

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE



Applicazioni in ambito medico/biologico dei LED

Relatore: Ch.mo Prof. Gaudenzio Meneghesso

Laureanda: Chiara Rui

Anno Accademico 2011/2012

*Alla mia famiglia, in particolare a mio padre,
che mi ha sostenuto e incoraggiato in ogni
mia scelta.*

INDICE

SOMMARIO.....	5
INTRODUZIONE.....	6
CAPITOLO 1 - LIGHT EMITTING DIODE.....	7
1.1 Principi di funzionamento.....	7
1.2 Processi di ricombinazione: radiativi e non radiativi.....	7
1.3 La struttura dei LED e loro proprietà.....	9
1.3.1 Le giunzioni.....	9
1.3.1.1 Omogiunzione.....	9
1.3.1.2 Eterogiunzioni.....	9
1.3.1.3 Doppia eterostruttura.....	10
1.3.1.4 Strutture quantiche.....	10
1.4 Vantaggi/Svantaggi dei LED e prestazioni.....	11
CAPITOLO 2 - ILLUMINAZIONE PER AMBIENTI INTERNI/ESTERNI A STATO SOLIDO..	13
2.1 Nuova tipologia di illuminazione.....	13
2.2 Luce integrata negli elementi architettonici ed effetti di luce diffusa.....	13
2.3 Controllo degli abbagliamenti e delle riflessioni.....	14
2.4 Illuminazione urbana : risparmio energetico.....	15
2.4.1 Lampioni a LED a New York.....	15
2.4.2 Cina : la più lunga via del mondo illuminata a LED.....	16
2.4.3 Il ponte di San Diego illuminato con i LED.....	17
2.4.4 LED a Genova.....	17
2.4.5 Primo tunnel a LED d'Europa.....	17
2.4.6 Il più grande complesso LED al mondo.....	18
2.5 Lampadina a LED : Philips vince il concorso L prize.....	18
CAPITOLO 3 - APPLICAZIONI DEI LED IN AMBITO MEDICO.....	20
Introduzione: radiazione ultravioletta (UV).....	20
3.1 LED per la salute.....	21
3.1.1 I LED UV per disinfezione (UVGI).....	21
3.1.2 I LED UV e la vitamina D.....	23
3.1.3 I LED e la cura della pelle.....	24
1.3.1.1 Introduzione.....	24
1.3.1.2 Terapia fotodinamica: la luce alleata nella lotta ai tumori della pelle.....	25
1.3.1.3 Fotobiomodulazione e terapia fotodinamica con LED atermici.....	25
1.3.1.4 Curare psoriasi e vitiligine con l'uso dei LED UV.....	27
1.3.1.5 Il ringiovanimento e cura delle ferite con i LED.....	30
3.1.4 I LED UV e il cheratocono.....	34
3.1.4.1 La nuova frontiera: il cross-linking corneale.....	35
3.1.5 LED nelle apparecchiature mediche.....	37
3.1.5.1 LED in sala operatoria: nuova era delle lampade scialitiche	37

3.1.5.2LED in odontoiatria.....	39
3.1.5.2.1 Lampada polimerizzatrice.....	39
3.1.5.2.2 Sbiancamento dentale.....	41
3.1.5.3LED: tecnologia nella cura dell'ittero neonatale.....	44
3.1.6 Innovazione.....	45
3.1.6.1LED per alleviare i dolori causati dalla chemioterapia.....	45
3.1.6.2Fluorescenza dopo l'esposizione a raggi UV: identificazione del tumore al cervello.....	46
3.2 I LED UV per la disinfezione dell'acqua.....	48
3.3 I LED UV per la crescita delle piante: esperimento della NASA.....	51
CONCLUSIONI.....	54
BIBLIOGRAFIA.....	55

SOMMARIO

Lo scopo di tale lavoro è studiare le varie applicazioni dell'illuminazione a stato solido (LED), tecnologia tutt'ora in via d'espansione.

Nel primo capitolo, dopo aver fornito un quadro generale in cui viene presentato il funzionamento del dispositivo, le sue caratteristiche e i vantaggi che tale nuova tecnologia comporta, si darà ampio spazio alle varie applicazioni.

Il secondo capitolo tratta l'illuminazione tramite le lampade a LED e le novità introdotte con la luce integrata a livello architettonico e nell'illuminazione di ambienti interni/esterni. Successivamente vengono poi presentati alcuni esempi in cui si è scelto di utilizzare i LED per l'illuminazione : a New York, in Cina, a San Diego, a Genova, nei Paesi Bassi e ad Abu Dhabi.

Segue poi il terzo capitolo, cuore pulsante del lavoro, nel quale viene focalizzata l'attenzione sulle applicazioni in ambito medico/biologico approfondendo tre filoni principali : la notevole presenza dei LED nelle terapie mediche, i LED UV nel trattamento delle acque e i LED UV per favorire la crescita delle piante.

Il primo filone tratta l'utilità della fototerapia tramite LED per il ringiovanimento della cute, la cura delle ferite e in particolare la terapia tramite LED UV per la cura della vitiligine e della psoriasi.

Dalle applicazioni in ambito dermatologico appena esposte, si passa poi alle applicazioni in ambito oculistico evidenziando come i LED UV vengano utilizzati nella terapia della patologia della cornea chiamata cheratocono. Successivamente si evidenzia l'importanza dei LED nelle apparecchiature mediche : dalle lampade scialitiche utilizzate nelle sale operatorie di ultima generazione, alle lampade polimerizzatrici in ambito odontoiatrico fino ai LED nelle incubatrici per la cura dell' ittero neonatale.

La parte finale della trattazione delle applicazioni mediche vuole proiettare tale nuova tecnologia nel futuro accennando a scoperte recentissime e tutt'ora in fase di studio.

Studi condotti dalla NASA sono stati approfonditi e hanno sottolineato la possibilità di alleviare le ulcere della mucosa causate dalla chemioterapia. Un'altra applicazione innovativa dei LED UV è la capacità, unitamente a una sostanza fotosensibile, di evidenziare in modo molto preciso i contorni del tessuto tumorale cerebrale e aumentare quindi l'efficacia dell'operazione neurochirurgia.

Il secondo filone riguarda l'utilizzo dei LED UV per la disinfezione dell' acqua: l'azione germicida dei raggi UV permette, con dosi specifiche in base al microrganismo da annientare e alla percentuale di disinfezione che si vuole ottenere, di trattare efficacemente le acque senza l'utilizzo di sostanze chimiche.

L'ultimo filone riguarda la crescita delle piante tramite i LED UV ed i relativi vantaggi come si può osservare dalle curve di assorbimento della clorofilla.

INTRODUZIONE

Evoluzione storica della tecnologia LED

Si ottenne emissione di luce da un semiconduttore percorso da una corrente elettrica per la prima volta agli inizi del '900 e tale fenomeno fisico, che venne chiamato elettroluminescenza, è proprio quello che sta alla base del funzionamento dei LED. A causa della scarse capacità nel manipolare i materiali il processo fisico alla base dell'elettroluminescenza non fu compreso appieno. Oggi la fisica permette di spiegare nei dettagli i meccanismi coinvolti nella conversione da energia elettrica a energia ottica. La prima pubblicazione riguardante l'elettroluminescenza risale al 1907 e fu ad opera del suo inventore, il britannico H.J. Round che riuscì a far emettere una debole luce gialla a un cristallo di carburo di silicio (SiC). I primi LED e laser infrarossi (870 – 980 nm) basati sull'Arseniuro di gallio (GaAs) sono stati costruiti nel 1962 e negli anni successivi sono stati rapidamente migliorati fino ad arrivare alla costruzione di LED ad alta luminosità. LED è l'acronimo di Light Emitting Diode (diode ad emissione luminosa). Si tratta di un dispositivo optoelettronico che sfrutta le proprietà di alcuni materiali semiconduttori per produrre fotoni grazie alla ricombinazione di coppie elettrone-lacuna.

Nel 1993 Nakamura sviluppa il primo LED blu InGaN/GaN e ben presto si arriva ai primi LED capaci di emettere luce bianca combinando LED blu ad alta efficienza e fosfori gialli.

I primi LED commerciali furono usati inizialmente in prodotti di nicchia come gli strumenti di laboratorio e successivamente su prodotti di largo consumo come radio, TV, calcolatori e orologi. Con il progredire della tecnologia dei semiconduttori la potenza ottica estraibile da un LED aumentò rapidamente mantenendo l'efficienza e l'affidabilità a livelli accettabili fino ad arrivare all'uso recente dei LED bianchi nell'illuminazione. L'efficienza e la potenza ottica sono cresciuti esponenzialmente raddoppiando ogni 36 mesi circa a partire dagli anni '60 grazie allo sviluppo in parallelo della tecnologia dei semiconduttori e della scienza dei materiali[fig.1]

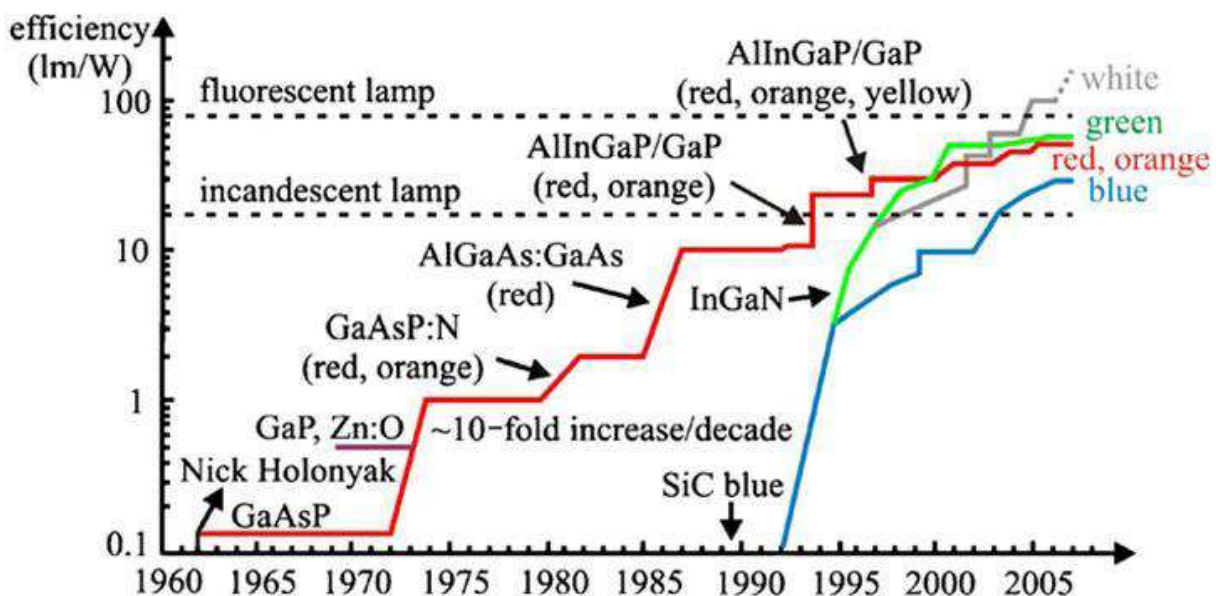


Figura 1 Sviluppo dei LED in termini di efficienza luminosa

CAPITOLO 1 - LIGHT EMITTING DIODE

1.1 Principi di funzionamento

I diodi emettitori di luce, a differenza delle sorgenti di luce convenzionali, sono in grado di convertire direttamente l'energia elettrica in luce. Sono costituiti da una giunzione p-n polarizzata direttamente e con particolari proprietà elettro-ottiche tali da permettere la conversione degli elettroni iniettati in fotoni. I meccanismi che prendono parte all'interno della giunzione possono essere riassunti in

- fenomeni di generazione coppie elettrone-lacuna.
- fenomeni di ricombinazione coppie elettrone-lacuna.

Nel processo di generazione gli elettroni vengono promossi dalla banda di valenza alla banda di conduzione e si viene così a creare una coppia elettrone-lacuna. Ciò avviene grazie all'energia dei portatori iniettati nella giunzione che permette agli elettroni di portarsi in banda di conduzione ad un livello energetico superiore, lasciando in banda di valenza una lacuna o vacanza. Il fenomeno fisico che permette ai LED di emettere luce è invece la ricombinazione. Nella ricombinazione l'elettrone che si trova in banda di conduzione torna in banda di valenza cedendo la sua energia sotto forma di un fotone. L'energia del fotone emesso, e quindi la sua lunghezza d'onda λ , è strettamente legata al materiale con cui è realizzata la giunzione e, idealmente, è pari al salto effettuato dall'elettrone e quindi pari all'energy gap o bandgap del semiconduttore. Per tale motivo l'emissione luminosa di un LED è idealmente monocromatica ed è definita dalla distanza in energia tra i livelli energetici di elettroni e lacune.

In figura 1.1 è possibile vedere delle semplici illustrazioni del processo. Nella realtà l'efficienza è ridotta perché non tutte le ricombinazioni elettrone-lacuna causano l'emissione di un fotone e lo spettro è allargato perché gli elettroni che si ricombinano non hanno tutti la stessa energia.

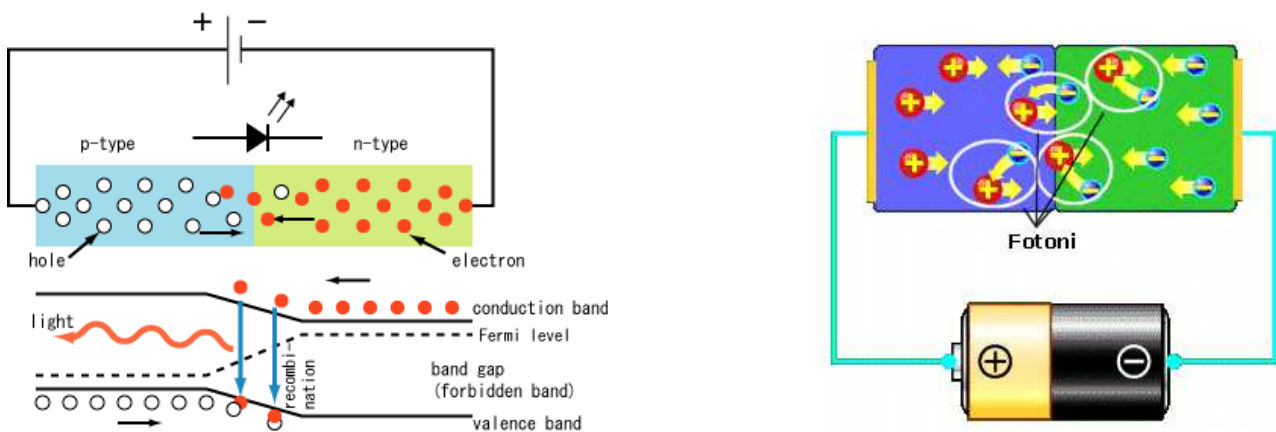


Figura 1.1: Emissione di fotoni da una giunzione pn polarizzata direttamente

1.2 Processi di ricombinazione

Prima di descrivere nei dettagli i meccanismi che regolano i processi di ricombinazione è importante distinguere tra semiconduttori a bandgap diretto e a bandgap indiretto. Nei semiconduttori a bandgap diretto il minimo della banda di conduzione coincide con il massimo della banda di valenza e quindi è possibile che avvenga una transizione diretta. Invece nei semiconduttori a bandgap indiretto, come il silicio e il germanio, il massimo della banda di valenza non coincide con il minimo della banda di conduzione e quindi la ricombinazione elettrone-lacuna tra le due bande non potrà avvenire in maniera diretta

ma solo con la presenza di una vibrazione reticolare (fonone). È facile pertanto convincersi che la ricombinazione sia più probabile nei semiconduttori a bandgap diretto e che questi ultimi siano utilizzati per la realizzazione di LED (arseniuro e nitruro di gallio). I meccanismi di ricombinazione si possono dividere in radiativi e non radiativi. I primi sono accompagnati dall'emissione di un fotone, mentre quelli non radiativi accompagnati dall'emissione di un fonone, cioè una vibrazione reticolare. Ovviamente si cerca di massimizzare la probabilità di ricombinazioni radiative per aumentare l'efficienza dei dispositivi. In figura 1.2 è possibile vedere i principali meccanismi di ricombinazione.

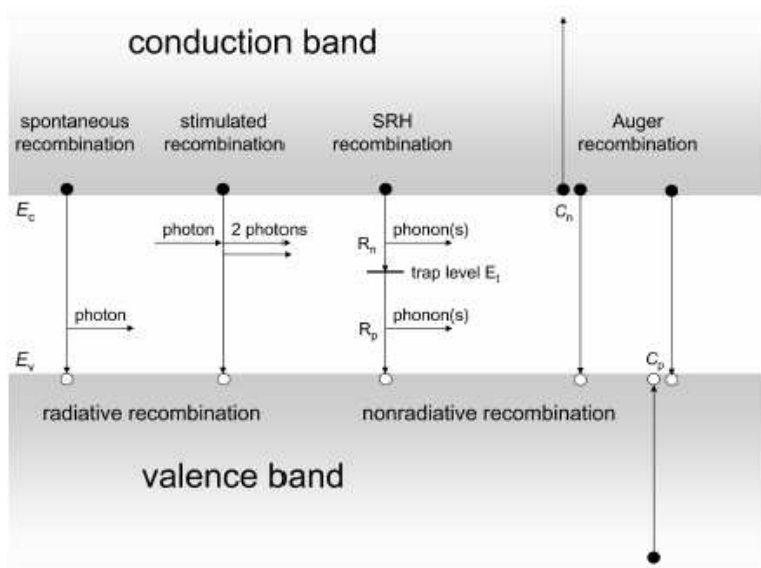


Figura 1.2: Illustrazione dei principali meccanismi di ricombinazione elettrone-lacuna nei semiconduttori

I processi di transizione collegati alla ricombinazione radiativa nei semiconduttori comprendono:

- l'emissione spontanea in cui un elettrone passa spontaneamente dalla banda di conduzione alla banda di valenza, emettendo un fotone.
- l'emissione stimolata, in cui un elettrone effettua lo stesso tipo di transizione sotto lo stimolo di un fotone esterno.
- l'assorbimento, processo in cui un elettrone passa dalla banda di valenza alla banda di conduzione assorbendo un fotone.

Tra questi processi quello più importante per i LED è l'emissione spontanea.

La concentrazione di portatori in un semiconduttore in condizioni di equilibrio (senza stimoli esterni come corrente o luce) è dettata dalla legge dell'azione di massa la quale dice che ad una data temperatura il prodotto delle concentrazioni di elettroni e lacune è costante:

$$(1.1) \quad n_0 p_0 = n_i^2$$

dove n_0 e p_0 sono le concentrazioni rispettivamente di elettroni e lacune all'equilibrio e n_i la concentrazione di portatori intrinseca. L'iniezione di una corrente o l'esposizione alla

luce provocano un aumento del numero di portatori. La concentrazione di portatori totale è adesso data dalla concentrazione all'equilibrio più la concentrazione di portatori in eccesso. Il tasso a cui la concentrazione di portatori cala è chiamato velocità di ricombinazione spontanea R_{sp} ed è in dipendenza quadratica della concentrazione dei portatori iniettati.

L'elettrone eccitato rimane in banda di conduzione per un periodo di tempo chiamato tempo di vita medio prima di tornare in banda di valenza emettendo un fotone la cui lunghezza d'onda, nel caso di semiconduttori a bandgap diretto è pari a

$$(1.2) \quad \lambda = \frac{hc}{qE_g [eV]}$$

$$(1.3) \quad \lambda [nm] = \frac{1239.8}{E_g [eV]}$$

dove h è la costante di Planck e c la velocità della luce nel vuoto e q carica elettrica. In realtà gli elettroni e le lacune non sono accumulati sul bordo delle rispettive bande allo stesso livello energetico, ma hanno una distribuzione energetica, e quindi lo spettro complessivo non è una riga ma ha larghezza finita.

1.3 La struttura dei LED e loro proprietà

1.3.1 Le giunzioni

1.3.1.1 Omogiunzione

La struttura più semplice da cui si può ottenere un LED è la omogiunzione pn. Quando essa è polarizzata tramite una tensione diretta gli elettroni della regione n migrano verso la regione p, mentre le lacune si spostano dalla regione p a quella n. A causa della condizione di non-equilibrio che viene a stabilirsi, gli elettroni e le lacune iniettati nella regione opposta tendono a ricombinarsi. Tale struttura è però poco efficiente e non è più usata per i dispositivi LED. Per incrementare l'efficienza dei dispositivi si utilizzano oggi eterostrutture e buche quantiche che permettono il sconfinamento dei portatori iniettati in una regione apposita dove essi si ricombinano.

1.3.1.2 Eterogiunzioni

Le eterogiunzioni sono strutture composte da un semiconduttore a bandgap largo di tipo n a contatto con uno a bandgap stretto di tipo p. Una volta uniti i due semiconduttori e raggiunto l'equilibrio termodinamico, si presenta la situazione illustrata nella figura 1.4.

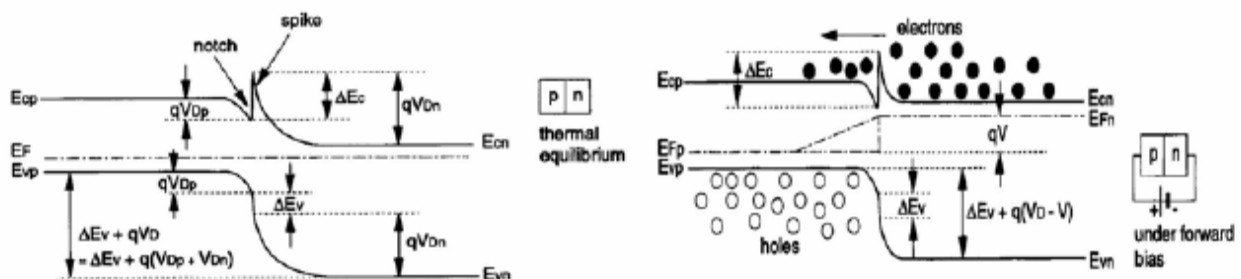


Figura 1.4: Eterogiunzione pn. Diagramma a bande dei semiconduttori p e n; all'equilibrio termico e con polarizzazione positiva.

Si può osservare lungo la banda di conduzione un piegamento verso l'alto della regione n e verso il basso per la regione p, che comporta la formazione di uno spike e di un notch all'eterointerfaccia. Un potenziale positivo applicato all'eterogiunzione pn permette di elevare il livello della parte n: in tal modo, gli elettroni potranno passare alla zona p a bandgap stretto attraverso lo spike (tunneling) e ricombinarsi radiativamente o meno, mentre le lacune della zona p rimarranno confinate nella loro zona vista l'alta barriera residua. Questa struttura permette di realizzare dispositivi più efficienti grazie a una ricombinazione radiativa più efficiente e localizzata nel semiconduttore a banda stretta.

1.3.1.3 Doppia eterostruttura

Essa è basata su una sequenza di tre diversi semiconduttori, un semiconduttore p a bandgap largo seguito da una semiconduttore p a bandgap stretto a sua volta seguito da un altro semiconduttore a bandgap largo ma di tipo n. Quando viene applicata una polarizzazione diretta si ha un abbassamento della regione p a largo bandgap ed un innalzamento della regione n rispetto alla regione a bandgap stretto, come si vede nel diagramma a bande di figura 1.5.

La corrente di deriva porta elettroni e lacune nella zona a bandgap stretto che agisce da trappola e blocca i portatori. La forte concentrazione di portatori che si raggiunge con questa struttura permette di raggiungere velocità molto alte di ricombinazione e quindi di ottenere un'alta efficienza.

La crescita di eterostrutture con il bandgap desiderato non è facile perché le differenze fra le costanti reticolari dei diversi strati devono essere minime o nulle per evitare rotture e dislocazioni fra le superfici.

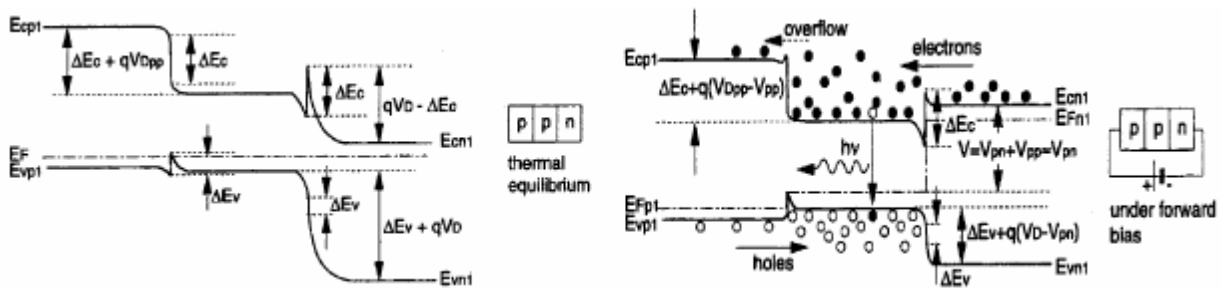


Figura 1.5: Doppia eterostruttura: diagramma a bande dei semiconduttori p p n; all'equilibrio termico e con polarizzazione positiva

1.3.1.4 Strutture quantiche

La struttura a buca quantica non è altro che una doppia eterostruttura con lo strato di semiconduttore a bandgap stretto molto sottile. Se si va ad assottigliare lo strato di semiconduttore a bandgap stretto esso perde le sue capacità di sconfinamento dei portatori e si noteranno effetti controproducenti. Tuttavia quando lo spessore è confrontabile o inferiore alla lunghezza d'onda di De Broglie degli elettroni nel cristallo, si nota un utile fenomeno quantistico. Nello spessore limitato risulta impedito ai portatori il moto perpendicolare allo strato e le energie cinetiche degli elettroni risultano inoltre quantizzate in livelli discreti. L'energia dei fotoni emessi da una struttura di questo tipo è

quindi maggiore dell'energia di bandgap del materiale intermedio e quindi le lunghezze d'onda saranno inferiori. Strutture con strati così sottili in cui si sviluppano livelli energetici quantizzati sono dette buche quantiche, e lo strato sottile in cui avviene il confinamento viene detto buca di potenziale. Una struttura con una sola buca è chiamata buca quantica singola (Single Quantum Well, SQW), mentre se sono presenti più buche si parla di buca quantica multipla (Multi Quantum Well, MQW). Se lo spessore delle buche viene ridotto sotto i 5nm, gli elettroni riescono ad oltrepassare le barriere di potenziale presenti tra una buca e l'altra, per effetto tunnel. Come in precedenza detto, non è facile crescere delle strutture come le MQW dove le costanti reticolari delle varie regioni sono diverse.

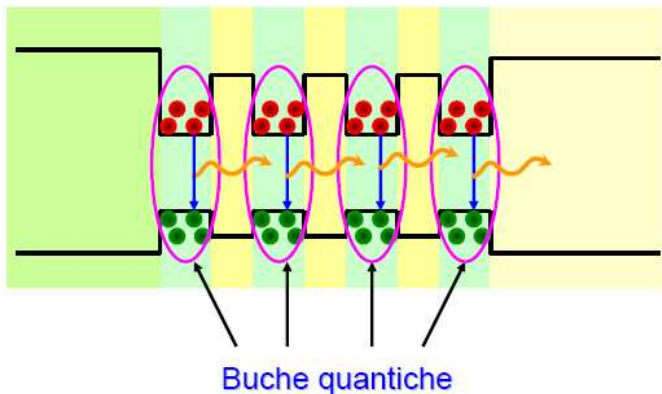


Figura 1.6: struttura a buca quantica multipla

1.4 Vantaggi e svantaggi dei LED e prestazioni

I principali vantaggi dei LED si possono così riassumere:

- *Efficienza*: hanno un'efficienza lumen/watt superiore alle lampade a incandescenza ormai paragonabile alle lampade a fluorescenza.
- *Resistenza a vibrazioni*: difficilmente si danneggiano a causa di vibrazioni meccaniche (sono stati condotti numerosi test in cui venivano sottoposti a stress meccanici).
- *Tempo di vita*: Compreso tra 35000 e 50000h ma può essere anche superiore; molto maggiore rispetto alle 10000-15000h delle lampade a fluorescenza e alle 1000-2000h delle lampade a incandescenza.
- *Colori*: possono essere costruiti per emettere luce di un colore preciso senza l'uso di filtri colorati che abbassano l'efficienza del sistema e ne aumentano il costo.
- *Sostenibilità ambientale*: non contengono mercurio diversamente dalle lampade a fluorescenza e risultano quindi più facili da smaltire. Nelle lampade tradizionali sono sempre presenti metalli e leghe metalliche leggere (filamenti di tungsteno, microsaldature), il vetro e materiali isolanti. In fase di produzione le componenti dei vari materiali sono assemblate mentre in fase di smaltimento esse devono essere recuperate con una serie di interventi di selezione e separazione. Nel caso dei LED tutte le operazioni si semplificano poiché i materiali impiegati sono semiconduttori drogati, i materiali per gli elettrodi e i materiali plastici per l'incapsulamento del chip. Ma soprattutto a differenza delle lampade tradizionali i LED non contengono mercurio: sostanza dannosa per la salute dell'uomo.
- *Tempo di on/off* : raggiungono la massima luminosità in pochi microsecondi.
- Ideali per applicazioni che richiedono frequenti on/off a differenza delle lampade a fluorescenza che tendono a bruciarsi.

- *Regolazione di luminosità*: la luminosità può essere facilmente regolata abbassando la corrente.
- *Luce atermica*: a differenza di altre sorgenti luminose i LED irradiano poco calore in forma di raggi infrarossi che possono causare danni a cose o tessuti.

Per quanto riguarda invece gli svantaggi dei LED rispetto alle altre tecnologie possiamo evidenziare:

- *Prezzo iniziale elevato*: il costo per lumen è ancora più elevato rispetto alle tradizionali tecnologie.
- *Qualità della luce*: lo spettro di emissione dei LED bianchi è molto diverso da quello del sole o delle lampade a incandescenza e per produrre luce bianca calda si deve ricorrere a fosfori gialli. Tutt'ora però sono stati realizzati LED la cui luce somiglia molto a quella naturale.

Se anche solo metà delle fonti di luce attuali venissero sostituite con dispositivi a stato solido si otterrebbe un risparmio energetico globale del 10%. Il 21% dell'energia elettrica mondiale viene infatti utilizzata per l'illuminazione; l'introduzione di questo nuovo tipo di illuminazione comporterebbe non solo notevoli vantaggi economici, ma soprattutto un passo in avanti sulla strada verso uno sviluppo sostenibile. Attualmente il prodotto principale del mercato dei LED sono quelli basati sull' InGaN, utilizzati per tutte le sorgenti verdi e blu e impiegati anche nei LED bianchi in combinazione con fosfori gialli. L'efficienza di questi LED è cresciuta di oltre un ordine di grandezza nell'ultimo decennio

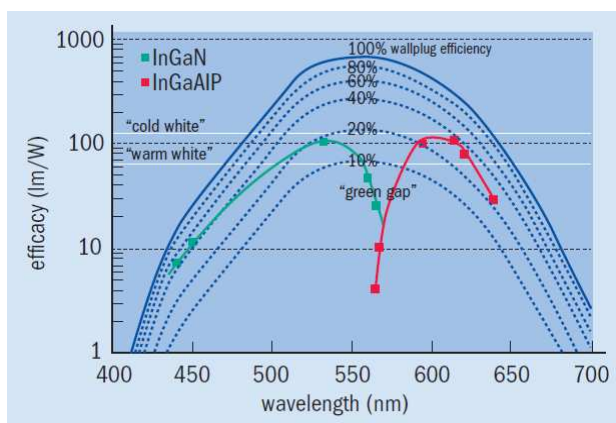


Figura 1.7: Efficacia luminosa in funzione della lunghezza d'onda dei LED InGaN e InGaAlP. In tratteggio le curve di efficienza di conversione corrispondente al rapporto tra la potenza ottica emessa dal dispositivo e la potenza elettrica assorbita.

Efficienze così alte non si ottengono però a tutte le lunghezze d'onda. LED InGaN operanti a lunghezze d'onda inferiori, come il verde, hanno tipicamente efficienze inferiori. Mentre un LED UV può raggiungere un'efficienza quantica interna dell'80% a bassa densità di corrente, a una lunghezza d'onda di 540 nm si hanno tipicamente efficienze inferiori al 30%. Per la produzione di LED rossi si ovvia a questo problema usando come semiconduttore l'InGaAlP che produce alte efficienze nei colori rosso, ambra e giallo. Tuttavia questo materiale non è in grado di assicurare efficienze elevate sotto i 580 nm a causa della riduzione della capacità di confinamento di portatori. Questo significa che nel range che va dai 500 nm ai 580 nm né con l'InGaN né con l'InGaAlP si ottengono efficienze elevate. Questa area è stata quindi denominata "green gap" e i LED operanti in questa regione hanno efficienze inferiori al 20%.

CAPITOLO 2 - ILLUMINAZIONE PER AMBIENTI INTERNI/ESTERNI A STATO SOLIDO

2.1 Nuova tipologia di illuminazione

Nelle lampadine a incandescenza parte dell'energia elettrica che le alimenta viene dissipata sotto forma di calore e quindi persa. Un'altra tipologia di lampade sono le lampade fluorescenti o tubo fluorescente. Queste sono lampade a scarica di gas che utilizzano molta energia elettrica per eccitare il vapore di mercurio in gas di argon o di neon, risultante in un plasma che produce onde corte di luce ultravioletta. Una tipologia di illuminazione completamente diversa dalle lampadine a incandescenza e fluorescenti è l'illuminazione a stato solido. L'Illuminazione a Stato Solido (ISS) è un sistema di illuminazione che al posto del gas o di filamenti elettrici, impiega diodi ad emissione di luce (LED) come fonte di illuminazione. Il termine "Stato Solido" si riferisce al fatto che la luce di un LED proviene da un oggetto solido – costituito da un semiconduttore – piuttosto che da un tubo sottovuoto o riempito di gas come nel caso delle lampade ad incandescenza o a fluorescenza. Infatti, diversamente da tali sistemi tradizionali di illuminazione, l'ISS genera una luce visibile con una ridotta produzione di calore o dispersione di energia, mettendo assieme una maggiore efficacia e costi energetici inferiori. Inoltre, lo stato solido del LED assicura maggior resistenza allo shock alle vibrazioni e all'usura aumentando considerevolmente la durata fino a cinque volte di più delle lampade tradizionali. Non solo il colore del LED, ma anche la luminosità dei LED sta crescendo in base alla Legge di Moore. Per molti anni i LED avevano solo i colori: infra-rosso, rosso, giallo, arancio e verde. Il blu, l'azzurro e il viola sono apparsi invece negli anni '90. Il LED blu è stato fondamentale: dopo la sua creazione il colore dello spettro risulta completo visto che per ottenere il LED bianco era necessario quello blu. Nel 1993 Shuji Nakamura dalla Nichia Corporation presenta il LED blu utilizzando nitruro di gallio (GaN). Con questa invenzione è stato possibile creare luce bianca grazie alla combinazione della luce dei LED separati (rosso, verde e blu) oppure applicando sopra a un LED blu uno strato di fosforo. Quest'ultimo, assorbendo luce blu, emette luce gialla o rossa e verde con il risultato che l'emissione del LED appare bianco all'occhio umano.

2.2 Luce integrata negli elementi architettonici ed effetti di luce diffusa

Sfruttando particolari nicchie nelle architetture o creandole appositamente, grazie per esempio al controsoffitto, è possibile ottenere effetti luminosi particolari e scenografici integrando la fonte luminosa negli elementi architettonici. Il diodo luminoso, in tale ambito, offre nuove opportunità di lavoro creativo ai designers grazie alle sue dimensioni ridotte e alla sua luce atermica.



I LED permettono di:

- Integrare piccole fonti di luce in componenti edilizi, in elementi costruttivi, come controsoffittature e pavimenti inserendo i LED a incasso in nicchie e scaffalature.
- Aggregare più LED assieme per formare griglie e forme geometriche a piacere.
- Inserire luce in vani di elementi d'arredo o anche in strumenti quali chiavi, trapani, penne, armadi, docce.
- Incorporare luce in materiali trasparenti come vetro, ceramiche, legni, pietre.

Figura 2.1: LED integrati nel vetro

I minimi ingombri e il peso di modesta entità, congiuntamente alla semplicità della strutture del prodotto, sono caratteristiche che tendono a ridurre l'impatto che l'oggetto lampada esercita sull'ambiente sia artificiale che naturale.

La luce integrata pone spesso un problema di conciliazione tra l'effetto estetico di continuità e la quantità di luce necessaria. In base alla forma e all'estensione del vano in cui sono collocate le lampade si tende a far sì che l'effetto della stesura uniforme della luce interessi tutto il vano.

Una volta ottenuto il regolare riempimento, può capitare che l'illuminazione sia eccessiva o all'opposto, insufficiente. Per conciliare le due esigenze – estetica e funzionante – è necessario rendere flessibile l'impianto, cioè prevedere una pluralità di accensioni di gruppi distinti di LED per ottenere l'effetto desiderato. Può inoltre essere regolata l'intensità dei LED continuando a tener premuto l'interruttore: in questo modo l'illuminazione viene regolata a piacere dall'utente. Si possono così creare vari "scenari": ad esempio "live" (LED massima illuminazione), "soft" (luce tenue ideale la sera per leggere un libro) che possono anche venire memorizzati grazie alla domotica.

Le soluzioni a luce integrata sono adottate in una grande varietà di ambienti interni: dalle case a luoghi come hotel, ristoranti e bar fino a quei luoghi destinati al commercio, al lavoro e ai servizi resi al pubblico.

Per quanto concerne l'esposizione di tipo sia commerciale che museale, tenendo conto delle dimensioni dei LED e dei bassi flussi luminosi, si rivela molto adatto l'impiego per piccoli contenitori o espositori che si caratterizzano per i micro-spazi, in cui mostrare oggetti e merci di vario genere.

Le tradizionali lampade e i normali apparecchi di illuminazione pongono molti problemi. Innanzi tutto a causa degli ingombri eccessivi, per l'intensità e distribuzione della luce, infine per motivi di ordine termico. Il calore che si sviluppa e che tende ad accumularsi all'interno dell'espositore può determinare anche danni, alterazioni e deterioramento della struttura considerata inoltre la ridotta distanza tra fonti di luce e oggetti. I rimedi adottati in passato comportavano una certa complessità dell'impiantistica: si è arrivati a ventilare artificialmente le vetrine delle gioiellerie (illuminate con lampade alogene) con aria fresca prodotta da piccole ventole e fatta penetrare da fessure ricavate sul fondo della micro-vetrina.

Una soluzione questa obbligata se vengono utilizzate le stesse lampade che servono per illuminare vetrine di dimensioni normali. I LED risolvono in toto tali problematiche rendendo più facile l'illuminazione integrata[1].

2.3 Controllo degli abbagliamenti e delle riflessioni

Un esatto orientamento dei raggi luminosi permette di evitare un effetto di disturbo chiamato riflessione velante. Si tratta di un abbagliamento dell'osservatore dovuto alla proiezione da parte di una superficie ad alta luminanza¹ raggi luminosi che arrivano su quest'ultima. Tutte le superfici lucide o levigate (vetri, smalti, metalli, pietre, ceramiche, materiali plastici lucidati o smaltati) hanno un comportamento ottico di tipo semispeculare. Si comportano in modo simile agli specchi rinviano per riflessione la luce ricevuta verso gli osservatori. In presenza di superfici vetrate trasparenti si verifica il cosiddetto "effetto velo", dovuto alle riflessioni semispeculari (da qui l'espressione "riflessione velanti"). Tale effetto consiste in un annebbiamento o in un marcato rischiarimento di zone del campo visivo, con conseguente riduzione o annullamento dei contrasti che impedisce la visione. Un esempio comune di tale effetto si verifica con le opere pittoriche protette da lastre di vetro oppure con gli oggetti contenuti in vetrine o in bacheche protette da lastre trasparenti.

¹ grandezza fotometrica definita come il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una sorgente verso una superficie normale alla direzione del flusso e l'area della superficie stessa

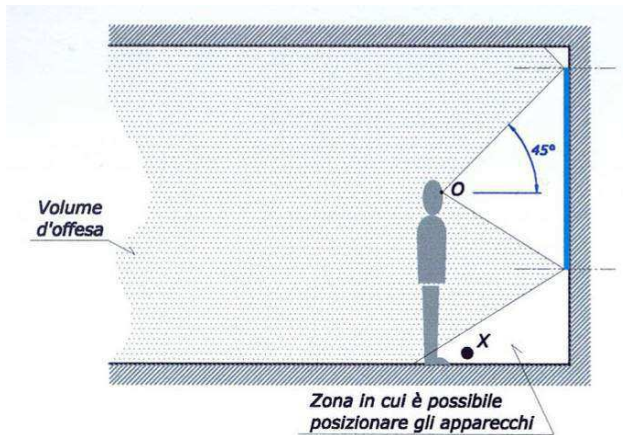


Figura 2.2: Volume d'offesa

Se la luminanza dell'opera d'arte o dell'oggetto è inferiore alla luminanza delle superfici che sono poste di fronte o intorno ad essa nel cosiddetto "volume d'offesa" insorge un effetto velo più o meno pronunciato. Per ottenere un'elevata resa del contrasto e di conseguenza una buona visibilità, le sorgenti luminose devono essere situate al di fuori del volume d'offesa ². Se invece le sorgenti vengono posizionate all'interno si ha la formazione di un'aureola luminosa in cui i contrasti sono fortemente ridotti. Il fenomeno è noto come effetto velo. Nel caso dell'illuminazione tradizionale il controllo delle riflessioni velanti è reso molto difficoltoso dall'impossibilità di collocare le fonti di luce al di fuori del volume d'offesa a causa del notevole ingombro degli apparecchi di illuminazione. Si pensi ad esempio al caso di un'opera d'arte di grande estensione collocata in una sala espositiva avente una bassa soffittatura. Gli apparecchi di illuminazione, pur disposti nelle giuste posizioni per evitare le riflessioni, risultano invasivi e possono anche intralciare la visione. L'impiego di sorgenti luminose dai minimi ingombri come i LED si rivela dunque una scelta vincente[2-3].

2.4 Illuminazione urbana : risparmio energetico

L'illuminazione a LED non viene utilizzata solamente in ambienti interni: ecco alcuni esempi significativi di come la nuova tecnologia d'illuminazione a LED si sta espandendo per essere utilizzata in alternativa alla tradizionale illuminazione stradale.

2.4.1 Lampioni a LED a New York



Figura 2.3: lampione a LED a New York

² definito come quel volume comprendente tutte le direzioni speculari a quelle di osservazione

Aggirandosi tra le strade della città di New York si possono oggi osservare lampioni a LED. A New York già dal 2008 l'idea di lampioni a LED era ritenuta una possibile soluzione per l'illuminazione stradale. Per promuovere tale iniziativa, la società Central Hudson Gas & Electric che fornisce l'energia aveva aggiunto al tariffario una nuova fascia di prezzi più convenienti per quei comuni che avrebbero utilizzato luci a LED per l'illuminazione stradale. L'installazione per le vie delle città di lampioni, che manterranno l'estetica tradizionale ma funzionanti a LED, permetterà di ridurre il consumo di energia. La maggior parte dei lampioni impiegati al giorno d'oggi non possono essere tarati e la luce non viene regolata, mentre con quelli che funzionano a tecnologia LED questa possibilità esiste. Le luci possono venire dunque abbassate quando non necessarie, viceversa intensificate; oltre a un risparmio nei prossimi anni l'introduzione dei lampioni a LED migliorerà la visibilità notturna.

2.4.2 Cina : la più lunga via del mondo illuminata a LED



Figura 2.4: Dongjiang Main Road in Cina

La Dongjiang Main Road , *principale via della città di Dongguan (Guangdong in Cina)*, è la più lunga via al mondo illuminata a LED. Per illuminare questa via lunga 52 chilometri sono stati utilizzati ben 2000 LED a 98 watt. L'installazione è stata completata e questa nuova soluzione di illuminazione ha passato il test per il funzionamento. Tale illuminazione può inoltre essere comandata elettronicamente, grazie ad un sistema wireless che permette di gestire e controllare il tutto in modo intelligente. E' possibile regolare la luce in base alle esigenze notturne tenendo l'illuminazione al 100% oppure al 50, al 20 o al 10%, in base a quelle che sono le esigenze effettive consentendo risparmi energetici che si attestano intorno al 60% rispetto alle lampade al sodio ad alta pressione che venivano utilizzate prima oltre a offrire una luce migliore, più stabile e duratura con un minor impatto ambientale[4].

2.4.3 Il ponte di San Diego illuminato con i LED



Figura 2.5: ponte di San Diego illuminato con i LED

Il San Diego Bridge è un ponte lievemente curvo lungo 2,5 miglia, sostenuto da oltre 30 torri e che raggiunge un'altezza di 60 metri sopra il canale di navigazione. Dopo un lungo periodo di valutazione, un team internazionale guidato dall'artista londinese Peter Fink, ha vinto il più grande progetto di illuminazione interattiva a energia verde del Nord America. Il progetto prevede di illuminare il ponte con un'illuminazione a LED programmabile utilizzando energia elettrica generata da turbine eoliche.

2.4.4 LED a Genova

L'Acquario e la zona del Porto antico di Genova verranno illuminati grazie alla nuova tecnologia a LED. Il progetto *Illuminate* è un progetto europeo con cui s'intendono illuminare in maniera "intelligente" zone di particolare pregio urbanistico: in Italia l'Acquario e la zona del Porto antico di Genova. Il progetto è iniziato a Gennaio 2012 e il termine è previsto per giugno 2014. La società che gestisce l'Acquario di Genova rifarà l'illuminazione nella vasca dei lamantini, delle foche e lungo l'intero percorso di visita, cercando di ottenere un buon livello di illuminazione all'interno delle vasche per consentire ai visitatori di poter ammirare gli animali e al tempo stesso garantendo un notevole risparmio energetico.

2.4.5 Primo tunnel a LED d'Europa



Figura 2.6: illuminazione a LED nel tunnel Vlakte

Il tunnel Vlakte, nei Paesi Bassi, è il primo in Europa ad essere illuminato con la tecnologia LED, sia all'interno dello stesso che nel suo ingresso. Tale illuminazione permetterà di migliorare la qualità della luce nonché garantire una maggior sicurezza sulla strada. [12]

2.4.6 Il più grande complesso LED al mondo

Ad Abu Dhabi, negli Emirati Arabi Uniti, è stato completato il più grande complesso LED al mondo: un hotel. E' un'architettura elaborata e morbida che sovrasta la struttura con i suoi migliaia di LED colorati a basso consumo per creare un'opera d'arte quasi vivente.



Figura 2.7: YAS hotel di Dubai

2.5 Lampadina a LED : Philips vince il concorso L-prize

Per l'illuminazione viene impiegato circa il 20% di tutta l'elettricità consumata nel mondo e l'80% dell'illuminazione odierna è inefficiente ed obsoleta. Per ridurre l'impatto ambientale i Paesi membri dell'Unione Europea hanno adottato la messa al bando progressiva dei prodotti di illuminazione poco efficienti.

L'intento è di accelerare il passaggio a soluzioni alternative in grado di garantire un impatto significativo soprattutto in termini di riduzione del consumo energetico e di emissioni di CO_2 .

In tale direzione sono state realizzate le MASTER LED lamps della Philips che garantiscono un'illuminazione di alta qualità con luce chiara fredda o calda e confortevole ma senza calore. Tali lampadine non contengono mercurio e garantiscono fino all'85% di risparmio energetico.

Nel 2008 il Dipartimento statunitense dell'Energia (DOE) ha fondato il concorso Bright Tomorrow Lighting Prize (L Prize). Tale concorso è il primo programma tecnologico sponsorizzato dal Governo americano per favorire lo sviluppo di prodotti LED in grado di sostituire le comuni lampadine ad incandescenza.

Il 3 Agosto 2011 il Dipartimento per l'Energia (DOE) degli Stati Uniti ha annunciato che la Philips ha vinto il primo premio per la competizione "Tomorrow Lighting Prize (L prize)".

Era stato richiesto alle maggiori aziende dell'industria dell'illuminazione di sviluppare un prodotto innovativo che potesse sostituire le lampade a incandescenza e caratterizzato da elevate prestazioni; ciò comporterebbe un reale e consistente risparmio energetico per le famiglie e le aziende.

La Philips Lighting North America ha presentato una nuova lampadina a LED vincitrice per la categoria "sostituzione lampade incandescenti da 60W". Tale tipo di lampadina è tra i più utilizzati in tutto il mondo e l'introduzione della tecnologia LED ha fatto sì che la lampadina soddisfacesse i rigorosi parametri stabiliti, assicurando performances, qualità della luce, durata nel tempo e possibilità di produzione di massa anche in tempi brevi.

La lampadina richiesta doveva generare una luce pari alla luce generata da una lampadina a incandescenza di 60 watt ma avere un consumo minore di 10 watt ed avere una vita media di 25000 ore (rispetto alle 1.000-3000 ore per i vari esempi dei 60 watt ad incandescenza).

Se ogni lampadina ad incandescenza da 60 watt venisse sostituita con la lampadina che ha vinto tale competizione (LED Bulb) gli Stati Uniti risparmierebbero circa 35 terawatt/ora

di elettricità, l'equivalente di quasi 4 milioni di dollari all'anno. Dal prototipo la Philips ha realizzato poi la prima lampada industrialmente disponibile: Master LED bulb GLOW 12W disponibile sul mercato a cui si affiancherà a breve la versione 15W equivalente 75W. Grazie alla ricerca tecnica la Philips ha sviluppato un innovativo metodo per la generazione di luce bianca ed efficiente partendo dai LED a luce blu: la tecnologia a fosforo remoto³

E' questa il fondamento su cui si basa la lampada per ottenere una luce efficiente, brillante con tonalità di luce calda, ed una diffusione di luce uniforme prossima ai 360° come la lampada tradizionale da 60W[5].

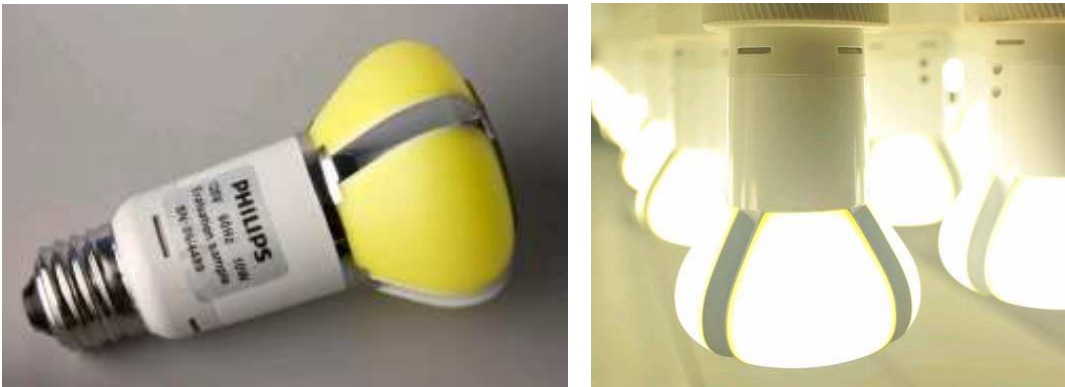


Figura 2.8: Lampadina philips vincitrice dell' L prize

³ applicare ad un LED blu un fosforo selezionato che, eccitandosi, miscela al blu un pò di giallo, fornendo come risultante una luce bianca

CAPITOLO 3 – APPLICAZIONI DEI LED IN AMBITO MEDICO / BIOLOGICO

INTRODUZIONE : radiazione ultravioletta (UV)

La radiazione ultravioletta (UV) è una radiazione elettromagnetica con una lunghezza d'onda immediatamente inferiore alla luce visibile dall'occhio umano, e immediatamente maggiore di quella dei raggi X. I raggi ultravioletti occupano complessivamente la regione spettrale compresa fra 100 e 400 nm. L'UV può essere suddiviso in UV vicino (380-200 nm) e UV estremo (200-100 nm). Quando si considera l'effetto dei raggi UV sulla salute umana, la gamma delle lunghezze d'onda UV è però in genere suddivisa in tre zone spettrali: UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) e UV-C (280-100 nm).

- UV-A con lunghezza d'onda compresa fra 400 e 315 nm; viene anche detta "luce nera" per la proprietà di indurre fluorescenza in molte sostanze.
- UV-B con lunghezza d'onda compresa fra 315 e 280 nm: viene detta "regione eritemale".
- UV-C con lunghezza d'onda compresa fra 280 e 100 nm: viene detta "regione germicida".

Talvolta quest'ultima zona è suddivisa a sua volta in Vacuum UV e UV-C.

Le differenze tra i diversi UV sta nella lunghezza d'onda e quindi nella loro frequenza che va a determinare la loro energia tramite la formula fisica :

$$(3.1) \quad E = hf$$

dove "E" è l'energia, "h" la costante di Planck ($6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$) e "f" la frequenza del raggio. Al diminuire della lunghezza d'onda quindi la frequenza aumenta e con essa l'energia, secondo la formula per calcolare la frequenza che è:

$$(3.2) \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

dove "f" è ancora la frequenza, "c" è la velocità della luce ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) e λ è la lunghezza d'onda.

La lunghezza d'onda dei raggi ultravioletti è 0.39-0.032 μm .

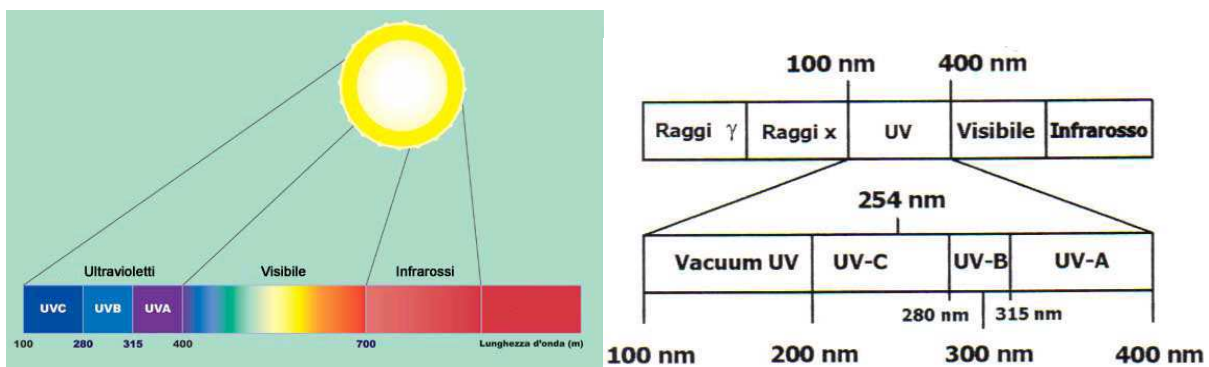


Figura 3.1 : Spettro raggi UV e suddivisione in UV-A, UV-B, UV-C

Interazioni LUCE-CUTE ed effetti negativi per l'uomo

Quando un'onda elettromagnetica colpisce la cute, parte di essa è riflessa, parte viene assorbita dai cromofori ⁴ presenti nei vari strati della cute e, parte ancora, trasmessa nei successivi strati cellulari, fino a quando l'energia del fascio incidente non è stata del tutto dissipata. Le radiazioni di minor lunghezza d'onda sono caratterizzate da una penetrazione minore rispetto alle radiazioni di lunghezza d'onda maggiore. Pertanto, poiché la capacità di penetrazione della radiazione è funzione della sua lunghezza d'onda, radiazioni di 300 nm (UVB) penetrano fino a 6 µm all'interno della cute, venendo assorbite per il 95% dall'epidermide, mentre radiazioni di 350 nm (UVA) penetrano fino a 60 µm raggiungendo quindi ad alte dosi il derma. Gli effetti sull'uomo dell'esposizione a tali radiazioni sono fondamentalmente a carico della cute e dell'occhio con danni a breve (eritemi) e a lungo termine (invecchiamento della pelle). A livello cutaneo possono provocare eritema ed influenzare lo stato di pigmentazione cutanea; per esposizioni intense e prolungate possono avere anche attività oncogena con l'insorgenza di carcinomi e di melanomi maligni. Le bande di raggi ultravioletti responsabili di questi effetti neoplastici hanno lunghezza d'onda compresa tra 280 e 315 nm, appartengono cioè alla regione eritemale. A livello oculare possono causare congiuntiviti e cheratiti (infiammazioni); alcune bande di raggi ultravioletti di lunghezza d'onda superiore a 295 nm possono, attraverso la cornea, raggiungere il cristallino e provocare la cataratta.

I raggi UV, che possono provocare effetti dannosi sull'uomo, vengono tuttavia utilizzati dall'uomo stesso in applicazioni di notevole importanza: i raggi UV emessi da apposite lampade ultraviolette sono usate per la disinfezione dell'acqua e per mantenere la sterilità di ambienti e strumenti usati in ospedali e laboratori biologici. L'utilizzo di queste lampade nella sterilizzazione ambientale costituisce tuttavia solo un complemento ad altre tecniche di sterilizzazione visto che i vari microrganismi possono essere riparati in piccole fessure e altre parti in ombra delle stanza. I raggi UV emessi dai LED UV e la luce emessa dai LED sono strumento di cura in ambito medico come verrà approfondito in seguito.

3.1 LED per la salute

3.1.1 I LED UV per disinfezione (UVGI)

La radiazione ultravioletta germicida, in inglese "*Ultraviolet germicidal irradiation*" (UVGI), è un metodo di disinfezione che usa la luce ultravioletta (UV) ad una lunghezza d'onda sufficientemente corta tale da distruggere i microrganismi. È in grado infatti di distruggere gli acidi nucleici in questi organismi e quindi il loro DNA: questo impedisce la loro riproduzione e li uccide. La lunghezza d'onda dei raggi UV che causa questo effetto è rara sulla Terra poiché viene in gran parte bloccata dall'atmosfera. Utilizzare un dispositivo UVGI in certi ambienti, come sistemi di circolazione dell'acqua e dell'aria, crea un effetto mortale su microrganismi patogeni, virus e muffe. Le lampade germicide vengono poi solitamente associate ad un sistema di filtraggio che rimuove i microrganismi pericolosi da questi ambienti. La disinfezione è una misura atta a ridurre tramite uccisione o inattivazione la maggior quantità di microrganismi quali, batteri, virus, funghi, protozoi, spore, al fine di controllare il rischio di infezione per persone o di contaminazione di oggetti od ambienti. Il concetto di disinfezione se applicato a superfici e ambienti ha diverso significato rispetto alla sterilizzazione. Se per sterilizzare si intende l'eliminazione e/o inattivazione totale di qualsiasi forma vivente, compresi virus e spore e nematodi (chiamati anche vermi cilindrici), per disinfezione il processo è circoscritto alle specie patogene.

⁴ gruppo di atomi capaci di conferire colorazione ad una sostanza

La sterilizzazione può avvenire tramite l'utilizzo di agenti chimici oppure tramite i raggi UV emessi da apposite lampade a LED UV. Gli impianti con lampade in grado di irradiare energia ultravioletta, trovano spazio ideale nel trattamento dell'aria, dell'acqua e delle superfici, perché svolgono un ruolo di protezione e bonifica ambientale inarrivabile con altre tecnologie, senza sviluppare sottoprodotti nocivi per l'uomo e l'ambiente. L'effetto dei raggi UV sui microrganismi si può definire come un intervento di demolizione fotochimica del DNA, che impedisce alla cellula di riprodursi. L'UV distrugge i legami molecolari del DNA dei microrganismi rendendoli inoffensivi o impedendone la crescita e la riproduzione. È un processo simile all'effetto dell'UV di maggiore lunghezza d'onda (UVB) sull'uomo, per esempio le bruciate solari o l'effetto accecante della luce. I microrganismi hanno una scarsa protezione dall'UV e non possono sopravvivere ad un'esposizione prolungata a radiazioni nella gamma UV-C, tra 200 e 310 nm. Si è dimostrato che la maggiore efficacia nella riduzione di colonie batteriche, si ottiene con radiazioni a 265 nm.

La capacità di disinfezione della radiazione UV, si esprime in termini di percentuale di sopravvivenza, di una data popolazione di microrganismi, evidenziando, percentualmente, quanti di questi sono in grado di riprodursi, dopo l'esposizione agli UV. Il danno sul microrganismo è il risultato dell'energia UV che lo colpisce per il tempo a cui è sottoposto. La "funzione" risultante è definita Dose UV. Tra le varie specie di microrganismi, la sensibilità ai raggi UV è diversa anche in modo notevole e dipende da vari fattori:

- la frequenza delle "sequenze di basi", nel DNA, sensibili agli UV
- la disponibilità e la forza dei meccanismi cellulari, per riparare i danni prodotti dagli UV
- la permeabilità, agli UV, delle membrane cellulari esterne.

Un sistema UVGI è progettato per esporre ambienti come contenitori di acqua, stanze chiuse e sistemi di aria condizionata all'UV germicida. Le radiazioni UV emesse da lampade LED UV trovano applicazioni anche all'interno degli ospedali. Non possono tuttavia essere considerati sterilizzanti visto che hanno principalmente un'azione batteriostatica: permettono il mantenimento di sterilità inibendo la crescita delle cellule batteriche. Tali radiazioni non hanno grande capacità di penetrazione e per questo sono efficaci solo su oggetti non troppo spessi o su liquidi fatti passare attraverso recipienti sottili ma sono da preferirsi a metodi che introducono agenti chimici dannosi per l'uomo.

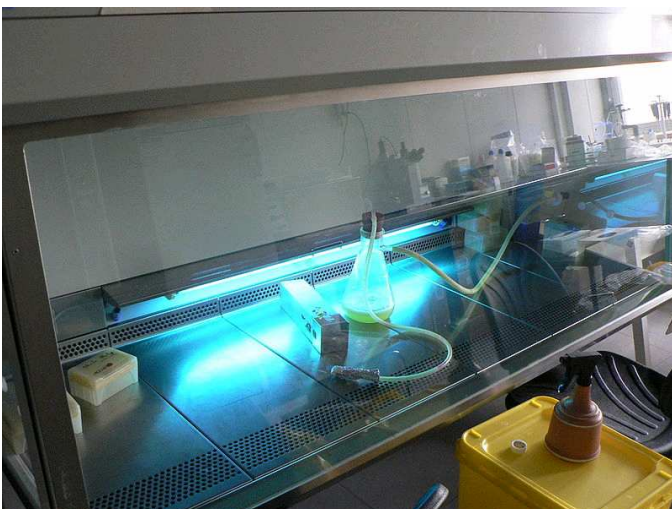


Figura 3.2: Una lampada UV accesa per mantenere la sterilità di un piano di lavoro, quando questo non è utilizzato

3.1.2 I LED UV e la vitamina D : raggi ultravioletti contro la carenza di Vitamina D.

L'esposizione ai raggi UV ha un ruolo importante nella sintesi organica di vitamina D, sostanza coinvolta nello sviluppo dello scheletro e in grado di proteggere le ossa da malattie quali il rachitismo, l'osteomalacia e l'osteoporosi. La vitamina D si ottiene con l'introduzione di alimenti (ne è particolarmente ricco il pesce azzurro), o per sintesi attraverso la cute con l'irradiazione ultravioletta.

L'osso è una struttura di importanza fondamentale per il nostro organismo: le cellule che ne costituiscono la parte metabolicamente vitale sono gli osteoblasti, gli osteociti e gli osteoclasti. Le ossa chimicamente contengono il 99% del calcio corporeo, altri importanti componenti sono il fosforo, il fluoro, il magnesio. Questi minerali sono inglobati in una matrice proteica costituita principalmente da collagene. Si può definire l'osso come una struttura in cemento armato: la parte minerale svolge la funzione del ferro e la parte proteica quella del cemento. Le numerose patologie a danno delle ossa sono dovute proprio alla carenza di vitamina D che può essere definita come il principale alleato del calcio visto che ne permette l'assorbimento e il conseguente utilizzo. La carenza di vitamina D provoca un inadeguato assorbimento del calcio, ritenzione di fosforo nei reni, rachitismo (deformazione delle ossa, nei bambini), osteomalacia (che è il rachitismo nell'adulto), osteoporosi, inarcamento delle gambe e della colonna vertebrale.

L'osteomalacia è una patologia metabolica a carico delle ossa, a cui sottrae minerali rendendole più suscettibili a dolori, malformazioni e fratture. E' dunque un'osteopatia metabolica demineralizzante, caratterizzata dalla presenza di tessuto osteoide non calcificato in misura superiore alla norma. L'osteomalacia non deve essere confusa con l'osteoporosi, nella quale si riscontra una riduzione della quantità di matrice ossea, peraltro normalmente mineralizzata; nell'osteomalacia, invece, si verifica la condizione opposta: la microarchitettura ossea conserva un volume normale, ma il suo contenuto minerale risulta insufficiente. Le cause di queste malattie vanno ricercate nelle alterazioni del metabolismo della vitamina D, del calcio e del fosforo. Un tempo, la causa primaria di rachitismo ed osteomalacia andava ricercata nella carenza alimentare di vitamina D; oggi, grazie al miglioramento delle condizioni socio-economiche, le carenze dietetiche sono divenute rare (un po' più a rischio sono i vegetariani, anche se un'adeguata esposizione solare può colmare facilmente tale deficit).

Le persone più a rischio di sviluppare una carenza di vitamina D legata a una scarsa esposizione alla luce solare sono:

- persone dalla pelle molto chiara che vivono ad alte latitudini
- persone che per motivi religiosi o culturali girano completamente coperte
- persone anziane

Analizziamo in modo più approfondito il problema di carenza di vitamina D nelle persone anziane. Il problema della carenza di Vitamina D affligge particolarmente la popolazione anziana che, durante l'anno, stando poco tempo all'aria aperta e non esponendosi al sole, rischia di soffrirne gli effetti negativi: aumento dei rischi di osteoporosi, cadute frequenti e, spesso, fratture ossee fatali.

Secondo uno studio pilota condotto da scienziati olandesi è stata trovata una metodologia alternativa alla somministrazione di integratori vitaminici, alquanto efficace e meno costosa. Lo studio ha visto il trattamento con raggi ultravioletti – una volta a settimana e per un periodo della durata di otto settimane - di otto pazienti ricoverati in

Casa di Cura e affetti da tassi bassissimi di Vitamina D. Il risultato è stato un innalzamento di Vitamina D a quelli che sono considerati i livelli minimi raccomandati.

“I risultati di questo studio indicano che la carenza di vitamina D può essere efficacemente combattuta e prevenuta attraverso regolari e continuativi trattamenti con luce ultravioletta” afferma il Dottor Victor Chel della Facoltà di Medicina dell'Università di Amsterdam, responsabile dello studio, aggiungendo: “Questo trattamento – in fase di studio – si è rivelato meno costoso rispetto a quello a base di integratori di vitamina D nonché particolarmente utile per le persone anziane che, essendo soggette a molteplici patologie, assumono già numerosi farmaci”.

Un'altra categoria a rischio sono i bambini che a causa della carenza di vitamina D sviluppano un difetto di mineralizzazione che colpisce lo scheletro in via di accrescimento. Tale patologia prende il nome di rachitismo; un'incidenza molto alta si è riscontrata in soggetti anglosassoni di età molto giovane e ciò è da imputare alle condizioni climatiche del territorio. Tale forma di deformità ossea, dovuta alla mancanza di vitamina D, viene curata anche tramite l'esposizione a lampade UV. Nell'organismo umano questa vitamina è prodotta perlopiù dalla cute (il 90% circa) mentre attraverso la dieta se ne assume in quantità troppo piccole. In assenza di tale vitamina non è possibile l'assimilazione del calcio da parte delle ossa. Da ciò deriva la malformazione ossea che si presenta in chi non si espone in nessun modo ai raggi solari. La cura per questa malattia è l'assunzione di vitamina D per via orale oltre all'esposizione a lampade agli ultravioletti che sono in grado di far produrre vitamina D alla cute e portare benefici diretti alla salute.

3.1.3 I LED e la cura della pelle

3.1.3.1 Introduzione

La Terapia Fotodinamica o fototerapia (chiamata anche PDT dal termine corrispondente inglese *Photodynamic Therapy*) rappresenta senza dubbio una delle terapie dermatologiche più innovative e tecnologicamente avanzate attualmente disponibili. Inizialmente introdotta per la cura di lesioni pre-cancerose e per tumori cutanei, la terapia fotodinamica è stata poi utilizzata per trattare un sempre più ampio spettro di condizioni cutanee, sia patologiche che di tipo estetico (il cosiddetto fotingiovanimento). Tale terapia è una procedura medica che si basa in campo dermatologico sull'utilizzo di una crema contenente un agente fotosensibilizzante applicata sull'area da trattare. Tale agente fotosensibilizzante ha la capacità di penetrare nella cute e di andare ad accumularsi selettivamente nelle cellule malate da trattare (siano esse pre-tumorali, francamente tumorali o “invecchiate” dalla continua esposizione al sole). Tale accumulo di sostanza è in grado di far produrre a queste cellule una sostanza fototossica, che viene attivata quando l'area viene illuminata da una particolare sorgente di luce. Tale interazione tra luce e sostanza fototossica produce all'interno della cellula delle molecole di ossigeno molto reattivo (ROS), capace di distruggere le cellule dall'interno. Una volta terminato il processo, il sistema immunitario insito nella nostra pelle provvederà a ripulire il campo dai residui delle cellule distrutte e sarà inoltre più efficace nell'eliminare le eventuali cellule malate sopravvissute. Per capire appieno quello che verrà detto in seguito è necessario descrivere in breve le varie tipologie di cellule della cute. Il tessuto connettivo possiede un'ampia varietà di cellule, deputate a svolgere attività diverse in relazione anche alla natura del tessuto a cui appartengono e alla posizione che questo assume nell'organismo. In generale, è possibile operare una distinzione tra le cellule addette alla formazione e al mantenimento della matrice (fibroblasti, condroblasti, osteoblasti, cementoblasti, odontoblasti), cellule deputate alla difesa dell'organismo

(macrofagi, mastociti, leucociti) e quelle cellule deputate a funzioni speciali, come gli adipociti del tessuto adiposo, che accumulano grassi come riserva energetica del corpo[6].

3.1.3.2 Terapia fotodinamica: la luce alleata nella lotta ai tumori della pelle

Può sembrare strano che la luce, così spesso considerata il colpevole di cancro della pelle, possa svolgere un ruolo primario nel suo trattamento.

I ricercatori dell'Università della California a Irvine hanno utilizzato diodi emettitori di luce per migliorare la terapia antitumorale che sperano poi di poter utilizzare anche per il trattamento del cancro della pelle. Nella terapia fotodinamica dei prodotti chimici (i più utilizzati per il trattamento sono dei precursori delle sostanze fotosensibilizzanti vere e proprie: l'acido 5-aminolevulinico o ALA) applicati sulla pelle, vengono assorbiti dalle cellule più attive, all'interno delle quali vengono trasformati nei fotosensibilizzanti attivi: la protoporfirina IX (PpIX). L'esposizione successiva della cute a una luce di lunghezza d'onda in grado di essere assorbita selettivamente dalla Protoporfirina IX, induce la sostanza fotosensibilizzante a passare bruscamente ad uno stato di eccitazione di breve durata. Questo stato la porta ad interagire con le molecole di ossigeno immediatamente vicine liberando degli elementi estremamente reattivi. Questi elementi vengono comunemente descritti come ROS (Reactive Oxygen Species) e portano alla morte della cellula. Riassumendo la terapia fotodinamica (PDT) è dunque un trattamento che utilizza un farmaco, chiamato agente fotosensibilizzante, e un particolare tipo di luce. Il farmaco di gran lunga più studiato e utilizzato per uso topico è l'ALA. La sua applicazione ad una concentrazione standard del 20% per alcune ore e la successiva irradiazione con luce di lunghezza d'onda compresa tra 570 e 630 nm ha portato alte percentuali di risoluzione di cheratosi attiniche ed epitelomi con esito cosmetico sempre eccellente[7].

Quando i fotosensibilizzanti sono esposti a una specifica lunghezza d'onda della luce, producono una forma di ossigeno che uccide le cellule: ogni fotosensibilizzante è attivato però dalla luce di una specifica lunghezza d'onda. Questa lunghezza d'onda determina in quale misura la luce può viaggiare all'interno del corpo. Così, i medici usano fotosensibilizzanti specifici e lunghezze d'onda della luce per trattare diverse zone del corpo con la terapia fotodinamica. La luce usata per la terapia fotodinamica può venire da un laser o altre fonti di luce. La luce laser può essere diretta attraverso cavi a fibre ottiche per fornire luce alle zone all'interno del corpo, (ad esempio un cavo in fibra ottica può essere inserito attraverso un endoscopio nei polmoni o nell'esofago). La nuova tecnologia a LED viene utilizzata nel trattamento dei tumori della parte superficiale della cute: i LED permettono di trattare aree estese a differenza dei laser. Studi tutt'ora in corso stanno avvalorando la tesi che la terapia fotodinamica possa trattare il tipo più comune di cancro della pelle dopo il melanoma, chiamato carcinoma basocellulare o basalioma, la forma maligna più diffusa tra le neoplasie cutanee.

3.1.3.3 Fotobiomodulazione e terapia fotodinamica con LED atermici

Il termine più appropriato per la fototerapia tramite LED è "fotobiomodulazione": applicazione della fototerapia che si basa sull'utilizzo di luci atermiche che non provocano nessun danneggiamento alle cellule del tessuto target. Per tale motivo viene anche definita fototerapia non-invasiva, per differenziarla dalle fototerapie che utilizzando laser causano un volontario danno termico.

Tramite la fotobiomodulazione si fornisce a livello cellulare l'energia necessaria perchè abbiano luogo una serie di reazioni differenti: cellule danneggiate o compromesse possono essere riparate; cellule mitotiche possono essere indotte a un livello maggiore di replicazione; oppure cellule con funzioni specifiche eseguono il loro compito in modo più

veloce ed efficiente. Come visto in precedenza i fotoni emessi dalla luce con lunghezze d'onda specifica per le cellule bersaglio, stimolano dei fotorecettori provocando una catena di reazioni biochimiche o biofisiche che portano a una risposta cellulare, detta biostimolazione specifica. Si potrebbe obiettare che i laser utilizzati con frequenze opportune diano gli stessi risultati ma per esercitare un'azione atermica sul tessuto target devono essere disposti per emettere una bassa intensità di fotoni. I laser presentano, rispetto ai LED, anche il limite, di poter trattare solo piccole aree per volta richiedendo un notevole dispendio di tempo e di lavoro da parte di un operatore qualificato.

Lo sviluppo della fotobiomodulazione è legato allo sviluppo recente dei LED. L'uso in campo medico dei LED è stato reso possibile solo alla fine degli anni '90 grazie agli studi condotti dal dr. Whelane del suo gruppo di ricercatori della NASA.

Partendo da questa innovazione tecnologica, si sono sviluppati LED con differenti lunghezze d'onda e con una densità di fotoni clinicamente utili per il trattamento di un'area estesa del tessuto target e senza necessità di un operatore durante la sessione di trattamento. In particolare per la loro efficacia e duttilità si sono messe in evidenza tre lunghezze d'onda specifiche: 633, 415 e 830 nm.

I LED a luce rossa a 633nm hanno trovato impiego nella PDT e hanno permesso la realizzazione di un pannello flessibile di LED con lunghezza d'onda di 633 nm, e intensità di 105 mW/cm^2 . È stato realizzato, dopo 10 anni di ricerche intense condotte dal "Cancer Research Institute UK" e dalla società inglese Photo-Therapeutics.

Questo sistema LED viene connesso a un braccio articolato in modo da poter trattare adeguatamente anche superfici estese e/o non perfettamente piane fornendo al tessuto bersaglio una intensità e dose uniforme. La combinazione di luce a 633 nm più un fotosensibilizzante, è efficace anche nella cura dell'acne volgare e per il ringiovanimento cutaneo, con una concentrazione molto più bassa di 5-ALA (Acido 5-aminoLevulinico) e con un tempo di incubazione molto breve.



Figura 3.3 : Acne trattata con la fototerapia

Il meccanismo d'azione della luce rossa 633nm con il 5-ALA è la conversione nel ciclo EME del 5-ALA esogeno che è penetrato nella cute, in una porfirina (Protoporfirina IX, PpIX) il cui spettro d'azione contiene un picco proprio a 633nm. Una dose appropriata di luce a 633nm attiva la PpIX e ne consegue una produzione transitoria di forme reattive dell'ossigeno (ROS) le quali causano uno stress ossidativo nelle cellule e la loro conseguente morte. Poiché la reazione dura solo pochi nanosecondi, il danno è limitato alle cellule target.

La Luce blu 415nm viene anch'essa utilizzata per il trattamento dell'acne volgare. Infatti oltre al picco relativamente piccolo di 633nm, la PpIX in comune alla Coproporfirina III ha il suo più largo picco nello spettro di luce visibile molto più vicino a 415 nm.

Entrambe queste due porfirine sono presenti nel *Propionibacterium acnes* il batterio maggiormente responsabile del ciclo infiammatorio nell'acne volgare. Con l'impiego di luce blu 415nm è risultato possibile ottenere una PDT endogena dalle porfirine naturalmente presenti nel *Propionibacterium acnes*. Sebbene la luce blu da sola abbia dimostrato di essere efficace nel trattamento dell'acne, risultati nettamente superiori e più

duraturi sono stati riportati dalla combinazione della luce blu per la distruzione del P.Acnes con la luce rossa 633nm, di cui sono ben documentati gli effetti anti-infiammatori e di riparazione tissutale. Il grado di risoluzione di lesioni infiammatorie in pazienti affetti da acne a distanza di 8 e 12 settimane dopo l'ultimo trattamento va dal 78% a circa l'87%.

La luce di lunghezza d'onda 830 nm, combinata con la luce a 630 nm, risulta invece il miglior approccio per il ringiovanimento. La luce rossa a 630 nm svolge una importante azione sui fibroblasti, mentre la luce a 830 nm attiva significativamente le cellule normalmente presenti nella fase infiammatorie (mastociti, neutrofili e macrofagi). Ciò comporta una conseguente fase proliferativa, in quanto i macrofagi e i mastociti attivati producono una grande quantità di fattori trofici. Tali fattori concorrono a nutrire il protoplasma cellulare consentendo alla cellula di svolgere così le normali attività metaboliche e si viene a creare un ambiente favorevole per i fibroblasti, cellule che hanno come funzione di difendere l'organismo[8].

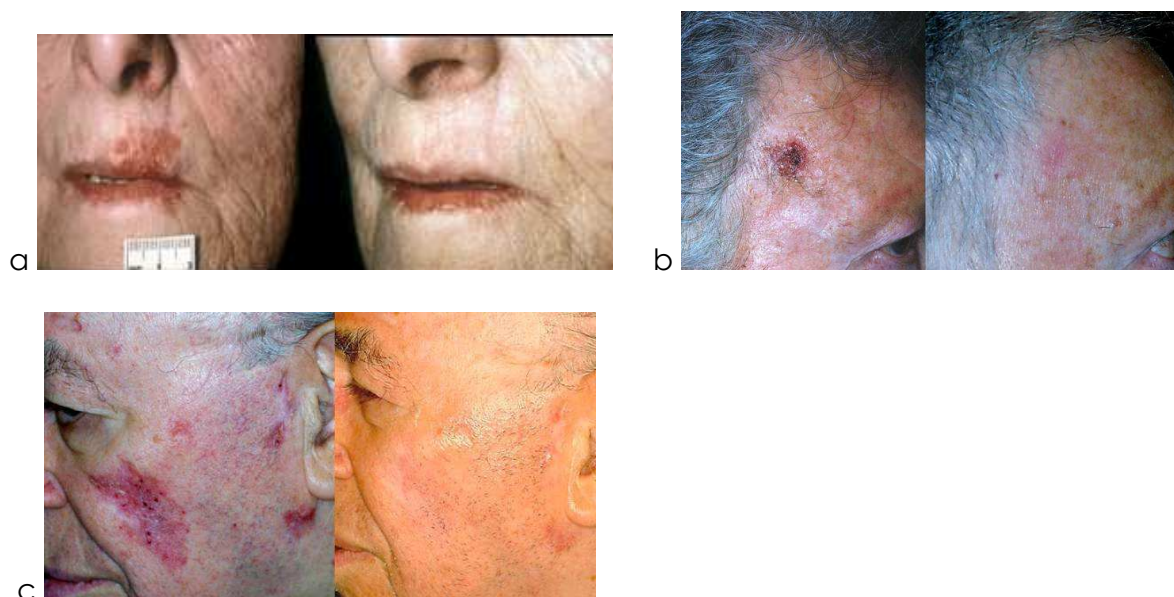


Fig 3.4 :3.4(a) Discromia senile della cute prima e dopo PDT 3.4(b/c) Carcinoma basocellulare prima e dopo PDT

3.1.3.4 Curare psoriasi e vitiligine con l'uso della fototerapia

La fototerapia tramite lampade a LED viene utilizzata anche per la cura della vitiligine e della psoriasi: due malattie della pelle che non provocano dolore ma sono comunque molto problematiche poiché antiestetische e possono portare alla perdita di autostima fino alla depressione. Vediamo ora i risultati ottenuti dopo la fototerapia con lampade a LED nelle seguenti malattie:

Vitiligine

Malattia legata all' assenza di melanina è la vitiligine. Questa malattia si presenta con chiazze chiare distribuite su tutto il corpo. Infatti in queste zone non viene prodotta melanina nonostante la presenza e l'attività metabolica dei melanociti. Le cause precise

di questa malattia sono ancora sconosciute ma si presume abbia un'origine autoimmune. Non è contagiosa ma la contrazione di questa malattia può portare ad isolamento volontario a causa del trauma psicologico di cui è responsabile (proprio come la psoriasi). L'unica cura è, insieme a farmaci immunomodulanti, una terapia a base di raggi UVB a banda stretta.



Fig 3.5: 3.5(a) e 3.5(b) paziente affetto da vitiligine, prima e dopo il trattamento con fototerapia

La vitiligine è quasi scomparsa. Tale risultato è conseguito attraverso l'esposizione fototerapica in centri specializzati.

Psoriasi

Altra malattia cronica è la psoriasi, grave infiammazione della pelle. Non rappresenta rischi per la salute e non è infettiva, ma crea gravi disagi a chi ne è affetto. La psoriasi infatti causa arrossamenti della pelle e prurito nella prima fase, mentre quando si aggrava, porta addirittura alla desquamazione della pelle.

Le manifestazioni più comuni sono papule⁵ e placche eritematose ben delimitate, ricoperte di scaglie argentee od opalescenti, che si sviluppano più comunemente sul cuoio capelluto, le ginocchia, i gomiti e la zona lombo-sacrale, ma in alcune forme si presenta anche sui genitali, sul palmo delle mani e sulla pianta dei piedi [9].

Oltre al trattamento farmacologico anche qui viene utilizzata la cosiddetta "PUVA" terapia, ovvero l'utilizzo di lampade UVA il cui effetto viene potenziato da farmaci foto sensibilizzanti.

Esistono anche nuove terapie che fanno invece uso esclusivamente dei raggi UVB che si rivelano molto più efficaci degli UVA nel trattamento della psoriasi. Per raggiungere gli stessi effetti si deve ricorrere talvolta a quantità di 1000 volte superiori di raggi UVA, con la controindicazione di causare più facilmente eritemi.

⁵piccolo rilievo della pelle, solido e generalmente di forma conica

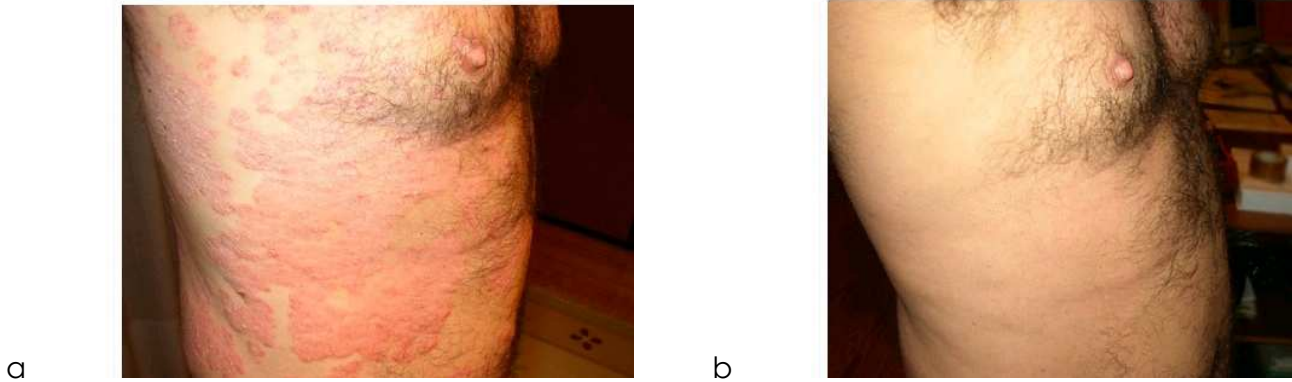


Figura 3.6: 3.6(a) Paziente affetto da psoriasi, prima di iniziare la fototerapia
 3.6(b) dopo una serie di sedute con la fototerapia, il paziente presenta una remissione completa delle macchie ed alterazioni cutanee prodotte dalla psoriasi

Gli UVB a banda stretta, precisamente tra i 311 e i 313 nm, sono utilizzati nella cura di molte patologie, soprattutto in campo dermatologico : psoriasi, vitiligine, dermatite atopica e dermatite seborroica, eczemi. I protocolli di trattamento prevedono da una a tre esposizioni settimanali, con dosi personalizzate a seconda del fototipo e della patologia da trattare: di norma, i risultati sono estremamente soddisfacenti e il basso tenore di effetti collaterali ne fa una terapia di elezione in molti casi. Utilizzando la fototerapia per la cura di psoriasi e vitiligine si evita l'assunzione di farmaci, ed è quindi indicata anche in caso di gravidanza, su bambini di età superiore ai 10 anni, o ancora in caso di concomitanza con altre patologie che inibiscano l'utilizzo di terapie farmacologiche. Il trattamento si suddivide di norma in 3 fasi:

- Fase di attacco: dura circa un mese e consiste in 3 esposizioni settimanali, con dosi di partenza e incrementi personalizzati. L'obiettivo è raggiungere la propria MED (Minimal Erytematogenic Dose), cioè la dose terapeutica ottimale, diversa a seconda del fototipo.
- Fase Med : dura da 1 a diversi mesi, a seconda della patologia da trattare, consiste in 3 esposizioni la settimana con dosi pari alla Med, che rappresenta la massima efficacia terapeutica: in questa fase l'obiettivo è la remissione dei sintomi patologici.
- Fase di mantenimento: dura 2 mesi, partendo dalla dose Med questa viene gradualmente ridotta fino ad arrivare a circa il 70% della MED. Tale fase serve a ridurre la comparsa di recidive e ad aumentare la latenza dei benefici ottenuti.

Esistono attrezzature per fototerapia destinate ad uso professionale ed altre adatte alla fototerapia domiciliare; esistono dei pannelli piccoli, adatti ad esposizioni di zone cutanee limitate, e pannelli a tutta altezza, che permettono esposizioni fronte e retro. Le attrezzature migliori sono però le cabine che permettono esposizioni a corpo intero, in cui l'irradiazione avviene tutto attorno al corpo.



Figura 3.7: Pannello LED a tutta altezza per trattare tutto il corpo uniformemente

3.1.3.5 Il ringiovanimento e cura delle ferite con i LED

La fototerapia con sorgenti di luce nello spettro dell'infrarosso ha un gran numero di indicazioni terapeutiche: guarigione delle ferite e delle ulcere cutanee, fotoringiovanimento, stimolazione immunologica della cute con l'aumento dei livelli locali di linfociti T. Uno studio recente con metanalisi⁶ dei dati sui tessuti molli e sulle ossa dimostrano come la luce visibile gialla e rossa (590-630 nm), abbia un effetto significativo nell'accelerare i processi di guarigione delle ferite nei tessuti e come sia efficace nel controllare i processi infiammatori mediante un controllo dei linfociti T cutanei⁷. La sorgente LED che viene utilizzata nei trattamenti cutanei rilascia fotoni con un basso potere d'incidenza: la luce viene assorbita dalle cellule (dai citocromi mitocondriali, in particolare dalla citocromo-ossidasi delle membrane mitocondriali) con un conseguente aumento dell'attività metabolica delle cellule bersaglio e una maggiore disponibilità di energia. Analizziamo ora più in dettaglio due applicazioni:

- Il ringiovanimento cutaneo
- Guarigione delle ferite

Il ringiovanimento cutaneo

Campo d' applicazione dei LED in dermatologia e' senz'altro il ringiovanimento cutaneo. A seconda della gravità del foto e/o crono-invecchiamento e' possibile scegliere il protocollo specifico: che può andare dall'uso di una sola lunghezza d'onda (633nm) alla combinazione di due luci LED (633nm e 830nm); per i casi più compromessi i protocolli prevedono l'uso della luce rossa 633nm con fotosensibilizzanti classici .

Con l'utilizzo solo di Luci LED non si cancellano rughe e solchi di cuti con grado elevato di foto-aging, mentre si ottengono ottimi risultati in casi di cute mediamente compromessa. Uno studio clinico presentato all'EADV⁸ di Vienna 2007 ha dimostrato con microscopio a scansione elettronica come la terapia LED induce fibroplasia nei fibroblasti senza alcun segno di danneggiamento alla cute umana irradiata in vivo e richiama un numero elevato di linfociti T nell'area trattata [10].

⁶ serie di metodi matematico-statistici per integrare i risultati di diversi studi clinici, miranti ad ottenere un unico indice quantitativo di stima che permetta di trarre conclusioni più forti di quelle tratte sulla base di ogni singolo studio

⁷ I linfociti T svolgono nella cute un ruolo fondamentale nel riconoscimento e nella neutralizzazione di antigeni (parte di molecole riconosciute da i recettori di linfociti) non organo-specifici, nella trasmissione di segnali da parte delle cellule dendritiche e nell'induzione e nella regolazione di molti processi infiammatori

⁸ EADV è l'acronimo di European Academy of Dermatology and Venerology (Accademia europea di dermatologia e venerologia)



Figura 3.8 : Risultati ottenuti dopo la cura con trattamento LED. Visibile effetto di ringiovanimento della cute



Figura 3.9 : Trattamento della lassità palpebrale con otto trattamenti in due sedute alla settimana di 35 secondi. Foto prima del trattamento e quattro mesi dopo l'ultima seduta

Lo scopo principale del ringiovanimento non ablativo è quello di indurre la formazione di nuovo collagene e di nuova matrice extracellulare⁹ con un conseguente riduzione della profondità delle rughe. Un altro aspetto del fotoringiovanimento è quello di ridurre le alterazioni della pigmentazione sia a livello epidermico che dermico e una contemporanea riduzione delle teleangectasie nel derma¹⁰. La terapia con LED a varie lunghezze d'onda porta ad una stimolazione dei fibroblasti con una maggiore produzione di collagene e poiché tale terapia è in grado di regolare l'attività o l'inattività delle cellule con le quali interagisce, può essere utilizzata da sola o come complemento ad altre tecniche di ringiovanimento. Nel danno attinico acuto¹¹ è inoltre in grado di ridurre la sintomatologia dolorosa (sensazione di bruciore, edema, prurito) [8]. Le lunghezze d'onda più comuni per la fotoattivazione con LED sono la luce gialla 590 nm e la luce rossa 630 nm entrambe con modalità di emissione pulsata. Il valore di energia utilizzato varia a seconda dello strumento e della lunghezza d'onda, così come i tempi di applicazione per seduta sono compresi in un range ampio da pochi secondi per la luce gialla, a 15-20 minuti per la luce rossa.

⁹ costituita da insieme di collagene, elastina. E' il "gel " al di fuori delle cellule

¹⁰ cioè dilatazioni di piccoli vasi sanguigni, generalmente superficiali, i quali assumono l'aspetto di arborescenze sinuose di colore rosso vivo o rosso-bluastrò e divengono visibili oltre l'epidermide

¹¹ il danno attinico acuto è un fenomeno degenerativo della cute indotto dalla prolungata esposizione al sole, che si esprime nell'assottigliamento e perdita di elasticità della cute con formazione di micro-rugosità e desquamazioni

Il numero delle sedute varia da 1 a 2 alla settimana per un totale di 8-10 trattamenti. Non esiste ancora una vera standardizzazione dei parametri e dei tempi di utilizzo, anche se l'interesse su questo innovativo campo terapeutico è tale che a breve probabilmente si arriverà a delle linee guida sull'uso dei LED.

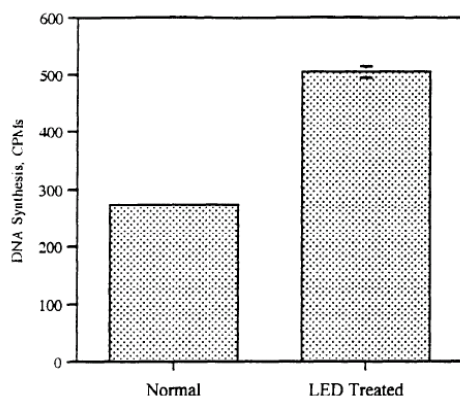
Nel danno attinico acuto e cronico si è sperimentato l'uso dei LED sia da soli che in abbinamento all'applicazione preliminare di acido 5- aminolevulinico in concentrazioni di 5 e 20% e con tempi di posa variabili da 30 minuti a un' ora.

Nel caso in cui sono stati utilizzati unicamente i LED si è avuta un'immediata riduzione dei sintomi acuti del fotodanno: prurito, bruciore, dolore dopo 5-6 sedute di LED gialli e rossi abbinati, due volte alla settimana, con tempi di applicazione da 6 a 15 minuti. La terapia fotodinamica con 5-ALA è stata effettuata, invece, con una singola seduta con l'abbinamento di LED giallo e rosso e tempi di esposizione di 6-9-15 minuti a seconda dell'intensità del danno attinico cronico.

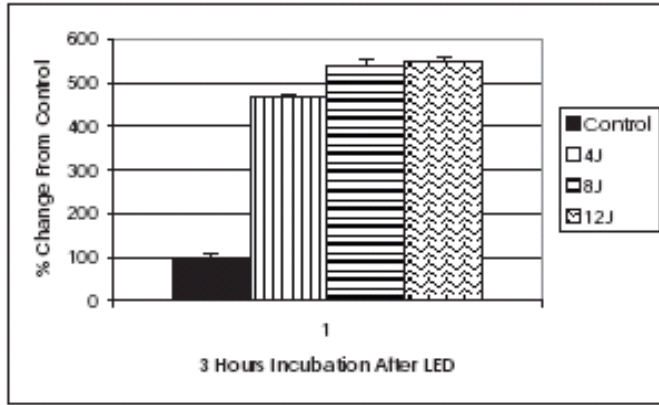
In tutti i casi trattati c'è stata una riduzione dei segni cromatici del fotoinvecchiamento, un netto miglioramento della texture cutanea e una diminuzione della profondità delle rughe di lieve e media entità.

Guarigione delle ferite

La strumentazione LED sembra possa essere utilizzata con risultati notevoli anche nella accelerazione della guarigione delle ferite sia traumatiche che chirurgiche. I primi studi furono condotti dalla NASA negli anni '90 e si basavano sull'utilizzo della luce emessa dai LED per accelerare la cicatrizzazione di ferite e favorire il replicarsi delle cellule negli astronauti. Le funzioni cellulari dipendono infatti linearmente dalla forza di gravità: le cellule per crescere necessitano di tale forza. Ciò poneva dei rischi per gli astronauti che intraprendevano lunghe missioni ed è stata inventata appositamente una "coperta di LED" per prevenire l'atrofia muscolare e ossea. Gli studi della NASA furono condotti prima su cellule in vitro e poi su ratti nella convinzione che tale studio potesse provare come la luce emessa dai LED potesse favorire la cicatrizzazione su aree più estese a differenza dei laser. Tale risultato avrebbe potuto introdurre novità notevoli e numerose applicazioni in campo non solo spaziale ma anche civile e militare. I risultati ottenuti dimostrarono una sintesi doppia di DNA quando le cellule vengono trattate con la luce dei LED.(fig 3.10).



a



b

Figura 3.10: (a) Aumento della sintesi di DNA nei fibroblasti trattati con la luce emessa di LED a confronto con quelli non trattati basandosi sulla quantità di timidina captata per CPMs dal fibroblasto stesso. (b) Sintesi di DNA nei fibroblasti dopo 3 ore di esposizione a LED 50 mW/cm² ; 4,8,12 J/cm²

Group	Day 1	Day 3	Day 7	Day 12	Day 17
Control	100	73.5 ± 7.9	41.4 ± 8.4	20.4 ± 3.8	12.4 ± 2.9
LED only	100	69.2 ± 5.7	33.2 ± 6.2	14.1 ± 3.7	8.1 ± 2.0

Figura 3.11: Percentuale dell'area su cui era presente la ferita in ratti sottoposti al trattamento a LED

Tale risultato è particolarmente importante visto che i fibroblasti sono proprio quelle cellule che crescono e poi dividendosi permettono la guarigione delle ferite [11].

I LED utilizzati dalla NASA in tali esperimenti emettevano luce di lunghezza d'onda di 680, 730, e 880 nm che stimolavano i processi energetici di base nei mitocondri di ogni cellula. L'esposizione all'irradiazione dei LED accelerava il tasso di crescita dei fibroblasti e aumentava notevolmente la circolazione sanguigna [12].

I primi studi condotti dalla NASA su civili e militari affetti da ferite post traumatiche e ulcere ischemiche prevedevano l'utilizzo di luce rossa (670-728 nm) e infrarossa (880 nm).

Negli anni seguenti tali studi furono diffusi e sviluppati in ambito medico. Il dermatologo Alam Murad, professore associato di dermatologia e chirurgia alla Northwestern University di Chicago, sostiene che l'impiego di LED può migliorare la guarigione delle ferite oltre a ridurre l'infiammazione e contribuire alla cura della pelle danneggiata dai raggi del sole, inoltre accelera la produzione di collagene.

Il piede diabetico e ulcere croniche sono lesioni cutanee difficili da curare e guarire in quanto le terapie convenzionali, che includono trattamenti localizzati con antibiotici, si rivelano frequentemente inefficaci. I LED utilizzati hanno portato a risultati positivi nel rimarginare le ferite [13].

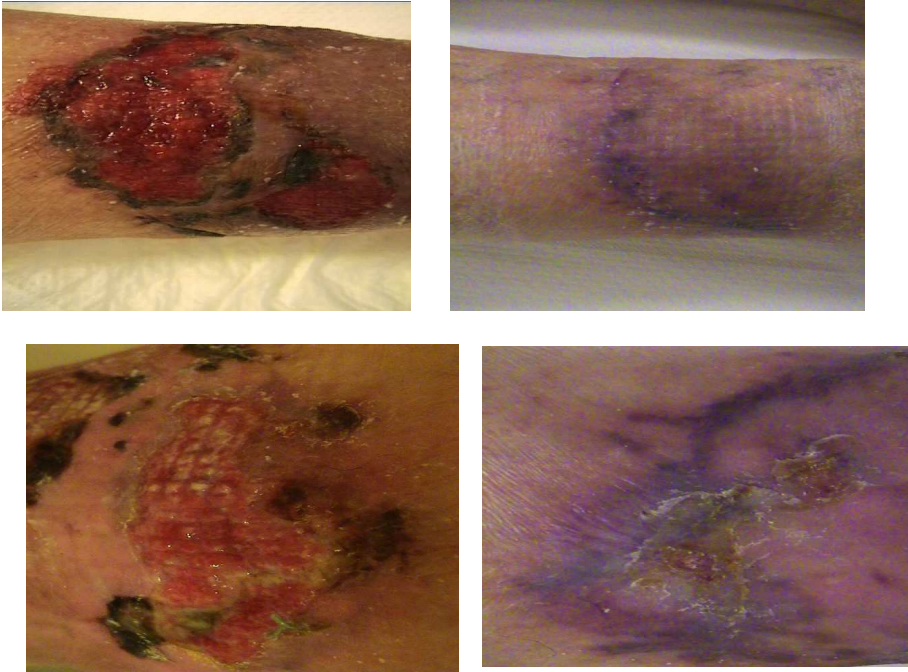


Figura 3.12 : Ulcera su gamba prima e dopo il trattamento con luce a LED



Figura 3.13 : Riduzione dopo due mesi di trattamento del piede diabetico

Sicuramente l'utilizzo dei LED rappresenta un'importante innovazione nel campo terapeutico dermatologico con potenzialità di sviluppo enormi soprattutto per la praticità d'esecuzione, l'assenza quasi totale di rischi di effetti collaterali, la possibilità di abbinarla ad altre tecniche chirurgiche e non.

3.1.4 I LED UV e il Cheratocono

Il cheratocono è una patologia oculare, caratterizzata da uno sfiancamento centrale della cornea (ectasia) che colpisce entrambi gli occhi, anche se con diverso grado evolutivo, la cui incidenza è riferita attorno a un caso ogni 2000 abitanti.

La cornea è la parte anteriore del bulbo oculare, o più precisamente una membrana pluristratificata, la cui proprietà fondamentale è la trasparenza resa possibile grazie all'assenza assoluta di vasi; è la struttura oculare che possiede il più alto potere rifrattivo ed è fondamentale per la corretta messa a fuoco delle immagini sulla retina, ogni sua alterazione è responsabile di deficit visivi.

Si può quindi capire quale sia l'importanza di riuscire a preservarla.

Il problema insorge quando la parte centrale della cornea inizia ad assottigliarsi e ad incurvarsi progressivamente verso l'esterno. Si verifica quindi una curvatura irregolare della cornea, che perde la sua forma sferica, divenendo conica. Ciò porta progressivamente al suo sfiancamento sino alla perforazione.

Fortunatamente, nella maggior parte dei casi, si tratta di forme non progressive, che però possono dare una marcata riduzione visiva.

Tale patologia:

- Non è presente alla nascita
- Comincia a manifestarsi verso la pubertà
- Progredisce con l'età

Ci sono però forme che insorgono più tardi e altre che non si arrestano e continuano a progredire.

Conseguenza diretta dello sfiancamento corneale è l'insorgenza di astigmatismo.

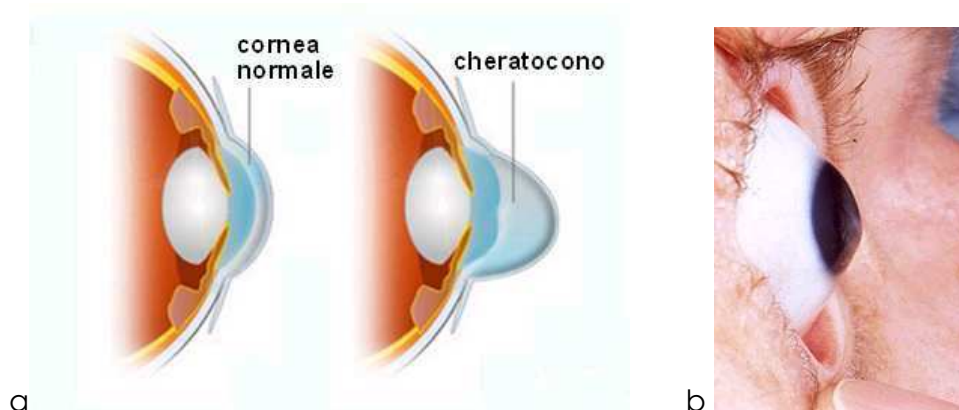


Figura 3.14:(a) : cornea normale a confronto con cornea affetta da cheratocono (b) : cheratocono

3.1.4.1 La nuova frontiera: il *cross-linking* corneale

Il "Cross-linking" del collagene corneale Riboflavina-UV-A indotto, consiste nella fotopolimerizzazione delle fibrille del collagene stromale¹² con lo scopo di aumentarne la rigidità e la resistenza alla cherato-ectasia progressiva del Cheratocono attraverso l'azione combinata di una sostanza foto-sensibilizzante (riboflavina o vitamina B2) e l'irraggiamento mediante luce ultravioletta da illuminatore di tipo UV-A.

Questa tecnica è stata inventata nel 1997 presso l'università di Dresda in Germania e da allora il cross-linking corneale si è diffusa progressivamente negli altri paesi.

Nel 2005 il Policlinico di Siena ha iniziato ad analizzare gli effetti che tale tecnica ha sul collagene corneale. La tecnica consiste nell'instillare delle gocce di vitamina B2 o riboflavina sulla cornea e, contemporaneamente, esporre la cornea ad una luce ultravioletta. La reazione chimica dei raggi UV-A che stimolano la riboflavina comporta un rafforzamento dei legami nel collagene corneale con un conseguente indurimento della cornea. I primi studi hanno dimostrato che si riesce a bloccare l'evoluzione della malattia e, in molti casi, si verifica una diminuzione della curvatura della cornea [14].

¹² il collagene stromale è quel tessuto connettivo che sorregge l'occhio, ne costituisce l'impalcatura di sostegno. Tutti gli organi hanno collagene ma il collagene stromale è costituito da fibre molto più sottili rispetto ad esempio al collagene che si trova nei polmoni, cute, etc

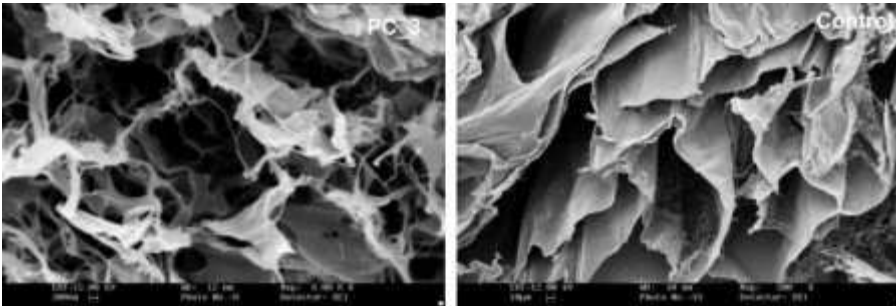


Figura 3.15: Esempio di cross-linking. Si osserva un evidente strutturazione ed interconnessione fibrillare nel collagene cross-linkato.

Vediamo nei particolari il trattamento di cross-linking e l'importanza della luce emessa dalle lampade LED UV.

Tale trattamento consiste nel far reagire una sostanza fotosensibile, la Riboflavina o Vitamina B2, con la luce ultravioletta.

Il procedimento è minimamente invasivo:

- Si prepara l'occhio con l'instillazione di un collirio che stringe la pupilla per proteggere le strutture interne dell'occhio dagli UV;
- L'anestesia è topica, tramite un collirio;
- Si applica uno strumento che tiene l'occhio aperto senza nessuna fatica da parte del paziente;
- Si toglie delicatamente il sottile strato epiteliale che ricopre la cornea (attualmente si sta mettendo a punto una tecnica che permetterà di saltare questo passaggio);
- Vengono applicate sulla cornea le gocce di Riboflavina;
- Si inizia l'irradiazione con i raggi UV per 30 minuti, continuando a ricoprire la superficie corneale con la soluzione a base di Vitamina B2 ogni 3 minuti;
- Infine si lava la cornea con soluzione fisiologica e la si ricopre con una lente a contatto sino alla sua completa riepitelizzazione, che solitamente avviene in circa 3/5 giorni.

Tale trattamento ha lo scopo di rallentare o bloccare la progressione del cheratocono evitando o ritardando il ricorso al trapianto corneale.



Figura 3.16 : Cross-linking del cheratocono con l'emettitore UV-A a 5 LED

Il dispositivo biomedico emettitore di UV-A è costituito dalle seguenti unità principali:

- Testa ottica
- Braccio

La componente più importante di questa attrezzatura è la testa ottica composta da 5 LED UV e 2 LED di focalizzazione. I 5 LED UV hanno lunghezza d'onda di 370 nm e ogni singolo

LED ha un massimo di potenza di 4 mW, irradia per un diametro di 9mm e ha una distanza di lavoro di 15 mm.

TESTA OTTICA

Emettitore di luce UVA a 370 nm ottenuta per mezzo di 5 LED con una inclinazione di proiezione di 25° dall'asse centrale. La distanza di lavoro è 15 mm dall'apice dell'occhio. Per una perfetta messa a fuoco vengono utilizzati due fasci di luce rossa che si allineano nel punto di fuoco. La testa è dotata inoltre di una telecamera (in asse al sistema) che permette di allineare e di centrare la proiezione

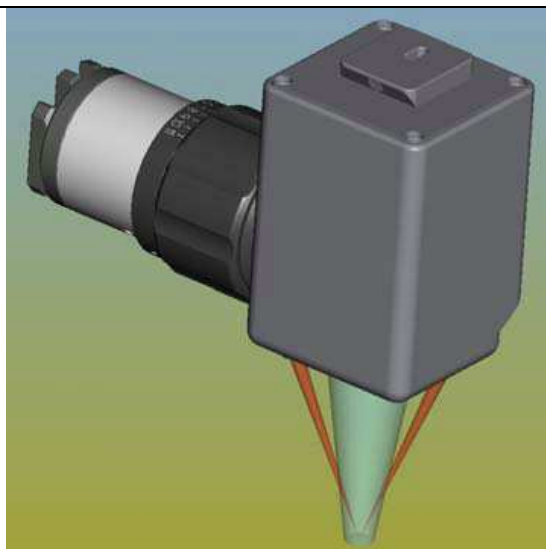


Figura 1: Testa ottica

BRACCIO

Sistema di più snodi che agevolano il centramento e il corretto utilizzo durante il trattamento "Cross-Linking".



Figura 2: Braccio

Fino ad oggi non esisteva alcuna terapia in grado di prevenire la progressione del cheratocono che rappresenta la maggiore causa di trapianto di cornea in Italia. La nuova tecnica di cross-linking del collagene corneale potrebbe fortemente ridurre la percentuale dei pazienti che arriverà alla chirurgia [15].

3.1.5 LED nelle apparecchiature mediche

3.1.5.1 I LED in sala operatoria: nuova era delle lampade scialitiche

Nelle sale operatorie una buona illuminazione e il controllo della qualità dell'aria sono fondamentali : una buona illuminazione diminuisce la fatica e riduce gli stati di stress e di conseguenza il rischio di errori. Anche il controllo della qualità dell'aria è importante per evitare rischi infettivi.

L'illuminazione del campo operatorio si ottiene per mezzo di lampade orientabili, sospese al centro della sala operatoria, dette scialitiche. La peculiarità di queste "luci" è quella di minimizzare la formazione di ombre nel campo operatorio.

Sono costituite da sorgenti luminose, specchi e prismi che convergono la luce sull'area di lavoro, consentendo al chirurgo il mantenimento della percezione della profondità di campo. A un metro dall'area di lavoro sono attualmente disponibili range di intensità luminosa fornita pari a 150-160 klux¹³

Le lampade scialitiche di nuova generazione sono dotate di tecnologia LED. La luce dell'ambiente operatorio deve essere fredda e senza ombra, senza fenomeni di abbagliamento, con una fedele riproduzione dei colori e un'illuminazione di profondità per mettere in evidenza anche i dettagli. Questo lo si ottiene con l'utilizzo di lampade scialitiche che garantiscono, grazie al loro effetto scialitico, l'eliminazione delle ombre che si possono proiettare quando il chirurgo si interpone tra la fonte luminosa e il paziente.



Figura 3.17: lampade scialitiche al LED

¹³ E' l'unità fotometrica di misura dell'illuminamento di una superficie, cioè del flusso luminoso incidente sull'unità di superficie. Il flusso luminoso di una candela, in direzione perpendicolare e alla distanza di un metro, produce su una superficie di un metro quadrato l'illuminamento di un lux
La candela (cd) equivale all'intensità luminosa di una sorgente che emette radiazione monocromatica alla frequenza di 5.4×10^{14} Hz.

I vantaggi tecnici introdotti dall'utilizzo dei LED nelle lampade scialitiche rispetto ai bulbi tradizionali alogeni sono i seguenti:

- lunga durata: durata circa venticinque volte superiore rispetto a quella delle lampade alogene.

Le lampade a LED vantano un ciclo di vita lungo circa 20000h, contro le 5-10000h della normale lampada scialitica.

- basso consumo di energia rispetto all'illuminazione tradizionale.

- gestione dei contrasti tra zone d'ombra e zone di luce, dato che la miscelazione della luce avviene direttamente nella sorgente luminosa. La matrice a lenti multiple permette una migliore illuminazione, distribuendo la quantità di luce emessa dai diodi nel modo più uniforme possibile.

- assenza di calore: la luce emessa dai LED è inoltre a basse emissioni di radiazioni infrarosse e quindi non produce calore nella zona di intervento, aspetto importante in quanto l'illuminazione della lampada scialitica deve essere fredda per evitare la disidratazione dei tessuti durante l'intervento.

- resa cromatica migliore, le lampade a LED forniscono infatti una luce bianca di cui è possibile regolare l'intensità luminosa da circa il 30 al 100% del totale.

La temperatura del colore può essere regolata in un range che varia tra i 3500 e i 5000K, con un relativo vantaggio per il contrasto degli elementi cromatici.

Studi recenti infatti provano che la temperatura del colore influenza la capacità di concentrazione: durante un intervento chirurgico nel pieno della notte un aumento della componente blu aumenta la capacità di concentrazione del chirurgo [16].

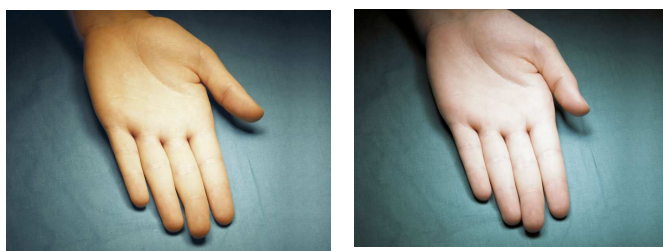


Figura 3.18:
Illuminazione a 3500K illuminazione a 5000K

3.1.5.2 I LED in odontoiatria

3.1.5.2.1 Lampada polimerizzatrice

L'odontoiatria conservativa è una branca dell'odontoiatria restaurativa che si occupa della cura dei denti cariati, delle procedure per l'eliminazione della carie e di quelle relative alla chiusura delle cavità risultanti dall'eliminazione dello smalto e della dentina cariata, tramite l'utilizzo di appositi materiali.

Si cerca di ridurre al minimo l'invasività, con la rimozione del solo tessuto cariato e la sua sostituzione con un materiale da restauro, che viene legato direttamente al tessuto sano. Tale materiale da restauro è chiamato composito ed è costituito da:

- Matrice resinosa
- Riempitivo organico
- Agente accoppiante
- Attivatore

La matrice resinosa

Componente chimicamente attiva del composito, è inizialmente sotto forma di monomero fluido, e viene poi convertita in polimero rigido tramite il fenomeno chiamato polimerizzazione.

Riempitivo inorganico

Il riempitivo migliora la traslucenza¹⁴ e rende il materiale più duro, più denso e più resistente all'uso.

Agente accoppiante (Silano)

Il ruolo del Silano è quello di legare tra di loro i due materiali sopra citati.

Attivatore

L'attivatore è un componente chimico che ha la funzione di fare iniziare la polimerizzazione. L'attivazione può essere iniziata per mezzo della reazione chimica dei componenti misti (autopolimerizzanti) o attraverso l'esposizione a luce di adeguata lunghezza d'onda (fotopolimerizzanti).

La polimerizzazione è il processo chimico che porta dunque il composito dallo stato viscoso di lavorabilità allo stato solido. È una reazione, quindi, che agisce sui componenti della matrice organica e che viene attivata mediante la luce delle lampade polimerizzatrici.

Una volta applicata la resina da parte del dentista viene modellata e in seguito si posiziona la lampada polimerizzatrice in prossimità della zona ricostruita per alcuni secondi : i monomeri si uniscono in polimeri e ciò determina l'indurimento del materiale.

Il foto-attivatore normalmente utilizzato nei moderni materiali dentali è il canforochinone la cui curva di assorbimento si trova tra 360 e 520 nm, con un massimo a 465 nm. Lo spettro d'emissione ottimale di una lampada polimerizzatrice risulterebbe, quindi, tra 440 e 480 nm.

Le lampade polimerizzatrici di ultima generazione sono a LED: nelle lampade tradizionali una parte dei fotoni sono emessi al di fuori dello spettro ottimale e non possono essere assorbiti dal canforochinone. Il 95 per cento dello spettro d'emissione di un LED blu, invece, si trova tra 440 e 500 nm, con un picco massimo a 465 nm, equivalente all'assorbimento massimo del canforochinone. La probabilità che un fotone emesso da una lampada LED venga assorbito dal canforochinone è quindi maggiore rispetto a una lampada alogena. Le lampade polimerizzatrici a LED:

- utilizzano un solo diodo ad alta potenza (800 - 1200 mW/cm²);
- emettono onde in una banda ristretta (440-500 nm), ma che comprende il picco di assorbimento del canforochinone (465 nm), sono quindi perfette per questo tipo di attivatore.
- costi contenuti;
- producono pochissimo calore, quindi non necessitano di ventilazione;
- per lo scarso consumo, possono essere alimentate con batterie (cordless), e sono leggere e maneggevoli.

[17]

¹⁴ proprietà del materiale che permette alla luce di passarvi attraverso in modo diffuso



3.19



3.20

Figura 3.19 : Lampada polimerizzatrice a LED

Figura 3.20 : Foto-polimerizzazione per la ricostruzione dentale

3.1.5.2.2 Sbiancamento dentale

Per sbiancamento dentale s'intende una serie di procedure che ha lo scopo di riportare i denti al loro colore naturale, cioè al colore geneticamente determinato.

I fattori che determinano tale colore, che varia da individuo a individuo, sono:

- la dentina che caratterizza la tinta
- lo smalto che dà la luminosità
- il croma che influisce sulla saturazione del colore e ne determina quindi l'intensità.

I denti decidui (o da latte) hanno un colore diverso della dentatura di un adulto : esiste infatti una correlazione diretta tra il colore dei denti e l'età. Nel corso degli anni, i denti si scuriscono in seguito a usura e macchie accumulate. E' bene tenere presente che esiste però anche un tono di colore individuale e congenito e quindi il cambiamento del colore della dentatura varia notevolmente da individuo a individuo.

Il cambiamento del colore dei denti, oltre che a causa dell'età, è da ricercarsi nei seguenti fattori:

- Antibiotici. L'assunzione di antibiotici (tetraciclina) durante la fase di sviluppo dei denti può causare macchie o una riduzione della brillantezza dello smalto. Le macchie sono principalmente grigio scure o marroni e molto difficili da rimuovere.

- Fluorosi dei denti a causa di un eccessivo dosaggio di fluoro. La somministrazione di fluoro sotto forma di gocce o compresse è stata proposta in età pediatrica per ridurre l'incidenza della carie e favorire la mineralizzazione ossea. Importanti effetti collaterali sono tuttavia emersi da numerosi studi : se la carenza aumenta il rischio di carie dentaria, specialmente nella prima infanzia, è anche vero che un iperdosaggio di fluoro causa un quadro patologico particolare, noto come fluorosi. Il primo segno di un'iperassunzione del minerale è la comparsa di macchie bianche sullo smalto dei denti che evolvono poi in veri e propri solchi e cavità.

- Dente non vitale. Un dente devitalizzato, cioè che ha subito la rimozione della polpa dai canali, non ha più la sua vitalità e rimangono solo i tessuti di tipo duro. Il dente quindi non sente né freddo, caldo né dolore. La perdita di vitalità può non essere determinata solo dall'azione di un dentista, ma anche da traumi forti agli incisivi, che provocano la necrosi della polpa e la successiva morte del dente. Il cambiamento di colore di un dente devitalizzato può avere due cause principali: alcuni medicamenti e cementi usati per la devitalizzazione contengono sostanze coloranti che talvolta possono diffondersi all'interno del dente. La seconda causa è da ricercarsi nella procedura di devitalizzazione: se non ben eseguita può rimanere all'interno del dente una parte di polpa (nervo) che muore, si decompone e forma numerose sostanze di degradazione colorate.

- Abitudini alimentari. La pigmentazione viene modificata attraverso l'assunzione prolungata di tè, caffè, vino rosso, fumo, ecc.
- Digrignamento dei denti. Il digrignamento notturno dei denti è causato principalmente da stress e può provocare micro fratture nei denti che causano lo scurimento del bordo degli incisivi.

La natura delle macchie, che causano il cambiamento del colore dei denti, viene suddivisa in estrinseca o intrinseca. Le macchie dentali estrinseche sono quelle che appaiono sulla superficie dei denti a causa di esposizione a bevande di colore scuro, alimenti colorati, tabacco e usura. Generalmente sono minime e possono essere rimosse con spazzolatura e pulizia dentale regolare.

Le macchie intrinseche sono invece quelle che si formano all'interno dei denti. Derivano da traumi, esposizione a sostanze minerali (come le tetracicline) durante la formazione del dente o ingestione eccessiva di fluoro o a malattie ematologiche, malattie sistemiche, e a malformazioni dentali genetiche. In passato, si pensava che le macchie intrinseche fossero troppo resistenti per essere corrette dallo sbiancamento. Oggi invece si ritiene che le macchie intrinseche possano essere rimosse tramite sbiancamento dei denti in alcuni mesi od un anno [18].

Nel trattamento di sbiancamento tramite LED il dentista applica sulla dentatura un particolare gel sbiancante a base di perossido di idrogeno, il cui effetto viene amplificato grazie alla luce dell'apposito macchinario. Il perossido d'idrogeno, comunemente detta acqua ossigenata, è l' agente decolorante, perché liberando ossigeno attivo, che è capace di penetrare tra i prismi dello smalto, fino alla dentina, ossida le sostanze colorate qui presenti: scompone le complesse molecole di pigmento in molecole più semplici, incolori.

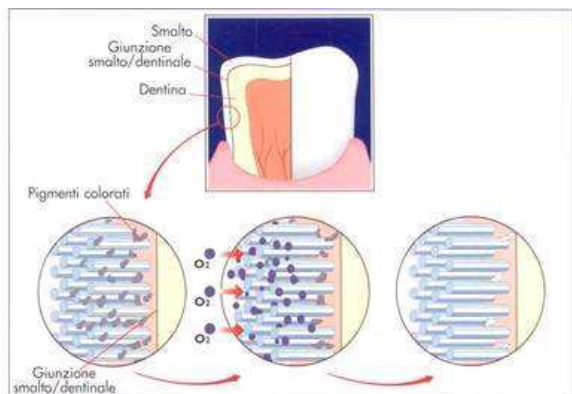


Figura 3.21: Schema dell'azione dei perossidi

Si rivela particolarmente efficace la luce LED: i macchinari di questo tipo infatti possono emanare una luce anche molto intensa, dunque di grande efficacia, senza tuttavia emettere alcun calore. Di conseguenza il trattamento si rivelerà del tutto indolore per il paziente, tanto da non richiedere alcun tipo di anestesia. Tra le diverse tipologie di luci attive disponibili, quali ad esempio alogene, plasma ed altre ancora, il LED è dunque la più efficace.

Vediamo ora come viene effettuato lo sbiancamento. Prima di tutto i denti devono essere puliti professionalmente. La gengiva viene poi protetta con un prodotto apposito in modo che rimangano esposti solo i denti. Successivamente si applica il gel sbiancante fotoattivabile sulle superfici anteriori. Con la lampada posizionata direttamente davanti alla bocca del paziente, i denti sono esposti per 20 minuti ad un'intensa luce a LED. Dopo il trattamento, la protezione gengivale viene rimossa ed i resti del gel tolti con acqua.



Figura 3.22: Lampada a 82 LED per accelerare l'attivazione del perossido di idrogeno nel trattamento di sbiancamento fotoattivato

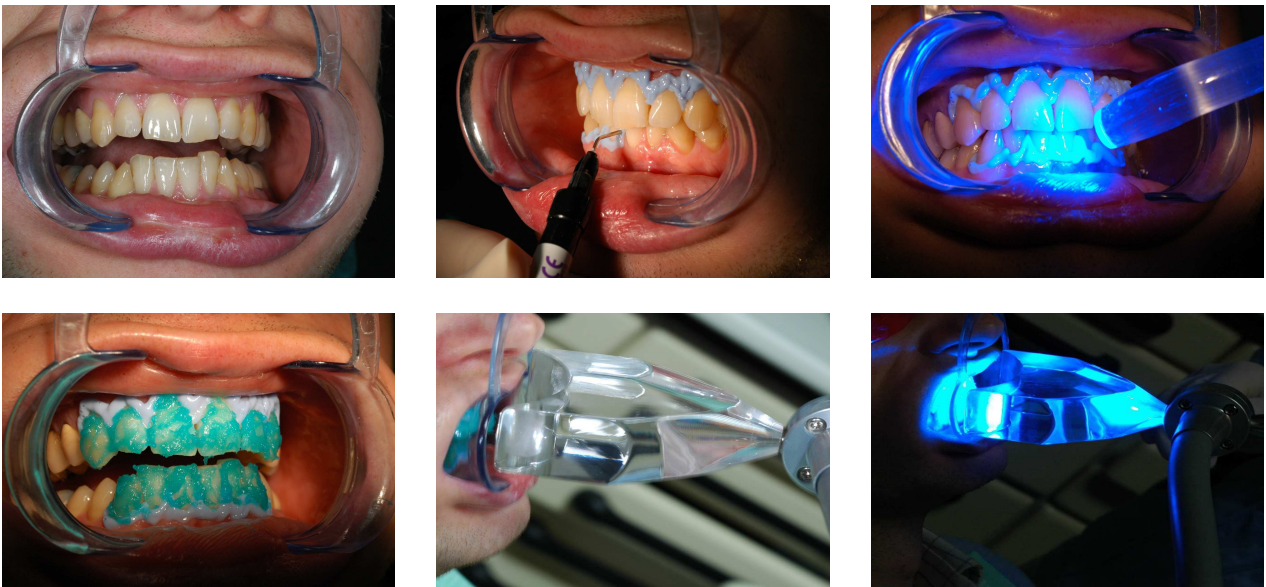


Figura 3.23: Fasi salienti dello sbiancamento professionale con fotoattivatore con lampada sbiancante. (a) inserimento del apribocca (b) gengive vengono protette con una resina fotopolimerizzabile (c) fotopolimerizzazione della resina con la lampada (d) il gel a base di perossido viene spalmato sui denti (e) viene posizionata la lampada a LED (f) la lampada LED viene attivata per il trattamento



Figura 3.24: Differenza cromatica prima e dopo lo sbiancamento

3.1.5.3 LED: tecnologia nella cura dell' ittero neonatale

L'ittero, una patologia frequente nei neonati, è la colorazione giallastra della pelle e della parte bianca degli occhi (detta sclera) causata dall'eccesso di bilirubina in circolo. La bilirubina è il prodotto della disgregazione dei globuli rossi e in condizioni normali la bilirubina passa nel fegato e viene espulsa. L'ittero si verifica quando la bilirubina si accumula più velocemente di quanto il fegato del neonato riesca a disgregarla ed espellerla dall'organismo. Tale problematica compare tra il secondo e il terzo giorno di vita del neonato, inizia dalla testa e poi procede verso il basso. La pelle del neonato colpito dall'ittero di solito ingiallisce prima sulla testa, poi sul torace e sulla pancia e infine sulle gambe. Anche la parte bianca degli occhi del neonato può assumere un colore giallastro.

Per curare un ittero leggero è sufficiente esporre il bambino ai raggi solari ma se le condizioni climatiche non lo permettono o se i livelli di bilirubina sono elevati è bene ricorrere alla fototerapia. Essa determina una reazione nella bilirubina in circolo, inducendola a convogliarsi verso i reni, invece di transitare per il fegato. L'eliminazione per via urinaria, poi, è favorita dalla somministrazione al neonato di maggiori liquidi. Deve essere posta tra la lampada della fototerapia e il neonato una lamina protettiva di plexiglas trasparente per proteggerlo dalle radiazioni ultraviolette e inoltre il neonato deve essere bendato per prevenire il danno oculare.

La fototerapia si effettua in un'incubatrice, sotto una lampada LED UV. Si sfrutta la proprietà che la luce ha nel ridurre l'ittero nei neonati : la luce modifica la struttura molecolare della bilirubina in modo da renderla solubile in acqua eliminandola attraverso le urine. In passato venivano utilizzate lampade a luce bianca, attualmente in molti reparti vengono utilizzate lampade a luce blu che hanno un'efficacia di gran lunga superiore. La bilirubina assorbe infatti principalmente la luce di 425-475 nm ma anche 390,490,511 nm e la luce più efficace è la luce blu con picco tra 425 e 475 nm [19].

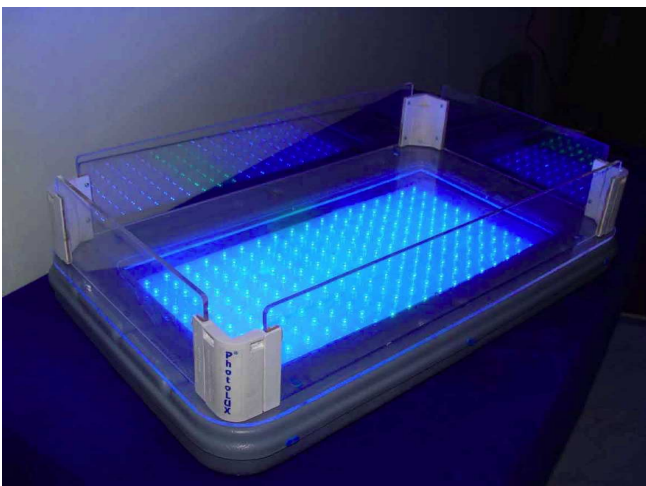


Figura 3.25 : Apparecchiatura per fototerapia dell'ittero neonatale

Figura 3.26 : neonato con maschera oculare(per protezione del neonato) sottoposto a fototerapia

3.1.6 INNOVAZIONE :

3.1.6.1 LED per alleviare i dolori causati dalla chemioterapia

Partendo da studi condotti dalla NASA, che ha utilizzato i diodi nella crescita delle piante, è stato realizzato un dispositivo che utilizza i LED per favorire la cura delle lacerazioni nella mucosa orale. Tali lacerazioni sono causate dalla chemioterapia a cui vengono sottoposti coloro che subiscono il trapianto di midollo osseo.

Per cercare di ridurre tali lacerazioni sono stati inizialmente utilizzati i LED della NASA in giovanissimi pazienti con una dose di 50 mW/cm^2 di irradiazione a 670 nm . I risultati ottenuti da tale studio, condotto sulla guancia sinistra di 15 pazienti a partire dal giorno stesso in cui hanno subito il trapianto, sono notevoli se comparati alle mucose della gola non sottoposte al trattamento. Inizialmente i dolori nella gola e nelle mucose della bocca risultano simili. La maggior differenza si osserva invece il settimo giorno dove si evidenzia una notevole differenza [20].

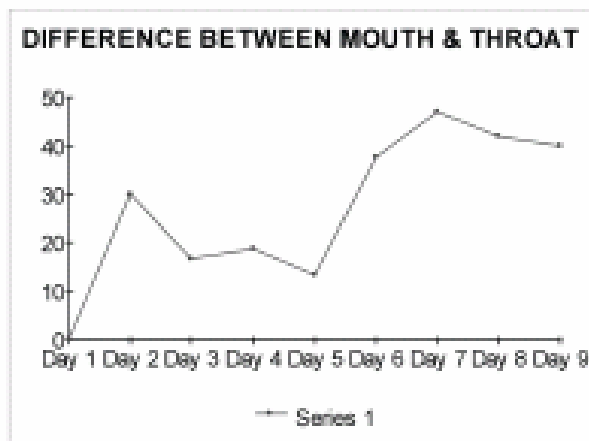


Figura 3.27. : La curva mostra la differenza tra le lacerazioni della bocca curate con dispositivo a LED (NASA LED a 670 nm , 50 mW/cm^2 , 4 J/cm^2) e la gola non sottoposta al trattamento

Successivamente sono stati condotti ulteriori test ed i risultati ottenuti dai ricercatori del Medical College of Wisconsin, nel Children's Hospital of Wisconsin in Milwaukee, sono stati così incoraggianti che i medici hanno esteso i test a diversi ospedali degli Stati Uniti e all'estero. Il Dr. Harry Whelan, docente di neurologia e pediatria al Medical College of Wisconsin in Milwaukee, commenta così questa innovazione: "We've already seen how using LED can improve a bone marrow transplant patient's quality of life" (...). "These trials will hopefully help us take the next steps to provide this as a standard of care for this ailment."

Tale strumento a LED deve essere posizionato vicino alla guancia del paziente e viene poi spostato lentamente per riuscire ad irradiare la metà inferiore del viso. La procedura è del tutto indolore e potrebbe divenire una terapia innovativa per riuscire ad alleviare i dolori associati al trattamento del cancro. Le ulcere delle mucose nella bocca e nella gola provocano ai giovani pazienti sottoposti a chemioterapia dolori molto forti e in alcuni casi infiammazione dell'intero tratto gastro-intestinale che porta a gonfiore e notevole sanguinamento dei tessuti. Ciò rende difficile se non impossibile masticare e deglutire

causando di conseguenza un notevole peggioramento nella salute generale dei bambini per la ridotta quantità di liquidi e cibo che assumono [21].

"Our first study was very encouraging, and using the LED device greatly reduced or prevented the mucositis problem, which is so painful and devastating to these children," ha riferito Whelan. "But we still need to learn more. We're conducting further clinical trials with larger groups and expanded control groups, as required by the U.S. Food and Drug Administration, before the device can be approved and available for widespread use." [22].

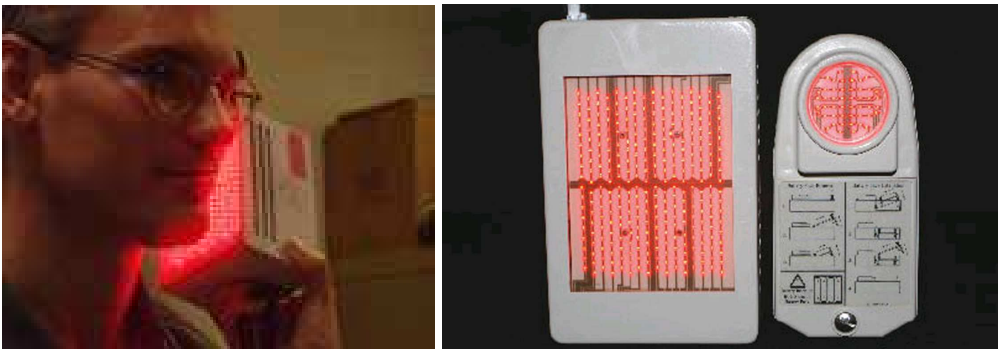


Figura 3.28 : Dispositivo a LED Warp 75 che riduce il dolore e promuove la cicatrizzazione delle ferite. Il dispositivo di sinistra è un nuovo modello che copre un'area maggiore rispetto al primo dispositivo (sulla destra) [23]

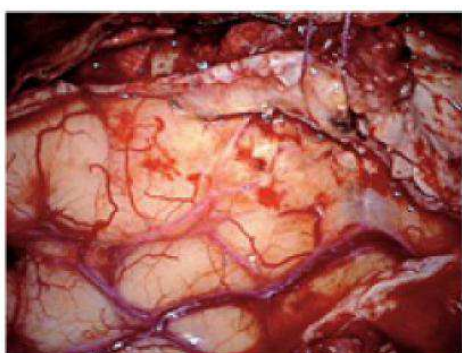
3.1.6.2 Fluorescenza dopo l'esposizione a raggi UV: identificazione del tumore al cervello

Dal 2007 ad oggi la possibilità di rendere fluorescenti i tumori cerebrali per aiutare i chirurghi ad operare sta portando a migliorare notevolmente i progressi della neurochirurgia. Una fluorescenza indotta grazie a una sostanza chimica (5 ALA) e alla luce UV è capace di mettere in evidenza le cellule cancerose, distinguendole da quelle sane, per aiutare i chirurghi a delimitare al meglio i bordi del tumore da asportare. Vengono così ridotti al massimo i danni ai tessuti sani circostanti.

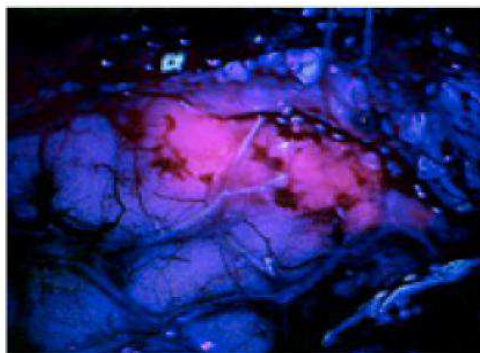
I glomi¹⁵ hanno dei margini difficili da identificare ma tale sostanza, metabolizzata maggiormente dalle cellule tumorali porterebbe, unitamente all'utilizzo di un microscopio medico contenente una sorgente di luce ultravioletta, potrebbe aiutare i neurochirurghi ad asportare in toto e nella maniera più precisa possibile il tumore. E' bene però sottolineare come l'ALA e la successiva esposizione alla luce UV sia solo un modo per delineare il tumore cerebrale mentre poi è compito del chirurgo decidere l'area da asportare e fare attenzioni a individuare eventuali parti nascoste [24].

Secondo lo studio, condotto da un gruppo di ricercatori del Children's Hospital Research Institute e del Fred Hutchinson Cancer Research Center di Seattle (Stati Uniti), e pubblicato su Cancer Research, la tecnica sarebbe particolarmente utile nel caso di lesioni al cervello. L'80% delle recidive di neoplasie cerebrali, infatti, si presentano nella stessa sede da cui ha avuto origine il tumore e da cui era stato rimosso chirurgicamente, questo perché alcune cellule malate possono sfuggire all'occhio del chirurgo.

Negli studi condotti è stato somministrato per via orale ai pazienti circa 3 ore prima dell'intervento un composto a base di Acido 5-aminolevulinico (5-ALA). Il 5-ALA è un agente sensibilizzante che viene assorbito dalle cellule dell'organismo, dove è convertito da enzimi in sostanze chimiche fluorescenti, in particolare in protoporfirina IX (PPIX). Dato che le cellule del glioma assorbono una quantità maggiore del principio attivo e lo convertono più rapidamente in PPIX, nelle cellule cancerose si accumulano livelli maggiori di tale sostanza rispetto ai tessuti sani. Quando viene illuminato da una luce blu (luce ultravioletta) ad una precisa lunghezza d'onda, la PPIX presente nel tumore emette un'intensa luce rossa, mentre il tessuto cerebrale sano appare blu. Ciò rende più facile e precisa l'asportazione del tessuto tumorale risparmiando il tessuto sano come si può vedere in figura 3.29.



(3.29a)



(3.29b)

Figura 3.29: Come appare il tessuto cerebrale su cui è presente il glioma da asportare. (a) Visualizzazione al microscopio operatorio, in luce bianca, di un glioma cerebrale (b) Visualizzazione al microscopio operatorio, in luce fluorescente dello stesso glioma cerebrale

In alcuni tipi di tumore, come per esempio quello al colon, i tessuti circostanti all'ammasso tumorale possono essere rimossi insieme al tumore. La rimozione invece del tumore al cervello, quando possibile, necessita di una precisione molto maggiore. Proprio a causa della mancanza di precisione la chirurgia dei tumori cerebrali non è sempre del tutto risolutiva; non essendo possibile definire completamente il confine del tumore è frequente la presenza di "residuo di malattia" nella cavità tumorale e proprio per questo motivo la tecnica con UV per attivare il fotosensibilizzante permetterebbe di ridurre tali problematiche. La sorgente di UV ottimale sarebbero per l'appunto i LED UV visto che non produrrebbero alcun calore e quindi deidratazione durante l'intervento chirurgico.

In uno studio condotto su 415 pazienti con glioma maligno in procinto di essere sottoposti ad un intervento neurochirurgico per l'asportazione del tumore l'esito dell'intervento è differente tra i pazienti trattati con tale tecnica (operati sotto luce blu) e i pazienti cui non era stato somministrato alcun medicinale per migliorare la visibilità del tumore (operati sotto normale luce bianca). L'asportazione chirurgica del tumore cerebrale è risultata più completa nei casi in cui è stato usato il farmaco e la luce UV. A 72 ore dall'intervento, il 63,6% dei pazienti non mostrava alcun tumore visibile alla scansione cerebrale, rispetto al 37,6% dei pazienti non trattati con il farmaco. A sei mesi, il 20,5% dei pazienti trattati con il farmaco era ancora in vita senza progressione della malattia rispetto all'11% dei pazienti che non lo avevano assunto [25].

3.2. I LED UV per la disinfezione dell'acqua

La disinfezione dell'acqua tramite l'ultravioletto consiste in un processo esclusivamente fisico, non chimico. La radiazione UV-C in particolare, con una lunghezza d'onda nella banda dai 240 ai 280 nanometri, attacca direttamente il vitale DNA dei batteri, dei virus e di altri microrganismi rendendoli inattivi : vengono cioè inabilitati a svolgere la loro funzione patogena.

Le lampade UV utilizzate per trattare l'acqua hanno uno spettro che ha valori vicini ai 254 nm, valore prossimo al massimo potere assorbente del DNA delle strutture molecolari. La radiazione provoca una reazione fotochimica inducendo un danno nel DNA e nell' RNA dei microrganismi

Anche i parassiti come il *Cryptosporidia* e il *Guardia*, estremamente resistenti ai disinfettanti chimici, sono efficacemente ridotti con l'UVC.

Rispetto alla disinfezione tramite sostanze chimiche, per esempio con il cloro, la tecnica di purificazione delle acque tramite lampade LED UV ha i seguenti vantaggi:

- non vengono introdotti additivi chimici nell' acqua trattata
- conservazione delle caratteristiche organolettiche dell'acqua
- basso costo di esercizio

L' efficacia del trattamento è però ridotto se all'interno dell' acqua grezza da trattare si trovano composti solidi in sospensione che fungono da barriera contro i raggi ultravioletti proteggendo i microrganismi e alterando così l'efficacia germicida.

L'acqua quindi se non è molto limpida deve prima venire filtrata per ottenere poi una disinfezione ottima tramite la luce UV. Inoltre i microrganismi annientati non vengono rimossi, svantaggio compensato dalla possibilità di fornire una disinfezione di alto livello senza lasciare tracce, sostanze chimiche nell'acqua.

Un principio fondamentale per tutti i metodi di disinfezione dell'acqua è il Principio dose/effetto: per rendere efficace il procedimento UV occorre essere a conoscenza del rapporto tra la dose di radiazione da applicare e l'effetto che si ottiene. La dose UV si definisce come il prodotto dell'intensità di radiazione moltiplicata per il tempo di contatto e corrisponde alla quantità di energia UV per superficie.

Dose D (J/cm²)

$$(3.3) \quad D = E * t$$

E = intensità di irradiazione (W/cm²)

t = tempo di irradiazione (s).

Un' altro parametro fondamentale è la relazione dose-risposta, che esprime la frazione di microrganismi inattivati (log di inattivazione) in funzione della dose UV. Il logaritmo di inattivazione si calcola misurando la concentrazione dei microrganismi vitali prima e dopo l'esposizione agli UV.

$$(3.4) \quad \log_{inatt} = \log_{10}(N_0 / N)$$

Dove

N_0 = concentrazione di microrganismi vitali prima dell'esposizione UV

N = concentrazione di microrganismi vitali dopo dell'esposizione UV [26].

La percentuale di inattivazione, definita come segue:

$$(3.5) \quad \%_{inatt} = 100 - (N / N_0 * 100)$$

differisce a seconda del tipo di microrganismo.

Essi infatti hanno una sensibilità diversa alla luce UV a causa della struttura della parete cellulare, al suo spessore ed alla composizione ; alla presenza di proteine che assorbono i raggi UV od a differenze nella struttura degli acidi nucleici stessi [27].

Le lampade tradizionalmente utilizzate come sorgenti di disinfezione UV sono lampade al mercurio a bassa pressione (UVC germicida a 254 nm). Hanno fatto recentemente comparsa i cosiddetti UV-LED, apparecchi dalle dimensioni estremamente compatti utilizzati per il trattamento germicida.

Con essi sono iniziati studi per stabilire se anche gli UVA potessero avere la medesima efficacia degli UVC sebbene fossero sempre stati ritenuti capaci di un'azione battericida meno potente. Lo studio condotto da A.Hammamoto evidenzia come tramite UVA LED ad alta energia si possano rendere inattivi 4 ceppi di batteri. Per misurare l'effetto della radiazione sul DNA batterico è stata misurata la capacità dell' UVA di indurre mutazioni. Dai risultati ottenuti si può affermare che anche gli UVA LED portano a un alto livello di inattivazione di microrganismi come evidenziato dai seguenti grafici.

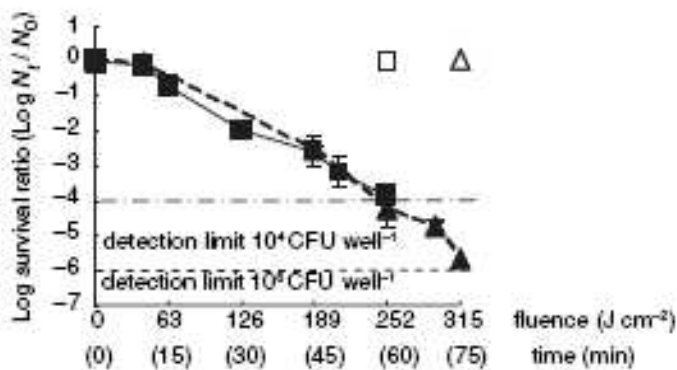


Figura 3.30 : Inattivazione dell' *Escherichia coli* in dipendenza della dose di UVA LED

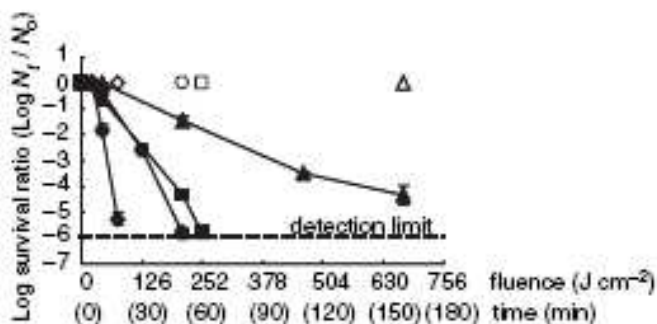


Figura 3.31 : Inattivazione di batteri patogeni con irradiazione UVA LED. Il loro numero iniziale era $7 \cdot 10^5$ CFU (colony forming units) per pozzetto. Ogni ceppo è irradiato dal flusso di UVA indicato mentre i simboli con il solo contorno rappresentano i campioni non trattati. (◆) *Vibrio parahaemolyticus*, (●) *EPEC*, (■) *Staphylococcus aureus*, (▲) *Salmonella enteritidis*.

Il dispositivo utilizzato in tale studio è stato posto a una distanza di 2 cm dalla soluzione batterica e la maggior parte dei batteri sono stati ridotti di un fattore $3\log_{10}$ dopo 80 min di radiazione.

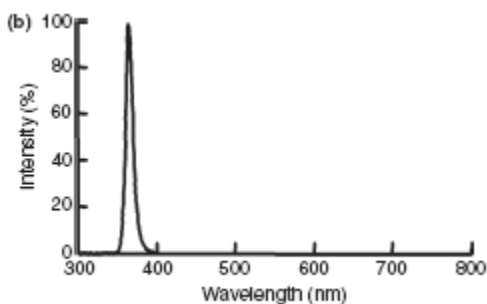


Figura 3.32 : (a) Dispositivo per la disinfezione. L'intensità max dei raggi UVA a 365 nm è 70 mWcm^{-2} (b) spettro di emissione dell' UVA LED con picco a 365 nm [28]

La disinfezione con raggi UV viene utilizzata per trattare l'acqua sempre più frequentemente poiché:

- meno dell'1% dell'acqua disponibile nel mondo è potabile
- più di 1 miliardo di persone non hanno accesso all'acqua potabile
- la domanda globale di acqua potabile aumenta continuamente
- l'acqua contaminata (acque reflue) causa diverse malattie, con conseguenze fatali
- c'è un aumento della domanda di metodi ecologici ed economici di trattamento delle acque.

La praticità, l'economicità, l'affidabilità ed efficacia degli impianti che utilizzano i LED UV rende questi impianti adatti a trattare l'acqua in vari settori:

- Potabilizzazione delle acque
- Industria alimentare
- Agricoltura e pesca
- Industria chimica -farmaceutica e cosmetica
- Industria elettronica
- Impianti di condizionamento aria
- Impianti di depurazione dei reflui

Le lampade UV a LED potrebbero portare a una svolta soprattutto per i bassi consumi e quindi bassi costi e diventare la tecnologia più adatta nel futuro per trattare i problemi legati alla mancanza di acqua potabile nei paesi in via di sviluppo.

3.3. I LED UV per la crescita delle piante : esperimento della NASA

La luce bianca ha uno spettro che copre l'intera gamma di frequenza del visibile, con l'aggiunta di raggi UV e infrarossi; le piante però sfruttano soltanto una parte di questa gamma di frequenze, per l'esattezza il rosso e il blu . Questi due colori infatti servono per la produzione di clorofilla di tipo A e B (A=fase vegetativa, B= fioritura/maturazione) e quindi per l'attivazione della fotosintesi.

La clorofilla di tipo A si attiva con lunghezze d'onda di 430nm (blu-viola) e 662nm (rosso)

La clorofilla di tipo B si attiva con lunghezze d'onda di 453nm (blu) e 642nm (rosso)

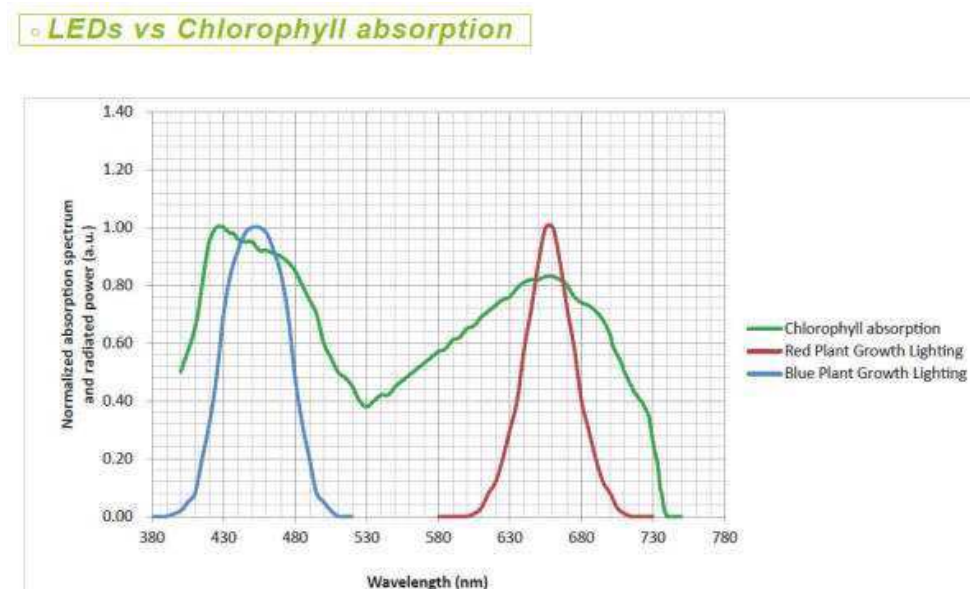


Figura 3.33: Assorbimento della clorofilla

Come si vede chiaramente dal grafico sopra riportato la clorofilla assorbe molto bene la luce rossa e quella blu, ma non quella verde. La tecnologia migliore per la crescita delle piante è dunque quella in grado di sfruttare al massimo le lunghezze d'onda che servono alla pianta per compiere la fotosintesi che avviene grazie alla clorofilla. Sono stati studiati modelli di lampade e pannelli LED appositamente per fornire la luce ed energia ideale per una crescita sana e rapida di fiori e piante in coltivazione interna ed in serra. Le piante utilizzano lunghezze d'onda da 400 nm (luce blu) a 700 nm (luce rossa) dunque tutte le normali lampade di crescita emettono una buona parte di luce che le piante non sfruttano efficacemente. Le lampade a LED permettono invece di selezionare lo spettro di luce richiesto da piante e fiori per la fotosintesi: lo spettro di luce delle lampade a LED copre il 95% del fabbisogno delle piante e solo il 5% dell'energia immessa va persa. Invece con le lampade tradizionali, a luce bianca, solo il 15% dell'energia emessa viene utilizzata dalle piante, mentre il rimanente 85% va dispersa in calore e luce non necessaria. Ciò è dovuto al fatto che la luce emessa dalle lampade tradizionali comprende l'intero spettro dei colori, sia visibili che invisibili, ossia dall'infrarosso all' ultravioletto. Poiché, come sopra citato, le piante e fiori richiedono solo una parte dello spettro per la fotosintesi, ne risulta

che per avere l'intensità del rosso e blu necessari alla crescita e fioritura delle piante, si debba incrementare la potenza della lampada e relativo consumo energetico per raggiungere i risultati voluti. Vi sono inoltre altri svantaggi nell'uso di lampade normali:

- il calore emesso impedisce di collocare la fonte di luce troppo vicino alle piante
- l'elevato consumo energetico
- la durata della fonte di luce (i neon andrebbero sostituiti ogni anno perchè perdono la loro luminosità).

Per capire le dinamiche di funzionamento delle lampade a LED nella crescita delle piante si possono cercare utili informazioni negli studi effettuati dalla NASA sui supporti vitali per gli astronauti. Il progetto di lunghi viaggi spaziali, come quello di portare l'uomo su Marte, si scontra con la necessità di garantire all'equipaggio cibo ed aria fresca durante la permanenza nello spazio che portano a un miglioramento della salute. Le tradizionali lampade di crescita non sono un'opzione praticabile, visto l'elevato consumo di energia ed il calore emesso. Per questo motivo la ricerca di soluzioni alternative è orientata sempre di più verso sistemi che utilizzano pannelli a LED, che presentano notevoli vantaggi: efficienza energetica, spettro di emissione stabile, maggiore sicurezza, bassa emissione di calore, durata più lunga, piccole dimensioni.

Il programma "Advanced Life Support" (ASL) della NASA tratta lo sviluppo di colture per la produzione di cibo, in supporto alla vita umana in ambiente extraterrestre. Per i motivi precedentemente descritti i LED si sono dimostrati la scelta ideale per l'illuminazione di camere di crescita [29].

In particolare i LED rossi con una lunghezza d'onda di 640 nm si sono rivelati i più efficienti, in quanto la loro luce contribuisce per circa il 96% del processo di fotosintesi clorofilliana. Per una normale crescita che permetta di equiparare la resa ottenuta con colture cresciute con luce bianca è necessario anche il 15% di LED blu a 440 nm. Gli esperimenti condotti hanno dimostrato che diverse specie vegetali possono essere coltivate con successo con la luce dei LED, fra cui gli spinaci, la lattuga, il radicchio, il frumento e le patate [30].

Lo "Specialized Center of Research and Training in Advanced Life Support (ALS NSCORT)" della NASA in collaborazione con "Orbital Technologies Corporation (ORBITEC)" hanno sviluppato un array riconfigurabile di pannelli a LED in grado di ridurre l'energia richiesta per crescere le piante. Ogni pannello di LED è un quadrato di 6,25 cm² composto da 100 LED così suddivisi:

- 64 LED rossi a 640 nm
- 16 LED blu a 440 nm
- 20 LED verdi a 540 nm + 2 fotodiodi

L'array di pannelli LED generalmente è disposto verticalmente nella camera di crescita ed è predisposto in modo che i singoli pannelli possano essere accesi in sequenza iniziando con i pannelli bassi in modo da seguire la crescita verticale della pianta. In questo modo non viene sprecata energia, soprattutto nella fase iniziale di crescita in cui la pianta è di dimensioni ridotte, consentendo di accendere con il giusto livello di potenza solo i pannelli che servono per illuminare le foglie. Su ogni pannello sono inoltre presenti dei fotodiodi che hanno lo scopo di rilevare la prossimità di elementi verdi (la pianta) in modo da poter gestire automaticamente l'accensione dei LED quando delle foglie sono posizionate davanti ad essi

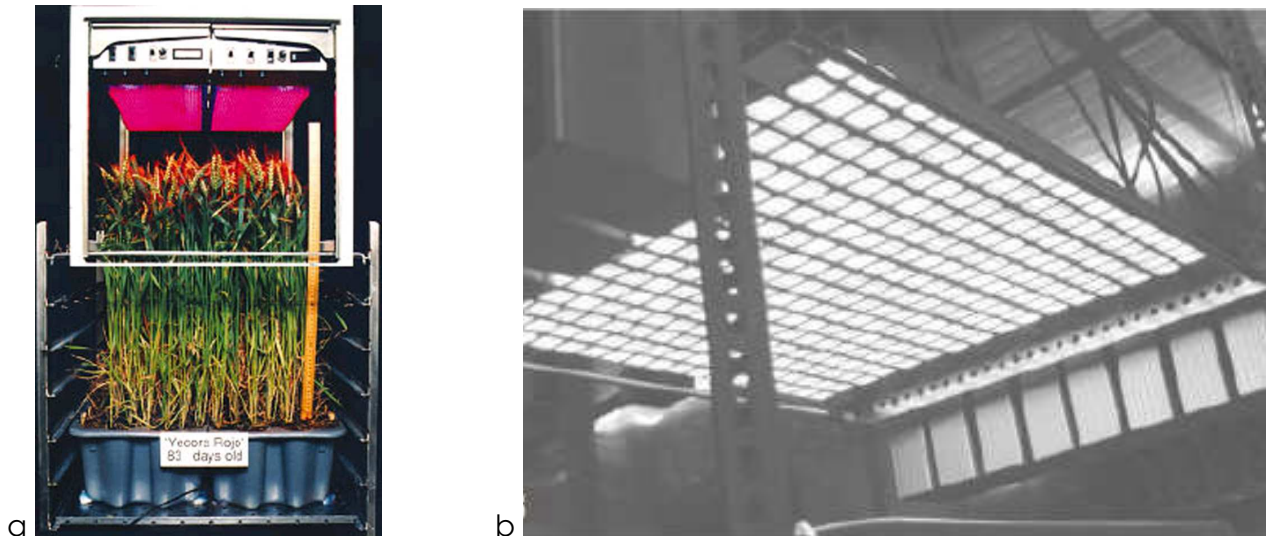


Figura 3.34 : (a) Pannelli a LED verticali per favorire la crescita verticale delle piante (b) Array a LED disposti orizzontalmente

In alternativa alla configurazione verticale, gli array di pannelli possono essere anche disposti orizzontalmente uno accanto all'altro sopra le piante, formando così un unico grande pannello che fa da tetto alla camera di crescita. Questa disposizione dei pannelli è l'ideale per illuminare la lattuga e il frumento nano. Non è però consigliabile per piante che si sviluppano in verticale come i fagioli, perchè è stato osservato che queste piante tendono a crescere molto nella parte alta della camera di crescita, vicino ai pannelli LED, producendo un raccolto minore rispetto all'utilizzo degli stessi array di LED disposti in verticale ed alimentati con lo stesso quantitativo di energia [23].



Figura 3.35 : Coltivazione di insalata in camere di crescita per astronauti spaziali con luce a LED (Fonte: NASA)

CONCLUSIONI

Tale lavoro ha voluto sottolineare le notevoli applicazioni dei LED evidenziando come tale tecnologia non venga solo utilizzata per l'illuminazione ma anche in ambito medico/biologico. Ulteriori sviluppi delle applicazioni innovative dei LED analizzate, come l'utilizzo dei LED UV per evidenziare i tessuti cerebrali e la capacità di rimarginare ulcere della mucosa, potranno progredire ulteriormente e incrementare le possibilità di terapie e diagnosi.

Il trattamento delle acque senza alcun utilizzo di sostanze chimiche nocive per l'uomo potrebbe venire utilizzata nei paesi in via di sviluppo e migliorare notevolmente la qualità dell'acqua e di conseguenza la vita stessa delle persone. Grazie alla semplicità ed economicità del trattamento di disinfezione con l'utilizzo di una lampada a LED UV germicida portatile si risolverebbe il problema dell'approvvigionamento idrico e si ridurrebbe l'incidenza di malattie; basti pensare che ogni 17 secondi un bambino africano muore per la mancanza di acqua pulita.

I LED UV risultano vantaggiosi anche per la coltivazione di piante visto che l'assorbimento della clorofilla avviene principalmente alle lunghezze d'onda emesse dai LED, mentre con la normale illuminazione una parte di radiazioni luminose non viene sfruttata. Si ridurrebbero dunque i consumi, aspetto fondamentale in un contesto mondiale sempre più orientato all'eco-compatibilità.

In conclusione ciò che si vuole sottolineare indirettamente con tale lavoro è come un dispositivo elettronico (i LED) possa essere utilizzato in ambiti così diversi e risultare comunque migliore rispetto alle tecnologie precedenti.

La tecnologia non è infatti pura scienza finalizzata alla contemplazione ma ha come scopo principe l'applicazione nel quotidiano per cercare di incrementare il benessere dell'umanità. Le innovative applicazioni medico/biologiche approfondite in tale elaborato evidenziano la stretta relazione tra i dispositivi elettronici e il benessere della persona nella speranza di poterle incrementare ulteriormente in un futuro molto prossimo.

"Il processo di una scoperta scientifica è, in effetti, un continuo conflitto di meraviglie"

Albert Einstein

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gianni Forcolini "Illuminazione a LED Funzionamento-Caratteristiche-Prestazioni-Applicazioni", editore Ulrico Hoepli, Milano, 2008, Pp. 4-8, 37-38, 88-98, 107.
- [2] Donatella Ravizza "Progettare con la luce", ed Francoangeli, Milano, 2001, Pp 44-58.
- [3] Mario Bonomo "Illuminazione d'interni", Maggioli editore, Milano, 2008, Pp. 11-12, 189-181.
- [4] <http://it.emcelettronica.com>
- [5] <http://www.lighting.philips.it>
- [6] Morton CA, McKenna KE, Rhodes LE. "Guidelines for topical photodynamic therapy" *British Journal of Dermatology*, Volume 159, Numero 6, December 2008, Pp. 1245-1266.
- [7] La terapia fotodinamica Zane C, Capezzer R, Calzavara-Pinton PG Divisione di dermatologia, Spedali civili, Brescia.
(www.dermatologia.uniba.it/congressi/06.pdf)
- [8] R. Glen Calderhead "Phototherapy in the New Millennium- Implications in Everyday Dermatological Practice", *US Dermatology Review*, Numero 2, December 2006.
- [9] Rivista trimestrale Adipso news periodico di informazione su psoriasi e artropatia psoriasica ANNO XVIII - N. 4 DICEMBRE 2011, Pp. 28-29.
- [10] "L'INTERAZIONE DEI LED SULLA CUTE: DAL RINGIOVANIMENTO, ALLA GUARIGIONE DELLE FERITE. Esperienza con sistema LED Light Active, Medical Technology Elisabetta Sorbellini, specialista in dermatologia Studio Rinaldi e Associati, Milano (<http://www.apparecchiature-elettromedicali.com/download/lightactive2.pdf>)
- [11] Harry T. Whelan, et al. "Medical Applications of Space Light-Emitting Diode Technology - Space Station and Beyond" AIP Conference Proceedings. 458, Pp. 3-16; Space technology and applications international forum, Albuquerque, New Mexico (USA), 1999.
- [12] HARRY T. WHELAN, et al., "Effect of NASA Light-Emitting Diode Irradiation on Wound Healing", *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery*, Volume 19, Number 6, 2001 Pp. 305-314.
- [13] Rachel Lubart, Zvi Landau et al., "A New Light Device for Wound Healing" *Recent Patents on Biomedical Engineering*, Volume 1, Numero 1, 2010, Pp. 13-17.
- [14] Caporossi A, Biaocchi S, Mazzota C, Traversi C, Caporossi T. "Parasurgical therapy for keratoconus by riboflavin-ultraviolet type A rays induced cross-linking of corneal collagen: Preliminary refractive results in an Italian Study". *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2006; Vol 32, Pp. 837-45.
- [15] http://www.mazzottacosimo.com/la_storia.html
- [16] http://www.acem.it/upload/files/122_46_1.pdf
- [17] www.odontoiatria.it
- [18] F. Brenna "Odontoiatria restaurativa. Procedure di trattamento e prospettive future", Elsevier Masson, Milano, 2009, Pp. 300-307, 314.
- [19] Presentazione: Le sorgenti di radiazioni ottiche artificiali (ROA) "non coerenti" Dr. Riccardo Di Liberto, Struttura Complessa di Fisica Sanitaria Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo - Pavia
(http://www.ausl.mo.it/dsp/spsal/programmi_convegna/roa/di_liberto_roa_principal_i_sorgenti.pdf)
- [20] Harry T. Whelan "The use of Nasa light emitting diode near-infrared Technology for biostimulation" pdf
(<http://myevado.com/studies/general-light-therapy/NASA%20Study%20-%20LED%20Biostimulation.pdf>)

- [21] Harry T. Whelan et al. "Nasa light emitting diodes for the prevention of oral mucositis in pediatric bone marrow transplant patients." *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery*. Volume 20, Number 6, 2002, Pp. 319-324.
- [22] <http://www.msfc.nasa.gov/news>
- [23] http://www.sti.nasa.gov/tto/Spinoff2008/hm_3.html
- [24] Jörg-Christian Tonn, M.D., and Walter Stummer, M.D " Fluorescence-guided Resection of Malignant Gliomas Using 5-aminolevulinic Acid: Practical Use, Risks, and Pitfalls", *Clinical Neurosurgery* ,Volume 55, 2008, Pp. 20-26.
- [25] <http://neurosurgery.washington.edu/research/currentresearch/tumor.asp#ala>
- [26] "La radiazione UV nel trattamento delle acque destinate al consumo umano". Giorgio Temporelli ,Roberto Porro,ed Franco Angeli, 2005, Pp. 33-36.
- [27] http://www.ecolifeprojects.com/disinfezione_ultravioletti.php
- [28] A. Hamamoto et al. "New water disinfection system using UVA light-emitting diodes", *Journal of Applied Microbiology*, Volume 103, Numero 6, 2007, Pp 2291–2298 .
- [29] Gioia D Massa, Jeffrey C Emmerich, M E Mick, R J Kennedy, Robert C Morrow, Cary A Mitchell "DEVELOPMENT AND TESTING OF AN EFFICIENT LED INTRACANOPY LIGHTING DESIGN FOR MINIMIZING EQUIVALENT SYSTEM MASS IN AN ADVANCED LIFE-SUPPORT SYSTEM." *Gravitational and Space Biology* ,Volume 18, Numero 2 , 2005 , Pp. 87.
- [30] Gioia D. Massa, Jeffrey C Emmerich, Robert C Morrow, C Mike Bourget, Cary A Mitchell "PLANT-GROWTH LIGHTING FOR SPACE LIFE SUPPORT: A REVIEW", *Gravitational and Space Biology*, Volume 19, Number 2, August 2006 , Pp. 20-29. (<http://gravitationalandspacebiology.org/index.php/journal/article/view/2/2>)