dall'esaminatore davanti all'occhio sinistro dell'esaminato, con la base alta.

- *Visionapp*: strumento distribuito da Essilor, viene utilizzato per l'esecuzione dei due test che vanno a valutare la stereopsi globale e locale e le forie. Per quanto riguarda il test per la stereopsi, non vengono utilizzati occhiali polarizzati; il display auto stereoscopico dello strumento, a barriera di parallasse, permette di visualizzare immagini 3D senza l'utilizzo di questi. La luce proveniente dal display passa attraverso una serie di fessure in modo da proiettare immagini differenti per l'occhio destro e l'occhio sinistro; i due occhi vedono un insieme di pixel diverso e in questo modo viene stimolata la percezione di immagini stereoscopiche. Per quanto riguarda le forie, viene utilizzata la Howell card.
- *Howell card*: questo test è presente all'interno del Visionapp, e viene usato per la valutazione delle forie, in associazione al prisma di 6 Dp

Tutte le distanze sono state misurate utilizzando un metro da sarta della lunghezza di 60 cm e registrate in cm.

3.5 ANALISI STATISTICA

L'elaborazione dei dati ottenuti da questo studio è stata condotta utilizzando analisi statistiche di tipo descrittivo e inferenziale. I dati sono stati, inizialmente, sintetizzati attraverso tabelle riassuntive e grafici, per avere delle idee generali sulle caratteristiche generali del campione analizzato, come sesso ed età. Per le tre diverse parti del questionario sono stati calcolati degli indici ottenuti dalla media delle risposte date nei diversi items. Questo è stato possibile perché, nonostante i questionari producessero delle variabili di tipo ordinale (ad esempio “mai, spesso, sempre”), lo stress visivo è inquadrabile come una variabile continua.

È stata eseguita, successivamente, un'analisi per stimare il grado di coerenza interna delle tre diverse parti del questionario. Si tratta di una proprietà che riguarda il grado di accordo tra i vari item dei test dello stesso costrutto che il questionario vuole misurare – in questo caso, lo stress visivo. Affinchè vi sia una

buona coerenza interna, serve che gli item siano correlati tra loro, e verificare ciò è stata utilizzata l'alfa di Cronbach. Se gli *item* di uno stesso questionario sono altamente correlati tra di loro, sarà possibile concludere che ciascuno di essi dà un reale contributo alla misura del costrutto in esame e che nell'insieme tutti gli item si riferiscono allo stesso costrutto. L'alfa di Cronbach può assumere valori da 0 a 1; per valori <0.60 la coerenza risulta inaccettabile, tra 0.60 e 0.65 indesiderabile, tra 0.65 e 0.70 appena accettabile, tra 0.70 e 0.80 buona e >0.80 ottima. Per le statistiche inferenziali è stata dapprima osservata la curtosi e la simmetria dei dati di tipo continuo, e dove necessario, è stata eseguita una trasformazione delle variabili con Log10. Il valore caratteristico di asimmetria rileva se e quanto una distribuzione non sia disposta simmetricamente attorno alla sua media, e se abbia una "coda" più lunga dell'altra. L'indice di curtosi è uno degli indici relativi alla forma di una distribuzione, e indica l'allontanamento dalla normalità distributiva, rispetto alla quale si verifica un maggiore appiattimento o un maggiore allungamento. L'interesse per questo indice è dato dal fatto che lo "spessore" delle code influenza il comportamento di diverse statistiche. A seguire, su tutte le variabili di tipo continuo, è stato utilizzato un test T di Student per variabili appaiate. Il programma che è stato utilizzato per l'analisi statistica è SPSS 17 (*Statistical Package for Social Science*).

RISULTATI

4.1 DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

La ricerca è stata svolta su un totale di 112 soggetti (età media 21.15 anni, d.s $\pm 2,72$ anni). Vengono riportate, in seguito, le analisi descrittive del campione, ossia una sintesi delle caratteristiche dei soggetti che hanno partecipato alla ricerca.

	maschio	femmina	missing	total
n	50	60	2	112
min	14	14		
max	26	26		
media	21,5	20,87		
d.s	2,42	2,93		

Tabella 1

		tipo di lampada		Totale
		lampade fluorescenti a spettro continuo	lampade fluorescenti tradizionali	
sesso	maschio	25	25	50
	femmina	30	32	62
	Total	55	57	112

Tabella 2

4.2 IL QUESTIONARIO

Il questionario sottoposto agli esaminati è suddiviso in tre parti; la prima è costituita da nove *items* a risposta multipla (con quattro possibili risposte), mentre la seconda e la terza parte da sei *items* a risposta multipla (con tre possibili risposte). Il questionario originale cui ho fatto riferimento è quello proposto da Borsting, Rouse, Mitchell et al., formulato per la diagnosi dell'insufficienza di convergenza, ma è stato modificato ed adattato perché andasse ad indagare più propriamente i sintomi correlati allo stress visivo prossimale. I quesiti vanno a riassumere i principali sintomi causati da un eccessivo sforzo a distanza

prossimale, che genera appunto stress visivo. Tali sintomi, in presenza di stress, dovrebbero acutizzarsi nel tempo, e compromettere, o rendere impossibile, l'attività visiva prossimale. Come descritto nel capitolo 1, i soggetti possono rispondere ad elevati livelli di stress in tre modi; affrontando lo stress (fight), evadendo dalla situazione stressante (flight) o alternare i due tipi di risposta (Skeffington, '50). I sintomi, quindi, possono essere più o meno presenti, soprattutto se nell'individuo sono già subentrati dei processi di adattamento, che hanno reso più efficienti le funzioni e le performance, ma hanno compromesso la stabilità e flessibilità del sistema visivo (Skeffington, '50).

4.2.1 ANALISI DI COERENZA INTERNA

L'alfa di Cronbach risulta essere buona per tutti e tre i questionari: nella prima parte assume un valore pari a 0,708, nella seconda 0,756 e nella terza 0,790. Questo significa che i questionari misurano ciò che si intendeva misurare - in questo caso, lo stress visivo. Gli ultimi due questionari, pur essendo uguali, danno un'Alfa diversa, che risulta maggiore nel questionario che è stato proposto dopo lo sforzo. Tuttavia la differenza tra il prima ed il dopo non cambia in maniera significativa, per cui possiamo tranquillamente dire che il questionario nel suo complesso ha un'alfa di C. buona e che misura in maniera efficace lo stress visivo.

4.2.2 ANALISI DESCRITTIVE

Qui di seguito vengono presentate le analisi descrittive inerenti il questionario soggettivo a cui i soggetti hanno risposto nei diversi momenti della rilevazione dati.

LAMPADE FLUORESCENTI A SPETTRO CONTINUO: prima parte del questionario

Nella prima parte del questionario si ricerca la presenza e la frequenza abituale di comparsa di alcuni sintomi soggettivi legati allo stress visivo, dopo un periodo di tempo di lavoro a distanza prossimale. Le frequenze e le relative percentuali ottenute sono rappresentate nelle tabelle sottostanti.

provare tensione o fatica visiva		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
ai	14	25,5
a volte	30	54,5
spesso	8	14,5
sempre	3	5,5
Total	55	100

Tab 3

sentire tensione o pesantezza oculare		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	10	18,2
a volte	35	63,6
spesso	9	16,4
sempre	1	1,8
Total	55	100

Tab 4

avere episodi di visione doppia		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	35	63,6
a volte	15	27,3
spesso	5	9,1
sempre	0	0
Total	55	100

Tab 5

sentire secchezza oculare		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	19	34,5
a volte	25	45,5
spesso	11	20
sempre	0	0
Total	55	100

Tab 6

avere mal di testa

	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	12	21,8
a volte	32	58,2
spesso	11	20
sempre	0	0
Total	55	100

Tab 7

difficoltà a mettere a fuoco parole o immagini

	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	17	30,9
a volte	29	52,7
spesso	8	14,5
sempre	1	1,8
Total	55	100

Tab 8

avvertire più lentezza nelle sue performance

	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	12	21,8
a volte	28	50,9
spesso	15	27,3
sempre	0	0
Total	55	100

Tab 9

provare sonnolenza

	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	7	12,7
a volte	24	43,6
spesso	19	34,5
sempre	5	9,1
Total	55	100

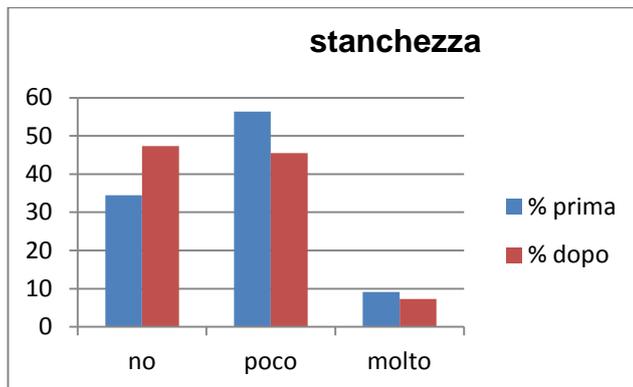
Tab 10

fastidi fisici come male al collo, alle spalle

	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	16	29,1
a volte	24	43,6
spesso	13	23,6
sempre	2	3,6
Total	55	100

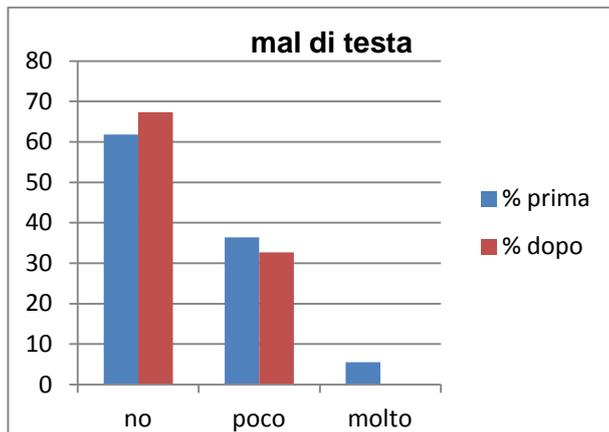
Tab 11

SECONDA E TERZA PARTE QUESTIONARIO - Confronto tra prima e dopo il lavoro da vicino



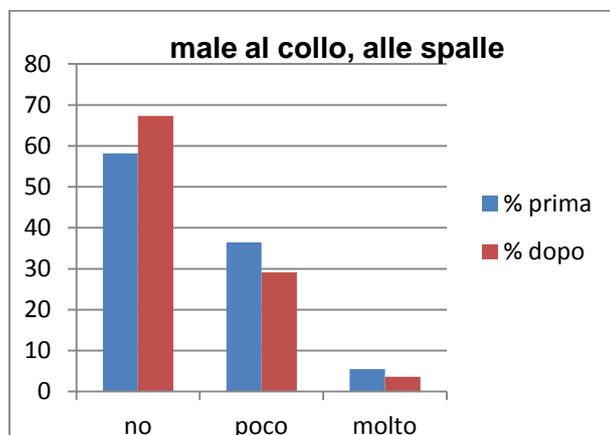
	% prima	% dopo
No	34,5	47,3
poco	56,4	45,5
molto	9,1	7,3

Figura 1: confronto tra stanchezza prima e dopo



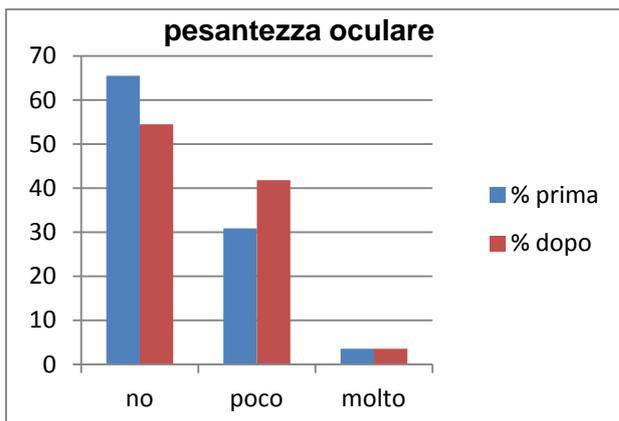
	% prima	% dopo
no	61,8	67,3
poco	36,4	32,7
molto	5,5	0

Figura 2: confronto tra mal di testa prima e dopo



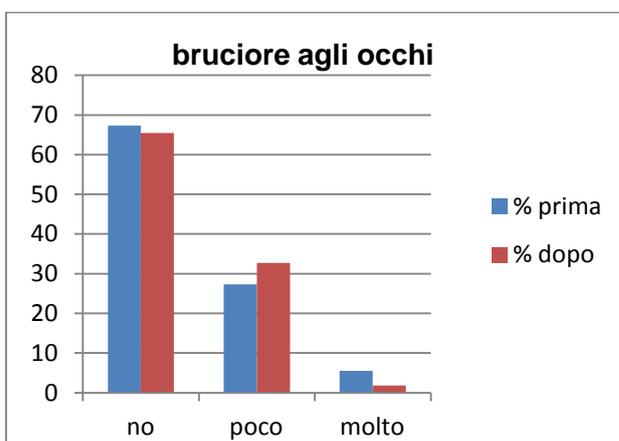
	% prima	% dopo
no	58,2	67,3
poco	36,4	29,1
molto	5,5	3,6

Figura 3: confronto tra male al collo e alle spalle prima e dopo



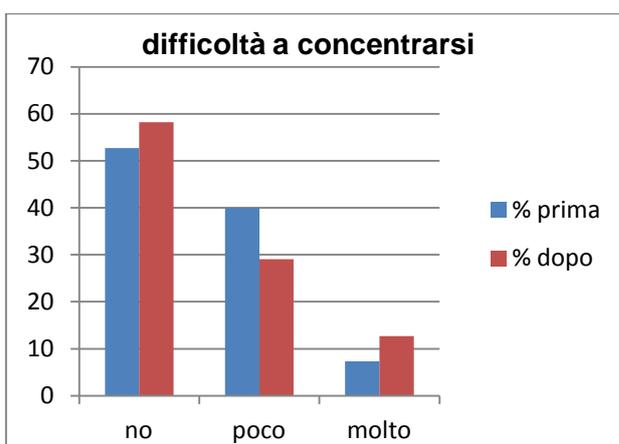
	% prima	% dopo
No	65,5	54,5
poco	30,9	41,8
molto	3,6	3,6

Figura 4: confronto tra pesantezza oculare prima e dopo



	% prima	% dopo
no	67,3	65,5
poco	27,3	32,7
molto	5,5	1,8

Figura 5: confronto tra bruciore agli occhi prima e dopo



	% prima	% dopo
No	52,7	58,2
poco	40	29,1
molto	7,3	12,7

Figura 6: confronto sulla difficoltà di concentrazione prima e dopo

LAMPADE FLUORESCENTI TRADIZIONALI: prima parte del questionario

Nella prima parte del questionario si ricerca la presenza e la frequenza abituale di comparsa di alcuni sintomi soggettivi legati allo stress visivo, dopo un periodo di tempo di lavoro da vicino. Le frequenze e le relative percentuali ottenute sono rappresentate nelle tabelle sottostanti.

provare tensione o fatica visiva		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	12	21,1
a volte	29	50,9
spesso	15	26,3
sempre	1	1,8
Total	57	100

Tab 12

sentire tensione o pesantezza oculare		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	16	28,1
a volte	31	54,4
spesso	9	15,8
sempre	1	1,8
Total	57	100

Tab 13

avere episodi di visione doppia		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	29	50,9
a volte	18	31,6
spesso	10	17,5
sempre	0	0
Total	57	100

Tab 14

sentire secchezza oculare		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	21	36,8
a volte	28	49,1
spesso	7	12,3
sempre	1	1,8
Total	57	100

Tab 15

avere mal di testa		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	10	17,5
a volte	30	52,6
spesso	15	26,3
sempre	2	3,5
Total	57	100

Tab 16

difficoltà a mettere a fuoco parole o immagini		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	23	40,4
a volte	22	38,6
spesso	11	19,3
sempre	1	1,8
Total	57	100

Tab 17

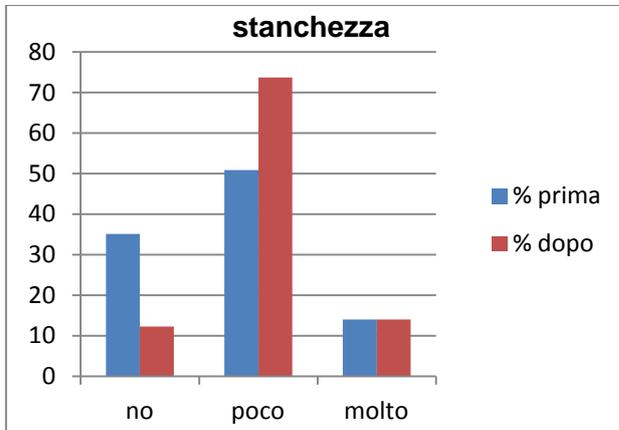
avvertire più lentezza nelle performance		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	9	15,8
a volte	42	73,7
spesso	3	5,3
sempre	3	5,3
Total	57	100

Tab 18

provare sonnolenza		
	freq. assoluta	freq. relativa (%)
mai	10	17,5
a volte	33	57,9
spesso	13	22,8
sempre	1	1,8
Total	57	100

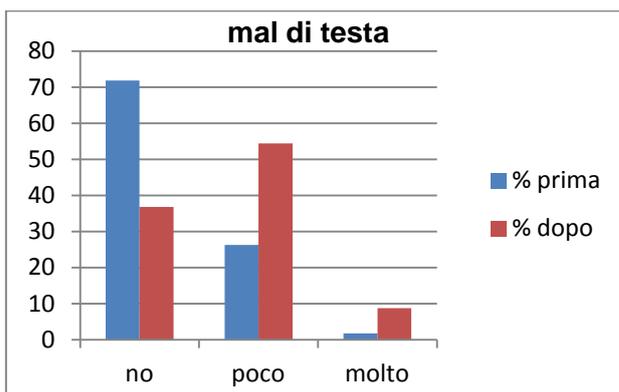
Tab 19

SECONDA E TERZA PARTE QUESTIONARIO - Confronto tra prima e dopo il lavoro da vicino



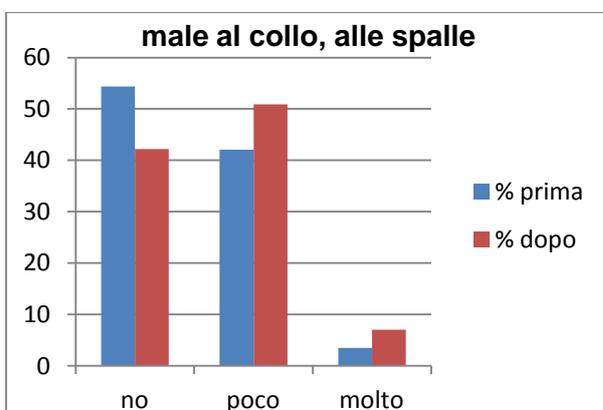
	% prima	% dopo
no	35,1	12,3
poco	50,9	73,7
molto	14	14

Figura 7: confronto tra stanchezza prima e dopo



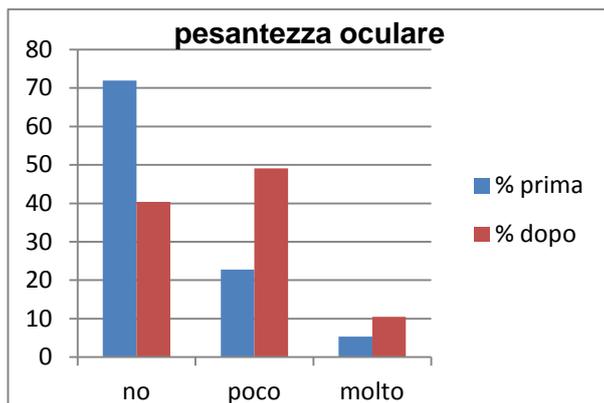
	% prima	% dopo
no	71,9	36,8
poco	26,3	54,4
molto	1,8	8,8

Figura 8: confronto tra mal di testa prima e dopo



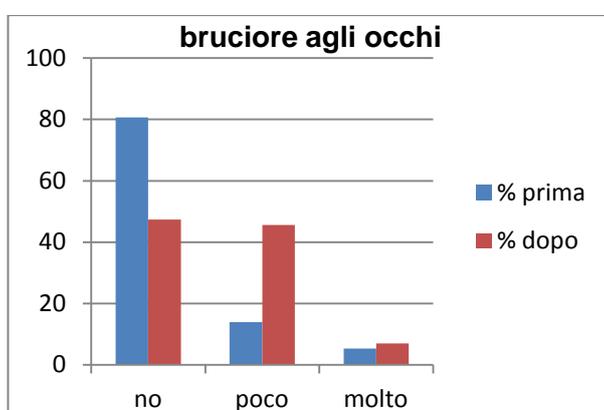
	% prima	% dopo
no	54,4	42,2
poco	42,1	50,9
molto	3,5	7

Figura 9: confronto tra male al collo e alle spalle prima e dopo



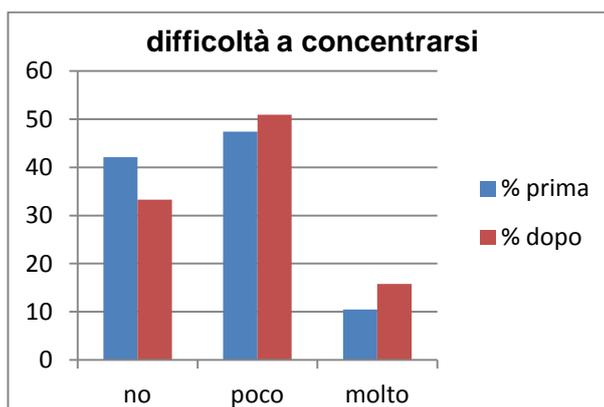
	% prima	% dopo
no	71,9	40,4
poco	22,8	49,1
molto	5,3	10,5

Figura 10: confronto tra pesantezza oculare prima e dopo



	% prima	% dopo
no	80,7	47,4
poco	14	45,6
molto	5,3	7

Figura 11: confronto tra bruciore agli occhi prima e dopo



	% prima	% dopo
no	42,1	33,3
poco	47,4	50,9
molto	10,5	15,8

Figura 12: confronto tra la difficoltà di concentrarsi prima e dopo

4.3 ANALISI DESCRITTIVE DELLE LAMPADE

LAMPADE FLUORESCENTI A SPETTRO CONTINUO: DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

L'età media dei soggetti appartenenti al primo sottocampione è di 20.65 anni, con d.s di ± 2.73 anni (età compresa tra 14-26 anni).

	PPN (cm)		PPC rott (cm)		PPC rec (cm)		Flex.acc (c/m)	
	prima	dopo	prima	dopo	prima	dopo	prima	dopo
media	13,35	12,75	10,53	10,22	13,44	12,8	9,09	10,84
d.s	3,29	3,295	4,28	4,42	4,97	4,89	3,73	3,94
min	8	6	5	5	6	6	1	2
max	22	21	23	23	28	26	18	20

Tabella 21: descrizione del campione

	esoforia		exoforia		ortoforia	
	prima	dopo	prima	dopo	prima	dopo
freq. assoluta	14	9	31	39	10	7
freq. relativa	25,4	16,4	56,4	70,9	18,2	12,7

Tabella 22: descrizione del campione

Gli indici di tendenza centrale e di variazione della stereopsi locale (L 1 e 2) e globale (G 1 e 2), come si era già notato dalla fase della raccolta dati, non cambiano, ma rimangono sostanzialmente uguali nei diversi tempi della rilevazione. Non sono state quindi eseguite ulteriori analisi statistiche.

LAMPADE FLUORESCENTI A TONALITA' CALDA: DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

L'età media dei soggetti appartenenti al campione delle lampade tradizionali è di 21.6 anni, con una deviazione standard di ± 2.63 anni (età compresa tra 14-26 anni).

	PPN (cm)		PPC rott (cm)		PPC rec (cm)		Flex.acc (c/m)	
	prima	dopo	prima	dopo	prima	dopo	prima	dopo
media	12,91	14,05	11,18	12,74	14,32	15,89	10,33	9,95
d.s	3,491	4,086	4,396	4,662	5,726	5,778	3,753	3,805
min	8	9	5	5	6	6	1	1
max	24	30	25	27	33	32	22	18

Tabella 23: descrizione del campione

	esoforia		exoforia		ortoforia	
	prima	dopo	prima	dopo	prima	dopo
freq. assoluta	17	21	33	25	7	11
freq. relativa %	29,8	36,8	57,9	43,9	12,3	19,3

Tabella 24: descrizione del campione

Come per i valori rilevati nell'altro sottocampione, anche qui gli indici ed i valori non cambiano tra prima e dopo l'esposizione, quindi non sono state eseguite ulteriori analisi statistiche.

4.4 ANALISI DI TIPO INFERENZIALE

Qui di seguito vengono calcolati i valori di asimmetria e curtosi delle variabili continue, per poter impostare il tipo di statistica inferenziale da usare.

	N	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
IndiceA	112	,690	,228	,267	,453
IndiceB	112	,972	,228	,715	,453
IndiceC	112	,674	,228	,230	,453
PPN1	112	1,002	,228	,942	,453
PPN2	112	1,461	,228	3,582	,453
PPCrot1	112	1,017	,228	,975	,453
PPCrec1	112	,947	,228	1,219	,453
PPCrot2	112	,830	,228	,823	,453
PPCrec2	112	,707	,228	,555	,453
FLEXacc1	112	-,159	,228	,350	,453
FLEXacc2	112	-,276	,228	-,005	,453
foria1	112	1,033	,228	,724	,453
forie2	112	-,332	,228	3,299	,453
stereoL1	112	3,678	,228	13,500	,453
stereoL2	112	3,893	,228	15,140	,453
stereoG1	112	4,544	,228	21,502	,453
stereoG2	112	4,919	,228	25,100	,453
Valid N (listwise)	112				

Tabella 3: asimmetria e curtosi delle variabili continue

Dopo aver effettuato le trasformazioni si nota che le variabili trattate con Log10 hanno avuto una trasformazione adeguata, per cui è possibile procedere con statistiche parametriche. Le variabili che presentavano una asimmetria positiva molto elevata sono state ricodificate utilizzando il loro reciproco; questa trasformazione, tuttavia non ha sortito nessun effetto. Si procede quindi con una statistica non parametrica.

	N	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
IndiceAlog	112	-,269	,228	-,428	,453
Indice Blog	95	-,118	,247	-,902	,490
IndiceClog	98	-,461	,244	-,361	,483
PPN1log	112	,356	,228	-,121	,453
PPN2log	112	,415	,228	,834	,453
PPCrot1log	112	,103	,228	-,515	,453
PPCrec1log	112	-,130	,228	-,233	,453
PPCrot2log	112	-,210	,228	-,384	,453
PPCrec2log	112	-,362	,228	-,150	,453
foria1log	95	,004	,247	-,828	,490
Valid N (listwise)	76				

Tabella 4: simmetria e curtosi corrette con Log10

	N	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
stereoL1rec	112	-3,048	,228	7,759	,453
stereoL2rec	112	-3,265	,228	9,183	,453
stereoG1rec	112	-3,809	,228	13,189	,453
stereoG2rec	112	-4,179	,228	16,260	,453
Valid N (listwise)	112				

Tabella 5: variabili corrette con il reciproco (1/n)

Per le analisi successive si utilizza un Test T di Student per campioni appaiati, visto che i dati provengono dai medesimi soggetti. Si è potuto utilizzare una statistica parametrica perché le trasformazioni con Log10 sono state efficaci. Alcune variabili, come gli indici b e c e Ppcrot2 e Ppcrec2 sono state utilizzate senza essere trasformate perché gli indici di curtosi e simmetria erano adeguati.

LAMPADE FLUORESCENTI A SPETTRO CONTINUO

		N	Correlation (r)	Sig.
Pair 1	indiceB & indiceC	55	,558	,000
Pair 2	PPN1LOG & PPN2LOG	55	,835	,000
Pair 3	FORIA1LG & FORIA2LG	41	,801	,000
Pair 4	PPCROT1LOG & ppcrot2log	55	,876	,000
Pair 5	PPCREC1LOG & ppcrec2log	55	,896	,000
Pair6	FLEXacc1 & FLEXacc2	55	,925	,000

Tabella 4: correlazione tra le due variabili appaiate

Tutte le variabili prese in considerazione sono positivamente correlate tra loro in maniera significativa. Questo significa che i soggetti che hanno ottenuto valori sopra la media nella prima variabile, hanno continuato ad ottenerli nella seconda, e che soggetti che hanno ottenuto valori sotto la media li hanno ottenuti anche nella seconda.

		Paired Differences			T	Df	Sig. (2-tailed)
		Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
Pair 1	indiceB - indiceC	,03939	-,05754	,13633	,815	54	,419
Pair 2	PPN1LOG - PPN2LOG	,02171	,00527	,03814	2,648	54	,011
Pair 3	FORIA1LG - FORIA2LG	,01468	-,04233	,07169	,521	40	,606
Pair 4	PPCROT1LOG - ppcrot2log	,01553	-,00810	,03916	1,317	54	,193
Pair 5	PPCREC1LOG - ppcrec2log	,02338	,00230	,04445	2,224	54	,030
Pair 6	FLEXacc1 - FLEXacc2	-1,745	-2,153	-1,338	-8,597	54	,000

Tabella 5: sintesi dei risultati del T-Test

La tabella riassuntiva dei T Test effettuati mostra che ci sono differenze statisticamente significative ($p < 0.05$) tra le medie del punto prossimo di visione nitida eseguito prima e dopo un periodo di attività visiva prossimale utilizzando lampade fluorescenti a spettro continuo. Osservando la Tabella 6, infatti, si può notare come la media dei valori del PPN dopo l'esposizione assuma un valore minore rispetto a quella del PPN eseguita prima. È presente un'alta significatività statistica dei risultati ottenuti anche per quanto riguarda la flessibilità accomodativa ($p < 0.001$); in questo caso, la media dei cicli al minuto eseguiti prima del lavoro prossimale è inferiore alla media dei cicli al minuto eseguiti dopo. Non sono stati rilevati risultati statisticamente significativi per quanto riguarda la differenza tra la media dei punti di rottura, eseguiti prima e dopo l'attività visiva al punto prossimo ($p = 0.193$). La media dei rispettivi punti di recupero, invece, varia significativamente ($p < 0.05$); in questo caso, la prima variabile (media dei punti di recupero prima) è più alta della seconda (media dei punti di recupero dopo). Negli altri valori non si evidenziano differenze significative, ossia tra la prima variabile e la seconda non ci sono stati cambiamenti rilevanti.

LAMPADE FLUORESCENTI TRADIZIONALI

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 indiceB & indiceC	57	,767	,000
Pair 2 PPN1LOG & PPN2LOG	57	,850	,000
Pair 3 FORIA1LG & FORIA2LG	38	,840	,000
Pair 4 PPCROT1LOG & ppcret2log	57	,904	,000
Pair 5 PPCREC1LOG & ppcrec2log	57	,906	,000
Pair 6 FLEXacc1 & FLEXacc2	57	,924	,000

Tabella 6: correlazione tra le due variabili appaiate

Anche per il gruppo delle lampade tradizionali si osserva correlazione positiva e significativa per tutte le variabili prese in considerazione.

	Paired Differences			T	df	Sig. (2-tailed)
		95% Confidence Interval of the Difference				
Pair 1 indiceB – indiceC	-,27778	-,35407	-,20149	-7,294	56	,000
Pair 2 PPN1LOG - PPN2LOG	-,03592	-,05222	-,01962	-4,415	56	,000
Pair 3 FORIA1LG - FORIA2LG	,02948	-,02758	,08654	1,047	37	,302
Pair 4 PPCROT1LOG – ppcrot2log	-0,05906	-,07808	-,04004	-6,220	56	,000
Pair 5 PPCREC1LOG – ppcrec2log	-0,04843	-,06751	-,02936	-5,087	56	,000
Pair 6 FLEXacc1 – FLEXacc2	,386	-,005	,777	1,978	56	,053

Tabella 7: sintesi dei risultati del T-Test

Nella tabella che riassume i risultati del T Test emerge quanto segue: per il primo appaiamento, ovvero il confronto tra i punteggi ottenuti nella seconda parte del questionario e quelli ottenuti nella terza, la differenza tra le medie è significativa ($p < 0.001$); i valori di indice C (terza parte) sono più alti di quelli dell'indice B (seconda parte). La significatività è presente anche nel confronto tra la media dei valori del PPN prima e quella del PPN dopo l'attività visiva prossimale, dove $p < 0.001$, ed anche qui la media dei valori del PPN prima dello studio sono significativamente più alti di quelli dei valori del PPN dopo lo studio. Nel confronto tra le forie prima e dopo, non emerge significatività, infatti $p = 0.302$. Nel confronto tra i valori di rottura e recupero prima e dopo l'attività visiva prossimale è presente significatività, infatti in entrambi i casi $p < 0,001$ e i valori di rottura e recupero sono più bassi prima dell'esposizione alle lampade. Non sono stati registrati risultati statisticamente significativi nel test della flessibilità accomodativa; la differenza tra le medie dei cicli al minuto eseguiti prima e dopo l'attività visiva prossimale non varia significativamente, con $p = 0.053$.

DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

Questo studio è stato eseguito per confrontare le variazioni indotte dallo stress prossimale nel sistema visivo, utilizzando due diverse tipologie di illuminazione, ovvero lampade fluorescenti standard e lampade fluorescenti a spettro continuo.

Come precedentemente descritto, un lavoro prolungato ad una distanza ravvicinata può indurre dei cambiamenti nel sistema visivo, quantificabili sia a livello soggettivo che oggettivo.

Da quanto emerso dall'analisi della seconda e terza parte del questionario, i soggetti esposti alle lampade fluorescenti a spettro continuo non mostrano variazioni soggettive significative della percezione dello stress visivo ($p=0.419$).

Il gruppo esposto alle lampade tradizionali, invece, riporta una sensazione di stress visivo significativamente maggiore ($p<0.001$).

Osservando i dati forniti dai calcoli dell'analisi statistica si ha conferma dell'alta significatività dei risultati ottenuti. Per quanto riguarda il confronto tra le medie dei valori del PPN, si osserva che, con le lampade fluorescenti tradizionali, vi sono delle differenze significative tra prima e dopo l'attività visiva ($p < 0.001$); in questo caso, si nota che la media dei valori del PPN eseguiti prima ha un valore minore rispetto a quella eseguita dopo. Il PPN, quindi, si allontana dai soggetti, e questo fa ipotizzare che probabilmente la concentrazione e l'eccessiva domanda di convergenza per tempi prolungati abbiano reso difficoltoso l'impegno al punto prossimo, allontanando l'accomodazione dal piano di sguardo. Nel sottocampione che ha utilizzato le lampade fluorescenti a spettro continuo, invece, la media dei valori del PPN eseguita prima dell'esposizione, assume un valore maggiore rispetto a quella eseguita dopo, con alta significatività nei risultati ($p<0.05$). Al contrario di quanto avviene con le lampade tradizionali, in questo caso il PPN si avvicina agli esaminati.

Secondo il modello funzionale, cui fa riferimento anche Skeffington, la prolungata attenzione e l'attività mentale intensa, che interviene durante le ore di studio, attiverebbe il sistema nervoso simpatico a produrre un rilassamento accomodativo. In questo modo, il piano dell'accomodazione si sposterebbe più lontano nello spazio rispetto al punto in cui si trova realmente il piano dell'oggetto d'interesse. Questo allontanamento da parte dell'accomodazione, che

si verifica in coloro che hanno utilizzato lampade fluorescenti tradizionali, quindi, sembra confermare questa risposta-stress da parte del sistema visivo affaticato dal lavoro prossimale. Il fatto che, al contrario, nei soggetti che hanno fatto uso di lampade fluorescenti a spettro continuo, il PPN si sia avvicinato, può far ipotizzare una minore presenza di stress visivo.

Per quanto riguarda la valutazione del test del PPC, nel sottocampione che ha fatto uso delle lampade fluorescenti tradizionali si trovano risultati statisticamente significativi ($p < 0.001$) sia per quanto riguarda la differenza tra la media dei punti di rottura, che per quella dei punti di recupero, eseguiti prima e dopo l'attività a distanza prossimale. In entrambi i casi, infatti, la media delle prime variabili (rottura prima e recupero prima) assume un valore inferiore rispetto alla media delle seconde variabili (rottura dopo e recupero dopo). Questo significa che i punti di rottura e recupero eseguiti dopo l'esposizione sono più remoti rispetto agli esaminati rispetto a quelli eseguiti prima dell'attività a distanza prossimale. Questo risultato può far postulare che l'allontanamento sia dovuto allo stress visivo provocato dall'attività prossimale.

Negli esaminati che hanno fatto uso delle lampade fluorescenti a spettro continuo non sono stati rilevati risultati statisticamente significativi per quanto riguarda la differenza tra la media dei punti di rottura, eseguiti prima e dopo l'attività visiva al punto prossimo ($p = 0.193$). La media dei rispettivi punti di recupero, invece, varia significativamente ($p < 0.05$); in questo caso, la prima variabile (media dei punti di recupero prima) è più alta della seconda (media dei punti di recupero dopo), e questo significa che, dopo l'attività prossimale, il recupero della visione binoculare avviene ad una distanza più ravvicinata rispetto a prima. Questo risultato è positivo e può far supporre che il sistema sia più rilassato e più rapido nel ristabilire la visione binoculare.

Nella valutazione delle forie, pur osservando una tendenza ad uno spostamento verso l'exoforia da parte degli esaminati che hanno fatto uso delle lampade fluorescenti a spettro continuo, e una tendenza ad uno spostamento verso l'esoforia nell'altro sottocampione, non sono stati rilevati risultati statisticamente significativi (rispettivamente $p = 0.606$ e $p = 0.302$).

Come suggerito dalle teorie sullo stress visivo prossimale, quando subentra stress nel sistema, generalmente si verifica uno scivolamento esoforico. Stewart (1945) ha dimostrato l'aumento di esoforia per vicino in seguito ad attività binoculare in soggetti che trascorrevano mezz'ora a fissare stereogrammi a distanza prossimale. Vaegan (1979) dimostrò l'aumento di esoforia per vicino già durante i primi 15 secondi in cui i soggetti esaminati fissavano l'Ala di Maddox. Secondo Forrest (1960), un simile aumento di esoforia è spesso quantificabile quando la misurazione della foria è effettuata prima e dopo un breve periodo di lettura.

Per quanto riguarda la valutazione della flessibilità accomodativa, nei soggetti che hanno fatto uso delle lampade fluorescenti a spettro continuo, la media dei cicli eseguiti in un minuto si alza dopo il lavoro a distanza prossimale, con risultati statisticamente significativi ($p < 0.001$); questo mi fa pensare che il sistema sia più rilassato e più flessibile, anche in seguito ad un impegno sostenuto al punto prossimo. Al contrario, con le lampade fluorescenti tradizionali la media dei cicli si abbassa, ma senza significatività ($p = 0.053$). Per questo test non sono state registrate la difficoltà o incapacità di focalizzare attraverso l'una o l'altra lente, come invece consigliato (Formenti, 2013); sono stati registrati solamente il numero di cicli al minuto, perché lo scopo non era quello di fare diagnosi, bensì di valutare i cambiamenti nella flessibilità accomodativa tra prima e dopo un lavoro a distanza prossimale.

Birnbaum (Birnbaum, 1985) sostiene vi sia, in presenza di stress visivo, un continuo spostamento dell'accomodazione e della convergenza, che porta un'inadeguata flessibilità tra i due sistemi. Secondo Formenti (Formenti, 2013), in presenza di stress visivo si manifesta una continua alternanza di risposta simpatica e parasimpatica, che stressa il sistema accomodativo, rendendolo meno efficiente e flessibile. Il fatto che, utilizzando lampade fluorescenti a spettro continuo, il numero di cicli sia maggiore dopo l'attività prossimale è un fattore estremamente positivo, e mi fa ipotizzare che il sistema non si sia irrigidito col lavoro a distanza prossimale, ma sia rimasto flessibile nel tempo.

La stereopsi può alterarsi se il sistema è poco stabile, ad esempio in presenza di elevate forie, che normalmente vengono compensate da riserve che dopo uno sforzo eccessivo non reggono. In questo studio, sia utilizzando lampade

fluorescenti tradizionali, che a spettro continuo, si è notato che i valori di stereopsi prima dell'esposizione, non variavano dopo l'esposizione. La stereopsi, quindi, sembra non essere influenzata dal lavoro prossimale e dalla tipologia di lampada utilizzata.

Mentre i risultati ottenuti utilizzando lampade fluorescenti tradizionali sembrano evidenziare dei segni comunemente associati allo stress visivo prossimale, come si può notare dai test PPN, PPC, l'utilizzo delle lampade fluorescenti a spettro continuo sembra, invece, favorire un rilassamento del sistema visivo, come si può notare dai test PPN, flessibilità accomodativa, PPC.

Il comfort visivo è garantito da un'adeguata gradazione dei contrasti nel campo visivo, e il fatto che le lampade fluorescenti a spettro continuo permettano una miglior visione del contrasto, rispetto alle lampade fluorescenti tradizionali, potrebbe aver influito sulle performance.

Da risultati di diversi test sperimentali emerge che la temperatura di colore influenza lo stato di sonnolenza e l'attenzione (Noguchi & Sakaguchi, 1999; Figueiro, Rea & Bullough, 2006): il sistema nervoso centrale, alla presenza di una luce proveniente da una sorgente con temperatura colore di 3000K, appare più rallentato rispetto a una sorgente di 5000K. Il fatto che le lampade fluorescenti a spettro continuo abbiano una temperatura colore superiore rispetto alle lampade fluorescenti tradizionali potrebbe aver influito sulle performance degli esaminati, aumentando l'attenzione e permettendo una miglior performance al punto prossimo.

Il fatto che le lampade fluorescenti a spettro continuo riproducano in modo quasi identico lo spettro naturale della luce del giorno potrebbe aver influito positivamente sul sistema visivo, in accordo con gli studi di Maas (1974), Ott (1973), Tibbs (1981), Chonce (1983) e Wolfarth (1984). I raggi ultravioletti emessi dalle lampade fluorescenti a spettro continuo sono indispensabili per l'organismo, anche se l'esposizione deve essere a giuste dosi e con corrette modalità. Anche se poco noti, gli studi che hanno dimostrato che una carenza di raggi ultravioletti ha un effetto di indebolimento del sistema immunitario, sono innumerevoli (Felten 1991). Gli studi di Ott, hanno indicato come i raggi

ultravioletti abbiano un ruolo decisivo per il corretto funzionamento del sistema immunitario (Ott 1985). Altri studi noti sugli effetti positivi della luce ad ampio spettro sono quelli di Warren, durati 2 anni ed effettuati sostituendo le lampade nelle aule scolastiche su 327 bambini delle scuole elementari. Queste ricerche hanno evidenziato che gli studenti delle aule cui erano state cambiate le luci con tubi ad ampio spettro e sorgenti aggiuntive di ultravioletti furono quelli che, in assoluto, ebbero i migliori risultati con migliori risultati scolastici, crescita e sviluppo di tutti gli altri gruppi (Warren 1996).

Questa tipologia di illuminazione è stata utilizzata anche all'interno di alcune navicelle spaziali della NASA - con miglioramenti significativi dell'attenzione e dello stato d'animo degli astronauti -(Holler, 1996) e su tutti i sottomarini Polaris degli USA (Branddmayr, Kohler). Questo è stato fatto perché le luci fluorescenti a spettro continuo sono quelle che mimano più fedelmente la luce solare.

Per questo studio non è stato possibile controllare tutte le variabili; le pareti scure presenti nella sezione antica della biblioteca, ad esempio, potrebbero aver influito sulla performance degli esaminati che hanno studiato in quelle aule, cosa che invece non è successo nella sezione moderna, dove sono presenti delle pareti color bianco-crema. Sarebbe quindi un lavoro interessante valutare le performance visive in laboratorio, controllando meglio tutte le variabili che potrebbero influenzare positivamente o negativamente le performance.

Partendo dai risultati ottenuti da questo studio, un altro spunto per un approfondimento futuro potrebbe essere quello di confrontare lo stesso campione di soggetti, dopo un periodo di tempo di attività visiva a distanza prossimale, sia utilizzando lampade fluorescenti tradizionali, che a spettro continuo.

Appendice 1

Nome: _____ Et : _____ sesso: _____

Professione: _____

1. Di solito, durante o dopo una prolungata attivit  da vicino, le capita di:

SINTOMI SOGGETTIVI	mai	a volte	Spesso	sempre
provare tensione o fatica visiva?				
sentire tensione o pesantezza oculare?				
avere episodi di visione doppia?				
sentire secchezza oculare?				
avere mal di testa?				
avere difficolt� a mantenere a fuoco parole o immagini?				
avvertire una maggiore lentezza nelle sue performance?				
provare sonnolenza?				
accusare fastidi fisici come male al collo, alle spalle, ai polsi?				

2. Oggi si sente:

SINTOMI SOGGETTIVI	no	poco	molto
Stanco o teso?			
mal di testa?			
male al collo, alle spalle?			
Pesantezza o secchezza oculare?			
Brucciore agli occhi?			
Difficolt� a concentrarsi?			

DOPO L'ATTIVITA' DI LETTURA O STUDIO

3. Ora si sente:

SINTOMI SOGGETTIVI	no	poco	molto
Stanco o teso?			
mal di testa?			
male al collo, alle spalle?			
Pesantezza o secchezza oculare?			
Brucciore agli occhi?			
Difficolt� a concentrarsi?			

Grazie per aver compilato con cura il questionario

Questo screening non sostituisce un esame della vista presso un ottico optometrista o un oculista.

Appendice 2

Nome

MISURAZIONI PRIMA DELL'ATTIVITA' DI LETTURA

PPA (cm)

PPC (cm) rottura recupero
[9-15 cm]

FLEX. ACCOMODATIVA c/30sec c/m

STEREOPSI (sec d'arco) globale locale
Perif 580 290
Parac 350 233 115
Centr 290 233 175
 115 58

FORIE eso / exo

MISURAZIONI DOPO L'ATTIVITA' DI LETTURA

PPA (cm)

PPC (cm) rottura recupero

FLEX. ACCOMODATIVA c/30sec c/m

STEREOPSI (sec d'arco) globale locale
Perif 580 290
Parac 350 233 115
Centr 290 233 175
 115 58

FORIE eso / exo

BIBLIOGRAFIA

Aamodt S & Wang S.; *The sun is the best Optometrist*, The New York Times, Giugno 2011

Amsler D.; *When stress strains vision*, Review of Optometry, Luglio 2011

Anshel J.; *Visual ergonomics in the workplace*, Taylor&Francis, 1999, pp 16-20

Barbalace., Gugliermetti F., Lucchese F., Bisegna F.; *Studio per la valutazione degli effetti della luce sugli esseri umani*, Report Ricerca di Sistema Elettrico - Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA, Settembre 2012

Birnbaum M.H.; *Optometric management of nearpoint vision disorders*, Butterworth-Heinemann, 1937

Boray P.F, Gifford R. & Rosenblood L.; *Effects of warm white, cool white and full-spectrum fluorescent lighting on simple cognitive performance, mood and ratings of others*, Journal of Environmental Psychology, 1989, pp 297-308

Boyce P., Hunter C., Howlett O. ; *The benefits of Daylight through Windows*, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Settembre 2003

Canova C.; *Dispense corso Epidemiologia e biostatistica*, Università degli Studi di Padova – CdL in Ottica e Optometria, A.A. 2013/2014.

Dattola S.; *L'approccio positivo al punto prossimo*, PO Professional Optometry, Gennaio 2010, pp 14-20

Edward C., Godnig O.D., Hacunda J.S.; *Computer & Stress visivo*, Albo degli Optometristi, 1995, pp 5-9

Francke A.W. & Kaplan W.J.; *Easier and more productive study and desk work*, J Am Optometric Association, Agosto 1978, 931-939

Formenti M.; *Dispense corso Tecniche fisiche per l'optometria 2- "Lo stress visivo"*, Università degli Studi di Padova – CdL in Ottica e Optometria; A.A. 2013/2014.

Forrest E.B.; *Visione e stress*, A.d.O. – A.E.S.V. , 1993

Gabaldo M.; *Il processo di miopizzazione in età scolastica*, Articolo tratto dalla tesina “Lo stress visivo prossimale” presentata all’esame di abilitazione per ottici all’Istituto M. Buonarroti di Verona, PO Professional Optometry, Luglio/Agosto 2013

Giannelli, Gianelli & Moro, *L'esame visivo efficace*, Medical Books, I Edizione, Giugno 2012

Gilman G.; *Aspetti comportamentali e funzionali della visione*, European Society of Optometry, Ottobre 1983, pp 26A-26F

Górnicka G.; *Lighting at Work - Environmental Study of Direct Effects of Lighting Level and Spectrum on Psychophysiological Variables*, Eindhoven, Agosto 2008

Grosvenor T.; *Primary care optometry*, Butterworth-Heinemann, IV edizione, 2002, pp 325-329

Heschong L.; *Daylighting and human performance*, ASHRAE Journal, Giugno 2002, pp 65-67

Heschong L.; *Daylighting makes a difference*, Educational Facility Planner. 2002

Heschong L., Wright R.L., Okura S., Klein P.D., Simner M., Berman S. & Clear R.; *Daylighting impacts on human performance in school*, Journal of Illuminating Engineering Society, 2002, pp 100-114

Joseph A.; *The impact of Light on Outcomes in Healthcare Settings*, The Center for Health Design, Agosto 2006

Liberman J.; *Die heilende Kraft des Lichts – der Einfluss des Licht auf Psyche und Körper“ (La forza curativa della luce – l’influenza della luce su psiche e corpo)*, edizione Piper, Monaco 1996

Maas, James B., Jayson J.K., Douglas A. & Kleiber; *Effects of spectral differences in illumination on fatigue*, Journal of Applied Psychology, Vol.59, Agosto 1974, pp. 524-526

Manzoli M.V, Rota I., Facchin A., Maffioletti S.; *La stereopsi globale e locale*, Quaderni acp 2011; 18(1): 27-31

Majoros A.; *Artificial Lighting*, Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Architecture - Department of Building Energetics and Services, 2011

McCull S.L & Veitch J.A.; *Full-spectrum fluorescent lighting: a review of its effects on physiology and health*, NRC-CNRC National Research Council of Canada, 2001

Moncada Lo Giudice G. & De Lieto Vollaro A. ; *Illuminotecnica*, casa editrice Ambrosiana, III edizione, 2011

Mott M.S, Robinson D.H, Walden A., Burnette J., Rutherford A.S.; *Illuminating the effects of dynamic lighting on student learning*, SAGE Open, Aprile-Giugno 2012, pp 1-9

Noguchi H., Sakaguchi T.; Effect of illuminante and color temperature on lewering of psysiological activity, Journal of Physiological Anthropology and applied human science, vol 18, 1999, n.4, pp 117-123

Ong E. & Ciuffreda K.J.; *Accomodation, nearwork and miopia*, Optometric Extension Program, 1997

Ott J.N.; *Risikofaktor Kunstlicht – Stress durch falsche Beleuchtung (Fattore di rischio luce artificiale – Stress causato da illuminazione sbagliata)* , edizione Knauer, Monaco 1989

Ott J.N.; *The effects of Natural and Artificial Light on Man and Other Living Things*, Pocket Books, New York, 1973

Ravizza D.; *Progettare con la luce*, ed. FrancoAngeli, 7[^] ristampa, 2009

Roncagli V., *Valutazione e trattamento dei disturbi visivi funzionali: la sequenza analitica*, Ed. Il contatto Volume 1 , Gennaio 1996

Rosenfield M. & Gilmartin B.; *Miopia and nearwork*, Butterworth-Heinemann, 1998, pp 162-163, 117-121

Rossetti A, Gheller P.; *Manuale di optometria e contattologia*, Ed. Zanichelli, II edizione, 2003

Salani E.; *Lampade fluorescenti*, Radio Giornale Milano, 1950, pp 7-9

Scartezzini J.L.; *Principi d'illuminotecnica*, Ravel, 1993

Smith A.; *Lighting and its effect*, Occupational Optometry, Settembre 2003

Smith N.A.; *Lighting for health and safety*, Butterworth Heinemann, Oxford, 2000

Tennant V.; *The powerful impact of stress*, Johns Hopkins University, Settembre 2005

Tithof W.; *The effects of full spectrum light on student depression as a factor in student learning dissertation*, università di Walden, 1998

Van Bommel W.J.M & Van den Beld G.J.; *Lighting for work: visual and biological effects*, Philips, Aprile 2004

Veitch J.A, Gifford R. & Hine D.W.; *Demand characteristics and full spectrum lighting effects on performance and mood*, Journal of Environmental Psychology, 1991, pp 87-95

Veitch J.A. & McColl S.L.; *A critical examination of perceptual and cognitive effects attributed to full-spectrum fluorescent lighting*, NRC-CNRC National Research Council of Canada, 2001

Villani S.; *Optometria e Oftalmometrologia*, University of Latvia, II Volume, 1994, pp 638-639

Villani S.; *Optometria- parte I,II,III*, Ed Giunti, 1971, pp.369

Wilkins A., Huang J., Cao Y.; *Visual stress theory and its application to reading and reading tests*, Journal of Research in Reading, ISSN 0141-0423, Volume 27, 2004, pp 152-162

Wilmer J.B & Bunchanan G.M.; *Nearpoint phorias after nearwork predict ADHD symptoms in college students*, Optometry and Vision Science, vol.86, No. 8, Agosto 2009

Yeni M.; *Valutazione comparativa della radiazione generata da una lampada fluorescente (True-Light N7-1A-36W) e dei suoi effetti foto biologici, e della radiazione di riferimento naturale dello spettro UV*, TU Berlino, Maggio 2005

Zumtobel Lighting GmbH; *Manuale Illuminotecnico Pratico*, I edizione, Ottobre 2013

RINGRAZIAMENTI

La persona che più mi sento di ringraziare per la realizzazione di questa tesi è mia sorella Irene. Grazie perché senza i tuoi aiuti e suggerimenti non ce l'avrei mai fatta a portare a termine il mio progetto.

Grazie al mio papà, perché è sempre stato pronto a darmi una mano nel momento del bisogno e mi ha sempre incoraggiata. So che sei orgoglioso di me, ma forse non sai che io lo sono il doppio, di te. Grazie anche a mia mamma e a mio fratello, indispensabili e sempre pronti ad aiutarmi.

Grazie alla mia stupenda famiglia, per il supporto e la pazienza.

Grazie alle mie grandi amiche Elena, Anita, Chiara, Laura e Lizandra; ci siete sempre per me e nei momenti “no” mi avete sempre aiutata a rialzarmi.

Grazie alle mie tre splendide compagne di corso preferite, Alice, Arianna e Lisa. In questi tre anni assieme ci siamo sempre date una mano, e buona parte dei miei successi li devo a voi e alla nostra collaborazione. Siete delle vere amiche.

Grazie a Monica, la mia sostenitrice numero uno e la mia forza. Grazie di aver sempre creduto in me, credo tu mi abbia salvata.

Infine, grazie a Dominga e Barbara; il vostro aiuto è stato prezioso. Grazie di essere sempre state disponibili e comprensive.