

Facoltà degli studi di Padova
Dipartimento di Fisica e Astronomia “G. Galilei”
Corso di laurea triennale in Ottica e Optometria



TESI DI LAUREA

Radiazione ultravioletta (UV) e luce visibile ad alta energia
(HEV):
effetti e cautele in campo ottico, oftalmico e oftalmologico.

Relatore:

Dott. Rossetti Anto

Correlatore:

Dott. Carraro Giovanni

Candidato:

Ragazzo Massimo

N° Matricola 1123407

Luglio 2018

INDICE

INDICE	3
Introduzione	5
Capitolo 1: Cenni di fisica e ottica: luce, effetti ottici e spettroscopia	7
<i>1.1 Cos'è la luce?</i>	7
<i>1.2 Ottica: luce e materia interagiscono tra loro</i>	9
<i>1.3 Spettroscopia e identità dello spettro della radiazione elettromagnetica.</i>	13
<i>1.4 Dalla fisica alla componente biologica: relazione tra i due aspetti.</i>	19
Capitolo 2: Caratteristiche della radiazione ultravioletta (UV) e della luce visibile ad alta energia (HEV)	21
<i>2.1 Componente della luce: radiazione ultravioletta (UV)</i>	21
<i>2.2 La radiazione visibile</i>	25
<i>2.3 Radiazione visibile ad alta energia (HEV) e luce BLU</i>	26
Capitolo 3: Effetti della radiazione elettromagnetica UV in campo oftalmico.	29
<i>3.1 Descrizione dell'interazione tra radiazione elettromagnetica UV e l'occhio</i>	29
<i>3.2 Patologie oculari causate dalla radiazione ultravioletta riconosciute dall'OMS</i>	31
<i>3.3 Condizioni cliniche oculari alterate da un'eccessiva esposizione di radiazione UV</i>	34
<i>3.4 Radiazione ultravioletta e vitamina D</i>	38
<i>3.5 Effetto della radiazione ultravioletta su presbiopia e miopia</i>	40
Capitolo 4: Effetti della radiazione elettromagnetica HEV in campo oftalmologico ed effetti sulla salute generale.	43
<i>4.1 HEV e patologie della retina.</i>	44
<i>4.2 Tecnologia LED e radiazione visibile blu/HEV</i>	46
Capitolo 5: Prevenzione della malattia e tutela della salute dalle radiazioni UV e HEV: soluzioni oftalmiche	49
<i>5.1 Trattamenti e filtri UV</i>	49
<i>5.2 Trattamenti e filtri per la luce HEV</i>	56
<i>5.3 Soluzioni oftalmiche in commercio per proteggersi dalla luce UV e HEV.</i>	57

Capitolo 6: Rappresentazione dello spettro elettromagnetico UV e HEV in materia oftalmologica, ottica e oftalmica: constatazioni, applicazioni e conclusioni della tesi.	64
<i>6.1 Realizzazione del poster ai fini di prevenzione della malattia</i>	<i>64</i>
<i>6.2 Utilizzo del poster: assistenza alla migliore scelta oftalmica</i>	<i>66</i>
<i>6.3 Conclusioni sulla ricerca dei prodotti oftalmici in commercio</i>	<i>72</i>
Bibliografia	73

Introduzione

Negli anni numerose figure interessate all'ambito della fisica hanno studiato le natura della luce effettuando sperimentazioni che trovano riscontro anche nell'ambito dell'ottica. Ad oggi la natura della luce è conosciuta come duale: una componente ondulatoria e una particellare. La luce è dunque una radiazione elettromagnetica.

La luce è una forma di energia ed interagisce con l'uomo ogni giorno. Medici e fisiologi si sono interessati all'influenza che la luce ha sulla salute delle persone.

In particolar modo, oftalmologi ed esperti della visione, ovvero gli optometristi, hanno studiato la relazione tra la radiazione elettromagnetica e la struttura oculare dell'uomo.

La tesi viene introdotta con un'analisi delle conoscenze attuali sulla luce in ambito della fisica. In particolar modo si esamina la radiazione ultravioletta e la luce visibile ad alto contenuto energetico.

In seguito si espone una ricerca della letteratura in ambito oftalmologico. Si approfondiscono le conoscenze in ambito oftalmico ai fini di conoscere gli strumenti attualmente conosciuti per prevenire possibili danni alla salute causati dall'interazione con le radiazioni elettromagnetiche UV e HEV.

Si espone, inoltre, un'analisi dei prodotti disponibili sul mercato.

Il fine della tesi è la realizzazione di un poster per la prevenzione della malattia. La funzione dell'elaborato è rendere consapevole ogni individuo dei possibili danni che le radiazioni UV e HEV possono provocare e fornire informazioni sulle possibili strategie oftalmiche che ogni individuo può attuare per prevenirli.

Capitolo 1: Cenni di fisica e ottica: luce, effetti ottici e spettroscopia

1.1 Cos'è la luce?

La luce è da sempre stata un oggetto di studio per l'uomo.

Se nell'antica Grecia era identificata puramente come un aspetto filosofico o quasi, solo nel '600 la luce è diventata un aspetto di studio per la fisica quando Isaac Newton idealizzò la prima teoria corpuscolare della luce. Secondo il famoso scienziato, la luce era un insieme di minuscoli corpuscoli che si muovono in un moto ad altissime velocità ma non infinite.

Questo permetteva di spiegare l'effetto ottico della riflessione come urto elastico, ovvero come se la materia potesse rimbalzare su alcuni oggetti. Più difficile era interpretare la rifrazione, ovvero come i corpuscoli potessero attraversare alcuni oggetti. Questa doveva venire per deviazione delle particelle all'interno dei materiali ⁽¹⁾.

La natura ondulatoria, ovvero come la luce potesse avere un moto, ebbe un primo vero processo scientifico di studio con Huygens nel 1678. Esposta nel 1690 nel testo "*Traité de la lumière*", la teoria di Huygens idealizzò la propagazione della luce secondo un moto armonico di particelle elastiche.

Solo nel 1801, T. Young ne diede una conferma empirica con un esperimento nel quale identificava il fenomeno dell'interferenza della luce ⁽¹⁾.

In seguito Maxwell nel 1865 nel testo "*A Dynamical Theory of the Electromagnetical Field*" espone le equazioni che permettono correlare i campi elettrico e magnetico, idealizzando le onde elettromagnetiche. Dalle basi poste da Gauss, Faraday e Ampère, il fisico correlò quattro equazioni (espresse in forma differenziale, in spazio libero) ⁽²⁾:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot E &= 0 \\ \nabla \cdot B &= 0 \\ \nabla \times E &= -\frac{\partial B}{\partial t}\end{aligned}$$

$$\nabla \times B = \frac{1}{c^2} \frac{\partial E}{\partial t}$$

Dove:

$\nabla \cdot$ = gradiente del ...

$\nabla \times$ = divergenza del ...

E = campo elettrico (N/C)

B = campo magnetico (T)

c = velocità della luce (m/s)

t = tempo (s)

Una volta risolto l'insieme delle equazioni, Maxwell presuppone una correlazione tra luce e onde elettromagnetiche. Il risultato porterà al calcolo sperimentale della velocità di propagazione della luce nel vuoto, in modo preciso. Il risultato è ⁽³⁾:

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

Questo valore era stato precedentemente trovato in modo indiretto tramite esperimenti di vario genere come quello nel '600 di Roemer ⁽⁴⁾, ma mai seguendo delle leggi fisiche.

Se la relazione tra luce e moto ondulatorio era ormai un'idea già consolidata, mancava invece una constatazione sulla materia che compone la luce.

Con lo studio di Max Planck sul corpo nero, vennero identificati i quanti di energia:

$$E = h\nu$$

Dove:

E = energia (J)

h = costante di Planck = $6,6 \times 10^{-34}$ J/s

ν = frequenza d'onda (hz = 1/s)

Planck identificò per la prima volta una relazione tra energia e frequenza d'onda.

Questa relazione è stata una delle basi dell'identificazione dell'effetto fotoelettrico che valse a Einstein nel 1905 il Nobel per la fisica.

Dall'interpretazione delle scoperte e delle interpretazioni di Planck, Hertz e Von Lenard ⁽⁵⁾ Einstein identifica la luce come un insieme di quanti di energia distribuiti in modo non uniforme nell'onda di luce. Sono i quanti di energia che identificano la luce nella natura corpuscolare, e questi vanno singolarmente ad interagire con le particelle atomiche ⁽⁶⁾.

$$\frac{1}{2}mv^2 = hv - \phi$$

Dove:

$\frac{1}{2}mv^2$ = energia cinetica degli elettroni(J)

h = costante di Planck (Js)

v = frequenza d'onda (hz = 1/s)

ϕ = energia di estrazione di un fotone (J)

La legge correla l'energia cinetica (l'energia data dal movimento delle particelle) con le caratteristiche fisiche della luce (velocità e lunghezza d'onda), ovvero la natura ondulatoria ⁽⁷⁾.

A conferma della teoria di Einstein, Compton nel 1917 riesce ad attribuire sperimentalmente una quantità di moto ai quanti di luce, in seguito definiti per la prima volta fotoni nel 1926 da Lewis ⁽⁷⁾.

L'insieme delle scoperte esposte definisce ancor oggi la natura duale della luce.

1.2 Ottica: luce e materia interagiscono tra loro

Tutte le scoperte sulla natura della luce sono state supportate da studi di interazione tra luce e la materia. Dall'osservazione di alcuni fenomeni ottici, si sono potuti determinare numerosi comportamenti della luce stessa.

Digitando nel vocabolario online Treccani la parola "ottica" possiamo avere una semplice definizione come: "*Parte della fisica che studia i fenomeni relativi alla luce con strutture cristalline. Con riferimento a particolari applicazioni dell'analisi dei fenomeni ottici [...].*" ⁽⁸⁾.

Per questo la luce è al centro dello studio delle sperimentazioni dell'ottica, la quale ne studia fenomeni e comportamenti.

I primi due fenomeni ottici studiati nella storia sono stati la riflessione e la rifrazione. In modo semplicistico, al fine di una facile interpretazione dei due fenomeni ottici, si suppone la luce come un raggio di propagazione lineare e non come un'onda.

Inoltre occorre essere a conoscenza di una caratteristica del materiale che la luce va a colpire: l'indice di rifrazione. Esso è un valore che viene attribuito a un materiale che viene attraversato dalla radiazione luminosa in relazione alla velocità della luce che si propaga nel vuoto ⁽⁴⁾.

$$n = \frac{c}{v}$$

Dove:

n = indice di rifrazione del materiale

c = velocità di propagazione della luce nel vuoto 299 792 458 m/s

v = velocità di propagazione della luce nel materiale

Analizzando la formula si può intuire come l'indice sia sempre superiore a 1 essendo la velocità della luce nel vuoto un limite intrinseco, secondo la teoria della relatività di Einstein ⁽⁹⁾.

La rifrazione, nell'ambito dell'ottica, è il fenomeno per il quale un'onda elettromagnetica si trova a oltrepassare la superficie, tra due mezzi con caratteristiche differenti, modificando direzione (se incide alla normale della superficie cambia solamente la velocità ma non direzione) ⁽¹⁰⁾.

Il cambio di direzione della luce avviene rispettando la legge di Snell ⁽¹¹⁾:

$$\frac{\sin(\vartheta_i)}{\sin(\vartheta_r)} = \frac{n_r}{n_i}$$

Dove:

ϑ_i = angolo di incidenza della luce che colpisce la superficie

ϑ_r = angolo di rifrazione della luce che colpisce la superficie

n_i = indice di rifrazione del primo materiale di propagazione

n_r = indice di rifrazione del materiale in cui la luce è rifratta

Dall'equazione ricavata da Snell si intuisce che la luce cambia direzione in modo proporzionale al seno dell'angolo di incidenza e al gradiente dell'indice di rifrazione dei due materiali ⁽¹¹⁾.

La riflessione è un fenomeno simile alla rifrazione dei materiali, ma che descrive come la luce a contatto con una superficie riflettente cambia direzione e verso (se incide alla normale della superficie cambia solamente il verso ma non direzione). Come la luce potesse rimbalzare, questa non attraversa il secondo mezzo, semplicemente torna nel mezzo di propagazione iniziale ma con direzione differente alla precedente.

La deviazione del raggio riflesso è di egual valore all'angolo alla normale della superficie, ed essa si colloca nello stesso piano (principio di Fermat e di Huygens-Fresnel) ⁽¹²⁾.

$$\theta_{li} = \theta_{lr}$$

Dove:

θ_{li} = angolo alla normale della superficie della luce incidente

θ_{lr} = angolo alla normale della superficie della luce riflessa

Riflessione e rifrazione descrivono le possibili deviazioni che la luce subisce nel contatto con dei materiali, l'assorbimento avviene quando la radiazione luminosa attraversa il materiale. Per lo studio di questo effetto è meglio considerare la natura particellare ed elettromagnetica della luce stessa.

L'assorbimento è un effetto fisico per il quale un'onda elettromagnetica che attraversa un mezzo perde una parte della sua energia. Ovvero, la luce che attraversa un materiale rilascia dell'energia (in vari forme) che il materiale stesso assorbe al suo interno. La legge di Beer-Lambert descrive il suddetto fenomeno ⁽¹³⁾:

$$A = \varepsilon_{\lambda} l M$$

Dove:

A = assorbanza, quantità di luce assorbita dal materiale = $-\log T$ dove T è la trasmittanza, ovvero la frazione di luce incidente con una data lunghezza d'onda

ϵ_λ = coefficiente di assorbimento del materiale (proprietà del mezzo stesso)
($\frac{l}{mol} cm^{-1}$)

l = cammino geometrico (cm)

M = molarità della soluzione ($\frac{mol}{l}$)

Si nota come solo il cammino della luce può interferire direttamente con la quantità di luce assorbita dal materiale. Le caratteristiche atomiche e di densità del materiale sono determinanti ma dipendenti dalla natura chimica stessa del materiale.

Mettendo in relazione i 3 effetti precedentemente esposti (riflessione, rifrazione e assorbimento) si deduce che questi sono strettamente correlati.

Quando la luce viene a contatto con un mezzo, essa si divide in 3 parti:

- una parte si riflette, cambiando direzione ma non mezzo di propagazione;
- una parte si rifrange nel mezzo, cambiando direzione di propagazione nel mezzo stesso, a seconda dell'angolo di incidenza di superficie sul materiale e al gradiente dell'indice di rifrazione;
- una parte viene assorbita, in modo proporzionale alle caratteristiche chimico-fisiche del materiale stesso e del cammino che la radiazione percorre.

Alcuni materiali permettono una trasmissione selettiva della luce. Questi materiali sono utilizzati nei filtri polarizzatori, che, permettendo di conoscere con notevole precisione la natura della radiazione che attraversa il mezzo ⁽¹⁴⁾.

A tal scopo, ci riferiamo alla legge di Malus:

$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$

Dove:

I = intensità della luce uscente dal filtro (cd)

I_0 = intensità della luce entrante nel filtro (cd)

θ = angolo tra le direzioni di polarizzazione (entrata e uscita)

L'utilizzo di filtri polarizzanti è comune sia alla comunità scientifica, per effettuare sperimentazioni sulla radiazione luminosa, sia nell'ambito dell'ottica oftalmica.

Altri effetti risultano dalla natura duale della luce. Questi sono diffrazione e l'interferenza.

L'interferenza è la conseguenza della sovrapposizione, in un punto dello spazio, di 2 o più onde. Un esperimento di Young del 1801 ha consentito l'identificazione della fase d'onda della luce e la relativa intensità per effetto di interferenza.

La diffrazione analizza l'interferenza a seguito del passaggio di luce attraverso una fessura o a un ostacolo. Studiando il fenomeno si è compresa la capacità di propagazione della luce in varie condizioni in relazione alla sua intensità⁽¹⁵⁾.

Lo studio di tutti questi fenomeni ottici ha consentito a studiosi in ambito di ottica, fisica e chimica una notevole conoscenza della luce e di consolidare teorie e conoscenze fisiche.

Inoltre tutti questi fenomeni ottici, e la loro conoscenza, è stata necessaria per conseguire la realizzazione di strumenti e tecnologie utili in vari ambiti.

1.3 Spettroscopia e identità dello spettro della radiazione elettromagnetica.

La spettroscopia è il *“settore della scienza che ha per oggetto lo studio degli spettri delle radiazioni elettromagnetiche e corpuscolari. Anche più specificatamente, il metodo relativo alla produzione e all'analisi di tali spettri”*⁽⁸⁾.

Il fenomeno di dispersione della luce è il più semplice aspetto studiato dalla spettroscopia.

La luce incidente sulla superficie del prisma subisce un effetto di rifrazione. In seguito per assorbimento la luce perde una quantità di energia (oltre alla piccola

parte di luce dispersa per effetto di riflessione). La seconda superficie interagisce con la luce come la prima, dunque si a verificare la stessa successione di fenomeni ottici. La luce che ha interamente attraversato il prisma risulta diversa rispetto alla sorgente. Se identifichiamo la luce che proveniva dalla sorgente iniziale come bianca, la radiazione che ha attraversato l'intero mezzo risulta avere una scala cromatica dal rosso al violetto.

La radiazione luminosa è composta da una serie di onde con diverse caratteristiche tra loro e non da una sola onda elettromagnetica (definita monocromatica). La caratteristica dell'onda elettromagnetica che si tiene in maggior considerazione per l'effetto di dispersione è la frequenza: il numero di successioni di massimi e minimi di onda che passano in un punto dell'asse di trasmissione dell'onda elettromagnetica in un'unità di tempo (unità di misura hertz).

Il prisma evidenzia le diverse caratteristiche che compongono la luce per i vari fenomeni ottici che avvengono nella trasmissione all'interno del prisma. Ogni singola componente ondulatoria subisce lo stesso effetto sulla direzione di propagazione e sull'energia che essa contiene, ma possedendo differenti frequenze d'onda, le varie componenti si sono separate evidenziando uno spettro a colori ⁽¹⁶⁾.

Lo stesso concetto è alla base dell'aberrazione cromatica. L'effetto viene a verificarsi in superfici sferiche di lenti e materiali definiti trasparenti, creando un diverso di punto immagine in base alla radiazione considerata, e dunque una serie di immagini sovrapposte differenti e di diversi colori ⁽¹⁷⁾.

L'esperimento della diffrazione in un prisma è stato uno dei primi approcci per identificare le varie componenti della luce che arriva sul pianeta Terra. Newton è stato il primo ad approfondire questa caratteristica della luce ⁽¹⁸⁾, ma negli ultimi 200 anni, attraverso varie scoperte in ambito fisico e chimico, si è scoperto come la luce non è solo composta da una componente percettibile con il senso della vista.

Jakob Balmer nel 1885 ha definito gli spettri a righe analizzando gli spettri luminosi risultanti dalla diffrazione di luce emessa da un atomo di idrogeno.

Lo spettro evidenziava una classica scala cromatica della radiazione luminosa, ma interrotta da sottili linee nere.

Balmer ipotizzò, correttamente, che l'atomo di idrogeno assorbisse la luce che corrispondeva a quelle precise frequenze d'onda ⁽¹⁹⁾.

In seguito più accuratamente Rydberg espresse una formula che identificava le bande di assorbimento dell'idrogeno ⁽²⁰⁾.

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Dove:

λ = lunghezza d'onda (m)

R_H = costante di Rydberg (1/m)

n = numero positivo superiore o uguale a 3

Tramite l'utilizzo della serie di Rydberg si riuscì a capire come la luce fosse assorbita non solo nello spettro così definito visibile, ma anche con radiazioni elettromagnetiche luminose non visibili con gli occhi.

Con le scoperte sulla natura degli atomi di Thomson e Bohr sull'atomo di idrogeno si ebbe la conferma di come le particelle atomiche influissero l'emissione e l'assorbimento di luce delle particelle definendo spettri luminosi ampi, e che non comprendessero solamente la componente visibile ⁽²⁰⁾.

La componente non visibile della luce invisibile fu interpretata in modo indiretto nei primi anni del 1800.

Per la prima volta J. W. Ritter osservò del cloruro d'argento ottenere una colorazione più scura (per effetto di ossidazione) in seguito all'esposizione di radiazioni al di sotto della radiazione di colore viola. L'autore dell'esperimento pensò che vi era una radiazione al di sotto della luce visibile viola, che potesse provocare una reazione nel materiale, ovvero la radiazione ultra-violetta UV ⁽²¹⁾.

I raggi infrarossi, invece vennero per la prima volta identificati da W. Herschel grazie al mercurio. Analogamente all'esperimento effettuato da Ritter, l'elemento, posto oltre la luce rossa ottenuta con diffrazione prismatica, continuava riscaldarsi

all'interno di un termometro. Per questo l'autore pensò che vi era una radiazione oltre la luce visibile identificata con il colore rosso ⁽²²⁾.

Nei tempi moderni la tecnologia ha permesso l'identificazione dell'ampio spettro elettromagnetico della luce tramite l'utilizzo di spettrografi e spettrofotometri sempre più precisi e accurati nell'identificazione delle differenti caratteristiche delle onde elettromagnetiche ⁽²³⁾.

La classificazione stessa dello spettro elettromagnetico è stata concepita in modo completamente arbitrario in base agli effetti pratici che ogni radiazione può compiere. Per questo motivo la schematizzazione non è definita e fissa e vi possono essere sovrapposizioni di vario tipo tra le varie classificazioni ⁽²⁴⁾.

In *figura 1* viene proposta una rappresentazione grafica dello spettro elettromagnetico.

In *tabella 1* viene descritta una classificazione dello spettro elettromagnetico con il metodo utilizzato per ottenere la classificazione spettrometrica di ogni sezione. Inoltre si registra la relativa lunghezza e frequenza d'onda e l'energia correlata a tale lunghezza d'onda.

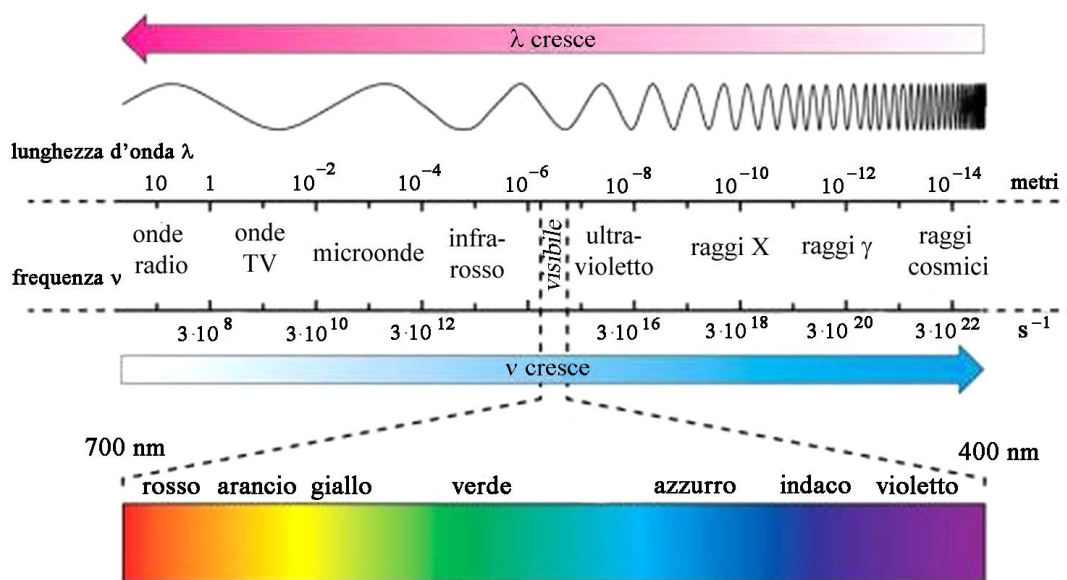


Figura 1: rappresentazione grafica dello spettro elettromagnetico ⁽²⁶⁾

Classificazione	Attività della radiazione	Ordine di grandezza		Energia
		$\lambda(cm)$	$\nu(Hz)$	$E(eV)$
<i>Raggi Gamma</i>	Radiazione di frenamento (acceleratore lineare di elettroni SLAC)	10^{-14}	10^{24}	10^{10}
	Radiazione di sincrotrone	10^{-13}	10^{23}	10^9
	decadimento mesoni	10^{-12}	10^{22}	10^8
	decadimento di un nucleo	10^{-11}	10^{21}	10^7
<i>Raggi duri</i>	X riga K_a del W	10^{-9}	10^{19}	10^5
	X riga K_a del Cu	10^{-8}	10^{19}	10^4
<i>Raggi molli</i>	X eccitazioni atomiche	10^{-6}	10^{16}	10^2
<i>Ultra Violetto</i>	Potenziale di ionizzazione di H			
	eccitazioni atomiche	10^{-5}	10^{15}	10
<i>Luce Visibile</i>	limite di visibilità nell'azzurro	10^{-5}	10^{15}	10
	Verde (di una lampada a vapori di Hg)			
	Giallo (di una lampada a vapori di Hg)			
	Rosso (laser elio-neon)			
	Limite di visibilità nel rosso	10^{-4}	10^{14}	1
<i>Infrarosso</i>	limite superiore dell'estensione di uno spettroscopio IR analitico	10^{-4}	10^{14}	1
	superficie del sole (~6000 K) (radiazione dominante)	10^{-4}	10^{14}	1
	Frequenza vibrazionale di CO	10^{-3}	10^{13}	10^{-1}
	limite inferiore dell'estensione di uno spettroscopio IR analitico			
	temperatura ambiente (~300 K) (radiazione dominante)	10^{-3}	10^{13}	10^{-1}
<i>Infrarosso lontano</i>	calore di evaporazione di He	10^{-2}	10^{12}	10^{-2}
	radiazione cosmica fossile (3 K) (radiazione dominante)	10^{-1}	10^{11}	10^{-2}
<i>Microonde</i>	Transizione rotazionale CO $J=0 \rightarrow J=1$	10^{-1}	10^{11}	10^{-3}
	orologio ad ammoniaca	1	10^{10}	10^{-3}
	Radar (banda S)	10	10^9	10^{-4}
	Riga di 21cm di H (transizione iperfine)	10	10^9	10^{-4}
<i>Onde corte</i>	Radio Magnetone di Bohr in 100 gauss	10^2	10^8	10^{-5}
	portante TV UHF	10^2	10^8	10^{-5}

	portante TV VHF	10^3	10^8	10^{-5}
	portante radio MF	10^3	10^8	10^{-5}
<i>Onde Radio medie</i>	frequenza di precessione del protone in 1000 gauss	10^4	10^6	10^{-7}
	portante radio MA	10^4	10^6	10^{-8}
	portante radio MA	10^5	10^5	10^{-9}

Tabella 1: classificazione dello spettro elettromagnetico ⁽²⁵⁾

La classificazione della radiazione prevede la seguente divisione (ordinate in ordine crescente per lunghezza d'onda):

- Raggi gamma (Lunghezza d'onda inferiore a 1pm): radiazioni ad altissima frequenza che riescono a provocare interazioni con gli atomi;
- Raggi X (lunghezza d'onda da 10 nm a 1 pm): radiazioni a frequenza elevata che consentono l'eccitazione delle più piccole particelle. Sono usati in medicina diagnostica con specifiche caratteristiche perché attraversano la materia organica;
- Ultravioletti (UV, lunghezza d'onda da 400 a 100 nm): onde che consentono la rottura di legami chimici e eccitazioni degli elettroni. Possono avere un effetto germicida. Sono distinti in 3 fasce per il loro effetto: UVA, UVB, UVC;
- Luce visibile (lunghezza d'onda da 700 a 400 nm): eccitazione e fluorescenza di molecole ed elettroni. Questa fascia è interpretata dal sistema visivo umano e consentono la fotosintesi nelle specie vegetali;
- Infrarossi (IR, lunghezza d'onda da 1 mm a 700 nm): consentono le vibrazioni delle molecole. Sono emessi da ogni essere vivente e utilizzati nella tecnologia per poter vedere oggetti anche se non è presente una fonte luminosa.
- Microonde (lunghezza d'onda da 1 m a 1 mm): consentono rotazioni molecolari e sono utilizzate nei mezzi televisivi e radiofonici.

- Onde radio (lunghezza d'onda da 10 km a 10 cm): riescono a spostare le molecole. Sono utilizzate nelle telecomunicazioni perché non attraversano la ionosfera terrestre ⁽²⁷⁾

1.4 Dalla fisica alla componente biologica: relazione tra i due aspetti.

Come enunciato precedentemente, la luce considerata come radiazione elettromagnetica, possiede delle proprietà ondulatorie e quantiche. Questo dipende dalla componente particellare, ovvero i fotoni, e dal moto che le stesse particelle possiedono (moto armonico ondulatorio).

A seguito della scoperta di Einstein, riguardo l'energia posseduta dalla radiazione elettromagnetica molti esperti si sono chiesti come questa fonte di energia potesse interagire con l'organismo umano.

Ogni fotone che compone una onda elettromagnetica possiede una quantità di energia definibile dalla legge di Planck ⁽²⁸⁾:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Dove:

h = costante di Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ Js

c = velocità della luce = 299 792 458 m/s

λ = lunghezza d'onda considerata

Se consideriamo per esempio un'onda elettromagnetica dello spettro visibile, colore verde di 550nm possiamo calcolare l'energia associata a ogni singolo fotone che compone l'onda:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,626 \times 10^{-34} \text{ Js})(299792458 \text{ m/s})}{5,5 \times 10^{-7} \text{ m}} = 3,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Si nota come questa quantità di energia è molto inferiore rispetto alle quantità di energia che siamo soliti considerare nella quotidianità. Come esempio si può considerare 1 caloria, ovvero la quantità di energia necessaria a far salire la temperatura di un grammo di acqua distillata alla pressione di 1 atmosfera di un grado (da 14,5 a 15,5 °C). Questa corrisponde a 4,184 J ⁽²⁹⁾.

L'ordine di grandezza tra l'energia posseduta dal fotone nel primo esempio e una caloria si differenzia in ordine di grandezza di 10^{-19} J.

Agendo la radiazione elettromagnetica a livello atomico, oltre ad essere una componente essenziale per la vita, esperti nell'ambito delle materie della salute quali medici, fisiologi, genetisti, si sono chiesti come la luce interagisce con l'organismo.

Anche se le quantità di energia sono relativamente basse, la luce circonda l'uomo e l'esposizione è continua. Per questo è d'interesse attuale poter conoscere i possibili effetti che la luce può avere sulla salute, sia essi positivi che negativi ⁽³⁰⁾.

Capitolo 2: Caratteristiche della radiazione ultravioletta (UV) e della luce visibile ad alta energia (HEV)

La radiazione elettromagnetica, come esposto nel capitolo 1, è classificata nello spettro elettromagnetico per gli effetti che le singole onde possono compiere, in modo qualitativo. La suddivisione è stata effettuata senza alcun rigore preciso e spesso vi sono delle sovrapposizioni nelle varie zone della rappresentazione dello stesso spettro ⁽²⁴⁾.

Le radiazioni elettromagnetiche ultraviolette e le radiazioni della fascia visibile sono tra le più studiate, per gli effetti e le interazioni che queste possono avere con ciò che circonda l'uomo e l'uomo stesso.

2.1 Componente della luce: radiazione ultravioletta (UV)

La radiazione UV è individuata nello spettro elettromagnetico come la radiazione con lunghezza d'onda compresa tra i 100 e i 400 nm ⁽²⁷⁾.

Per le diverse caratteristiche di questo intervallo di radiazione, la fisica ha distinto la radiazione ultravioletta in 3 diverse tipologie ⁽²⁷⁾:

- UVA: lunghezza d'onda compresa tra 315 e 400 nm, energia $2-0,7 \times 10^{-18} \text{ J}$
- UVB: lunghezza d'onda compresa tra 280 e 315 nm, energia $0,7-0,6 \times 10^{-18} \text{ J}$

- UVC: lunghezza d'onda compresa tra 100 e 280 nm, energia $0,6-0,5 \times 10^{-18} \text{ J}$ ⁽³¹⁾.

La radiazione ultravioletta, come tutta la radiazione di origine solare arriva sulla Terra attraversando l'atmosfera. Quest'ultima attua un effetto di filtro della luce. Tramite il fenomeno dell'assorbimento gran parte della radiazione solare non riesce a giungere sulla superficie terrestre.

Lo strato che assorbe maggiormente la componente UV è l'ozonofera. Lo strato è composto prevalentemente dall'elemento ozono e la radiazione ultravioletta a più alta energia riesce ad interagire con le componenti atomiche atmosferiche.

Dallo studio del processo di assorbimento dell'atmosfera, si è creato un diagramma spettrografico sull'assorbimento di radiazione dell'atmosfera ⁽³²⁾.

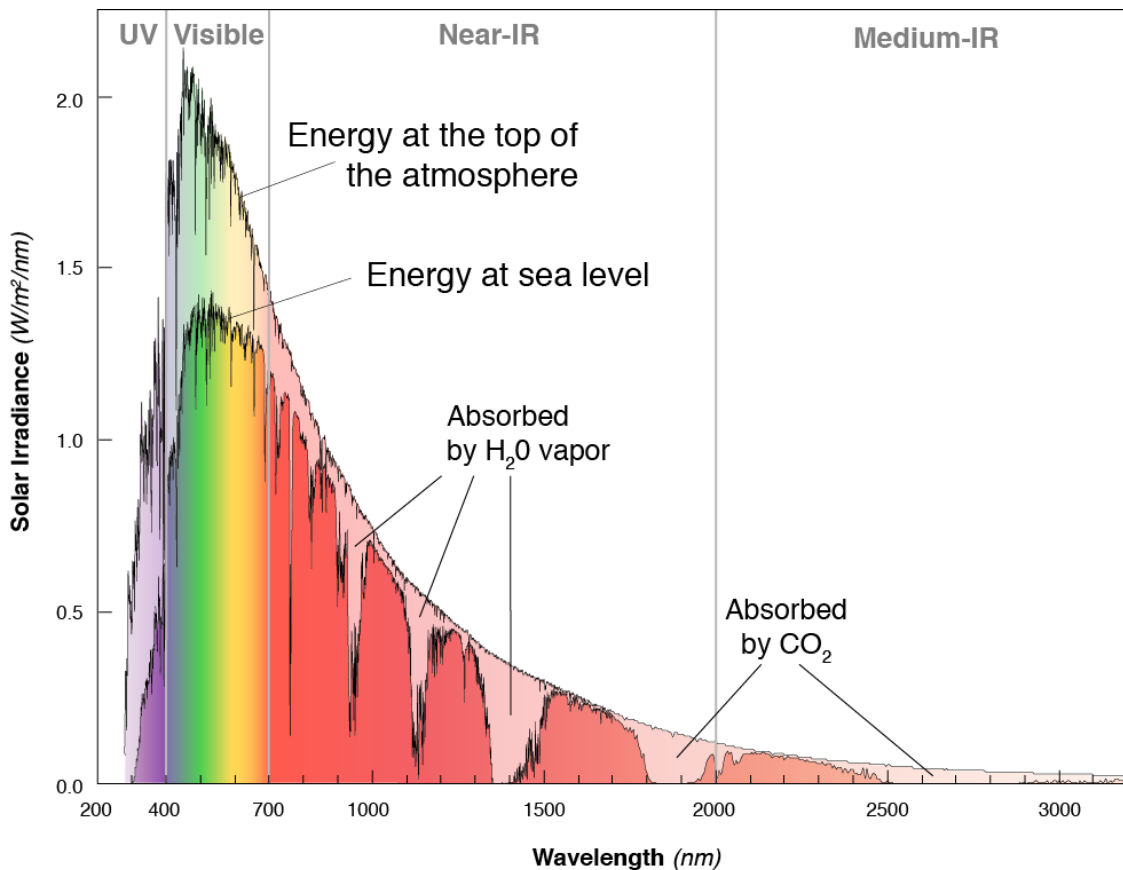


Figura 2: Spettro della radiazione di fonte solare che raggiunge la terra. (Img da www.visionlearning.com.)

Dallo spettro illustrato in *Figura 2* si può notare come:

- La radiazione UVC viene totalmente assorbita dall' atmosfera

- La radiazione UVB viene assorbita in gran parte dalla struttura atmosferica; solo una percentuale tra il 15 e il 20% della radiazione raggiunge la Terra al livello del mare
- La radiazione UVA viene assorbita in una percentuale del 40/45% % dall'atmosfera ⁽³³⁾.

Le percentuali indicate sono ricavate da rilevazioni globali, a cui è seguito un calcolo della media, perché la quantità di radiazione che arriva sulla superficie terrestre differisce da alcuni fattori quali:

- a) orario della giornata e periodo dell'anno: l'altezza del sole rispetto alla superficie influisce notevolmente sulla quantità di radiazione che penetra l'atmosfera. Questa è massima nei mesi estivi e nelle ore centrali della giornata
- b) latitudine: la quantità di radiazione ultravioletta di origine solare aumenta al diminuire della distanza dall'equatore
- c) altitudine: all'aumentare dell'altezza sul livello del mare, la radiazione UV aumenta. Empiricamente si è calcolato che per ogni 1000 metri di altitudine la quantità di radiazione aumenta del 10-12%;
- d) nuvolosità: più il cielo è coperto da nubi, minore sarà la radiazione che giunge al suolo
- e) quantità di ozono atmosferico: la concentrazione di ozono a livello atmosferico incide sulla quantità di certe bande di radiazione assorbita dall'atmosfera
- f) rifrazione terrestre: la materia che compone la terra può riflettere la radiazione o assorbirla influenzando sulla quantità di UV che irradia la superficie terrestre. Ad esempio la Neve riflette sino all'80% della radiazione e la sabbia bagnata assorbe fino al 25% della stessa emissione ⁽³⁴⁾.

Anche se schermata in parte dall'atmosfera, la quantità di radiazione UV solare che riesce a giungere al suolo può provocare dei danni alla salute. Per questo motivo

l'Organizzazione mondiale della sanità ha identificato, sulle evidenze scientifiche, 9 malattie strettamente legate all'esposizione dei tessuti biologici della radiazione ultravioletta ⁽³⁵⁾:

1. melanoma cutaneo, tumore maligno dei melanociti
2. carcinoma squamoso della pelle, tumore maligno della cute
3. basalioma, tumore della cute caratteristico dell'età avanzata
4. cheratosi, malattia cronica della cute che può comportare all'insorgere di tumore
5. carcinoma squamoso della cornea o della congiuntiva, tumore maligno oculare
6. scottatura, arrossamento cutaneo che può comportare a perdita di cute
7. cataratta corticale, opacità del cristallino
8. pterigio, inspessimento della congiuntiva che porta ad opacità corneale
9. riattivazione dell'herpes labiale

La stessa organizzazione ha promosso una sensibilizzazione in merito all'argomento ai fini della prevenzione della malattia ⁽³⁶⁾.

La radiazione elettromagnetica ha anche degli effetti positivi.

Grazie alla ridotta lunghezza d'onda e all'elevata energia che ne consegue, attua un effetto disinfettante a ampio spettro. La radiazione compresa tra i 254 e i 280 nm è germicida e distrugge una parte dei microrganismi nell'ambiente. La radiazione riesce ad insinuarsi sino al livello molecolare del DNA attuando un meccanismo di azione che colpisce il sistema di sintesi proteica. Questa porta alla morte del microrganismo senza la produzione di prodotti secondari nocivi o tossici. Questo avviene sia nell'aria che nell'acqua, dove la radiazione riesce a penetrare ⁽³⁷⁾.

Questo processo contiene il numero di microrganismi a livello ambientale. Vi sono inoltre in commercio lampade a luce UV ideali per la sterilizzazione di superfici e materiali biologici ⁽³⁸⁾.

L'UV promuove nell'uomo e in alcuni mammiferi la sintesi di Vitamina D e Serotonina. La prima è una pro-ormone (più propriamente detta vitamina)

liposolubile essenziale per prevenire l'osteoporosi, malattie autoimmuni e il diabete di tipo 1 ⁽³⁹⁾. La serotonina invece è un triptamina che consente la regolazione neuronale, responsabile di aspetti umorali delle persone ⁽⁴⁰⁾.

L'esposizione alla radiazione viene utilizzata anche in terapie dermatologiche quali psoriasi, vitiligine e dermatiti ⁽⁴¹⁾.

2.2 La radiazione visibile

Viene definita radiazione visibile quella sezione dello spettro della radiazione elettromagnetica, identificata dall'intervallo di lunghezza d'onda dai 400- ai 700nm, che l'uomo riesce ad interpretare con il senso della vista ⁽²⁷⁾.

La trasformazione della radiazione in sensazione avviene tramite il processo di fototrasduzione.

Tale processo avviene a livello oculare nella retina: costituita da 9 strati sovrapposti, in uno di questi troviamo i fotorecettori (strato dei fotorecettori) adesi allo strato più esterno definito epitelio pigmentato ⁽⁴²⁾. I fotorecettori contengono all'interno delle proteine che a seguito di svariati processi biochimici, consentendo la generazione di un potenziale di azione. Il potenziale di azione, che si viene a creare nel secondo strato retinico (cellule gangliari) e consentirà la trasmissione di informazione sino al cervello che avrà il compito di interpretare ed elaborare l'informazione prodotta dagli stessi fotorecettori ⁽⁴³⁾, con l'identificazione di un colore ⁽⁴⁴⁾.

Per categorie, i fotorecettori, si distinguono:

- coni: responsabili della visione scotopica, contengono iodopsina. Questi sono distinti in 3 categorie per tipologia di radiazione assorbita. I coni S (Short) che permettono il massimo assorbimento nelle radiazioni con lunghezza d'onda di 430 nm (colore viola, o semplicemente blu); coni M (Medium) con picco di assorbimento di 545 nm (nel "verde") e L (Long) con massima reazione a luce di 570 nm (giallo, impropriamente nel rosso).
- bastoncelli: responsabili della visione fotopica, contengono rodopsina ⁽⁴⁴⁾

Considerando lo spettro elettromagnetico, la luce visibile può essere distinta in 2 diversi gruppi:

- HEV: luce visibile ad alta energia; luce interpretata con il colore blu o viola, caratterizzata da una lunghezza d'onda tra i 380 e i 495 nm
- La restante banda di luce visibile essenziale per il senso della vista, caratterizzata da una lunghezza d'onda compresa dai 400 ai 700 nm.

La differenziazione di questi due gruppi, è dovuta all'elevata energia che possiede lo spettro visibile HEV che riscontra caratteristiche simili per certi aspetti alla radiazione UVA.

2.3 Radiazione visibile ad alta energia (HEV) e luce BLU

La radiazione HEV è una tipologia di radiazione visibile che è caratterizzato da lunghezze d'onda tra i 380-495 nm.

Molti studi considerano diversi intervalli di definizione. Se si considera la caratteristica energetica spesso viene considerata dai 380 ai 450 nm, mentre per definizione cromatica si considera un intervallo leggermente diverso (400-495 nm), detta anche luce. La classificazione è come esposto nel primo capitolo arbitraria dagli effetti che la radiazione produce ⁽⁴⁶⁾.

L'attenzione della comunità scientifica a questa particolare radiazione è recente.

La luce HEV è emessa sia da sorgenti luminose artificiali, sia dal sole, permettendo la percezione del colore viola-blu ma con stimoli energetici differenti.

Il sole emette radiazione HEV con energia 30 volte superiore a quella dei comuni sistemi artificiali ⁽⁴⁷⁾.

La radiazione HEV di fonte solare o artificiale può comportare dei danni alla salute di persone che si espongono quotidianamente e per tempo prolungato?

La comunità scientifica ha valutato la situazione in seguito a recenti politiche ambientali e strumentazioni utilizzate quotidianamente dalla popolazione mondiale.

Nel 2009 la commissione dell'Unione Europea, con la pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale Europea del Regolamento (CE) numero 244/2009, ha promosso il bando graduale delle tradizionali lampadine a incandescenza e altri tipi di lampadine a alto consumo energetico. Questa scelta di politica ambientale ai fini del risparmio energetico ha trovato la sua massima espressione nel 2012 con l'abolizione della vendita delle lampadine a incandescenza⁽⁴⁸⁾.

A seguito di tali decisioni politiche, l'illuminazione artificiale tramite mezzi di incandescenza è pressoché scomparsa dal mercato. Questo ha lasciato spazio alla nuova generazione della luce LED e illuminazioni a basso consumo energetico.

Il risultato della politica dell'UE è stata giusta dal punto di vista ambientale, ma allo stesso tempo ha promosso una tipologia di illuminazione con svariati difetti.

I LED (diodo a emissione di luce) sono dispositivi di illuminazione che tramite l'utilizzo di alcuni materiali semiconduttori, riescono a produrre l'emanazione di fotoni (luce) spontaneamente⁽⁴⁹⁾.

In una pubblicazione del *The international dark-sky association* realizzata nel 2010, si è effettuato un confronto della luce emessa dai LED di colorazione blu (non i più recenti a luce bianca) e la curva di percezione scotopica. Solamente osservando il grafico in Figura 3, si evince come il picco di emissione di tali LED si colloca nell'area caratterizzata dalla lunghezza d'onda di 460 nm (HEV). Comparando tale emissione con la curva di sensibilità fotopica dell'occhio umano, si evince un'eccessiva esposizione della radiazione emessa rispetto alla quantità di radiazione necessaria a creare la sensazione massima⁽⁵⁰⁾.

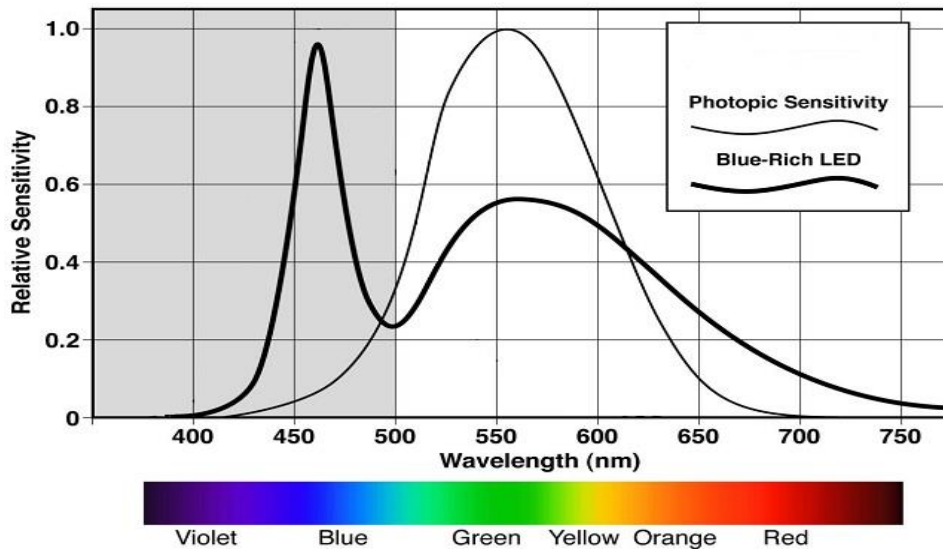


Figura 3: Curva di sensibilità fotonica rispetto alla luce emessa dai Blue-rich LED, fonte: IDA

Per svariati motivi la comunità scientifica ha spostata l'attenzione sull'utilizzo di strumentazione elettronica che utilizza schermi a illuminazione LED quali:

- Cellulari
- Tablet
- Televisori LCD
- Videogiochi
- Computer

Svariate statistiche evidenziano come questi dispositivi siano sempre più utilizzati dalla popolazione mondiale, sia in quantità di tempo che la strumentazione viene utilizzata, sia per numero di dispositivi utilizzati. Alcuni esempi:

- Il 70,9% delle aziende ha almeno 10 individui che utilizzano dispositivi elettronici regolarmente a lavoro per 8 ore ⁽⁵¹⁾
- Circa 1 persona su 2 accede a internet ogni giorno tramite dispositivi: dato più elevato nelle persone tra i 15 e i 24 anni, ben il 92% di loro usa quotidianamente computer o cellulare ⁽⁵¹⁾
- Il 74% di chi usa il cellulare utilizza più di 3 ore il dispositivo ⁽⁵²⁾
- In media un italiano rimane davanti alla televisione 4 ore e 40 minuti ⁽⁵³⁾

Su possibili effetti positivi e/o negativi di tale radiazione provoca alla salute dell'uomo si discuterà nel capitolo 4.

Capitolo 3: Effetti della radiazione elettromagnetica UV in campo oftalmico.

3.1 Descrizione dell'interazione tra radiazione elettromagnetica UV e l'occhio

La radiazione ultravioletta entra quotidianamente in relazione con la struttura oculare.

La struttura dell'occhio umano che entra in relazione con la componente UV della luce, svolge una funzione di filtro di assorbimento nelle varie componenti. Con alcune sperimentazioni si è potuto quantificare quanta componente UV venisse assorbita e quanta trasmessa da ogni singola struttura dell'occhio. Esprimendo in percentuale la quantità di radiazione UV che viene a contatto con l'occhio, la suddivisione è la seguente ⁽⁵⁴⁾:

- UVB 300 nm: il 92% viene assorbito dalla cornea, 6% dall'umore acqueo, 2 % dal cristallino
- UVA 320 nm: 45% viene assorbito dalla cornea, il 16% dall'umore acqueo, 38 % dal cristallino, 1% riesce a giungere alla retina

- UVA 340 nm: 37% viene assorbito dalla cornea, il 14% dall'umore acqueo, 48 % dal cristallino, 1% riesce a giungere alla retina
- UVA 360 nm: 34% viene assorbito dalla cornea, il 12% dall'umore acqueo, 52 % dal cristallino, 2% riesce a giungere alla retina

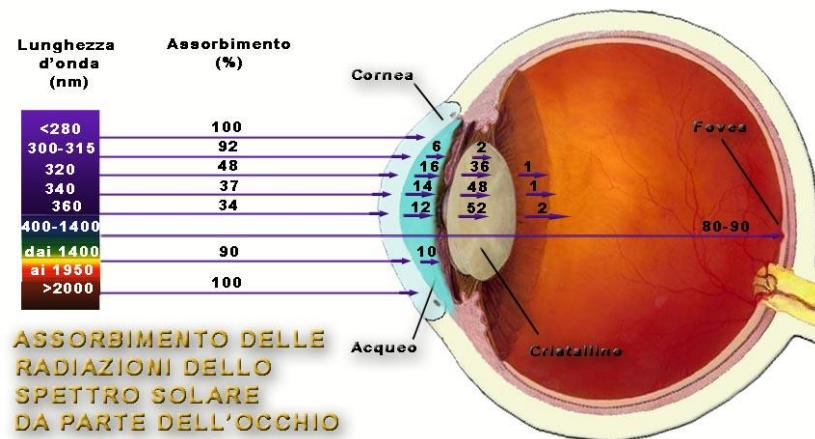


Figura 4: Percentuali di assorbimento della radiazione luminosa delle strutture oculari(54)

Uno studio pubblicato nel 2002 ha approfondito come ogni strato della cornea riesca in modo differenziato nei suoi cinque strati, ad assorbire la radiazione UV. Il risultato ha evidenziato che la membrana di Bowman ha la maggior capacità di assorbimento rispetto a tutti gli strati. Epitelio e stroma sono rispettivamente il secondo e il terzo strato per capacità di assorbimento. Il picco di assorbimento corneale risulta attestarsi, per la membrana di Bowman e l'epitelio corneale, sui 270-280 nm, mentre l'epitelio assorbe la radiazione in modo molto regolare per la componente UVC (presente nelle sorgenti artificiali, non dalla sorgente solare a livello del suolo), mentre per la componente UVB ha scarsa funzione⁽⁵⁵⁾.

Dall'insieme dei dati esposti si evince come le strutture più interessate all'interazione con la radiazione UV siano la cornea (ma anche la congiuntiva) e il cristallino. Inoltre la radiazione ultravioletta a più bassa energia, ovvero la radiazione più vicina alla radiazione visibile, riesce a trasmettersi oltre le strutture del segmento anteriore oculare e oltre il cristallino. Per questo motivo quest'ultima radiazione è la più

pericolosa riuscendo ad interagire con la struttura di traduzione dello stimolo luminoso in sensazione: la retina.

Le radiazioni ultraviolette hanno caratteristiche fisiche che consentono l'interazione con le più piccole componenti della cellula, ovvero le particelle che compongono il DNA (acido desossiribonucleico). L'energia caratteristica dei fotoni della radiazione che arriva a livello molecolare riesce ad apportare delle modificazioni nello stato naturale dell'acido. In questo modo i processi e le varie attività cellulari vengono regolate da un DNA mutato, portano come risultano modificazioni cellulari.

In base alla parte danneggiata vi possono essere varie conseguenze, comportando cambi strutturali o attività alterata a livello cellulare. Il procedimento può coinvolgere una o più cellule e risultare a vantaggio o svantaggio al tessuto in base all'azione che comporta la radiazione ⁽⁵⁶⁾.

3.2 Patologie oculari causate dalla radiazione ultravioletta riconosciute dall'OMS

Nel capitolo 2 si è discusso su come la radiazione UV riuscisse a provocare danni alla salute. Tra le patologie che l'OMS ha riconosciuto causate dall'esposizione alla radiazione ultravioletta, ve ne erano 3 competenti all'oftalmologia ⁽³⁵⁾:

1. Carcinoma squamoso della cornea o della congiuntiva
2. Cataratta corticale
3. Pterigio

Il carcinoma squamoso è una formazione tumorale maligna che viene a verificarsi sia a livello corneale che congiuntivale. Il tessuto interessato è quello costituito dalle cellule squamose dell'epitelio di entrambe le strutture. Solitamente la manifestazione è dovuta all'eccessiva esposizione solare, e in maggior parte da UVA e UVB, ma anche da altri fattori. I geni che mutati che identificano l'instaurazione della patologia attualmente noti sono 4 (TP53, CDKN2A/RB1, CCDN1, MYC) ⁽⁵⁷⁾.

La patologia può interessare anche la struttura palpebrale e uno studio ha evidenziato che il collocamento della formazione tumorale non dipende dalla tipologia di esposizione alla radiazione UV ⁽⁵⁸⁾.

La cataratta corticale è una tra le più frequenti patologie correlata a un'elevata esposizione alla radiazione UV. La componente luminosa più interessata a questa radiazione è la banda UVB.

La cataratta senile è una condizione che avviene naturalmente con l'avanzare dell'età. Le cellule dell'epitelio germinativo, residenti nella superficie anteriore del cristallino, sono le responsabili della formazione opaca all'interno della struttura. Il loro metabolismo rallentato da un processo di tipo ossidativo, la mancanza di innervazione cheratinizzata e di vasi sanguinei, consente alle cellule di rimanere trasparenti e dunque di permettere alla luce di trasmettersi agevolmente lungo la struttura. Solo con il passare degli anni dell'individuo vi è un progressivo aumento di cellule del cristallino che tramite morte programmata (apoptosi) e attività mitotica, vanno a depositarsi all'interno della struttura del cristallino, creando uno strato di fibre lenticolari che man mano diventa più spessa e opaca. L'opacità è quantificata sia dall'aumento di cellule sia dai sedimenti, sia dalle impurità che le stesse cellule portano con il processo. Le impurità sono il risultato naturale dell'attività metabolica delle cellule stesse ⁽⁵⁹⁾.

La radiazione UVB riesce ad attraversare la cornea e raggiungere il cristallino interagendo con il DNA delle cellule dell'epitelio germinativo, alterando le funzioni metaboliche, riproduttive e di riparazione delle stesse. In questo modo, la formazione della cataratta viene accelerata nella vita media di un uomo: solitamente è considerata una patologia dell'età senile, ma con un'elevata esposizione alla luce UVB la cataratta viene a formarsi in età più giovane.

A sostegno di queste tesi vi sono numerosi studi.

Uno studio ha evidenziato come l'esposizione a UVB potesse condizioni di formare cataratta modificando i meccanismi di riparazione del DNA, tramite repressione del gene ECRR6 ⁽⁶⁰⁾.

Un altro studio ha evidenziato come la radiazione UV a 300 nm alteri il sistema riparativo delle cellule del cristallino per danno fotochimico ⁽⁶¹⁾.

Un più recente del 2012, ha cercato di capire il meccanismo che induce la formazione di cataratta per esposizione alla luce ultravioletta. Utilizzando delle cavie (topi) hanno identificato che la radiazione UV provocava un danno al sistema enzimatico al livello del DNA (GSH e G3PD risultavano inattivate) portando alla formazione di proteine glicate. Inoltre la stessa ricerca ha provato a evincere se limitando l'esposizione a seguito di danni morfologici del cristallino, la situazione migliorava. La risposta è stata affermativa, ma solo se il sistema ossidativo dell'alimentazione dei tessuti del cristallino, non risultasse compromesso. ⁽⁶²⁾

Le persone già affette da una cataratta, inoltre, hanno sino al 21% di possibilità maggiore di incorrere in situazione patologiche secondarie, soprattutto alla retina (degenerazione maculare senile).

La struttura alterata predispone un assorbimento ancor minore della radiazione UVB, aumentando di conseguenza la trasmissione della stessa radiazione, che riesce a giungere alla tunica retinica ⁽⁶³⁾.

Il pterigio è la terza patologia causata da un'elevata esposizione alla radiazione UV. Questa è una condizione cronica per la quale il tessuto congiuntivale viene a formarsi in cornea, alterandone la trasparenza e promuovendo la formazione di vascolarizzazione in sede corneale. Ha una tipica forma triangolare che si estende orizzontalmente. Porta con sé sintomi quali: bruciore dato dalla promozione di fattori pro-infiammatori, occhio rosso, sensazione di corpo estraneo, diplopia e per la tensione esercitata a livello corneale, astigmatismo ⁽⁶⁴⁾.

La relazione tra l'insorgenza di pterigio e esposizione alla luce ultravioletta è stata confermata: la radiazione UV danneggia il DNA delle cellule squamose e di conseguenza i processi cellulari congiuntivali ⁽⁶⁵⁾.

3.3 Condizioni cliniche oculari alterate da un'eccessiva esposizione di radiazione UV

Oltre alle situazioni patologiche oculari direttamente causate dall'eccessiva esposizione radiazione ultravioletta, dichiarato dall' OMS, vi sono altre situazioni di malessere oculare dove la radiazione UV è causa associata dell'insorgenza di tale condizione.

Le palpebre sono tra le strutture oculari a contatto con la radiazione solare. Le pieghe muco-cutanee riescono a coprire la struttura anteriore dell'occhio facilmente, fornendo una funzione da scudo alla struttura sensoriale, ma non sono immuni all'effetto della radiazione UV che può provocare cheratosi, basalima e spinalioma.

La cheratosi è un'alterazione strutturale dei tessuti della pelle, mentre le altre situazioni sono formazioni tumorali molto pericolose per la salute dell'uomo.

A seguito di tale patologie, non solo la struttura palpebrale rimane alterata, ma la stessa funzione che le palpebre dovrebbero compiere altera. La protezione che la struttura consentiva, quale ricambio del film lacrimale, viene a mancare portando un aumento dell'insorgenza di patologie dell'occhio ⁽⁶⁶⁾.

Una comune situazione infiammatoria della superficie oculare anteriore è nominata fotocheratite. Questa provoca sensazione di secchezza (occhio secco), occhio rosso, prurito e sensazione di corpo estraneo. Tali sintomi sono risultato di stress a livello dei tessuti dovuto all'eccessiva esposizione solare, soprattutto UV, i quali secernono sostanze pro-infiammatorie come segnale di allarme per l'organismo.

La struttura alterata coinvolge anche il film lacrimale che collabora con la struttura corneale (situazione fototossica). La radiazione maggiormente responsabile di questa condizione è la banda UVB ⁽⁶⁷⁾.

La condizione non è irreversibile, ma predispone l'occhio all'insorgenza di patologie più complesse e gravi, quale può essere il pterigio.

L'esposizione eccessiva, può inoltre alterare anche i sistemi di difesa della congiuntiva, aumentando la possibilità di insorgenza di congiuntiviti (patologie infiammatorie della congiuntiva) ⁽⁶⁸⁾.

Anche la struttura uveale è soggetta a possibili alterazione da esposizione di UV. La radiazione altera la funzione dei melanociti i quali possono causare un melanoma maligno ^{(69) (70)}.

Una delle sostanze che influenzano questo processo patologico è la melanina. Questa influenza anche la colorazione dell'iride visibile dell'uomo.

Un'alta quantità di melanina promuove un'alta protezione dalla radiazione UVB, mentre una bassa quantità di melanina nelle strutture uveali e dell'iride indica una maggior possibilità di avere complicazioni patologiche in loco. I soggetti hanno gli occhi chiari hanno solitamente un ridotto livello di melanina nelle strutture interessate ⁽⁷¹⁾.

Le patologie associate all'elevata esposizione da UV più gravi sono quelle che interessano la retina. Queste sono provocate solamente dalla componente UVA, unica parte della radiazione che riesce a raggiungere la tunica oculare in questione ⁽⁶³⁾.

Le patologie retiniche riconducibili all'esposizione ultravioletta eccessiva sono:

- Retinopatia solare
- Degenerazione maculare

La retinopatia solare avviene solitamente con l'interazione con la radiazione per un breve lasso di tempo, ma la radiazione è ad alta energia.

L'energia che la radiazione porta con sé, entra in relazione con i meccanismi foto-ossidativi dello strato dei fotorecettori, interferendo nel processo della fototrasduzione. Inoltre il processo influisce con le funzionalità dello strato dell'epitelio pigmentato retinico. Il danno è sia di natura termica, sia di foto-tossicità. Studi epidemiologici hanno dimostrato come la maggior parte dei casi derivi da un'elevata esposizione di radiazione UVA.

I sintomi che provoca la retinopatia solare sono: visione offuscata, fotofobia, cefalee, e nei casi più gravi scotomi. All'esame di osservazione della retina, si possono

osservare zone di pigmentazione di colore giallo grigio o rosso, in base al tempo passato dal danno alla retina.

La situazione può essere sia acuta che cronica. Nel primo caso il danno può essere reversibile, e solitamente riguarda l'epitelio pigmentato e in minima parte i fotorecettori. La condizione cronica interessa in modo esteso i fotorecettori, i quali non riescono più a compiere alcuna azione sensoriale ⁽⁷²⁾.

La degenerazione maculare (DM) è una patologia cronica che colpisce la macula, sede della visione distinta. La patologia inizialmente, si presenta con delle Drusen: un accumulo lipidico di lipofuscina e melanolipofuscina tra epitelio pigmentato e neuroretina. Le Drusen non sono un elemento patologico in sé, ma sono il primo segno di insorgenza della patologia stessa. Solitamente sono di piccole dimensioni e difficilmente distinguibili ad un esame all'oftalmoscopio, ma se le loro dimensioni aumentano portano un danno metabolico di tipo ipossico.

Il danno metabolico è dovuto all'allontanamento del fotorecettore dal circolo nutritivo della coriocapillare. Ma non viene compromesso solo il metabolismo. Si presenta anche un secondo danno di natura meccanica dovuto alla compressione dei recettori stessi che non possono compiere adeguatamente la loro funzione.

Nello stato avanzato il materiale depositato non resta amorfo e le cellule sofferenti secernono fattori di crescita endoteliale che attivano il processo di neo-vascularizzazione dell'endotelio vascolare. A seguito la massa attua un processo infiammatorio. La formazione di una membrana neo-vascolare atipica, locata sopra o sotto l'epitelio pigmentato retinico, può provocare il distacco del neuroepitelio dall'epitelio pigmentato stesso. Se la massa si forma sopra l'epitelio, il danno è considerato diretto. Se il deposito giace sotto la struttura epiteliale, la massa può produrre liquidi che vanno a comprimere i recettori. I fotorecettori che non sono più in grado di compiere la funzione in modo adeguato cominciano a degenerare e i vasi di nuova formazione vanno in fibrosi creando una cicatrice disciforme.

Un'altra possibilità di stato avanzato della stessa patologia prevede una forma secca, senza la creazione di neo-vasi. In questo caso è proprio la componente meccanica della patologia che porta a degenerare per sofferenza i recettori, creando in macula una serie di macchie degenerate.

I sintomi che il soggetto osserverà sono:

- Distorsione dell'immagine
- Macchia centrale
- Riduzione dell'acuità visiva
- Alterata visione dei colori
- Immagini rimpicciolite ⁽⁵⁹⁾

L'incidenza di tale patologia è direttamente proporzionale all'aumento dell'età della popolazione: per questo la degenerazione maculare è più solitamente conosciuta come degenerazione maculare legata all'età.

Da alcuni studi risulta che l'esposizione eccessiva alla radiazione UVA, causi un danno ossidativo che riduce il tempo effettivo di insorgenza della DM: la radiazione promuove l'invecchiamento retinico. La radiazione che causa questo effetto è principalmente quella vicino la fascia visibile, ovvero verso i 400 nm, e ne contribuisce anche una parte di luce HEV ⁽⁷³⁾.

Inoltre la patologia ha dei cofattori di insorgenza quali alimentazione e fattori genetici.

Il processo biochimico che correla l'esposizione eccessiva all'effettiva insorgenza della DM non è ancora noto, ma studi epidemiologici affermano una relazione tra il tempo di esposizione alle radiazioni UVA e la diminuzione dell'età di genesi di degenerazione maculare ⁽⁷⁴⁾.

Il danno alla retina per effetto dell'esposizione radiomagnetica risulta maggiore in caso di interventi post chirurgici al cristallino.

A seguito della rimozione della cataratta, il danno fotochimico che l'esposizione solare provoca alla retina è maggiore. L'assorbimento della componente UV che la struttura del cristallino compiva viene a mancare, permettendo alla componente UVB di raggiungere la tunica retinica e alla componente UVA di incidere per una maggior quantità di energia. Si è stimato un danno retinico acuto dell'ordine dei 5 J/cm^2 ⁽⁷⁵⁾.

3.4 Radiazione ultravioletta e vitamina D

La radiazione UV non provoca solo effetti negativi sulla salute dell'uomo.

A livello oculare, e non solo, è noto come la radiazione ultravioletta consenti la sintesi della vitamina D.

Esistono 5 tipi di vitamina D, numerati da 1 a 5. Le due più importanti per l'organismo umano sono la proteina D2 (ergocalciferolo) e D3 (colecalfiferolo).

Queste due vitamine vengono assimilate dall'organismo in 2 modi:

- tramite l'alimentazione, ingerendo cibi contenenti grassi quali: salmone, uova, fegato, carni rosse e verdure verdi. Uno degli alimenti che contiene più vitamina D è l'olio di fegato di merluzzo.
- dalla cute, tramite la conversione del 7-deidrocolesterolo.

La produzione di vitamina D nella cute, dipende dall'esposizione ultravioletta. Questa produzione provvede a circa l'80% del fabbisogno necessario all'organismo umano. La radiazione che permette la maggior la formazione del prodotto liposolubile è la componente UVB dai 280nm ai 315nm.

Una volta prodotta o assimilata, la radiazione non viene solo utilizzata ma anche immagazzinata nel fegato in forma inattiva: in questo modo l'organismo riesce a soddisfare il bisogno di questa vitamina nei periodi dell'anno in cui produzione cutanea è difficoltosa, per la limitata esposizione alla radiazione UVB.

Dal fegato la forma inattiva passa a livello renale o nelle cellule del sistema immunitario per essere riattivata tramite processi di idrossilazione. Trasformandosi in forma attiva il prodotto riuscirà ad avere effetto nelle singole cellule dell'organismo⁽⁷⁶⁾.

La vitamina D in forma idrossilata (forma attiva) si trova anche a livello oculare.

Due recenti studi hanno dimostrato che a livello di diverse strutture dell'occhio, vi può essere una produzione di questa vitamina utilizzabile localmente per le cellule delle strutture oculari. Il meccanismo utilizza la luce Ultravioletta B.

In questo modo tutta la struttura ha un apporto diretto di vitamina, indipendente dalle strutture del fegato e del rene⁽⁷⁷⁾⁽⁷⁸⁾.

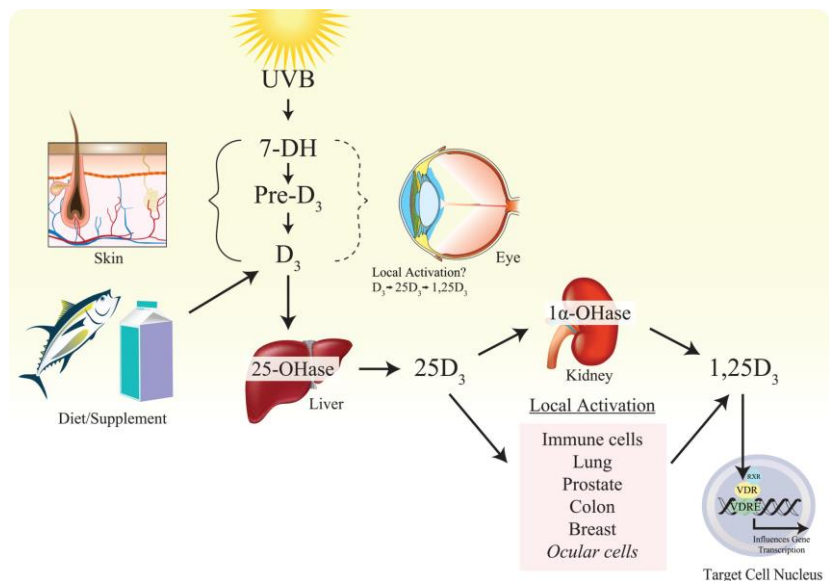


Figura 5: Produzione e attivazione della vitamina D3 nell'organismo umano (76)

La presenza di questa vitamina a livello oculare nella sua forma attiva attua un effetto positivo sull'intero organo.

La vitamina D3 può essere utile alle sole cellule che prevedono nella loro membrana citoplasmatica i rispettivi recettori della stessa vitamina. Nel particolare, questi risiedono:

- nell'epitelio corneale
- nell'endotelio corneale
- nel epitelio germinativo cristallino
- nell'epitelio pigmentato retinico
- nelle cellule nervose retiniche
- nei fotorecettori della retina ⁽⁷⁹⁾

In queste cellule, la presenza di tale elemento, promuove l'omeostasi del calcio e un ruolo di regolazione del sistema immunitario. Inoltre la presenza della vitamina in forma attiva (1,25D₃), riesce a modulare il responso infiammatorio. Tra questi vi sono i fattori di crescita dell'endotelio vascolare, responsabili della formazione di vasi sanguigni di natura anomala. Ultimo effetto è la capacità di indurre l'apoptosi e la seguente calcificazione di alcune cellule di natura cancerogena, evitando o rallentando la formazione di masse tumorali ⁽⁸⁰⁾.

Questi effetti si ripercuotono a livello dei tessuti elencati in precedenza, modulando o evitando la promozione o l'insorgenza di alcune patologie. Tra queste vi sono:

- Retinoblastoma ⁽⁸¹⁾
- Degenerazione Maculare Senile ⁽⁸²⁾
- Retinopatia diabetica ⁽⁸³⁾
- Uveiti ⁽⁸⁴⁾
- Infiammazioni della superficie anteriore oculare ⁽⁸⁵⁾
- Glaucoma ⁽⁸⁶⁾
- Pterigio ⁽⁸⁷⁾

3.5 Effetto della radiazione ultravioletta su presbiopia e miopia

L'effetto della radiazione ultravioletta, positivo o negativo che esso sia, non è percepito solo in campo oftalmologico. Anche nell'optometria vi sono considerazioni riguardanti l'esposizione alla radiazione UV e l'ametropia che identifica lo stato visivo di un soggetto.

La riduzione dell'effetto della contrazione del cristallino, causato dalla ridotta elasticità dei tessuti che lo compongono perché alterati dall'effetto della radiazione UV, provoca una riduzione di messa a fuoco nella visione ravvicinata di un soggetto, conosciuta meglio come presbiopia.

Per una correlazione di fattori, un'eccessiva esposizione alla radiazione ultravioletta riduce non solo il tempo effettivo di insorgenza della cataratta, ma anche il tempo d'insorgenza della presbiopia ⁽⁸⁸⁾. Si tratta dunque di una possibile causa.

L'ametropia che risulta più influenzata dalla radiazione ultravioletta è la miopia.

La miopia è una condizione refrattiva per cui il punto immagine, creato dall'effetto convergenza dei diottri oculari, viene a trovarsi anteriormente alla retina. Solitamente è dovuta a una lunghezza assiale oculare eccessiva, ma può essere dovuta a irregolarità delle componenti refrattive oculari (ad esempio la cataratta posteriore) ⁽⁸⁹⁾.

L'origine di questa condizione refrattiva è multifattoriale. Questi fattori sono: genetici, alimentazione, postura, etnia d'origine, esposizione solare e tempo passato all'aria aperta ⁽⁹⁰⁾.

Una sperimentazione condotta nel 2014 ha dimostrato una relazione inversamente proporzionale tra la situazione refrattiva miopica e l'esposizione alla radiazione solare negli adolescenti ⁽⁹¹⁾. Il significato di tale affermazione, attesta un aumento dell'incidenza della miopia nei soggetti che passano poco tempo della giornata all'aria aperta, dove è possibile avere una visione ad alta luminanza e alta esposizione alla radiazione solare.

Nel 2015 un altro studio condotto da H. Torii ha mostrato evidenze dell'influenza della luce ultravioletta sulla progressione miopica dell'uomo. Lo studio ha constatato che una povera esposizione alla luce UV provoca aumento della progressione miopica. Vi è stato anche l'affermazione di un gene responsabile di tale situazione (EGR1), il quale viene espresso con stimolazione data dalla luce UV dai 360- ai 400nm. La stessa fascia elettromagnetica rimane salutare se contenuta in certe quantità, oltre che efficace per il controllo della miopia ⁽⁹²⁾.

Anche la vitamina D promuove un effetto positivo sulla miopia. In Australia è stata condotta una ricerca sull'effettivo livello della vitamina D in relazione all'esposizione solare e gli altri co-fattori di progressione miopica. Il risultato ha dato una panoramica per cui i soggetti non affetti da miopia hanno livelli maggiori di Vitamina D rispetto ai soggetti che sono affetti dall'errore refrattivo. L'analisi suggerisce una relazione tra la percentuale di Vitamina D presente a livello oculare e l'insorgenza della miopia nell'uomo ⁽⁹³⁾.

Riassumendo l'insieme delle informazioni, si può affermare come l'esposizione alla componente ultravioletta sia essenziale per la progressione della miopia:

- L'attività alla luce solare è essenziale per non predisporre un soggetto alla condizione refrattiva di tipo miopico

- La radiazione UVA dai 360- ai 400nm è ideale per una modulazione della progressione
- La componente UVB permette la sintesi della Vitamina D, utile alla regolazione fisiologica dell'occhio miope

Capitolo 4: Effetti della radiazione elettromagnetica HEV in campo oftalmologico ed effetti sulla salute generale.

La radiazione HEV viene identificata nello spettro elettromagnetico da lunghezze d'onda comprese dai 380- ai 495nm ⁽⁴⁶⁾. Come esposto nel capitolo 2, la radiazione visibile ad alto contenuto energetico è una tipologia di emissione che solo nei recenti anni è stata oggetto di studio.

Si analizza la luce soprattutto originata da due sorgenti differenti:

- Sorgente solare
- Sorgente artificiale (LED)

La differenza di emissione è dovuta principalmente agli ambiti in cui l'uomo viene a trovarsi in relazione con questa radiazione. La luce di origine solare HEV è una sola parte della radiazione solare, mentre quella di origine artificiale è una delle componenti maggiormente emessa dai sistemi di illuminazione odierni.

Oltre alla precedente distinzione, il tipo di attività che l'uomo compie quando è in relazione con questa componente luminosa, modifica aspetti e condizioni fisiologiche dell'occhio.

4.1 HEV e patologie della retina.

L'esposizione dell'occhio alla luce visibile ad alto livello energetico è costante.

La struttura oculare riesce, come con la radiazione ultravioletta, a compiere un effetto di assorbimento della banda elettromagnetica che si considera anche se minima entità. Più del 90% della radiazione tra i 400- e il 500nm riesce a raggiungere la retina ⁽⁵⁴⁾. Questo consente l'interpretazione della radiazione con il colore viola-blu e in parte del colore verde, ma ne consegue un effetto negativo.

La luce identificata dal colore blu e viola ha un contenuto energetico molto simile a quella ultravioletta A e riesce ad interagire a livello molecolare nelle strutture dell'occhio.

Le patologie che sono state oggetto di studio in relazione alla radiazione HEV sono:

- Degenerazione maculare
- Fotoretinite.

La degenerazione maculare è una patologia retinica che compromette la funzione visiva in modo permanente (patologia cronica). Nel capitolo 3 è stato descritto il meccanismo di insorgenza della patologia.

Come la radiazione ultravioletta, anche l'esposizione eccessiva alla radiazione HEV è fattore di rischio di insorgenza della degenerazione maculare. L'esposizione elevata o cronica di questa radiazione provoca un danno fotochimico a livello della retina. Il risultato di tale processo è una relazione diretta tra esposizione alla luce HEV e aumento della possibilità di sviluppare la degenerazione maculare.

Uno studio epidemiologico di Fletcher A.E. et al., ha riscontrato un'associazione (ma non una causalità) significativa tra DMSL ed esposizione elevata alla luce blu. La ricerca prendeva in esame 4400 persone: 101 con DM neo-vascolare, 2187 con primi segni e sintomi di DM e 2117 come gruppo controllo. L'associazione tra i 2 fattori considerati è stata rilevata nel valore massimo della distribuzione di individui con DM neo-vascolare con bassi livelli di antiossidanti, fattore associato anche al gruppo di persone con segni di DM iniziale ⁽⁹⁴⁾.

Nel 2017 uno studio condotto da Yu-Man Shang et al. ha rilevato una relazione positiva tra danno retinico fotochimico e esposizione a luce LED di colore blu (450nm), con l'ausilio di cavie animali ⁽⁹⁵⁾.

Un articolo pubblicato di V. Algreve et al. riassume una serie di sperimentazioni sui danni che la luce blu provoca alla retina. Lo scritto espone come questa radiazione elettromagnetica HEV possa provocare un aumento dell'incidenza della degenerazione maculare senile e come la stessa tipologia di luce può peggiorare la situazione clinica di soggetti già affetti dalla patologia.

Sono stati presi in considerazione danni ossidativi e possibile cause dovute all'apoptosi dei fotorecettori, oltre ad analizzare svariate molecole essenziali nel processo di fototrasduzione quali la lipofuscina nell'interazione con la radiazione dai 400- ai 450- nm ⁽⁹⁶⁾.

La fotoretinite è una patologia di natura fotochimica. La situazione di insorgenza di questa patologia è dovuta a una esposizione a della luce di colore blu-viola. La fotoretinite da luce blu è l'instaurazione di una situazione in cui i fotorecettori non riescono più a compire attività di traduzione del segnale perché eccessivamente

stimolati. Questo crea un danno progressivo proporzionale al tempo trascorso all'esposizione della radiazione. I sintomi sono visione offuscata o alterata, dovuti alla progressiva degenerazione dei fotorecettori, ma può insorgere ustione della retina con perdita totale della vista quando il danno è esteso e concentrato⁽⁹⁷⁾.

4.2 Tecnologia LED e radiazione visibile blu/HEV

Qualora emettono radiazioni HEV con elevata intensità a lungo tempo, schermi e dispositivi che usano tecnologia LED, possono alterare la salute oculare e la fisiologia naturale dell'organo della vista. Monitor di computer, televisori, console di videogiochi sono tra i maggiori responsabili di questa situazione. L'uso di questi implica un lavoro ad alta attenzione. Quando queste attività sono prolungate del tempo vengono a insorgere dei sintomi che compromettono la performance del lavoro che si compie.

Questi sintomi che coinvolgono occhio e funzione visiva sono discussi nella *Computer Vision Syndrome (CVS)* proposta dalla AOA:

- Sintomi interni: come bruciore, irritazione, lacrimazione alterata, sensazione di occhio secco
- Sintomi esterni: affaticamento, mal di testa, dolore, diplopia, visione offuscata.

Molti sono causati da una riduzione del numero di ammiccamenti (occhio asciutto) oppure dalla ridotta illuminazione dei dispositivi o dell'ambiente in cui si svolge l'attività⁽⁹⁸⁾.

La CVS è strettamente legata a soggetti che vengono identificati nel mondo del lavoro videoterminalisti: soggetti che in una settimana spendono più di 20 ore lavorative davanti a dispositivi video. Questa constatazione ha contribuito alla realizzazione di una serie di leggi che proteggono il gruppo di lavoratori videoterminali⁽⁹⁹⁾.

Di più recente scoperta è un effetto che la radiazione emessa dai dispositivi LED compie sulla qualità della vita delle persone. Recenti studi della psicologia e della

fisiologia hanno riscontrato un'influenza della radiazione elettromagnetica HEV sul ritmo circadiano.

Questo è definito come il meccanismo che regola il ciclo biologico degli esseri viventi in relazione con ambiente. Il susseguirsi di certe funzioni fisiologiche regola l'alternarsi delle attività e delle ore di sonno negli esseri viventi. Alcuni esempi sono la secrezione di cortisolo, la regolazione della temperatura, susseguirsi delle variazioni di pressione cardiaca e regolazione del battito del cuore.

Il ciclo si ripete ogni 24 ore e consente, se non variato, di avere regolare ritmo sonno-veglia⁽¹⁰⁰⁾.

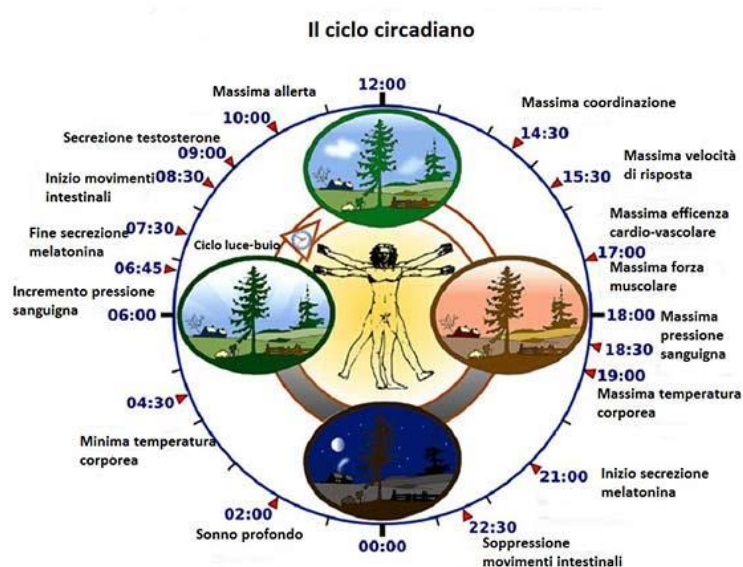


Figura 6: Il ciclo circadiano: cambiamenti delle funzioni fisiologiche nelle 24 ore (immagine da www.wikipedia.it)

Da recenti studi si è notata una grande influenza della radiazione HEV sul ciclo circadiano, soprattutto l'influenza legata al sonno.

Un elemento essenziale per l'alternanza veglia-sonno è la melatonina, un ormone che è mediato dalle cellule ganglionari della retina, le quali sono fotosensibili.

Quando la radiazione elettromagnetica HEV di colore blu (440-470nm) raggiunge lo strato retinico composto dai corpi cellulari delle cellule ganglionari, la melatonina viene soppressa. Ne consegue una mancata regolazione di attività che promuovono il sonno e una promozione dell'attività di attenzione quali la melanopsina, la quale

viene espressa in particolar modo dallo stimolo dato dalla luce blu dai 420- ai 440nm.

Se si considera la strumentazione LED, quali cellulari o computer, che sono fonte della radiazione presa in considerazione nel ciclo circadiano di veglia-sonno, si può affermare come l'utilizzo di questi dispositivi riduca le ore di sonno, modificando alcune funzioni corporee con effetto sulla qualità della vita ⁽¹⁰¹⁾.

Uno studio di J.S. Emanens e H.J. Burgess, ha proposto una panoramica sulla problematica basata sulla sintomatologia che la luce blu provoca sul sonno, identificando come fattori anche la quantità, la durata e l'intensità della luce con cui i soggetti vengono in relazione ⁽¹⁰²⁾.

Capitolo 5: Prevenzione della malattia e tutela della salute dalle radiazioni UV e HEV: soluzioni oftalmiche

Per prevenire patologie o alterazioni della salute oculare sono state idealizzate e commercializzate nel mondo dell'ottica oftalmica delle soluzioni.

5.1 Trattamenti e filtri UV

L'utilizzo di lenti oftalmiche è un ottimo metodo per selezionare tipo e quantità di radiazione che viene a contatto con l'uomo.

Tramite l'utilizzo di trattamenti specifici, una normale lente bianca, può salvaguardare la salute oculare dell'uomo.

I trattamenti più utilizzati sono:

- Lenti con filtro solare
- Lenti fotocromatiche
- Trattamento UV

Le lenti da sole sono fabbricate da una componente principale in vetro o da polimeri, a cui sono aggiunti particolari additivi che permettono il caratteristico colore. Gli additivi utilizzati permettono una filtrazione della luce visibile ma anche una filtrazione della banda invisibile che non alterano il colore (ultravioletto in particolar modo).

Si possono essere usare ossido di zinco, biossido di titanio se attuiamo una protezione per via riflessa, detta fisica, che permette una protezione dai 290- ai 380nm. Un altro metodo è usare la componente chimica dell'additivo per l'assorbimento della radiazione, come prevede l'*ecamsule*, con protezione sai 290- ai 400nm.

L'intera lista degli additivi per lenti solare a protezione UV ricade in queste famiglie di elementi: benzofenoli, cinnamati, esteri PABA, silicati, pigmenti minerali ⁽¹⁰³⁾.

In relazione all'additivazione in produzione, le lenti perdono certe caratteristiche di filtrazione e l'intero prodotto con occhiali e lenti annesse deve possedere marchio CE della UE, e rispettare la normativa europea UNI ISO-EN 1836.

La legge predispone una serie di requisiti per la vendita del mezzo protettivo:

- Identificazione del fabbricante o distributore
- Categoria dei filtri impiegati
- Numero ed anno della norma
- Avvertenze in forma di simbolo o in testo per eventuali idoneità alla guida
- Istruzioni di uso e manutenzione

In seguito la legge, utilizzando il fattore di trasmittanza, cataloga e definisce in 5 categorie il fattore di protezione. Dal numero 2 al numero 4, una lente con trattamento solare riesce a svolgere un'azione di filtro UV ⁽¹⁰⁴⁾.

Le 5 categorie sono esposte in *tabella 2* ⁽¹⁰⁵⁾.

Categoria	Tipo di lente	Luce trasmessa	Utilizzo
0	Minimamente scure, fotocromatiche non oscurate	80-100%	Luoghi chiusi, cielo coperto
1	Lenti leggermente oscurate	43-79%	Luce solare attenuata
2	Lenti mediamente oscurate	18-42%	Luce solare media
3	Lenti scure, fotocromatiche allo stato più scuro	8-17%	Luce solare estremamente intensa
4	Lente a massima protezione solare	3-7%	Luce solare alla massima intensità (non sono adatte alla guida)

. *Tabella 2: Classificazione lenti da sole*

La *tabella 2* riassume la categorizzazione sulle lenti da sole della legge UNI ISO-EN 1836:2008.

Questo trattamento prevede l'integrazione nella base di costruzione della lente (divetro o polimero), l'uso di elementi fotosensibili: *naftopirani*, *oxiozine* per lenti in plastica, cloruro d'argento e/o cloruro d'argento per lenti in vetro. Questi riescono a diminuire per assorbimento la trasmissione della radiazione ultravioletta cambiando

conformazione molecolare se si trovano in relazione con la radiazione UV. Il risultato del cambiamento conformazionale delle molecole dei composti è una lente all'apparenza più scura (in base alla quantità di luce UV incidente sulla lente) ma anche la formazione di una barriera dalla radiazione UV, ma generalmente inefficiente per la radiazione IR ⁽¹⁰⁶⁾.

Il trattamento può essere applicato superficialmente in un substrato nelle lenti in plastica, oppure in massa su tutto lo spessore della lente sia su lenti infrangibili che in vetro. Più è spessa la parte di lente è trattata, maggiore sarà il tempo per ottenere nuovamente la lente chiara.

Anche il materiale della lente influisce sull'assorbimento della radiazione ultravioletta.

Vi sono materiali più trasparenti alla radiazione ultravioletta di altri. In tabella 3 sono elencati 9 differenti materiali. A simili materiali possono essere mescolati con additivi per avere diverse caratteristiche. La tabella esprime per ogni materiale:

1. Indice di rifrazione
2. Peso specifico
3. Numero di Abbe, ovvero un indice adimensionale che esprime la capacità di rifrazione ottica e la dispersione del materiale alla radiazione visibile dello spettro elettromagnetico
4. Percentuale di luce riflessa
5. Percentuale di radiazione UVA trasmessa
6. Percentuale di luce UVB trasmessa ⁽¹⁰⁷⁾.

Materiale	Indice di rifrazione	Peso specifico (g/cm ³)	Numero di Abbe	Riflessione (%)	Trasmissione UVB (280 - 320 nm) (%)	Trasmissione UVA (320 - 380 nm) (%)
CR-39	1.50	1.32	58	4.0	10.3	0.0
Poly	1.58	1.21	29	5.2	0.0	0.0
1.60 (MR6)	1.60	1.22	42	5.3	0.0	0.0
1.66 (MR7)	1.66	1.35	32	6.2	0.0	0.0
Trivex	1.53	1.11	46	4.4	0.0	0.0
Crown Glass	1.52	2.54	59	4.3	84.3	30.5
1.60 Glass	1.60	2.60	42	5.3	39.1	0.1
1.70 Glass	1.71	3.20	35	6.7	24.6	0.0
1.80 Glass	1.81	3.66	25	8.2	19.5	0.0

Tabella 3: Caratteristiche di 9 materiali utilizzati in ambito oftalmico

La maggior parte dei materiali utilizzati nell'ottica oftalmica consentono una protezione elevata dalla radiazione UV. Ma una gran parte della luce ultravioletta giunge sull'occhio umano per effetti di riflessione o altri effetti ottici e non in modo diretto per trasmissione nel mezzo ottico.

Per questo motivo è stato idealizzato l'E-SPF®: *eye-sun protection factor*.

$$E - SPF = \frac{1}{\tau_{UV}^{0^\circ} + R_{UV}^{145^\circ}}$$

$$\tau_{UV} = \frac{\int_{280}^{380} \tau(\lambda) \cdot E_s(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{280}^{380} E_s(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}$$

$$R_{UV} = \frac{\int_{280}^{380} R(\lambda) \cdot E_s(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{280}^{380} E_s(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}$$

Dove:

$\tau(\lambda)$ = trasmissione della lente

$R(\lambda)$ = riflessione posteriore della lente

$E_s(\lambda)$ = distribuzione dello spettro per irradiazione solare

$S(\lambda)$ = efficacia relativa di distribuzione dello spettro

τ_{UV} = quantità di radiazione trasmessa dalla lente

R_{UV} = quantità di luce riflessa dalla lente

L'indice prende in considerazione sia la luce trasmessa che riflessa, permettendo di ottenere un indice di riferimento sulla qualità del mezzo oftalmico di alta affidabilità (108).

Per ridurre l'esposizione alla luce ultravioletta riflessa è stata concepita una soluzione: un trattamento UV superficiale. Il trattamento consiste in un rivestimento che viene applicato nei substrati della plastica mediante metodo spray, immersione o altri processi. Il processo è precedentemente calibrato e lo strato che viene a rivestire la lente è incolore per mantenere la trasparenza. I materiali utilizzati solitamente sono fluoruri e ossidi (109).

Solitamente lo strato è applicato nella superficie posteriore di una lente oftalmica per assorbire la radiazione UV. In questo modo viene evitato l'effetto negativo di un

possibile trattamento antiriflesso per la luce visibile, ovvero la riflessione della radiazione ultravioletta che arriva posteriormente agli occhiali ⁽¹¹⁰⁾.

Questo trattamento viene usato anche su lenti da sole colorate, per provvedere a una completa protezione.

Per valutare l'efficacia delle diverse soluzioni oftalmiche ai fini di protezione dalla luce ultravioletta, uno studio condotto da Jyh Chen Liou et al. su cavie ha testato l'effetto di diverse soluzioni oftalmiche per il controllo dell'esposizione alla radiazione UVB.

Il metodo utilizzato nello studio ha previsto l'utilizzo di 4 gruppi di cavie:

1. gruppo controllo non esposto alla radiazione UVB
2. gruppo sottoposto all'esposizione di radiazione UVB
3. gruppo sottoposto all'esposizione di radiazione UVB con protezione CR39TM e rivestimento UV400
4. gruppo sottoposto all'esposizione di radiazione UVB con protezione fotocromatica CR39TM e trattamento fotocromatico

I risultati hanno confermato che la radiazione UVB crea danni alla salute oculare quali cataratta e fotocheratiti (gruppo 2). Le soluzioni oftalmiche con trattamento UV400 e fotocromatico (gruppi 3 e 4), a seguito di controllo istologico e un controllo di acuità visiva, si sono dimostrate efficaci: i danni che la radiazione doveva portare alla struttura non si sono verificati.

L'esperimento ha dimostrato l'importanza della prevenzione contro la radiazione UVB e l'efficacia dei due trattamenti su lenti oftalmiche ⁽¹¹¹⁾.

Nel 2018 Katharina Rifai et al. hanno condotto un altro studio per identificare la miglior soluzione oftalmica giornaliera per la protezione dalla radiazione ultravioletta. Lo studio è stato condotto testando l'efficacia di 3 diverse soluzioni:

- lente con rivestimento anti-UV su misura
- lente con rivestimento anti-UV applicato nella superficie posteriore della lente
- lente con combina le due precedenti soluzioni

Le tre soluzioni sono state comparate con una lente campione non trattata.

Come processo di studio è stata utilizzato sia un sistema di simulazione, sia una procedura sperimentale con sensore spettrale.

I risultati riferiscono una riduzione di radiazione ultravioletta di lunghezza d'onda 350-400nm a livello oculare su tutti i campioni studiati.

Il trattamento con miglior prestazione risulta la combinazione delle due soluzioni: l'irradiazione diretta e posteriore della lente risultano essere minime ⁽¹¹²⁾.

5.2 Trattamenti e filtri per la luce HEV

Per evitare l'insorgenza delle patologie provocate dalla radiazione HEV descritte nel capitolo 4 sono stati concepiti dei trattamenti applicabili su lenti oftalmiche.

Si possono distinguere i trattamenti in 2 distinti gruppi per il differente effetto ottico che si desidera utilizzare:

- trattamenti per riflessione della radiazione HEV
- trattamenti per assorbimento della radiazione HEV

I trattamenti per effetto di riflessione consiste nella sovrapposizione di strati applicati sotto vuoto. Lo strato viene studiato in modo selettivo per agire sulla radiazione che si vuole riflettere, solitamente disposta in un picco di 435nm +/- 20nm.

La soluzione consente una totale trasparenza del mezzo oftalmico e una funzione di filtro della radiazione del 20%.

I trattamenti per effetto di assorbimento lavorano sulla colorazione. Con l'ausilio di pigmentazioni di colore giallo-giallastro, la lente riesce ad assorbire la radiazione del colore blu, così modificando la trasmissione della lente. La procedura avviene per immersione del mezzo nella soluzione desiderata.

La lente risulterà più o meno giallastra all'apparenza in base all'effetto più o meno maggiore che si vuole dare alla lente per assorbire la componente blu della luce ⁽¹¹³⁾.

Una parte della radiazione HEV viene anche assorbita o riflessa dai trattamenti fotocromatici e da lenti da sole di categoria 3 o 4 ⁽¹¹³⁾.

La *performance* di tali trattamenti è stata studiata da Tsz Wing Leung et al. in uno studio pubblicato nel 2017. Lo studio ha preso in esame 5 prodotti oftalmici reperibili sul mercato. Nella prima parte si sono studiati gli effetti fototossici, effetti sulla sensibilità scotopica e sulla soppressione della melatonina con e senza i dispositivi. In seguito si è analizzato in modo pseudo-randomizzato la differenza tra filtri con effetto sulla luce blu di assorbimento e con effetto di riflessione. Il tutto è durato un mese e valutato in modo oggettivo e soggettivo.

Le caratteristiche delle lenti danno teoricamente una riduzione della foto-tossicità tra il 10,6 e il 23,6%, ma una diminuzione della sensibilità scotopica e soppressione della melatonina sino al 15%. La sensibilità al contrasto non risulta comunque variata e i soggetti non hanno rilevato differenze riconducibile alla ridotta quantità di melatonina.

La sperimentazione afferma una possibile l'efficacia di tali soluzioni oftalmiche per la foto-tossicità retinica da luce HEV ⁽¹¹⁴⁾.

5.3 Soluzioni oftalmiche in commercio per proteggersi dalla luce UV e HEV.

Analizzando le diverse tipologie di soluzioni oftalmiche che si possono adottare per prevenire gli effetti dannosi provocati dalla radiazione ultravioletta e dalla luce visibile ad alta energia, si è effettuata una ricerca prevalentemente online. L'obiettivo è quello di identificare le diverse tipologie di lenti e trattamenti che 7 aziende produttrici offrono ai loro clienti e le caratteristiche che queste possiedono.

La ricerca si è soffermata su 4 prodotti in particolare:

- lenti da sole
- lenti con *UV coating*
- lenti fotocromatiche
- lenti con trattamento per la radiazione visibile blu

ZEISS, azienda tedesca leader nella produzione di tecnologie biomedicali e nella ricerca affine a questi prodotti, offre tutte le tipologie di prodotti che stavo ricercando.

Per la protezione UV propone lenti da sole di tutte le categorie citate nel testo della legge europea UNI ISO-EN 1836, suddividendole in 3 diverse tipologie d'uso:

- città: categoria 1-3 con assorbimento 0-94% di radiazione UV
- guida: categoria 2-3 con assorbimento 57-92% di radiazione UV
- sport: categoria 2-4 con assorbimento 82-97% di radiazione UV

Per un trattamento UV offre un rivestimento UV400 nominato UVProtect Technology. La protezione UV sino al 100% in materiale CR39, sino ai 400 nm.

La soluzione fotocromatica ZEISS è descritta dalla frase: “*Veloci a scurirsi. Veloci a diventare chiare: lenti a scurimento automatico by ZEISS*”, e ancora “... 24 ore di visione eccellente con scurimento automatico *PhotoFusion*”⁽¹¹⁵⁾.

Per la radiazione HEV il prodotto dell'azienda è DuraVision® BlueProtect, che consente una riduzione della trasmissione della radiazione dai 380- ai 455nm. Le soluzioni sono state catalogate anche da un indice aziendale BPI (BlueProtect Index) che permette di identificare la protezione che il trattamento offre al portatore⁽¹¹⁵⁾.

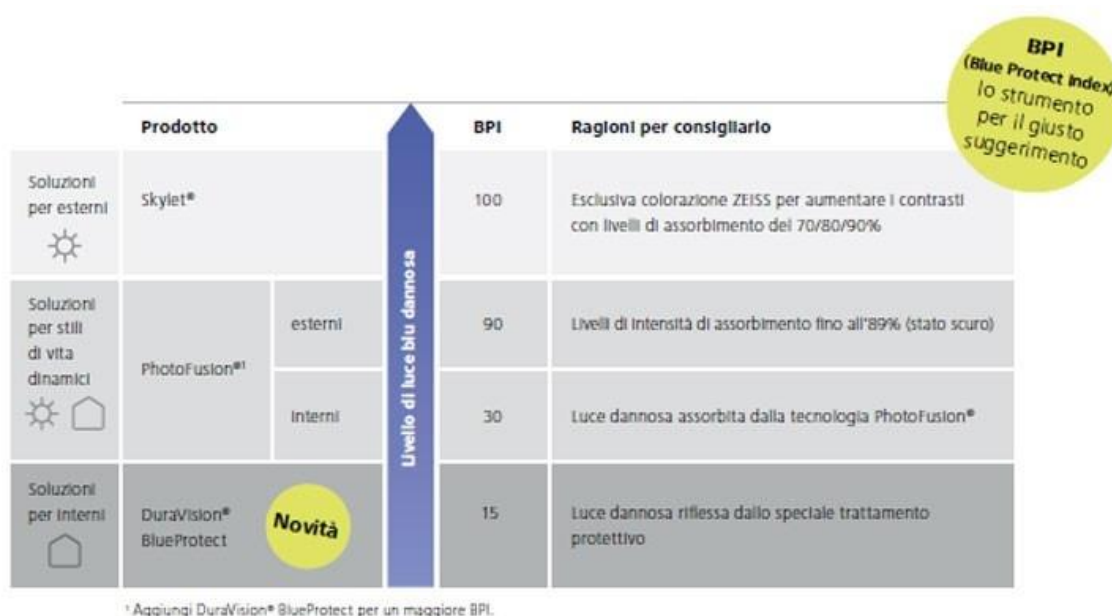


Figura 7: Zeiss e indice aziendale BPI per trattamento della luce blu, www.zeiss.it

Hoya si descrive come un'azienda che punta sullo sviluppo e l'innovazione, guardando il futuro e ricercando nuove tecnologie. Hoya corporation è di origine giapponese da sempre specializzata nel materiale fotografico.

Per la protezione con lenti da sole, l'azienda offre varie soluzioni in base alla categoria di lenti, permettendo una protezione sino al 100% dalla radiazione UV con questi mezzi.

Per il trattamento UV, Hoya propone una protezione UV400 (sino ai 400nm) che consente una protezione alla radiazione del 100% su materiali di indice 1.50 (CR39) applicato sulla superficie interna della lente.

L'azienda propone un trattamento fotocromatico di propria produzione in tre diverse colorazioni, che consentono di *“contenere il riverbero della luce senza influire sulla percezione visiva”*.

Per la protezione dalla radiazione HEV, Hoya è stata la prima a lanciare un trattamento in commercio. Attualmente l'azienda propone un trattamento che riduce la quantità di luce blu dannosa dai 410 ai 450nm che non modifica la percezione dei colori.

Nel 2018 l'azienda ha lanciato una campagna pubblicitaria sull'importanza dei trattamenti per luce UV e luce visibile blu ⁽¹¹⁶⁾.

L'azienda Italiana **Ital Lenti** propone varie soluzioni per il controllo della radiazione UV.

Come le 2 precedenti aziende, le lenti da sole sono classificate secondo la consueta e citata legge europea UNI ISO-EU 1836, le quali possono avere varie colorazioni e un trattamento polarizzante.

Per il trattamento UVTech di Ital Lenti è applicabile solo in aggiunta al trattamento indurente. L'insieme consente una protezione sino ai 420nm di tutta la radiazione UV. Ossia, aggiungendo un assorbimento della radiazione HEV del 45%. Il trattamento è effettuabile anche su lente da sole.

Per il trattamento fotocromatico l'azienda attesta una protezione fino al 100% dalla radiazione UVA e UVB e le definisce come *“lenti dinamiche”*.

Per la sola luce blu l'azienda propone un BLUBLOCK per la luce dai 380 ai 500 nm artificiale, il quale riduce l'effetto di abbagliamento e migliora il contrasto ⁽¹¹⁷⁾.

Essilor è la quarta azienda analizzata. Questa azienda è di origini francesi e nel 2017 ha compiuto una fusione con Luxottica, azienda leader nella produzione del mondo dell'occhialeria.

Nel sito Essilor è possibile avere una spiegazione dell'indice E-SPF per la radiazione UV, utilizzato per analizzare tutti i filtri solari dell'azienda, composta da un'amplissima gamma di prodotti.

Per prevenire i danni da luce UV l'azienda propone varie soluzioni: Xperio UVTM, Transition® e Crizal®.

Xperio UVTM è una lente polarizzata con trattamento da sole che consente la protezione totale dalla radiazione UV.

Le lenti Transition® sono una soluzione fotocromatica di varia tipologia che protegge anche dalla radiazione HEV.

Crizal® è un trattamento su lente trasparente che si divide in diverse tipologie:

- Sapphire®360°UV: consente una protezione totale dalla radiazione UV dannosa,
- Previncia®
- AvancéUV®
- AlizéUVTM
- EasyUVTM
- KidzUVTM
- PrevinciaTMkids

Ogni prodotto ha delle specifiche competenze e diverse tipologie di protezione andate al vario uso della lente. La massima protezione dalla luce UV è un E-ESP 50+ e per la radiazione HEV è una riduzione di trasmissione della radiazione del 25% con trattamento Crizal®Previncia⁽¹¹⁸⁾.

Oftalmica Galileo è un'azienda all'avanguardia per strumentazione scientifica nel campo dell'astronomia, ma che si presta anche al mondo dell'ottica oftalmica.

La lente con maggiore protezione consente “una protezione a 360°” dalla radiazione UV. L'azienda integra l'indice E-ESP 50+ su questa lente.

Come *UV coating* l'azienda offre NevaMaxUV, un trattamento su lenti trasparenti che consente una riduzione della trasmissione del 100% della componente UVB e UVA applicato nello strato esterno, con E-ESP da 10 a 35.

Le lenti fotocromatiche Galileo usano il trattamento Transiation.

Per la luce blu l'azienda propone NevaMaxBlue UV in abbinato al trattamento UV, il quale blocca tutta la radiazione UV e la luce blu nociva ⁽¹¹⁹⁾.

Altra azienda è **Rodenstock** che dal 1877 propone occhiali e soluzioni oftalmiche.

Per la soluzione di occhiali da sole l'azienda propone una protezione sino al 100% della radiazione UV.

Inoltre per la luce UV l'azienda propone un trattamento UV400: protezione del 100% dalla radiazione trasmessa UV.

La soluzione fotocromatica di Rodenstock è ColorMatic IQ®2. In 3 colorazioni possibili, la lente consente una protezione del 100% alla difesa dalla radiazione UV sino ai 400nm.

Per la luce blu l'azienda propone Solitarie®2 il quale protegge dalla luce UV ma anche dalla radiazione HEV artificiale (il sito non indica particolari riferimenti sulla radiazione riflessa dal trattamento) ⁽¹²⁰⁾.

Ultima azienda analizzata per le soluzioni dei problemi recati da luce HEV e UV è Nikon, rinomata azienda nel campo della fotografia, produce anche soluzioni oftalmiche.

Le lenti da sole **NIKON** sono elencate per indice E-SPF. La massima protezione è di 50 per lenti colorate, consentendo la miglior protezione dalla radiazione UV in generale.

Il SeeCoat Plus UV Nikon è un trattamento che segue una tecnologia nanoparticellare per la massima protezione dalla radiazione UV durante tutti i 365 giorni dell'anno. L'indice E-SPF della lente trattata è 25, permettendo un miglioramento visivo in abbinato al trattamento indurente e antiriflesso.

Come altre aziende, NIKON offre tecnologia Transition per un trattamento fotocromatico.

Per la radiazione HEV NIKON propone SeeCoat Blue UV con E-ESP 25, promuovendo il prodotto principalmente alle persone che passano molto tempo davanti a dispositivi quali TV e computer ⁽¹²¹⁾.

La tabella 4 riassume le soluzioni che le 7 aziende offrono:

Azienda	Trattamento lenti da sole	UV <i>Coating</i>	Fotocromatico	Trattamento per luce blu
Zeiss	Protezione UV del 100%	UV400	Produzione Propria	380-455nm BPI 15
Hoya	Protezione UV del 100%	UV400	Produzione Propria	410-450nm
Ital Lenti	Protezione UV del 100%	UV420	Produzione Propria	380-500nm Protezione del 45% della radiazione dannosa HEV
Essilor	Protezione UV del 100% E-ESP 50+	UV400 E-ESP 15-35	Transition	Protezione del 25% della radiazione blu dannosa (E-ESP 25)
Galileo	Protezione UV del 100% E-ESP 50+	UV400 E-ESP 10-35	Transition	E-SPF 10-35 Protezione del 35% della radiazione

				blu dannosa
Rodenstock	Protezione UV del 100%	UV400	Produzione Propria	“Luce blu artificiale”
NIKON	Protezione UV del 100% E-ESP 50	UV400 E-ESP 25	Transition	E-SPF 25

Tabella 4: Insieme delle informazioni sulle lenti oftalmiche prodotte dalle 7 aziende analizzate.

Capitolo 6: Rappresentazione dello spettro elettromagnetico UV e HEV in materia oftalmologica, ottica e oftalmica: constatazioni, applicazioni e conclusioni della tesi.

6.1 Realizzazione del poster ai fini di prevenzione della malattia

In seguito alla ricerca effettuati nei capitoli 3 e 4, si è potuto rappresentare uno spettro elettromagnetico che comprenda la radiazione UV e HEV. Nella rappresentazione sono esposti tutti gli effetti che la radiazione dai 100 ai 495nm provoca.

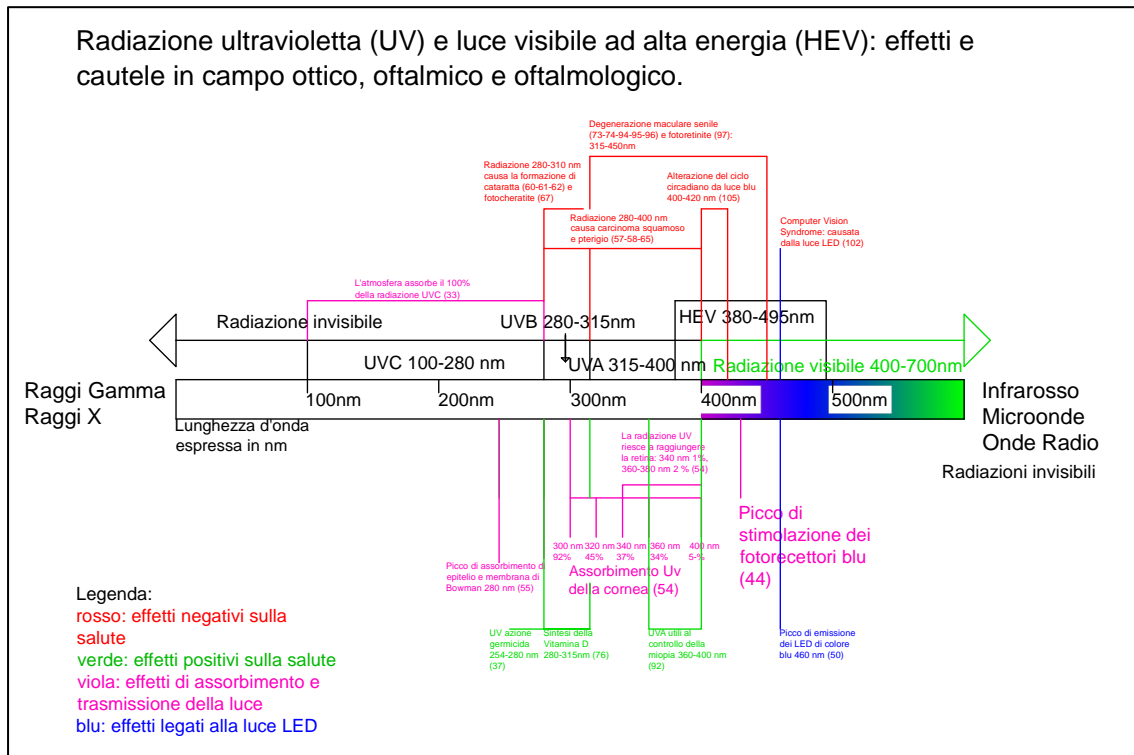


Figura 8: Spettro elettromagnetico di luce UV e HEV risultato dell'analisi della letteratura

La rappresentazione dello spettro elettromagnetico è il corpo centrale del poster ai fini di prevenzione primaria della malattia, definizione attribuita sulla base del testo della Carta di Ottawa del 1986 ⁽¹²²⁾.

Il lavoro è un intervento educativo, dunque di primo livello: si punta a consapevolizzare il soggetto su un argomento specifico.

Si considera questo elaborato un intervento di prevenzione della malattia perché informa l'individuo o la collettività di una serie di possibili alterazioni della salute dell'uomo che la radiazione UV e HEV può causare.

Il poster può anche rientrare nella categoria di interventi di promozione della salute perché l'individuo acquisisce nozioni che comportano un miglior stato di salute.

Si ritiene che le persone professionali che andranno a compiere questa attività possano essere:

- Medici e figure del campo della medicina

- Ottici e optometristi: le due figure possono aiutare con un'assistenza tecnica il cliente a scegliere la migliore soluzione oftalmica o la miglior lente a contatto per prevenire i danni relativi all'argomento
- Figure di educazione specializzate

Il poster realizzato si può trovare a seguito, nelle ultime pagine della tesi.

6.2 Utilizzo del poster: assistenza alla migliore scelta oftalmica

L'utilizzo del materiale non è solo informativo.

Il poster può essere utile dalla figura dell'ottico e optometrista per consigliare la miglior soluzione oftalmica a un cliente al fine di proteggersi dalla luce dannosa UV e HEV.

L'interpretazione dei dati ricavati può condurre a diverse soluzioni.

Come miglior proposta, sulla base dell'analisi effettuata, si divide la consulenza in due diverse fasce di età, in base al soggetto che si presenta:

- Soggetti da 0 a 24-25 anni: soggetti in età di sviluppo/crescita.
- Soggetti da 24-25 anni o superiore: soggetti che hanno completato l'intero sviluppo corporeo.

Dai capitoli 3 e 4 si sono riscontrati diversi segmenti dello spettro elettromagnetico che influenzano l'evoluzione della condizione miopica (progressione miopica).

La Vitamina D risulta dall'evidenza scientifica, una componente essenziale per la prevenzione della miopia e per ridurre influenza della progressione della condizione miopica. Sovviene dunque la necessità di mantenere inalterata, o meno alterata possibile, la sintesi di tale proteina possibile con l'esposizione alla radiazione UVB.

Inoltre UVA dai 360- ai 400nm risultano essenziali per la modulazione della progressione.

Il motivo di tale cautela risiede nel prevenire la condizione refrattiva miopica, la quale risulta da diverse ricerche aver acquisito caratteristiche di epidemia:

- Il 22,9% della popolazione mondiale è miope e si prevede che circa il 50% della popolazione mondiale nel 2050 lo sarà ⁽¹²³⁾
- Il 47% della popolazione europea dai 15 ai 27 anni risulta miope ⁽¹²⁴⁾
- In Italia il 30% della popolazione è miope ⁽¹²⁵⁾
- In Francia circa il 40% delle persone è miope ⁽¹²⁶⁾
- Negli USA uno studio ha comparato la percentuale di persone miopi tra 2 periodi temporali: 1971-1972 e 199-2004. Il risultato evince un incremento di percentuale delle persone miopi del 50% circa (26,3% nel periodo più remoto, 43% nel 2004) ⁽¹²⁷⁾
- Paesi asiatici e relativa prevalenza della miopia nei ragazzi di 15 anni: Singapore 86,2%, Taiwan 80%, Hong Kong 78,2%, Cina 59% ⁽¹²⁸⁾.

La miopia di entità media o elevata, dunque superiore alle 3 diottrie, risulta essere sempre più presente come condizione refrattiva. Questo ha portato alla definizione di una patologia detta: retinopatia miopica.

La patologia evidenzia complicanze quali stafiloma miopico, distrofia e atrofia corioretinica, *tilted disc*, rotture della membrana di Bruch, neovascolarizzazione coroidale e distacco di retina ⁽¹²⁹⁾.

La miopia comincia a stabilizzarsi, dunque non vi è più una progressione del difetto refrattivo tra i 20 e i 25 anni, anche se ogni caso va valutato singolarmente ⁽¹³⁰⁾.

Uno studio ha constatato le lesioni retiniche dovute ai problemi strutturali provocati dalla lunghezza assiale eccessiva (condizione necessaria per definire la miopia assiale) si verificano in prevalenza in soggetti con miopia superiore alle 6.00 diottrie ed età superiori ai 25 anni ⁽¹³¹⁾.

Il dato fornito da L.B Guo et al, ha fornito l'identificazione dell'età per consigliare la soluzione oftalmica con i criteri elencati in precedenza.

Anche se la condizione miopica è di origine multifattoriale, la sua progressione è legata da aspetti genetici che non si possono controllare. Uno stile di vita salutare adatto e possibili soluzioni farmaceutiche o competenti al campo delle lenti a contatto e dell'ottica sono la soluzione migliore per rallentare la progressione della miopia e salvaguardare la salute di un soggetto a rischio ⁽¹³²⁻¹³³⁻¹³⁴⁾.

Si ritiene dunque giusto non fornire strumentazioni oftalmiche che non rispettino le evidenze scientifiche relative all'esposizione alle radiazioni UVB promotrici della vitamina D e UVA dai 360-400nm correlate alla miopia sino ai 24-25 anni.

La soluzione oftalmica ottimale per un soggetto ametropo con età inferiore ai 25 anni risulta essere a seguito dell'insieme di informazioni la fornitura di 2 occhiali:

- Un occhiale da vista con lenti su misura per correggere l'ametropia senza alcun trattamento UV, a meno di un filtro che permetta l'assorbimento o la riflessione della radiazione elettromagnetica UVC, UVA dai 320-360nm.
- Un occhiale da sole, con lenti graduate su misura, di categoria 1, 2 o 3 secondo la normativa UNI ISO-EU 1836 (trasmissione 79-3%) per prevenire danni da radiazione ultravioletta in condizioni di elevata esposizione (attività in montagna, giornate particolarmente assolate, etc...)

Spettro elettromagnetico UV-luce visibile dai 100 ai 500nm: effetti positivi e negativi della radiazione utile alla modulazione della progressione miopica.

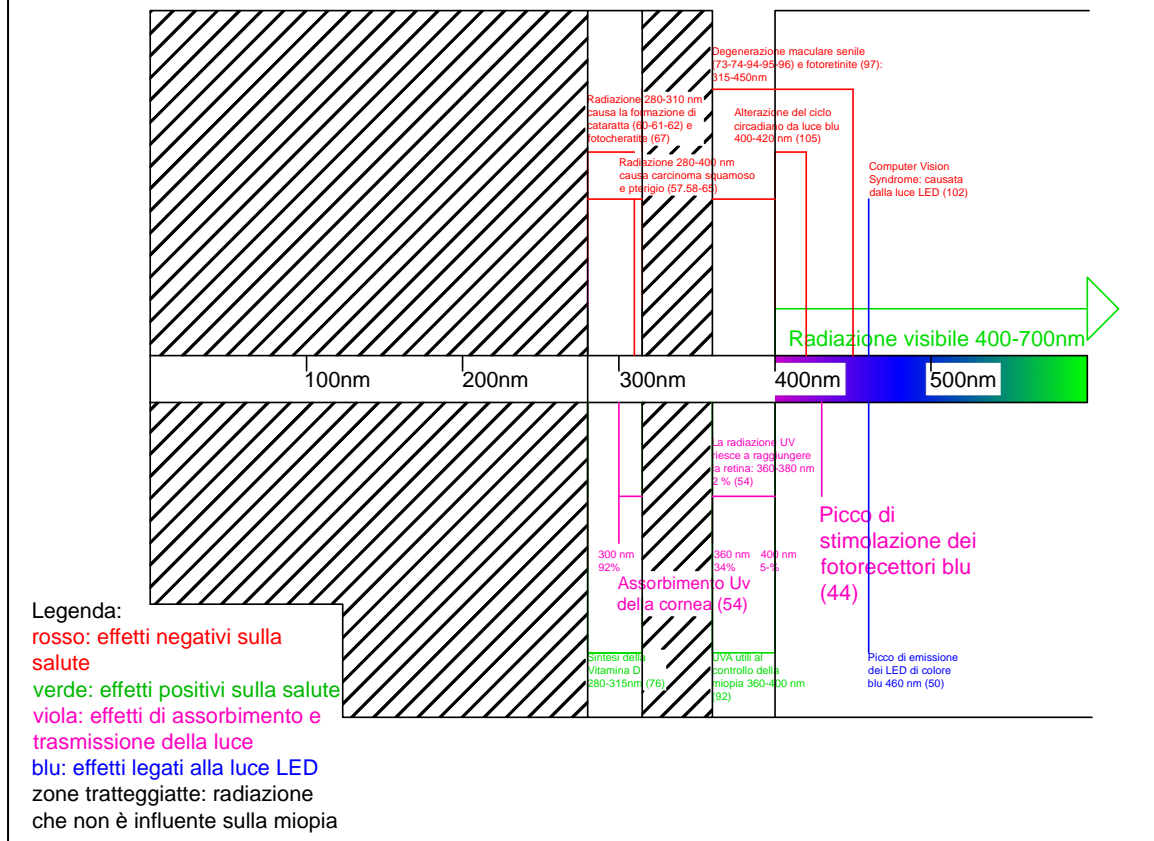


Figura 9: Lo spettro elettromagnetico con applicazione delle soluzioni oftalmiche su misura consigliate per un soggetto miope di età inferiore ai 25 anni

Si è cercato di idealizzare un trattamento che consenta una protezione dalla radiazione UV dannosa per ogni soggetto mentre porta una correzione oftalmica da vista, ma che non interferisca sull'effetto che la radiazione ultravioletta compie sulla prevenzione della progressione miopica.

La lente su cui applicare il trattamento sarà in materiale Crow Glass (numero di Abbe: 59, peso specifico $2,4 \text{ g/cm}^3$) per consentire la trasmissione della luce che promuove la riduzione di progressione miopica ⁽¹⁰⁷⁾.

Si cerca di creare un trattamento applicabile sulla superficie interna della lente oftalmica per prevenire l'effetto di riflessione della luce dannosa UVA (315-360nm) proveniente dalla zona posteriore dell'occhiale.

Si è idealizzato un grafico di assorbimento della radiazione come rappresentato:

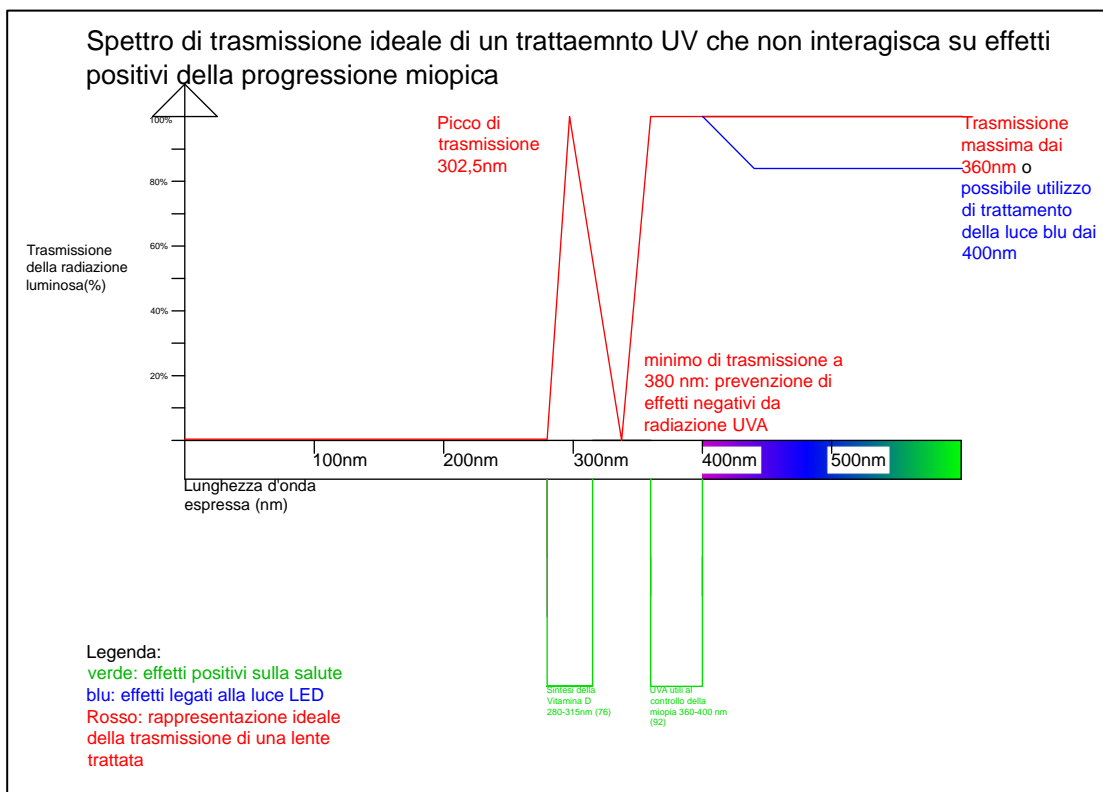


Figura 10: Diagramma di trasmissione di un filtro UV idealizzato per soggetto miope di età inferiore ai 25 anni.

Il prodotto è solo stato idealizzato sulla base delle conoscenze che si esprimono lungo tutta la tesi. Servirebbe identificare i materiali ideali per ottenere un effetto di assorbimento simile a quello rappresentato.

Inoltre si necessita di una prova in laboratorio sulla possibile fattibilità del prodotto, il quale deve mantenere in primis la piena trasparenza della lente oftalmica, sull'efficacia di assorbimento (analisi spettrografica) e su come il prodotto interagisca sulla salute dell'uomo.

Per il controllo degli effetti negativi da radiazione HEV, non risulta alcuna evidenza scientifica del loro effetto negativo, se non alterazioni della percezione cromatica. Risulta comunque essenziale non utilizzare, in condizioni di rischio di progressione miopica, trattamenti che compromettono la trasmissione della radiazione UV inferiore ai 400nm (per esempio il trattamento DuraVision Blue®Protect di ZEISS).

Si ritiene l'utilizzo della tipologia di trattamento essenziale in situazioni in cui il soggetto trascorra più di 10-20 ore al computer alla settimana (soprattutto la categoria dei videoterminalisti), per non compromettere il ciclo circadiano.

Inoltre si ritiene che l'educazione ad un adeguato e limitato uso di strumentazione con LED deve essere insegnato e divulgato a soggetti in età giovanile. Il fine è prevenire condizioni inadatte e alterate di salute. Questa attività potrebbe essere anche svolta dall'ottico o ottico e optometrista oltre che dalle figure mediche.

In soggetti con età superiore ai 25 anni, in cui la condizione refrattiva risulta stabile a seguito di constatazioni mediche o a seguito di un controllo optometrico, l'utilizzo di trattamento UV (ad esempio un trattamento UV400) risulta essere utile applicato anche sull'occhiale da vista.

L'utilizzo può consentire:

- Rallentamento della formazione di cataratta
- Protezione dall'insorgenza di pterigio
- Protezione dall'insorgenza di carcinoma squamoso
- Prevenzione della degenerazione maculare senile
- Prevenzione di fotocheratite e fotoretinite

Le condizioni patologiche possono compromettere la vista in modo permanente

Si può anche consigliare un trattamento UV che trasmetta solamente una piccola quantità di radiazione UVB per promuovere la sintesi della vitamina D per contenere il rischio di insorgenza di alcune patologie esplicitate nel capitolo 5.

Si ritiene dunque opportuno consigliare ad un cliente di questa categoria:

- Un occhiale da vista con trattamento UV (UV400)
- Un occhiale da sole per le condizioni di elevata esposizione di radiazione ultravioletta (categorie 2, 3 e 4 per la legge UNI-ISO EN 1836) per una migliore protezione dalla radiazione UV dannosa

Il trattamento per la luce blu può essere consigliato a persone con definizione lavorativa di videoterminalista, per prevenire sia la degenerazione maculare sia la

modifica del ciclo circadiano. In questo modo il miglioramento del ciclo sonno-veglia potrebbe trarne vantaggio migliorando lo stile di vita del soggetto e il rendimento lavorativo. Anche soggetti che spesso rimangono davanti a dispositivi elettronici possono trarre vantaggio nell'utilizzo.

Assolutamente sconsigliato è l'utilizzo di tali dispositivi a persone con attività relative allo studio di colori e ambito artistico: la modificazione della percezione cromatica e del contrasto può influire sull'attività lavorativa.

6.3 Conclusioni sulla ricerca dei prodotti oftalmici in commercio

A seguito dell'analisi online effettuata ed esposta nel capitolo 5, si è potuto affermare che:

1. La legge europea UNI ISO-EU 1836 ha consentito uniformità nei vari prodotti per le informazioni da riferire a un possibile cliente alla vendita. Questo permette di paragonare in modo soggettivo i vari prodotti di varie aziende produttrici, perché l'efficacia del mezzo è garantita dalla categoria del prodotto stesso
2. I trattamenti UV *Coating* maggiormente usati sono definiti UV400; solo Ital Lenti propone una protezione alla radiazione HEV fino ai 420nm con il trattamento.
3. Solo 3 aziende offrono informazioni facilmente accessibili sull'indice E-ESP per i vari trattamenti: Essilor, NIKON, Galileo
4. Essilor, Galileo e NIKON utilizzano lenti fotocromatiche con trattamento Transition, solo le altre 4 aziende hanno un trattamento fotocromatico di loro produzione
5. Le informazioni sul trattamento per prevenire danni da radiazione HEV sono poco uniformi e spesso mancano di base scientifica, segno di una mancata normativa che regoli la fornitura di mezzi oftalmici con tale trattamento
6. Solo ZEISS ha utilizzato un indice per catalogare la protezione fornita dal trattamento alla luce blu di loro idealizzazione.

Bibliografia

1. J.D. Cutnell, K.W. Johnson; “*Elementi di fisica*”, Cap 15, Zanichelli 2010
2. J.D. Cutnell, K.W. Johnson; “*Elementi di fisica*”, Cap 24, Zanichelli 2010
3. J.D. Cutnell, K.W. Johnson; “*Elementi di fisica*”, Cap 9, Zanichelli 2010
4. F.W. Sears, “*Ottica*”, Casa Editrice Ambrosiana, prima edizione 1982
5. www.treccani.it, “L’effetto fotoelettrico”, consultato 7 maggio 2018
6. D. Rebuzzi, Università di Pavia e INFN, “*L’effetto fotoelettrico*”, anno 2008/2009
7. A. Ravizza, “*Che cosa sono i fotoni?*”, 1 gennaio 2016, da www.scienzaeconoscenza.it, consultato 7 maggio 2018
8. Dizionario treccani, www.treccani.it, consultato 7 maggio 2018
9. G. Li Causi, “*Relatività Speciale*”, www.scienzapertutti.unifn.it, consultato il 7 maggio 2018
10. www.wikipedia.org, “*Rifrazione*”, consultato 8 maggio 2018
11. E. Modica, docente I.P.C.L. “Ninni Cassarà”, “*La rifrazione della luce*”, dispense disponibili su www.galois.it
12. www.wikipedia.org, “*Riflessione (fisica)*”, consultato 8 maggio 2018
13. S. Gelosa, “*Legge di Lambert e Beer*”, enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2008)
14. I. Cesaro, “*Polarizzazione della legge e la legge di Malus*”, Associazione per l’insegnamento della fisica, pubblicato anno XXVI n.1 gennaio/marzo 1993
15. O. Murerati, “*Interferenza e diffrazione*”, Enciclopedia Italiana 1933
16. A. Biasotti, “*Introduzione alla spettrografia*”, aggiornato il 17 luglio 2015, Didattica Chimica, www.bisceglia.eu
17. A. Foltran, M. Recchia, M. Vitali, C. Viviani, S. Peccolo, E. Sech, I. Sadak, N. Milanese, L. Toffolin, G. Chisini, “*L’aberrazione cromatica*”, febbraio 2016, disponibile su www.archimedeproject.isisspieve.it

18. P. Cavallo, *“Il prisma di Newton”*, 27 maggio 2009, consultato su www.aulascienze.scuola.zanichelli.it
19. P. Atkins, L. Jones, *“La chimica di Atkins”*, Zanichelli 2012
20. G. Peruzzi, *“I cento anni dal primo modello quantistico dell’atomo”*, Il giornale degli studi di Padova, 27 dicembre 2013
21. www.wikipedia.org, *“Radiazione ultravioletta”*, consultato 9 maggio 2018
22. www.wikipedia.org, *“Radiazione infrarossa”*, consultato 9 maggio 2018
23. Chemistry LibreTexts, www.chem.libretexts.org, *“Spectrophotometry”*, Aggiornato il 22 luglio 2015, consultato il 9 maggio 2018
24. L. Battista, *“Lo spettro elettromagnetico”*, consultato su www.openfisica.com 9 maggio 2018
25. www.users.unimi.it, *“Lo spettro elettromagnetico”*, tabella modificata dall’originale
26. P. Buonadonna, www.anniluce.wordpress.com *“Viaggio attraverso lo spettro elettromagnetico”*, file reperito su www.google.immagini.it
27. Istituto nazionale di astrofisica (INAF), *“Lo spettro elettromagnetico”*, pubblicato su www.iasf-milano.inaf.it, consultato 11 maggio 2018
28. www.wikipedia.org, *“Il fotone”*, consultato 11 maggio 2018
29. Marazzini, Guzzi, Bonicalzi, *“Che cos’è la fisica?”*, Editoriale Jaca Book, consultato su www.books.google.it
30. M. Barbalacea, F. Gugliermetti, F. Bisegna, F. Lucchese; *“Studio per la valutazione degli effetti della luce sugli esseri umani”*, Università Sapienza di Roma DIAEE – Area Fisica Tecnica
31. F. Vassallo, *“Studio sui rischi e i benefici dei raggi ultravioletti”*, cap 4, visualizzato su www.solariumsmart.it 22 maggio 2018
32. V. Alessandro, *“Atmosfera: proprietà termiche”*, Blog ISIS Leonardo da Vinci, consultato 16 maggio 2018
33. Arpae, *“Cos’è la radiazione UltraVioletta”*, www.arpae.it, consultato il 16 maggio 2018
34. A. Amendola et al., *“Le radiazioni ultraviolette”*, 2012 Zanichelli editore SpA – Bologna

35. Epicentro, il portale dell'epidemiologia per la sanità pubblica (ISS), "*Raggi ultravioletti*", 3 agosto 2006, consultato il 16 maggio 2018
36. WHO, WMO, UNEP, ICNRP, "*Global solar UV index, a Practical Guide*", 2002
37. www.wikipedia.org, "*Radiazione ultravioletta germicida*", consultato 16 maggio 2018
38. G. Bonaventura, PhD, "*Controllo biologico dei microrganismi: sterilizzazione & disinfezione*", unich.it, consultato 16 maggio 2018
39. Holick MF., "*Vitamin D important for prevention of osteoporosis, cardiovascular heart disease, type 1 diabetes, autoimmune disease and some cancers*", *South Med J.* 2005
40. Lambert GW, Reid C, Kaye DM et al., "*Effect of sunlight and season on serotonin turnover in the brain*", *Lancet* 2002
41. C. Signorelli, M. Fonti, "*Radiazione ultravioletta; Gli aspetti positivi sulla salute*", *ARPA Rivista*, marzo-aprile 2006
42. P. L. Marmiroli, G. A. Cavaletti, "*Elementi di anatomia e istologia oculare*", 2009 Aracne Editore
43. M. F. Bear, B. W. Connors, M. A. Paradiso, "*Neuroscience: Exploring the brain*", quarta edizione, 2016 Wolters Kluwer
44. M. Piccolino, A. Navangione, "*Un sistema sensoriale ad alte prestazioni. La retina dei vertebrati*", articolo disponibile su www.marcopiccolino.org
45. D. Holzman, "*What's in a Color? The Unique Human Health Effects of Blue Light*", *Environmental Health Perspectives* 2010
46. T. Höferová, "*Blue light and its influence on our eye and body*", University in Prague CTU, 2017
47. P. Santucci, "*Luce blu: computer lampade e... web*", *ANMA Medico Competente Journal* 1-2017, rubrica Ufficio e Salute
48. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, "*Regolamento delegato (UE) N. 874/2012 della commissione*", 12 luglio 2012, pubblicato il 26 settembre 2012

49. F. Bisegna, F. Gugliermetti, M. Barbalance, L. Monti, “*Stato d’arte dei LED*”, Università La Sapienza di Roma, Dipartimento di fisica tecnica, reperito su www.enea.it
50. International dark-sky association, “*Nightscape*”, Issue #80 anno 2010
51. ISTAT, “*Cittadini, imprese e ICT*”, statistiche e report Anno 2017, 21 dicembre 2017
52. Tina Lu, “*Almost Half of Smartphones Users Spend More Than 5 Hours A Day on Their Device*”, www.counterpointresearch.com
53. D. S. Sutton, “*Time Spent Watching TV Increased in Italy and France in 2015*”, HIS Markit Says, 26 Luglio 2016
54. C. Benedetti, “*Occhio e sole*”, 19 ottobre 2012, consultato su www.carlobenedetti.it 19 maggio 2018
55. L. Kolozsvári, A. Nógrádi, B. Hopp, Z. Bor, “*UV Absorbance of the human cornea in the 240- to 400-nm range*”, Invest Ophthalmol Vis Sci, 2002;43:2165-2168
56. P. Forst Gorder, The Ohio State University, “*Scientists see DNA get “Sunburned” for the first time*”, 30-1-2007, visualizzato su www.news.osu.edu 19 maggio 2018
57. G. P. Dotto, A. K. Rustgi, “*Squamous cell cancers: a unified perspective on biology and genetics*”, Cancer Cell. 2016 May 9; 29(5): 622–637
58. G. Lindgren, B. L. Diffey, O. Larkö, “*Basal cell carcinoma of the eyelids and solar ultraviolet radiation exposure*”, Br J Ophthalmol 1998;82: 1412-1415
59. Massimo G. Bucci, “*Oftalmologia*”, Edizione Società Edizione Universo, anno pubblicazione 1993.
60. Y. Wang, F. Li, G. Zhang, H. Guan, “*Ultraviolet-B induces ERCC6 repression in lens epithelium cells of age-related nuclear cataract through coordinated DNA hypermethylation and histone deacetylation*”, Clinical Epigenetics 2016 8:62
61. P.G. Söderberg, N. Talebizadeh, Z. Yu, K. Galichanin, “*Does infrared or ultraviolet light damage the lens?*”, Eye 2016 30,241-246

62. J. Zhang, H. Yan, S. Löfgren, X. Tian, M.F. Lou, “*Ultraviolet Radiation-Induced cataract in mice: the effect of age and the potential biochemical mechanism*”, Invest Ophthalmol vis sci. 2012,53:7276-7285
63. R. Hugh, M.D. Taylor, “*Ultraviolet radiation and the eye: an epidemiologic study*”, Tr. Am. Ophthalmic Soc vol LXXXVII, 1989
64. A.M. Cimpean, M. Poenaru Sava, M. Raica, *DNA damage in human pterygium: one-shot multiple target*, 7-2-2013 Molecular Vision; 19:348-356
65. D.J. Morgan, F.C. Hollows, “*Pterygium and ultraviolet radiation: a positive correlation*”, BritishJournalofOphthalmology,1984,68,343-346
66. G. Lindgren, L. Diffey, O. Larko, “*Basal cell carcinoma of the eye-lids and solar ultraviolet radiation exposure*”, Brit J Ophthalmol, 1998; 82(12): 1412-1415
67. N.C. Delic, J.G. Lyons, N. Di Girolamo, G.M. Halliday, “*Damaging effects of ultraviolet radiation on the cornea*”, Photochem Photobiol, 2017 Jul; 93(4):920-929
68. A.P. Cullen, “*Photokeratitis and other phototoxic effects on the cornea and conjunctiva*”, Int j Toxicol, 2002 Nov-Dec; 21(6):455-64
69. S. Mouret, A. Forestier, T. Douki, “*The specificity of UVA-induced DNA damage in human melanocytes*”, Photochem Photobiol Sci. Jan 2012;11(1):155-62
70. J. Moan, A.C. Porojnicu, A. Dahlback, “*Ultraviolet radiation and malignant melanoma*”, Adv Exp Med Biol, 2008; 624:104-16
71. H.P. Sun, Yi Lin, C.W. Pan, “*Iris color and associated pathological ocular complications: a review of epidemiologic studies*”, Int J Ophthalmol 2014; 7(5): 872-878
72. K.C. Chen, J. J.J. Jung, A. Aizman, “*Solar retinopathy: etiology, diagnosis and treatment*”, Retinal physician, vol. 10 Oct 1st 2013:46-50
73. American Optometric Association, “*Ocular ultraviolet radiation hazards in sunlight*”, 10 Nov 1993

74. C. Delcourt, A. Cougnard-Grégoire, M. Boniol, I. Carrière, J.F. Doré, M.N. Delyfer, M.B. Rougier, M. Le Goff, J.F. Dartigues, P. Barberger-Gateau, J.F. Korobelnik; “*Lifetime exposure to ambient ultraviolet radiation and the risk for cataract extraction and age-related macular degeneration: the Alienor Study*”, Invest Ophthalmol Vis Sci, 2014 Oct 21; 55(11):7619-27
75. B. Piccoli, S. Orsini, “*Luce e UV*”, Biblioteca della luce Reggiani, prima edizione 1998
76. R.Y. Reins, A.M. McDermott, “*Vitamin D: application for ocular disease and therapeutic potential*”, Exp Eye Res. 2015, May; 134:101-110
77. J.A. Alselem et al., “*Characterization of vitamin d production by human ocular barrier cells*”, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2014; 55:2140-2147
78. Z. Yin et al., “*Vitamin D enhances corneal epithelial barrier function*”, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2011; 52:7359-7364
79. J.A. Jhonson et al., “*Immuno-localization of the calcitriol receptor, calbindin-D28k and the plasma membrane calcium pump in the human eye*”, Curr. Eye Res. 1995; 14:101-108
80. M. Nebbioso, G. Buomprisco, A. Pascarella, N. Pescosolido, “*Modulatory effects of 1,25-dihydroxyvitamin D3 on eye disorders: a critical review*”, Crit Rev Food Sci Nutr. 2017 11,57(3):559-565
81. H. Albert, L.A. Plum, W. Yang, M. Marcet, M.J. Lindstrom, M. Clagett-Dame, H.F. DeLuca, “*Responsivness of human retinoblastoma and neuroblastoma models to non-calcemic 19-nor Vitamin D*” Analog. J. Steroid Biochem. Mol. Biol. 2005; 97:165-172
82. B.M.J. Merle, R.E. Silver, B. Rosner, J.M. Seddon, “*Associations between Vitamin D intake and progression to incident advanced Age-Related macular degeneration*”, IOVS, September 2017, vol 58 11:4569-4578
83. Z. Ren W. Li, Q. Zhao, L. Ma, J. Zhu, “*The impact of 1,25-dihydroxy vitamin D3 on the expressions of vascular endothelial growth factor and*

- transforming growth factor-β1 in the retinas of rats with diabetes*”
Diabetes Res. Clin Pract. 2012, 98:474-480
84. Y. Tian, C. Wang, Z. Ye, X. Xiao, A. Kijlstra, P. Yang, “*Effect of 1,25-dihydroxyvitamin D3 on Th17 and Th1 response in patients with Bahcet’s disease*”, Invest. Ophthalmol Vis. Sci. 2012; 53:6434-6441
85. R.Y. Reins, A.M. McDermott, “*Vitamin D attenuates Toll-like receptor 3 induced inflammation in human corneal epithelium cell.*” IOVS 2013; e-abstract 2067
86. T.K. Yoo, E. Oh, S. Hong, “*Is vitamin D status associated with open angle glaucoma? A cross-sectional study from South Korea*”, Public Health Nutr 2014, 17:833-843
87. C. Maxia, D. Murtas, M. Corrias, I. Zucca, L. Minerba, F. Piras, c. Marinelli, M.T. Perra, “*Vitamin D and vitamin D receptor in patients with ophthalmic pterygium*”, European Journal of histochemistry 2017; vol 61:2837
88. M.N. Miranda, “*The geographic factor in the onset of presbyopia*”, Tr. Am. Ophth. Soc. Vol LXXVII, 1979
89. K.E. Brookman, “*Refractive management of ametropia*”, Butterworth-Heinemann, 1996
90. E. Goldschmidt, N. Jacobsen, “*Genetic and environmental effects on myopia development and progression*”, Eye (Lond.) 2014 Feb; 28(2):126-133
91. C.M. Mcknight, J.C. Sherwin, S. Yazar, h. Forward, A.X. Tan, A.W. Hewitt, C.E. Pennel, I.L. Mcallister, T.L. Young, M.T. Coroneo, D.A. Mackey, “*Myopia in young adults is inversely related to an objective marker of ocular sun exposure: the western Australian raine cohort study*”, Am. J. Ophthalmol 2014, Nov; 158(5):1079-1085
92. H. Toori et al, “*Violet light exposure can be a prevenient strategy against myopia progression*”, EBioMedicine 15 (2017) 210-2019
93. S. Yazar, A.W. Hewitt, L.J. Black, C.M. McKnight, J.A. Mountain, J.C. Sherwin, W.H. Oddy, M.T. Coroneo, R.M. Lucas, D.A. Mackey,

- “Myopia is associated with lower vitamin D status in young adults”,
Invest. Ophthalmol Vis Sci, 2014, 55:4552-4559
94. A.E. Fletcher, G.C. Bentham, M. Agnew et al., “Sunlight exposure, antioxidants, and age-related macular degeneration”, Arch Ophthalmol. 2008 Oct, 126(10):1396-403
95. Y.M. Shang, G.S. Wang, D.H. Sliney, C.H. Yang, L.L. Lee; “Light-emitting-diode induced retinal damage and its wavelength dependency in vivo”, Int. J. Ophthalmol, Vo 10-2 Feb 2018, 2017
96. V. Algere, J. Marshall, S. Seregard; “Age related maculopathy and the impact of blue light hazard”, Acta Ophthalmologica Scandinavica, Vol 84, Issue 1, 23 Jan 2006
97. G. Tosini, I. Ferguson, K. Tsubota; “Effect of blue light on the circadian system and eye physiology”, Molecular Vision 2016; 22:61-72
98. American Optometric Association, “Computer Vision Syndrome”, www.aoa.org, visualizzato 1 giugno 2018
99. INAIL, “Videoterminalisti”, www.inail.it, aggiornamento del 24 marzo 2016
100. C.J. Morrison, D. Aeschbach, F.A.J.L. Scheer, “Circadian system, sleep and endocrinology”, Mol cell Endocrinol. 2012 Feb 5; 349(1):91-105
101. V. Pilonis, S.E. Tam, S. Hughes, C.A. Potheary, A. Jagannath, M.W. Hankins, D.M. Bennerman, S.L. Lightman, V.V. Vyazovskiy, P.M. Nolan, R.G. Foster, S.N. Peirson, “Melanopsin regulates both sleep-promoting and arousal-promoting responses to light”; PLoS Biol., 2016 Jun; 14(6): e1002482
102. J.S. Emens, H.J. Burgess, “Effect of light and melatonin and other melatonin receptor agonist on human circadian physiology”, Sleep Med Clin. 2015, Dec; 10(4): 435-453
103. M. Guidotti, “Filtri solari”, 2006, uniroma, Dipartimento di chimica e Tecnologie del farmaco

104. T. Menduto, *“Dispositivi per la protezione individuale dalle radiazioni ottiche”*, 2-2-2011 visualizzato 24 maggio 2018 su www.puntosicuro.it
105. www.wikipedia.org, *“Occhiali da sole”*, consultato 24 maggio 2018
106. www.wikipedia.org, *“Lente fotocromatica”*, consultato 24 maggio 2018
107. Laramy-K Independent Optical Lab, *“Lens Materials”*, May 5 2010, consultato su www.laramyk.com 9 giugno 2010
108. F. Behar-Cohen, G. Baillet, T. de Ayguavives, P.O. Garcia, J. Krutman, P. Penã-García, C. Reme, J. S. Wolffsohn, *“Ultraviolet damage to the eye revisited: eye-sun protection factor (E-SPF®), a new ultraviolet protection label for eyewear”*, *Clinical Ophtalmology* 2014: 8 87-104
109. www.wikipedia.org; *“UV coating”*, consultato 5 giugno 2018
110. K. Citek, *“Anti-reflective coating reflect ultraviolet radiation”*, Pacific Univerity, Faculty Sholarship (COO), Paper 5, 2008
111. J.C. Liou, M.C. Teng, Y.S. Tsai, E.C. Lin, B.Y. Chen, *“UV-blocking spectacle lens protects against UV-induced decline of visual performance”*, *Molecular Vision* 2015; 21:846-856
112. K. Rifai, M. Hornauer, R. Buechinger, R. Schoen, M. Barraza-Bernal, S. Habtegiorgis, C. Glasenapp, S. Wahl, T. Mappes, *“Efficiency of ocular UV protection by clear lenses”*, *Biomedical Optics express*, Vol. 9, n°4, 1 April 2018
113. Points de Vue, *“Controllo avanzato della luce blu nociva con lenti fotocromatiche transition”*, *International Review of Ophtalmic Optics*, pubblicazione online, marzo 2016
114. T.W. Leung, R.W. Li, C. Kee, *“Blu-light filtering spectacle lens: optical and clinical performances”*, *PLOS ONE*, Jen 3, 2017, DOI:10.1371
115. Informazioni ricavate da www.zeiss.it consultato 10 giugno 2018
116. Informazioni ricavate da www.hoyavision.com consultato 10 giugno 2018

117. Informazioni ricavate da www.itallenti.com consultato 10 giugno 2018
118. Informazioni ricavate da www.essilor.it consultato 10 giugno 2018
119. Informazioni ricavate da www.galileoitalia.it consultato 10 giugno 2018
120. Informazioni ricavate da www.rodenstock.com consultato 10 giugno 2018
121. Informazioni ricavate da www.nikon-lenswear.it consultato 10 giugno 2018
122. Organizzazione mondiale della sanità (OMS), *“Carta di Ottawa” 1986*
123. B. A. Holden, T. R. Fricker, D.A. Wilson, M. Jong, K.S. Nadiou, P. Sankaridurg, T.Y. Wong, T.J. Naduvilath, S. Resnikoff, *“Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050”*, American academy of ophthalmology, may 2016 Vol. 123, Issue 5, pages 1036-1042
124. King’s College London, *“Short-sightedness becoming more common across Europe”*, postet on www.kcl.ac.uk May 11 2015
125. E. Intini, *“L’epidemia mondiale di myopia”*, *Focus* 28 ottobre 2015
126. E. Matamoros, P. Ingrand, F. Pelen, Y. Bentaleb, M. Weber, J-F. Korobelnik, E. Souied, N. Leveziel, *“Prevalence of Myopia in France”*, *Medicine (Baltimore)*, 2015 Nov; 94(45): e1976
127. S. Vitale, R.D. Sperduto, FL. Ferris 3rd; *“Increased prevalence of myopia in the United States between 1971-1972 and 1999-2004”*, *Arch. Ophthalmol.* 2009 Dec; 127(12): 1632-9
128. A.R. Rudnicka, V.V. Kapetanakis, A.K. Wathern, N.S. Logan, B. Gilmartin, P.H. Whincup, D.G. Cook, C.G. Owen, *“Global variation and time trends in the prevalence of childhood myopia, a systematic review and quantitative meta-analysis: implications for aetiology and early prevention”*, *Br. J. Ophthalmol.* 2016 Jul; 100(7) 882-890

129. Agenzia internazionale per la prevenzione della cecità-IAPB Italia onlus, “*Retinopatia miopica*”, www.iapb.it, pubblicato il 14 maggio 2009, aggiornato il 6 settembre 2016, consultato 11 giugno 2018
130. Dott. R. Ardia, “*Miopia*”, in collaborazione con Bambino Gesù Istituto per la salute, consultato su www.ospedalebambinogesu.it 12 giugno 2018
131. L.B. Guo, XH, Zheng, J.W. Wang, Z.H. Wang, S. Geng, X.Y. Chen, J.J. Ye, “*Myopic and retinopathy*”, *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao*. 2007 Aug; 29(4):538-42
132. P. Distante, A.C.V. Vercellin, M. Raimondi, S. Lanteri, S. Lombardo, G. Milano, P.E. Bianchi, “*I fattori ambientali nell’eziopatogenesi della miopia: certezze, ipotesi, controversie*”, *Bollettino della Società Medico Chirurgica di Pavia* 127(1):51-58, Comunicazione presentata all’adunanza del 13 gennaio 2014
133. E. Goldschmidt, N. Jacobsen, “*Genetic and environmental effects on myopia development and progression*”, *Eye (Lond)*. 2014 Feb; 28(2):126-133
134. J.J. Walline, K. Lindsley, S.S. Vedula, S.A. Cotter, D.O. Mutti, J.D. Twelker, “*Interventions to slow progression of myopia in children*”, *Cochrane Database Syst Rev*. 2011; (12) CD004916