

**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA**

**Università degli Studi di Padova  
Dipartimento di Fisica e Astronomia**

Corso di Laurea Triennale in  
Ottica e Optometria

Tesi di Laurea

**Interazione e fisiologia della superficie oculare all'uso di  
lenti a contatto sclerali**

Relatore: Professor Pietro Gheller

Laureanda: Naomy Zanatta

Correlatore: Dottor Mirko Chinellato

Matricola: 1099720

Anno accademico 2017/2018



*Il più grande nemico della conoscenza non è l'ignoranza,  
ma l'illusione della conoscenza.*

*Stephen Hawking 1942-2018*



## Abstract

Scopo: l'elaborato si propone di individuare in che modo le lenti a contatto sclerali interagiscano con la fisiologia della superficie oculare, inserendosi nell'attuale scenario bisognoso di sapere quale piatto della *bilancia vantaggio-pericolo* pesi di più nell'ambito applicativo di occhi *sani*.

Metodo: si sono confrontati studi, articoli e scritti di numerosi applicatori dai quali si è cercato di trarre una corrente di pensiero comune il più aggiornata possibile.

Conclusioni: dalla ricerca è emersa l'evoluzione della filosofia applicativa delle lenti sclerali e l'esponenziale aumento di interesse in questa tecnologia. Monito condiviso da pressappoco tutti gli autori consultati è la necessità di maggiore chiarezza e conoscenza dell'argomento, in particolare della trasmissione all'ossigeno e le sue conseguenze a lungo termine sulla cornea.



## Sommario

### Interazione e fisiologia della superficie oculare all'uso di lenti a contatto sclerali

Abstract.....	5
Introduzione.....	9
Capitolo I	
Cenni sull'anatomia del segmento anteriore.....	12
Struttura delle LaC e distretti coinvolti.....	14
Capitolo II	
Parametri fisici, chimici e metabolici alterati.....	18
Fisiopatologia della cornea.....	21
Fenomeno seal-off.....	25
Impantanamento epiteliale.....	26
Molding corneale.....	27
Fisiopatologia del limbus.....	28
Appoggio limbare.....	29
Edema limbare.....	30
Fisiopatologia della congiuntiva	
Asimmetria della sclera.....	31
Annebbiamento di mezzogiorno.....	36
Prolasso congiuntivale.....	38
Capitolo III	
Alcune considerazioni.....	40
Conclusioni.....	43
Bibliografia.....	46
Ringraziamenti.....	55



## Introduzione

Le pubblicazioni e le indicazioni per l'applicazione delle lenti sclerali  
10 dimostrano come esse si siano evolute, negli ultimi anni, dall'essere un  
tipo di lente specifico per cornee severamente irregolari o danneggiate  
all'essere adattabili ad un più ampio spettro di indicazioni <sup>(1)</sup>.

Le lenti sclerali, aventi il loro punto di appoggio al di fuori dei margini  
corneali, sono ritenute essere tra le migliori opzioni per correggere la  
visione nel caso di cornee irregolari e possono posporre o prevenire  
l'intervento chirurgico dal momento che riducono il rischio di cicatrici  
corneali <sup>(1)</sup>. Altre modalità di impiego tradizionale delle lenti sclerali  
sono rappresentate da condizioni della superficie oculare alterate quali  
severo occhio secco o erosioni corneali croniche <sup>(2)</sup> e astigmatismi  
20 elevati, mentre sono state usate soltanto in tempi più recenti anche su  
cornee ordinarie o per migliorare la visione nella presbiopia <sup>(2)</sup>.

Nell'edizione di luglio 2017 di *"Contact Lens and Anterior Eye"*,  
nell'editoriale *"Scleral lenses (are) special"*, Van der Worp si fa  
portavoce della necessità impellente di una maggiore conoscenza circa  
l'assoluta sicurezza e convenienza delle lenti sclerali per allargare  
questa opzione ad una popolazione più ampia <sup>(1)</sup>. Rilevanti fattori a  
vantaggio della loro diffusione sono il miglioramento dell'acuità visiva e  
il maggior confort rispetto alle lenti ad applicazione corneale <sup>(2)</sup>. Il loro  
ampio diametro si traduce in una ridotta interazione palpebrale e,  
30 evitando il contatto con la cornea, evitano il contatto con uno dei  
tessuti più sensibili del corpo umano, riducendo significativamente la  
coscienza della lente e lo stress meccanico rispetto ad altre opzioni <sup>(2)</sup>.  
In più, le lenti sclerali non si disidratano come fanno le lenti morbide e  
permettono la compartimentazione del fluido che contribuisce al  
mantenimento di una superficie oculare più propriamente idratata,

riducendo eventuali sintomi di occhio secco indotto da lenti a contatto  
(<sup>2</sup>). Anche atleti e quanti soggetti a particolari pericoli occupazionali  
potrebbero beneficiare del porto di lenti a contatto sclerali: una volta  
applicate sulla superficie oculare, esse agiscono come uno scudo contro  
40 infiltrazioni di polvere e particelle, in modo particolare in ambienti  
secchi e impegnativi (<sup>2</sup>).

Il crescente numero di pubblicazioni nel sito *PubMed.gov* fornisce  
un'eloquente panoramica sull'esplosione di interesse dei professionisti  
circa questa riscoperta tecnologia [grafico I].

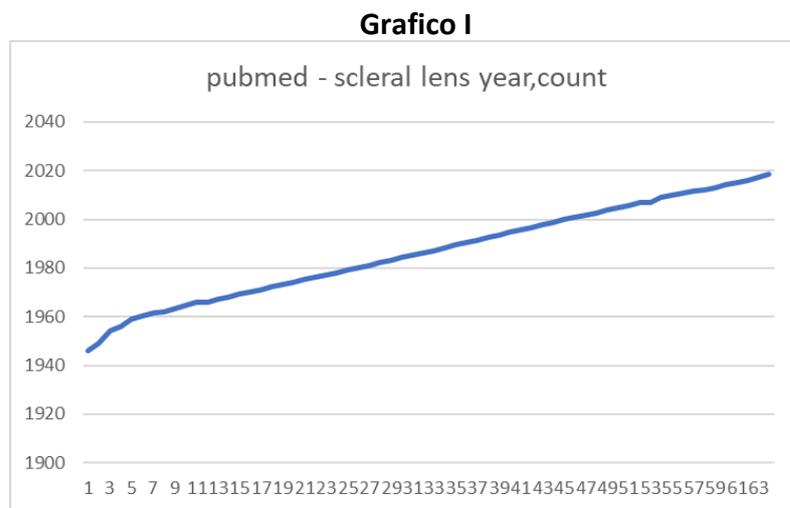


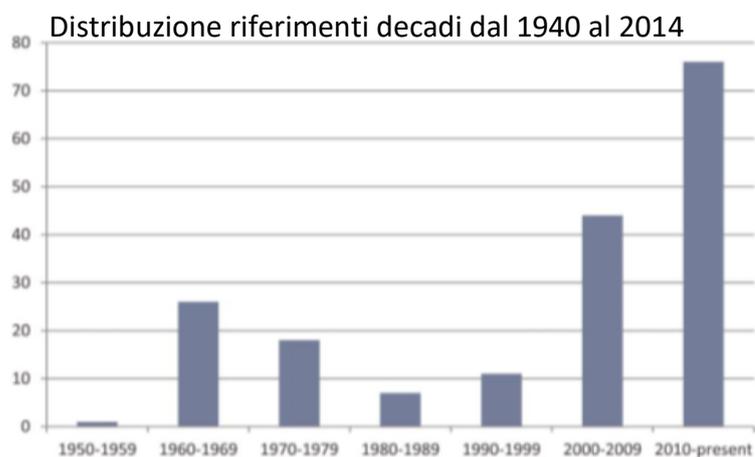
Grafico ottenuto dall'analisi dei dati forniti al link  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=scleral+lens> in data 21 marzo 2018.

50

I numeri sono in evidente crescita: da gennaio a marzo 2018 sono  
registrati già 61 reports contenenti riferimenti alle lenti sclerali, un  
numero maggiore alla media annua (47.55) dei reports registrati dal  
1946 ad oggi (<sup>3</sup>).

Nel 2015, Schornack condusse una revisione della letteratura sulle lenti  
sclerali su numerosi databases, partendo dalle origini fino al maggio  
2014 e rinvenendo 899 riferimenti (<sup>4</sup>). Nel [grafico II] è rappresentata la  
distribuzione del numero di riferimenti pubblicati in ogni decade dal  
1940 al 2014 (<sup>4</sup>).

## Grafico II



60

Immagine da "Scleral Lenses: a literature review", M.M. Schornack in "Eye & Contact Lens", vol. 41, 1, gennaio 2015

Va notato che, nonostante in queste enumerazioni non sia evidenziato, la lente sclerale, nel corso degli anni, si è evoluta a tal punto che alcuni dati, se non molti, considerati assodati nelle prime documentazioni, vengono ad oggi revisionati e talvolta rettificati, rendendo così necessario appellarsi alle lenti sclerali odierne come a lenti sclerali *moderne*.

70 Come affermato anche da Van der Worp <sup>(1)</sup>, tuttavia, più della dimostrazione dei benefici che possono dare le lenti sclerali, oggi si sta cercando di indagare gli effetti di questa opzione sulla fisiologia corneale e del segmento anteriore oculare, sul film lacrimale e il suo ricambio, per fare luce sulle potenziali reazioni avverse collegate al loro porto ed è proprio sulla scia di questa necessità che si inserisce, nel suo piccolo e senza alcuno scopo dimostrativo, questo scritto.

"È affascinante osservare la recente evoluzione delle moderne lenti sclerali. *Fioritura* potrebbe rappresentare la parola adatta per la descrizione di questo processo" (Van der Worp, 2017 <sup>1</sup>).

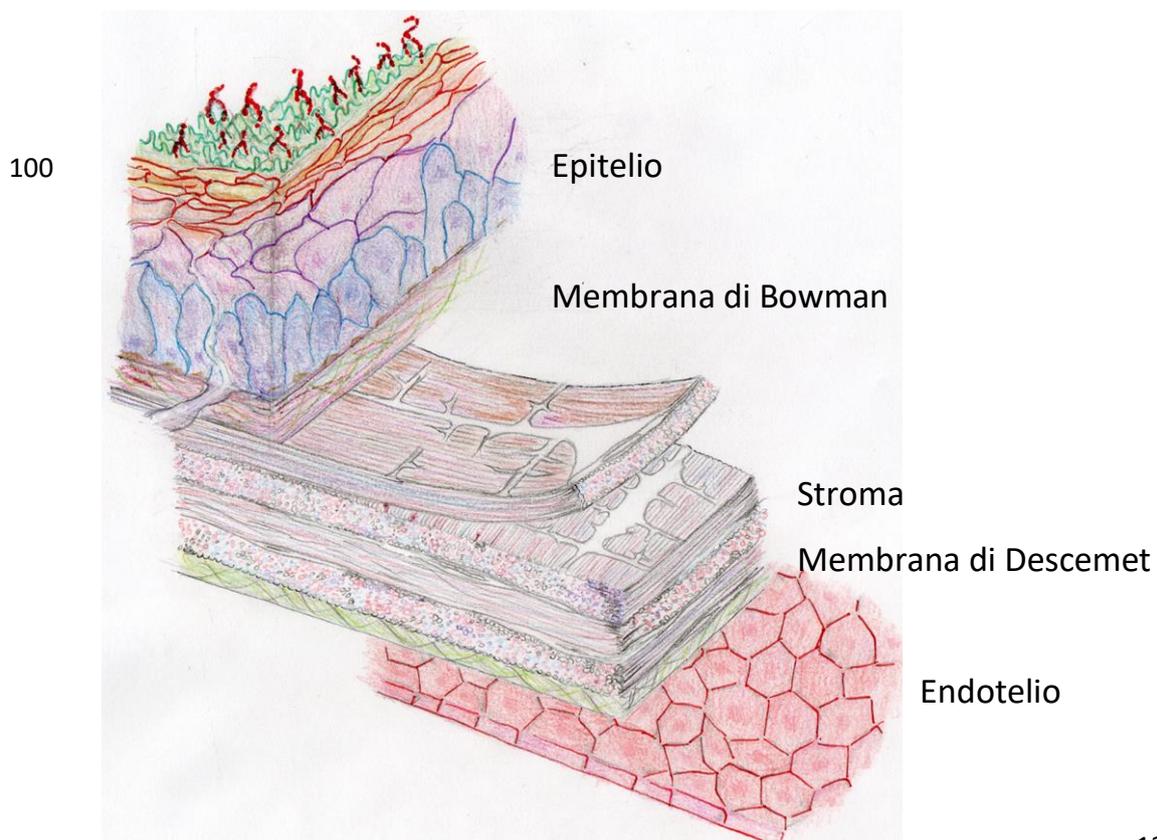
80

## Cenni sull'anatomia del segmento anteriore

Il cosiddetto *segmento anteriore* del bulbo oculare è rappresentato dalla parte visibile dell'occhio e comprende la cornea, la camera anteriore, l'iride, il forame centrale pupillare, il cristallino con l'apparato sospensorio dello Zinn, e il corpo ciliare, il quale si continua anteriormente con l'iride e posteriormente con la coroide.

La cornea costituisce il primo diottro naturale sul quale la luce incide ed è perciò determinante che sia trasparente, avascolare e di forma  
90 pressoché sferica. Una diversa curvatura della cornea nei diversi archi o meridiani determina infatti un *astigmatismo*, un difetto visivo che non consente una visione nitida ad occhio nudo.

Pur essendo priva di vasi, la cornea è ricchissima di fibre nervose e il suo nutrimento è a carico dell'umore acqueo posteriormente e del film lacrimale anteriormente, miscela che ne bagna la superficie esterna preservandone l'integrità. La cornea ha uno spessore di circa 550 micron ed è costituita da cinque strati [Fig. 1].



**Fig. 1** Strati corneali [disegno elaborato personalmente]

110 Altra struttura del bulbo visibile ad occhio nudo è la sclera, un tessuto connettivo la cui integrità strutturale definisce la forma e la lunghezza assiale dell'occhio <sup>(5)</sup>. Diversamente dalla cornea, la sclera è una struttura opaca, sia a causa del maggior contenuto d'acqua, sia per la ridotta uniformità dell'orientamento delle fibre collagene <sup>(5)</sup>. La sclera è essenzialmente avascolare, come la cornea, fatta eccezione per i vasi superficiali dell'episclera e il plesso vascolare intrasclerale localizzato posteriormente al limbus sclerocorneale <sup>(5)</sup>, struttura che segna il passaggio tra i due tessuti.

## Struttura delle LaC e distretti coinvolti

120 Le lenti sclerali sono lenti rigide gas permeabili dal grande diametro, appositamente progettate per coprire tutta la superficie corneale e avere la loro zona d'appoggio sulla sclera. Lo studio della loro geometria è volto ad impedire il contatto meccanico lente-cornea preservando l'integrità di quest'ultima e superandola a ponte, sostituendo un'eventuale superficie oculare irregolare con una otticamente migliore.

Sciacca descrive la lente sclerale come fisicamente costituita di un corpo unico, idealmente suddivisibile in due parti diverse tra loro per funzione svolta e area di appoggio sull'occhio: la *porzione centrale* e la *porzione*  
130 *periferica* <sup>(6)</sup> o *landing*, alle quali si può aggiungere una terza parte di *giunzione* [Fig. 2] [Fig. 3].

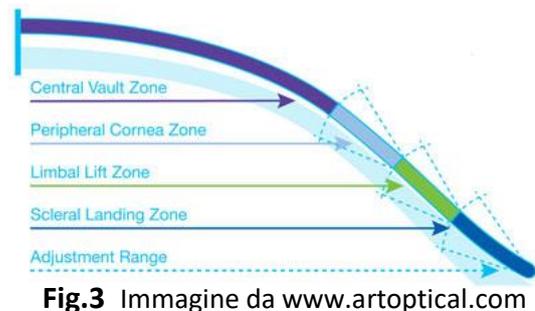
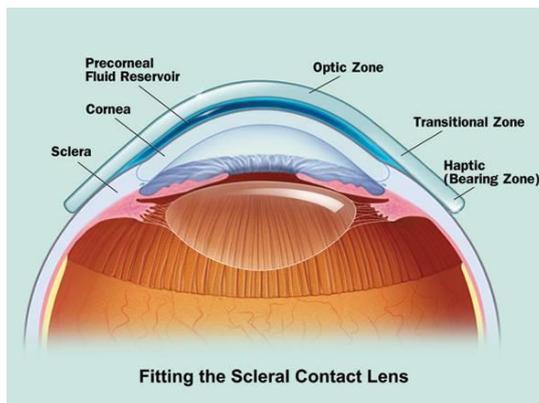


Fig.2 Immagine da puntidivistaonline.it

La zona *centrale*, detta "corneale", copre ed interessa la cornea, dalla quale prende il nome, ed il limbus. Essa costituisce la parte ottica della lente, corregge l'ametropia e, negli occhi con superficie irregolare, normalizza la curvatura frontale compensando così aberrazioni ottiche a livelli difficilmente raggiungibili con altre tecniche <sup>(6)</sup>.

140 La zona *periferica* invece, detta "aptica", interagisce esclusivamente con la sclera e per questo viene anche definita "porzione sclerale" della lente. Ad essa è deputato il compito di centratura e appoggio della lente

sull'occhio. Da essa dipende il ricambio lacrimale, l'espulsione dei detriti del metabolismo oculare ed il comfort restituito al portatore <sup>(6)</sup>.

L'unione tra la porzione centrale e quella periferica è detta *giunzione sclero-corneale*, schematicamente assimilata ad un punto, ma solitamente costituita da una flangia di transizione posta tra le due o più curvature centrali ed aptiche <sup>(6)</sup>.

La terminologia delle lenti sclerali e la definizione dei diversi tipi di lente  
 150 sono state per lungo tempo molto diverse, determinate a livello locale, spesso arbitrario e piuttosto confuso <sup>(7)</sup>. Tipicamente, i diversi tipi di lente sono definiti in base al diametro, ma una classificazione più univoca si basa sul rapporto tra superficie oculare e lente, indipendente dalle dimensioni della lente <sup>(8)</sup>.

Nell'agosto 2013, la Scleral Lens Education Society <sup>(9)</sup> ha raccomandato una nomenclatura riconosciuta internazionalmente per descrivere le lenti sclerali secondo il punto in cui appoggiano sulla superficie oculare e non secondo il loro diametro, riprendendo l'opzione proposta da Michael Taravella e William Masler al G.L.S. Symposium di Las Vegas nel  
 160 2009<sup>(6)</sup> [Tab. 1<sup>(7)</sup> <sup>(10)</sup>]:

Nome		(Diametro)	Rapporto tra superficie oculare e lente
Corneo-Sclerale		12,9 – 13,5mm	Appoggio parzialmente corneale e parzialmente sclerale
<del>(Semi-Sclerale)</del>		<del>13,6 – 14,9mm</del>	<del>Appoggio corneale e sclerale</del>
Sclerale <sup>(11)</sup>	Mini-Sclerale	15,0 – 18,0mm	Lente fino a 6mm più ampia del diametro orizzontale visibile dell'iride
	Sclerale-Ampia	18,1 – 24+mm	Lente più ampia di 6mm oltre il diametro orizzontale visibile dell'iride

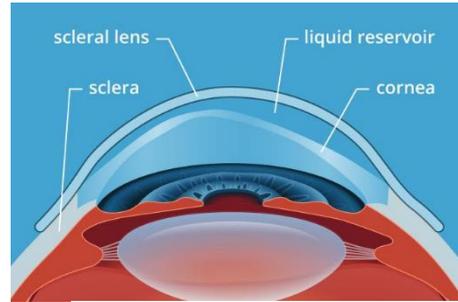
**Tab. 1**

L'obbiettivo era di semplificare e generalizzare la nomenclatura, ponendo l'accento sulla zona d'appoggio della lente.

La Scleral Lens Education Society mette in guardia dall'uso del diametro della lente come indice di differenziazione nella nomenclatura al fine di evitare confusione e fraintendimenti nel caso di occhi estremamente grandi o estremamente piccoli <sup>(8)</sup>; in aggiunta, la definizione di mini-sclerale o sclerale-ampia non può in alcun modo riferirsi al valore del  
170 diametro della lente poiché la sua dimensione è strettamente legata al diametro orizzontale di iride visibile del paziente <sup>(10)</sup>. Quando la lente appoggia completamente sulla sclera, la Scleral Lens Society distingue la mini-sclerale e la sclerale-ampia in modo da enfatizzare le differenze nella clearance corneale centrale e nel fitting: una lente più larga di 6mm rispetto al diametro dell'iride visibile, ipoteticamente, fino a 3mm di appoggio sulla sclera ad ogni lato della lente, è classificata come una lente mini-sclerale. Una lente più larga di 6mm rispetto al diametro orizzontale dell'iride visibile è classificata come sclerale ampia <sup>(10)</sup>. Per  
180 chiarire, si riportano gli esempi elaborati nel documento elaborato nel 2013 dalla stessa Scleral Lens Society <sup>(10)</sup>: una lente di 18mm che appoggia esclusivamente sulla sclera è una mini-sclerale in un occhio con un diametro corneale di 12mm, una lente più grande di 18mm è una sclerale-ampia nello stesso occhio. In questo modo, quindi, lenti il cui design è classificato come corneo-sclerale per il diametro, vengono chiamate "lenti sclerali" se poggiano interamente sulla sclera, anche se caratterizzate da un diametro relativamente piccolo <sup>(9)</sup>.

Il termine semi-sclerale non è considerato nella nuova definizione della Scleral Lens Education Society.

190 La maggior differenza che si può  
presentare tra le lenti a minor diametro  
rispetto a quelle con un diametro  
maggiore, oltre alle diverse zone  
d'appoggio, è il sollevamento della lente  
nella zona centrale a costituire il



**Fig. 4** Immagine di Oculistica Scorcia

serbatoio di lacrime <sup>(7)</sup> [Fig.4]. Questo sollevamento apicale,  
diversamente dalle lenti corneali, è garantito da tutti i tipi di geometria  
sclerale seppur in grado differente e costituisce una condizione in grado  
di ridurre lo stress meccanico sulla cornea. Questo sollevamento è  
200 indicato dalla *profondità della sagittale*. Per default essa si intende  
riferita solo alla porzione corneale, cioè misurata alla corda del punto di  
giunzione. Per indicare la profondità riferita alla corda nel punto  
estremo del bordo si dovrà specificare “sagittale totale” <sup>(6)</sup>.  
Da questa panoramica risulta chiaro che i distretti coinvolti  
nell'applicazione di una lente sclerale siano rappresentati da cornea,  
giunzione sclero-corneale (limbus), sclera (congiuntiva) e film lacrimale,  
i quali vanno attentamente osservati nella fase preapplicativa e  
monitorati nelle visite di controllo.

La ricerca si rivolge ora all'interazione lente-superficie oculare a  
210 prescindere dalle ragioni applicative: l'interesse è volto alle  
conseguenze sulla fisiologia oculare riscontrate dal porto di lenti  
sclerali.

## Parametri fisici, chimici e metabolici alterati

La lente sclerale moderna è un'evoluzione della primissima lente a contatto applicata 131 anni fa <sup>(12)</sup>. Originariamente questo tipo di lente rappresentava un manufatto in vetro e plastiche non permeabili all'ossigeno, mentre oggi è disponibile in materiali gas permeabili ad elevato Dk <sup>(13) (14)</sup> che permettono la permeabilità dell'ossigeno  
220 riducendo molte complicazioni tipiche della vecchia generazione di lenti sclerali <sup>(12)</sup>.

Importanti passaggi per l'evoluzione della tecnica applicativa sono rappresentati dall'introduzione di tecniche di modanatura da parte di Dallos nel 1936 e di plastiche per lenti a contatto negli anni '40 <sup>(15)</sup>. L'uso di lenti ossigeno permeabili venne descritto per la prima volta da Ezekiel nel 1983 <sup>(16)</sup>, e ne seguì lo sviluppo del processo di modanatura a impressione nei tardi anni '80 <sup>(17)</sup>.

Il progresso dell'applicazione sclerale subì una battuta di arresto con l'avvento delle lenti rigide gas permeabili corneali per tornare alla  
230 ribalta piuttosto recentemente <sup>(8)</sup>. Fino a pochi anni fa, infatti, solo una manciata di applicatori molto specializzati erano in grado di applicare con successo questa tipologia di lenti e anche la loro produzione era limitata <sup>(8)</sup>. Tan et al., nel 1995, mediante uno studio retrospettivo di 517 occhi, hanno riportato numerosi eventi avversi nell'uso delle sclerali, la maggior parte dei quali riscontrati con una lente in PMMA modanata <sup>(15)</sup>. Questi eventi includevano vascolarizzazione corneale, edema, abrasione e congiuntiviti papillari.

Ad oggi, migliorati processi di manifattura offrono designs di lenti sclerali differenziati, maggiormente riproducibili e ad un costo più  
240 contenuto. In aggiunta, migliori materiali per lenti hanno contribuito ad un miglioramento della salute oculare, ad un aumentato tempo di porto

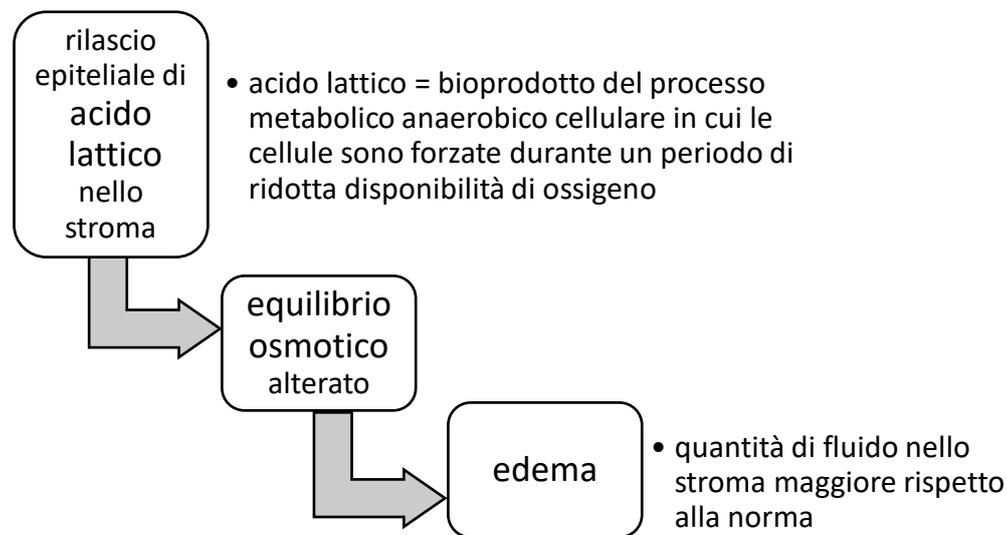
e una maggiore facilità di applicazione <sup>(8)</sup>. Tuttavia, nonostante le moderne lenti sclerali siano usate con successo da molti portatori, alcuni disturbi sono ancora relativamente frequenti <sup>(8)</sup>. Pecego et al. hanno riportato che il 20% dei soggetti lamenta difficoltà con l'inserzione e la rimozione della lente, il 10% disturbi visivi includenti offuscamento, appannamento o foschia e un altro 10% discomfort o dolore <sup>(18)</sup>. Questi nuovi materiali, infatti, pur riducendo le complicazioni relative a un'ipossia corneale, non risultano privi di complicanze quali suscettibilità all'accumulo di depositi, rottura e scarsa bagnabilità <sup>(19)</sup> da aggiungersi ai potenziali problemi di fitting dovuti all'anatomia del segmento anteriore. Il fitting delle lenti sclerali richiede infatti un approccio diverso rispetto a quello richiesto da altri tipi di lente e contrariamente alle lenti corneali, lo studio della topografia corneale non è molto d'aiuto quando la lente sclerale poggia interamente sulla regione sclerale <sup>(8)</sup> <sup>(20)</sup>. Ciononostante, la scelta del diametro è cruciale per un fitting ottimale e rappresenta il primo passo nell'applicazione delle lenti sclerali <sup>(10)</sup>. Il diametro totale è anche importante perché determina l'altezza sagittale della lente <sup>(10)</sup>, a sua volta determinante la quantità di riserva lacrimale. Come indicato da Fadel <sup>(10)</sup>, la selezione del diametro totale dipende maggiormente dai pattern topografici del soggetto e quindi dalla presenza di una cornea regolare piuttosto che di un cono pronunciato, di una degenerazione marginale pellucida piuttosto che di un cheratoglobo; e da fattori anatomici come il diametro orizzontale dell'iride visibile, la presenza di una sclera asimmetrica o irregolare o l'interazione coi margini palpebrali. Ovviamente, quelli elencati non sono gli unici criteri sui quali si basa la scelta del diametro della lente: bisogna tenere conto dell'apporto di ossigeno, della formazione di bolle d'aria, dello stress meccanico su una sclera torica, della maneggiabilità della lente, dalla protezione fornita

alla superficie oculare e dalla distribuzione del peso della lente sulla sclera <sup>(10)</sup>; mentre Van der Worp annovera nella scelta applicativa anche influenze personali, culturali, regionali e nazionali <sup>(8)</sup>.

Recentemente è stata lanciata sul mercato la *topografia corneo-sclerale*, la quale permette agli applicatori di misurare la superficie anteriore e di applicare lenti a contatto customizzate <sup>(21)</sup>. Questa strumentazione sfrutta o la profilometria con la trasformata di Fourier o un approccio con luce strutturata per fornire dati sull'elevazione della superficie corneale e sclerale. Misurazioni della superficie anteriore  
280 oculare, compresa la sclera, forniscono dati dell'altezza sagittale dell'occhio e della forma sclerale, consentendo in questo modo un miglioramento del design della lente. Come trattato in seguito, senza queste misurazioni, la scelta del fitting applicativo sarebbe basata su osservazioni e stime con lenti di prova comportanti allungamento dei tempi e spesso perdita economica <sup>(21)</sup>.

## Fisiopatologia della cornea

La riserva lacrimale che si crea tra la lente e la cornea nell'applicazione di lenti sclerali è relativamente spessa rispetto ad altre modalità applicative <sup>(8) (11)</sup>. Approssimativamente si può parlare di 100-300µm di spessore nelle sclerali contro 30µm nelle lenti gas-permeabili tradizionali <sup>(22)</sup>. Per valutare l'effettiva ipossia indotta dalle lenti sclerali si rende dunque necessario considerare la trasmissibilità dell'ossigeno del sistema. La risposta corneale all'ipossia si verifica mediante una complessa cascata di eventi risultanti dalla mancanza di ossigeno disponibile sulla superficie anteriore dell'occhio.



Questo processo avviene fisiologicamente nell'occhio umano durante il sonno: il rigonfiamento corneale dovuto alla chiusura palpebrale ammonta al 4,5% risolvendosi autonomamente in circa un'ora dal risveglio <sup>(25)</sup> ed è noto come *edema notturno*. Quando l'edema supera la percentuale del 5% <sup>(26)</sup>, la cornea comincia a manifestare i primi segni di opacizzazione e, se l'edema è presente cronicamente, potrebbe risultare in cambiamenti strutturali dell'endotelio <sup>(11)</sup> (riga 370). L'edema corneale non è comunemente riportato nei portatori di lenti sclerali <sup>(8)</sup>: le sclerali *moderne*, prodotte in materiali ad elevato Dk,

raramente provocano effettivi edemi corneali significativi <sup>(11)</sup>. Studi  
attuati da Ortenberg <sup>(27)</sup> nel 2013 e Compañ <sup>(28)</sup> nel 2016 hanno  
riportato, seppur con lenti e spessore di clearance variati, un valore  
310 relativamente basso di rigonfiamento corneale, tipicamente inferiore al  
4% <sup>(10)</sup> e quindi inferiore al rigonfiamento fisiologico che si verifica nel  
sonno <sup>(10) (25)</sup>.

I risultati di questi reports contraddicono <sup>(10)</sup> però modelli teoretici sulla  
trasmissibilità all'ossigeno delle lenti sclerali <sup>(28) (29)</sup> i quali suggeriscono  
che si potrebbe verificare un edema a livello subclinico <sup>(29) (30)</sup>. Nel 2014,  
Compañ et al. hanno infatti calcolato che, per evitare l'edema corneale,  
una lente sclerale prodotta con un Dk non inferiore a  $125 \cdot 10^{-11}$   
( $\text{cm}^2 \text{mlO}_2 / \text{s ml mmHg}$ ) e avente spessore pari a  $200 \mu\text{m}$  dev'essere  
applicata con una clearance lacrimale inferiore a  $150 \mu\text{m}$  <sup>(29)</sup>.

320 Valori simili erano stati stimati nell'ambito di un altro modello teoretico,  
sviluppato da Michaud et al. nel 2012 <sup>(22)</sup>: materiali ad elevato Dk (più di  
 $100 \cdot 10^{-11}$  unità), spessore della lente inferiore a  $220\text{-}260 \mu\text{m}$  e serbatoio  
lacrimale con profondità inferiore ai  $150 \mu\text{m}$  per evitare effetti ipossici  
corneali. Questo modello è stato recentemente (2016) modificato <sup>(10)</sup>  
dallo stesso Michaud, il quale afferma che l'ipossia corneale in  
condizioni di occhio aperto è provocata da aumentati spessori  
lenticolari (per esempio superiori ai  $250 \mu\text{m}$ ) e aumentato spessore della  
clearance (per esempio superiore ai  $200 \mu\text{m}$ ) <sup>(2)</sup>. Conclusioni simili furono  
formulate anche da Jaynes et al. nel 2015 usando un diverso modello  
330 teoretico <sup>(31)</sup>, aggiungendo che le lenti sclerali dovrebbero essere  
applicate con la minima profondità di riserva lacrimale per evitare  
l'ipossia. Sembra infatti che una clearance centrale più sottile fornisca  
un aumentato apporto di ossigeno <sup>(28) (29)</sup>, una miglior acuità visiva <sup>(7) (32)</sup>  
e talvolta aiuti a evitare la formazione di bolle d'aria <sup>(7)</sup>: più spesso è lo  
strato lacrimale, minore è l'apporto di ossigeno <sup>(10)</sup>.

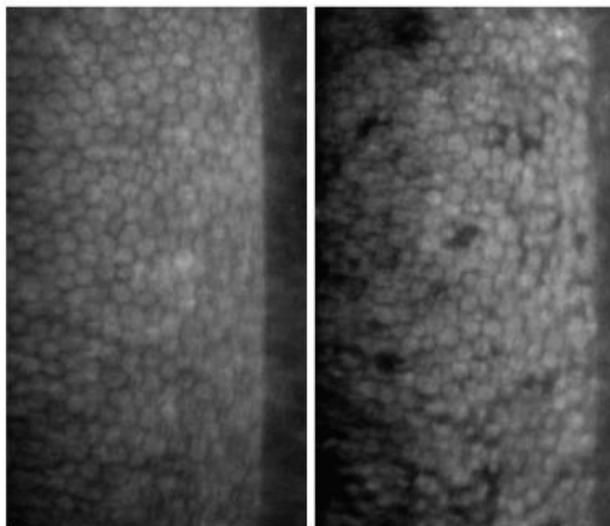
Come suggerito da Fadel <sup>(10)</sup>, la differenza tra i modelli teoretici e gli studi clinici potrebbe essere giustificata dal fatto che i primi segni clinici di edema stromale, ovvero le strie verticali, fanno la loro prima apparizione con un rigonfiamento corneale del 5-6% <sup>(33)</sup>. Un'altra

340 ragione potrebbe essere rappresentata dal fatto che i modelli teoretici non considerano lo scambio lacrimale che potrebbe verificarsi tra la riserva lacrimale e il fluido lacrimale alla periferia della lente <sup>(34)</sup>. Queste fonti di incongruenza sono state evidenziate anche da Walker nel 2015 <sup>(11)</sup>: lo studio della risposta edematosa corneale nel porto delle lenti sclerali è difficile da controllare per via di due variabili principali. La prima è rappresentata dal fatto che la disponibilità di ossigeno per la cornea è dipendente dall'ammontare di scambio lacrimale dietro la lente: mentre molti esperti suggeriscono che dietro la lente avvenga un ricambio lacrimale minimo, l'ammontare di questo non è stato ancora

350 quantificato e potrebbe essere variabile sulla base dell'asimmetrica anatomia sclerale che è particolare di ogni singolo occhio e varia anche di quadrante in quadrante in uno stesso occhio <sup>(22)</sup> <sup>(35)</sup> <sup>(36)</sup>. La seconda variabile sulla disponibilità dell'ossigeno è data dal fatto che questa dipenda dal livello di mescolamento lacrimale che avviene dietro la lente, fattore che il fisiologo Irving Fatt ritiene molto importante nel successo dell'applicazione sclerale <sup>(34)</sup> ma che non è ancora stato documentato nei portatori di lenti a contatto.

Una variabile aggiunta che complica le misurazioni sulla disponibilità dell'ossigeno è la profondità del film lacrimale sotto la lente, che mostra

360 una vasta variabilità "inter e intra-soggetto" <sup>(11)</sup>.



**Fig. 5**

immagine tratta dal poster dello studio citato <sup>(37)</sup>

Fig. 5: endotelio di un soggetto prima e dopo 25 minuti di porto di una lente sclerale con una clearance di 400 $\mu$ m in cui sono visibili le blebs.

In uno studio <sup>(37)</sup> presso la scuola di optometria dell'università di Montreal, Giasson et al. dimostrano che per lenti applicate similmente, dopo 25 minuti di porto, con una clearance di 400 $\mu$ m rispetto a una di 200 $\mu$ m è visibile un numero maggiore di *blebs*, alterazioni strutturali endoteliali di tipo edematoso di alcune cellule isolate che sporgono verso lo stroma, veloci e transitorie [Fig. 5]. Questa evidenza permette di ipotizzare che le blebs costituiscano un miglior parametro per l'identificazione di un edema endoteliale e quindi corneale.

La comprensione della trasmissione dell'ossigeno associata al porto di lenti sclerali è ancora incompleta, ma non è irragionevole sospettare che un lieve grado ipossico cronico possa indurre fattori che promuovano la neovascolarizzazione <sup>(38)</sup>.

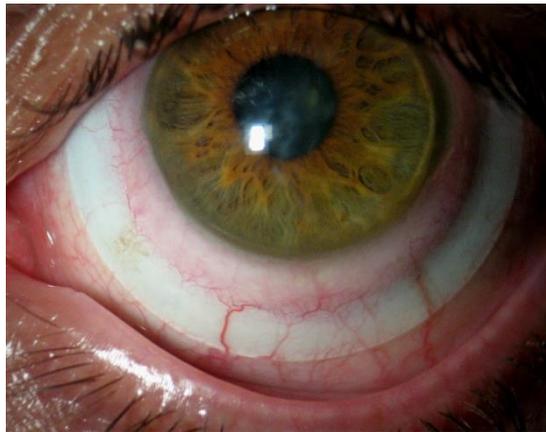
Ad ogni modo, non ci sono abbastanza evidenze cliniche per affermare che un edema corneale clinicamente significativo sia provocato in risposta al porto delle moderne lenti sclerali ad elevato Dk <sup>(11)</sup>, forse perché sotto questo aspetto sicure, forse perché la fetta di popolazione

portatrice di lente sclerale è ristretta rispetto a quella portatrice di altri tipi di lenti a contatto <sup>(11)</sup>.

Sono sicuramente necessari studi più avanzati a riguardo.

### *Fenomeno seal-off*

Strettamente collegato alle difficoltà di ricambio lacrimale, è il  
390 fenomeno cosiddetto seal-off [Fig.6], ad indicare un'adesione ermetica  
piuttosto che un'adesione a ventosa: "ci riferiamo a seal-off come ad  
una forte suzione della lente sull'occhio, che crea difficoltà alla  
rimozione della lente stessa e riduce il ricambio lacrimale dietro la  
lente" <sup>(11)</sup>. Il rischio di un'aderenza parziale o completa della lente con  
conseguente riduzione del ricambio lacrimale è rappresentato dal fatto  
che questo porterebbe ad un ristagno della riserva lacrimale con  
esposizione della cornea a rifiuti metabolici tossici <sup>(39)</sup>.



**Fig.6**

400

Immagine concessa da Greg DeNaeyer

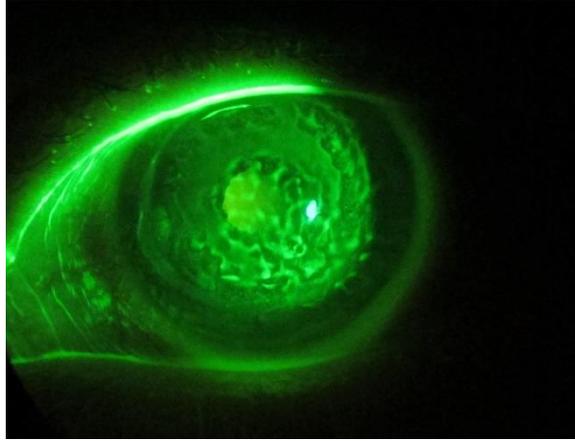
Potenzialmente significativi sono anche gli effetti che il seal-off ha sulla suscettibilità alle infezioni, alle infiammazioni e sulla disponibilità di ossigeno <sup>(11)</sup>.

Alcuni applicatori, consci del potenziale pericolo di seal-off, più elevato in soggetti affetti da indebolimento corneale iatrogeno, consigliano la

rimozione a metà del porto per scongiurare la compromissione della superficie oculare <sup>(11)</sup>.

410

### *Impantanamento epiteliale*



**Fig. 7** Immagine concessa da Greg DeNaeyer

Dopo la rimozione delle lenti sclerali si riscontrano spesso irregolarità nella superficie epiteliale della cornea non presenti prima del porto <sup>(11)</sup>.

Walker et al. <sup>(11)</sup> denominano il fenomeno come “epithelial bogging”, letteralmente *impantanamento epiteliale* a causa dell’aspetto

acquitrinoso della cornea alla valutazione biomicroscopica con

fluoresceina [Fig.7]. Si è ipotizzato che testimoni una compromissione

420 dell’epitelio a causa della prolungata immersione della cornea in una soluzione salina non nutritiva durante il porto <sup>(11)</sup>.

Il fenomeno potrebbe rappresentare un edema epiteliale, una perdita di glicocalice con secondaria incompleta bagnabilità della superficie

oculare, o uno sbilanciamento osmotico delle lacrime <sup>(11)</sup>. In aggiunta, la

mancanza della forza di taglio della rima che normalmente comprime

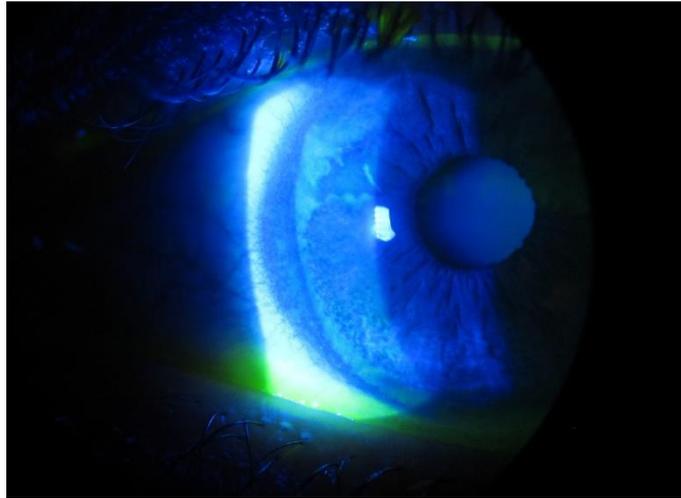
l’epitelio ad ogni ammiccamento potrebbe consentire l’accumulo di

cellule epiteliali non vitali che altrimenti si sfalderebbero nel film

durante il giorno <sup>(11)</sup>.

430

## *Molding corneale*



**Fig. 8** Immagine concessa da Greg DeNaeyer

Il molding corneale rappresenta un'altra tipologia di modificazioni indesiderate subite dall'epitelio corneale con l'utilizzo della lente sclerale [Fig. 8], a causa delle quali il portatore lamenta variazioni del visus tra prima dell'inserimento della lente e dopo la sua rimozione <sup>(6)</sup>. Tra le cause di questo fenomeno, che comprendono errori di applicazione e progettazione della lente, si ritrova il fattore "lente  
440 troppo ermetica con suzione dell'epitelio corneale" descritto col fenomeno seal-off (riga 388).

## Fisiopatologia del limbus

Il limbus costituisce l'area di transizione tra la cornea avascolare e la sclera vascolarizzata. Esso rappresenta la sede delle cellule staminali, le quali hanno un ben stabilito ruolo nel rinnovamento e nella proliferazione dell'epitelio corneale <sup>(10) (40)</sup>. Data la delicatezza ed importanza anatomica del limbus, bisogna porre particolare attenzione nel controllo di questa zona e, secondo Sciacca, della clearance in  
450 questo punto, la quale non deve essere inferiore ai 100µm <sup>(6)</sup>. Evitare un disturbo dell'epitelio limbare è *importante* dal momento che questa regione è anche caratterizzata da un'elevata densità di terminazioni nervose e un rapporto stretto potrebbe creare discomfort, ma è anche *possibile* dal momento che, diversamente da quanto valido per il tessuto corneale (riga 301), si assume che una carenza di trasmissibilità all'ossigeno dovuta alla clearance non possa interessare il limbus perché essa non eccede mai la soglia critica <sup>(2)</sup> di 200µm e quindi l'edema limbale non sia il risultato di un'ipossia delle cellule staminali in quanto l'ossigeno viene fornito anche dai vasi limbali <sup>(7)</sup>.

460 Questo tuttavia non preclude che l'edema limbale possa verificarsi per altre cause quali lo sfregamento (riga 493).

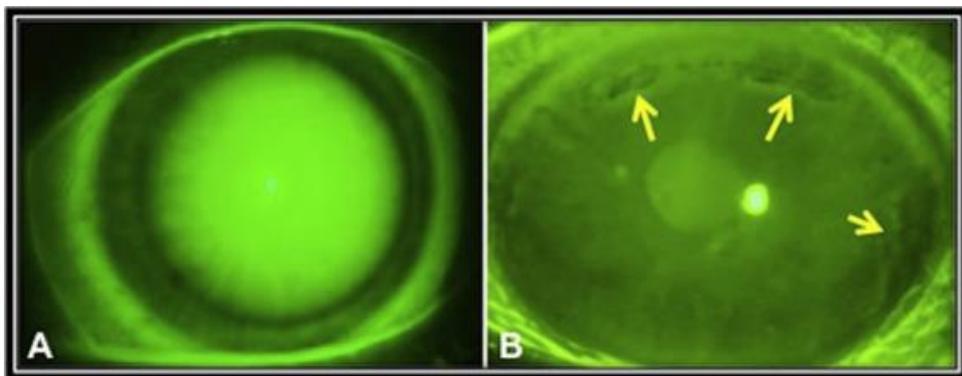
Sia il diametro orizzontale dell'iride visibile, sia la larghezza del limbus hanno una forte influenza sulla dimensione della corda della zona di valutazione della lente da applicare <sup>(10)</sup>. Come noto, il range di ampiezza del limbus è di circa 1.0mm <sup>(40)</sup>.

In base alle differenti necessità del caso, quindi, l'applicatore può variare l'estensione della zona di appoggio sulla sclera <sup>(10)</sup>, ma quale dovrebbe essere il valore minimo di questa zona d'appoggio resta controverso <sup>(7) (8) (10) (30)</sup>. In un articolo pubblicato nell'aprile 2017 <sup>(10)</sup>,  
470 Fadel dichiara che "per una lente mini-sclerale dovrebbe essere

arbitrariamente considerata un'ampiezza di appoggio minima di circa 1.0mm e massima di 1.5mm", basando il limite minimo sull'ipotesi che ampiezze inferiori potrebbero rappresentare un fattore di rischio per discomfort, compressione dei vasi e indentazione bulbare. Il limite massimo sarebbe invece basato sull'ipotesi che ampiezze maggiori interferiscano con una sclera più asimmetrica <sup>(10)</sup>. Anticipando quanto verrà trattato successivamente (righe 526 e 534) infatti, da un recente report <sup>(42)</sup> è emerso che l'asimmetria sclerale comincia da un più simmetrico limbus ed aumenta nella direzione dell'inserzione dei muscoli oculari, ma non è ancora chiaro da quale distanza dal limbus cominci effettivamente.

#### *L'appoggio limbare*

L'appoggio sulla zona limbare può indurre complicazioni <sup>(39)</sup> mentre una clearance limbare ridotta evita stress meccanico sulla sclera prevenendo complicazioni, l'entrata di detriti e favorisce un miglior centraggio <sup>(10)</sup> [Fig.9].



**Fig.9** Immagine concessa da Patrick Caroline a Walker et al. <sup>(12)</sup>

490 A) Lente sclerale con appoggio limbare. B) Staining osservato dopo la rimozione della lente, a testimonianza della rottura dell'epitelio nella zona di appoggio limbare

Osservazioni cliniche hanno documentato la rottura dell'epitelio in presenza di grave tocco limbare <sup>(12)</sup>, ed è associato a diverse complicazioni corneali, come edema corneale limbale,

neovascolarizzazione e cheratiti <sup>(43)</sup>. Da notare però che la rottura del tessuto non avviene in tutti i casi di sfregamento limbale periferico <sup>(11)</sup>, ma ne costituisce un potenziale esito. Nei casi in cui gli sfregamenti limbali non possano venir evitati modificando i parametri della lente, è importante mantener monitorate le aree interessate: danni al tessuto periferico corneale possono potenzialmente condurre a una deficienza delle cellule staminali e secondaria riepitelizzazione della cornea da parte di cellule congiuntivali <sup>(44)</sup>. Allo stesso modo, però, una clearance troppo elevata può essere causa di formazione di bolle d'aria in questa zona, con conseguenti disidratazioni localizzate e sofferenza limbare <sup>(6)</sup>. Potenziali decentramenti della lente stessa, frequentemente infero-temporali conducenti a un maggior appoggio sul quadrante superiore sono dovuti al fatto cui già si è accennato alla riga 476, ovvero che l'area in cui poggia la lente sclerale è molto spesso un'area irregolare e possono essere ridotti con una ridotta clearance limbale <sup>(10)</sup>. Nei casi in cui tocchi limbali siano difficili da evitare totalmente senza peggiorare l'applicazione è importante monitorare eventuali cambiamenti epiteliali o dello stroma anteriore <sup>(11)</sup>.

### *L'edema limbare*

L'edema limbare si presenta al controllo come una micropunteggiatura diffusa dell'epitelio corneale, positiva alla fluoresceina <sup>(6)</sup>. Le cause sono da ricondursi ad un'errata progettazione della lente, ad una suzione sotto la lente (fenomeno seal off riga 388) o ad un tocco limbare. Secondariamente a ciò si possono osservare ridotto o assente scambio lacrimale e possibili formazioni di depositi sotto la lente <sup>(6)</sup>.

520

## Fisiopatologia della congiuntiva

### *L'asimmetria della sclera*

Dal momento che un inappropriato appoggio della lente può potenzialmente provocare reazioni avverse quali *impallidimento o sbiancamento* congiuntivale (blanching), prolasso e/o staining congiuntivale <sup>(44)</sup>, la forma della sclera è un argomento di evidente importanza nell'ambito dell'applicazione delle lenti sclerali e per questo è stata e viene ampiamente indagata da molti gruppi di applicatori <sup>(11)</sup>.

La maggior parte degli occhi è asimmetrica e le superfici anteriori dell'occhio destro e sinistro risultano spesso sufficientemente diverse da richiedere un'applicazione specifica per ogni occhio <sup>(45)</sup>.

La natura sclerale non rotazionalmente simmetrica fu suggerita da Mariott nel 1966 <sup>(47)</sup>.

I risultati di un recente report <sup>(42)</sup> sembrano indicare che l'asimmetria della sclera si diparta da un'area limbare più simmetrica per aumentare procedendo verso l'inserzione dei muscoli extraoculari. Come indicato da Fadel <sup>(10)</sup>, però, rimane non chiara la distanza dal limbus alla quale questa asimmetria comincia a manifestarsi, andando così ad interferire con lenti a zona d'appoggio maggiore come le sclerali-ampie: le misurazioni effettuate con la Tomografia a Coerenza Ottica (OCT) su una corda di 15mm (sclera) mostravano solo una piccola quantità di toricità <sup>(42)</sup>. Questo suggeriva che una lente sclerale di diametro fino a 14,5mm potesse essere rotazionalmente simmetrica mentre lenti a diametro superiore avrebbero beneficiato di una zona d'appoggio torica o a design quadrante-specifica <sup>(10)</sup>.

Nonostante ciò, in alcuni casi le sclerali ampie sono necessarie. Come dichiarato da Fadel <sup>(10)</sup>, lenti con un diametro più ampio possono essere considerate per una migliore distribuzione del peso sulla sclera <sup>(48)</sup>, una

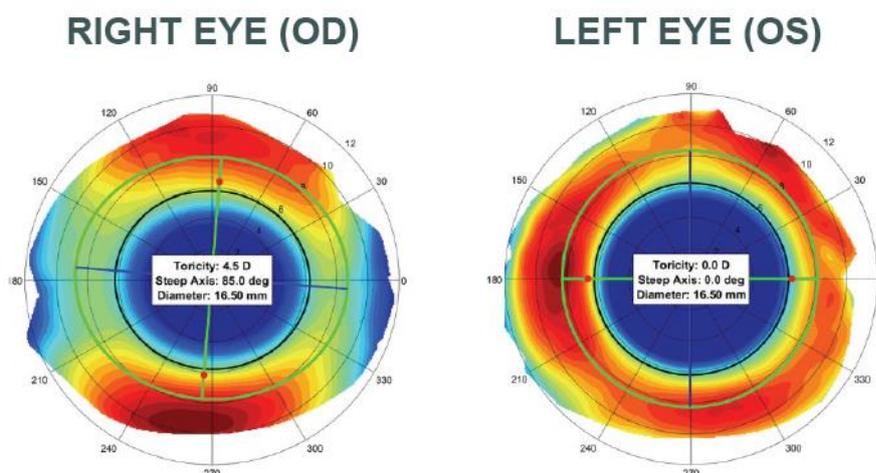
volta più alta, minore interazione con il margine palpebrale e quindi  
550 maggior comfort nonché in quei casi caratterizzati da malattie della  
superficie oculare e irregolarità congiuntivali <sup>(49)</sup>.

Tra i primi a riportare un marcato aumento di soddisfazione e comfort  
nei soggetti in cui si era passati da un design di superficie posteriore  
sferico a uno torico fu Visser <sup>(8)</sup> mentre altri studi dimostrarono la  
stabilizzazione rotazionale dovuta a questa scelta <sup>(49)</sup>.

Non ci sono risposte definitive per risolvere le suddette problematiche,  
ma al fine di migliorare il comfort e quindi aumentare la durata del  
porto, molti applicatori considerano la *customizzazione* per  
l'allineamento della superficie posteriore della lente <sup>(45)</sup>, progettando  
560 sempre più frequentemente zone aptiche toriche nel tentativo di  
ridurre il conflitto di tipo contusivo tra la sclera e la lente (*impingement*)  
o compressivo della congiuntiva che possono condurre a un'occlusione  
dei vasi sanguigni <sup>(50) (51) (52) (53)</sup>.

Come dimostrato dalle discrepanze nei risultati dei numerosi studi svolti  
negli ultimi anni tra cui quelli svolti da Hall <sup>(35)</sup>, Tan <sup>(54)</sup>, Caroline et al. <sup>(55)</sup>  
<sup>(56)</sup>, tra i molti fattori che possono influenzare l'appoggio della lente  
sclerale sulla superficie oculare si dovrebbero sempre considerare il  
profilo sclerale e congiuntivale, l'angolo di transizione sclero-corneale, il  
diametro della lente e il relativo supporto derivante dallo strato di  
570 fluido lacrimale sotto la lente <sup>(45)</sup>.

È risaputo che il profilo della forma della sclera varia anche  
sostanzialmente da soggetto a soggetto <sup>(35)</sup>, ma anche da occhio a  
occhio in uno stesso soggetto e da quadrante a quadrante in uno stesso  
occhio <sup>(11) (47)</sup> [Fig. 10].



580 Immagine acquisita all'indirizzo <https://www.visionary-optics.com/products/smap3d/#scleral-toricity>

**Fig. 10** Dati ottenuti dallo stesso soggetto mostrante 4.5D di toricità sclerale nell'occhio destro e toricità nulla in quello sinistro. L'immagine dimostra l'ampia variabilità nell'ammontare di toricità sclerale misurata non solo tra soggetti diversi ma anche nella stessa persona.

Fino a poco tempo fa, la conoscenza dei pattern della forma congiuntivale e sclerale era molto limitata: essi si basavano sui dati forniti dalla cheratometria a quattro punti e dall'altezza della sagittale media localizzata <sup>(57)</sup> oppure sui dati sull'angolo corneo-sclerale medio  
 590 forniti mediante la misurazione con l'OCT sugli otto meridiani <sup>(56)</sup>, acquisiti un meridiano alla volta [Fig.11].

Come indicato da Van der Worp et al., il primo documento testimoniatore l'uso dei dati raccolti con OCT nell'applicazione sclerale fu pubblicato da Gemoules <sup>(61)</sup>, il quale, nel 2008, suggeriva questa tecnica come la preferita nella considerazione di notevoli differenze individuali e di natura simmetrica non rotazionale della sclera.



**Fig. 11** Immagine dal sito [www.eyefreedom.com](http://www.eyefreedom.com)

OCT con Visante, come quello usato da Caroline nello studio <sup>(56)</sup> sopra citato.

In più, studi recenti <sup>(58)</sup> <sup>(59)</sup> hanno dimostrato un'esigua correlazione tra la forma della sclera e l'orientazione e magnitudine della toricità corneale <sup>(45)</sup>. Invero, Bandlitz et al, in uno studio <sup>(60)</sup> del 2017 sulla topografia sclerale analizzata mediante OCT, hanno valutato il raggio e poi il profilo della sclera limbare sugli otto meridiani e hanno riscontrato diversi raggi in diverse posizioni della sclera. Il raggio sclerale è risultato essere indipendente dalla topografia corneale.

610 Nuovi orizzonti si sono aperti ancora più recentemente con l'avvento dei nuovi topografi ad elevazione corneale e sclerale, con i quali è ora possibile ottenere una visione più globale della superficie sclerale in quanto specificamente disegnati per misurare e mappare la sclera <sup>(45)</sup>.

Dallo studio <sup>(45)</sup> condotto mediante questi nuovi dispositivi su 152 occhi, è emerso che solo un terzo degli occhi presentava una forma rotazionalmente simmetrica che avrebbe in teoria consentito l'applicazione di una lente sclerale sferica o torica. I due terzi degli occhi esaminati presentavano invece un pattern irregolare: o con depressioni ed elevazioni nell'insieme della circonferenza della sclera o con differenze periodiche di 180 gradi [Tabella II].

**Tabella II** Pattern della superficie sclerale osservati durante lo studio di DeNaeyer <sup>(45)</sup>

Group	Pattern Description	N(%)
1	Spherical	8 (5.7%)
2	Toric-Regular	40 (28.6%)
3	Asymmetric High or Low Points	57 (40.7%)
4	Periodicity different from 180°	35(25%)

È stato anche osservata una relativamente alta incidenza di una depressione asimmetrica inferiore, già riscontrata con altri studi <sup>(36)</sup> <sup>(54)</sup>, la quale potrebbe contribuire al decentramento inferiore frequentemente notato con le lenti sclerali <sup>(11)</sup> <sup>(45)</sup> [Fig. 12].

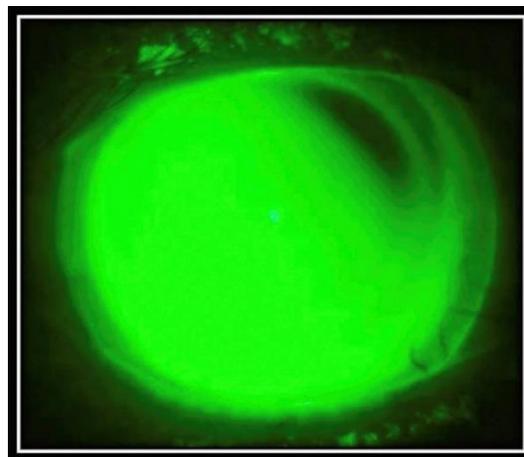


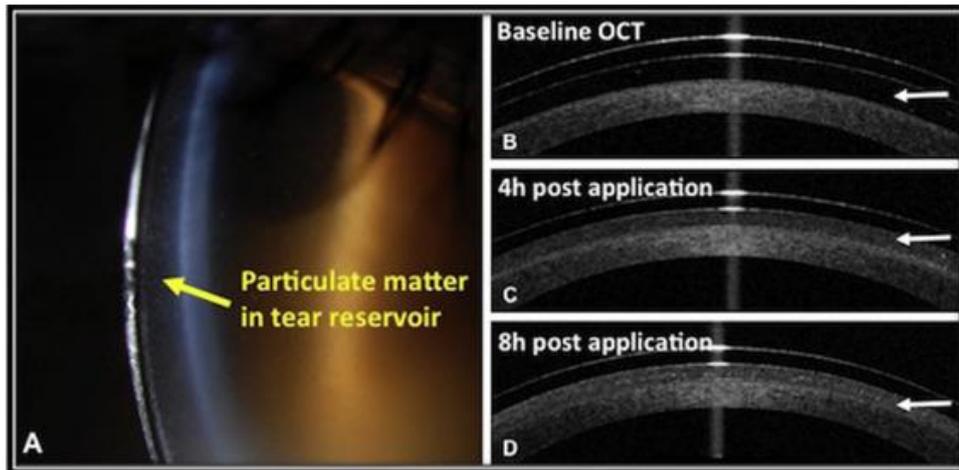
Immagine acquisita dal Professor Patrick Caroline, pubblicata da Walker nell'articolo citato <sup>(12)</sup>

**Fig. 12** Lente sclerale su occhio destro. Le aree di fluorescenza più intensa designano aree di riserva lacrimale maggiore e la banda scura nel quadrante nasale superiore mostra un'apposizione stretta o "tocco" della lente sclerale.

Walker mette però in guardia: il fitting perfetto potrebbe causare, in alcuni individui, una sorta di sigillo periferico tale per cui un adeguato ricambio lacrimale non verrebbe garantito <sup>(11)</sup> (riga 388). Riprendendo quanto detto a riguardo della zona limbare, si ricordi che anche in questo caso occorre evitare l'appoggio limbare (riga 482) circonferenziale in quanto generante discomfort, talvolta cheratiti e neovascolarizzazione <sup>(6)</sup>.

640 *L'annebbiamento di mezzogiorno*

Una delle più comuni complicazioni nel porto di lenti sclerali è rappresentata dall'*annebbiamento di mezzogiorno (midday fogging)*, che si verifica con particolari accumuli di materia nella riserva lacrimale tra la lente a contatto e la cornea, creando un offuscamento tipo nebbia nel 20-33% dei soggetti <sup>(62)</sup> <sup>(63)</sup> [Fig. 13].



**Fig. 13**

650 Immagini rilasciate da Patrick Caroline della Pacific University a Walker et al. nella revisione citata <sup>(12)</sup>

A) Particelle di materia nella riserva lacrimale in sezione ottica di lente sclerale applicata  
B) C) D) Tomografia a coerenza ottica (OCT), immagini in sezione che mostrano la lente sclerale applicata con progressiva opacizzazione della riserva lacrimale su un periodo di porto di otto ore.

Immagini rilasciate da Patrick Caroline della Pacific University a Walker et al. nella revisione citata <sup>(12)</sup>

Il fenomeno può verificarsi prontamente in seguito all'applicazione della lente o in progressione graduale nel corso del porto <sup>(11)</sup>. L'accumulo di detriti può causare un significativo sfocamento, rendendo necessaria la  
660 rimozione della lente e il riempimento della cupola con nuova soluzione. Per alcuni soggetti questa operazione diviene una routine giornaliera che si ripete molteplici volte <sup>(11)</sup>. Rathi et al., in uno studio svolto nel 2012 <sup>(62)</sup>, hanno riportato una diminuzione di 2 o più linee di acuità visiva dopo un porto di lenti sclerali di 4h dovuto appunto ai detriti intrappolati dietro la lente per l'assenza del turnover lacrimale. Pur essendo sconosciuta l'eziologia del fenomeno <sup>(11)</sup>, sembra che i depositi responsabili della torbidità abbiano una componente lipidica originantesi dall'ambiente congiuntivale perilimbare <sup>(63)</sup> e siano una  
670 combinazione secretoria di prodotti delle ghiandole congiuntivali e di Meibomio presenti nel film precorneale <sup>(64)</sup>, più frequenti in portatori con occhio secco e condizioni infiammatorie <sup>(65)</sup> <sup>(66)</sup>.

Secondo Sciacca, la causa è da ricondursi all'aumento della viscosità della riserva lacrimale per il suo ristagno sotto la lente con secondaria formazione di muco, e sottolinea come gli occhi sottoposti a chirurgia producano più muco nel periodo post-operatorio <sup>(6)</sup>.

Walker et al. hanno appurato attraverso la loro esperienza clinica che questa complicanza può essere gestita usando lacrime artificiali ad alta viscosità, senza conservanti e contenenti ioni per riempire la lente, sostituendo così la semplice soluzione salina senza conservanti.

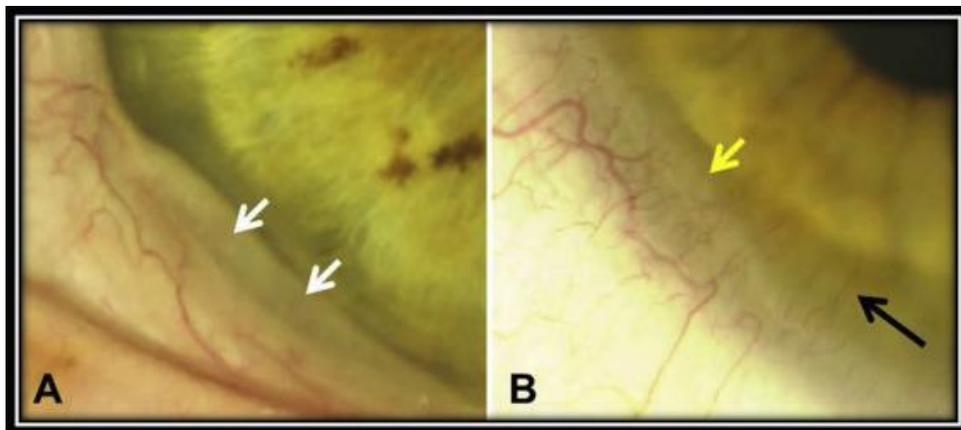
680 Fadel consiglia l'uso di soluzioni più viscosi senza conservanti per riempire la lente anche nel caso di bolle d'aria consistenti e croniche, ma avverte poiché queste potrebbero influenzare l'acuità visiva, la diffusione dell'ossigeno <sup>(67)</sup> e potrebbero causare reazioni tossiche <sup>(7)</sup>. La presenza dell'annebbiamento di mezzogiorno si presenta comunque come un fenomeno multifattoriale ad elevato numero di variabili, tra

cui la regolarità e sottigliezza della riserva lacrimale <sup>(68)</sup>, ritenuta essere d'aiuto nel ridurre la frequenza di incidenza che sembra quindi dipendere dalla forma della superficie oculare anteriore, dal design della lente e dalla naturale composizione del film <sup>(11)</sup>.

690

### *Prolasso congiuntivale*

Il prolasso congiuntivale avviene quando il tessuto congiuntivale perilimbare migra al di sotto dei confini periferici della lente sclerale, a volte aderendo alla cornea periferica <sup>(69)</sup> <sup>(70)</sup> [Fig. 14]. Questo avviene a causa della forza della pressione negativa al di sotto della lente, che tira il malleabile tessuto congiuntivale perilimbare sulla cornea periferica, specialmente in aree di relativa depressione corneale <sup>(69)</sup>.



**Fig. 14** Immagine concessa da Patrick Caroline a Walker et al. <sup>(12)</sup>

700

- A) prolasso congiuntivale periferico (freccie bianche) nel quadrante infero temporale dell'occhio destro a seguito della rimozione della lente sclerale.
- B) B) medesima area di cornea a seguito del recesso del prolasso. La freccia gialla indica il confine della precedente adesione del tessuto congiuntivale, che appare opacato. La freccia nera indica la neovascolarizzazione dell'area sottostante.

710

Esclusi i fattori estetici, non sono note potenziali conseguenze di questo fenomeno, seppur siano state notate vascolarizzazioni e cicatrici del sottostante strato limbare e della cornea periferica dovute ad aderenze congiuntivali alla cornea per estesi periodi di tempo <sup>(11)</sup>.

## Alcune considerazioni

In questo scritto si sono analizzati i fattori fisiologici con cui l'applicatore entra più frequentemente in contatto nell'applicazione delle lenti sclerali.

Il flusso ossigeno-cornea nel porto di queste lenti rappresenta ancora un dibattito interessante, come anche la permeabilità all'ossigeno dei materiali della lente, lo spessore ottimale della lente, lo spessore della riserva lacrimale e caratteristiche applicative. Una riserva lacrimale più  
720 spesso può costituire un ostacolo al passaggio di ossigeno attraverso il sistema lente-riserva lacrimale. A questo riguardo, la scelta di lenti mini-sclerali piuttosto che sclerali ampie può favorire una riduzione dello spessore della lente stessa in quanto la rigidità risulta maggiore in diametri ridotti <sup>(10)</sup>.

Ciononostante, Irving Fatt suggerisce che sia necessario considerare l'apporto di ossigeno attraverso la lente sulla cornea piuttosto che il flusso dell'ossigeno tramite lo scambio lacrimale attraverso la riserva lacrimale e le lacrime alla periferia della lente <sup>(34)</sup>. Conseguentemente a  
730 ciò, una lente ampia può essere più spessa e lo scambio lacrimale non agevolato potrebbe non costituire uno svantaggio alla disponibilità ossigenica corneale <sup>(34)</sup>. Come evidenziato da Fadel, però, una lente ampia necessita una cupola più alta la quale potrebbe quindi costituire un inconveniente per l'apporto di ossigeno <sup>(10)</sup>. Una mini-sclerale, necessitando una clearance minore, può costituire un buon compromesso.

Una ridotta clearance può inoltre ridurre la formazione di bolle e permettere un aumento dell'acuità visiva assottigliando l'area di accumulo di detriti e quindi riducendo l'annebbiamento (riga 685).

La formazione di bolle può però anche essere dovuta ad una zona  
740 d'appoggio piccola e a una geometria a spigolo che non si allinea con la  
congiuntiva <sup>(7)</sup>: in questi casi può essere considerata una lente ampia  
con una più ampia zona d'appoggio torica <sup>(10)</sup>.

Bisogna tenere conto, a questo punto, che le lenti sclerali-ampie hanno  
una massa complessivamente maggiore rispetto alle mini-sclerali, la  
quale potrebbe portare al decentramento della lente stessa, e quindi a  
una compromissione del comfort e dell'acuità visiva dovuto al  
combinato effetto di gravità e pressione all'ammiccamento sulla lente.  
Questo problema di spessore della lente può essere risolto con designs  
speciali o customizzati <sup>(10)</sup>.

750 Tecniche di fitting per l'ottimizzazione del design e dell'applicazione in  
toto nel caso di sclerali ampie sono state presentate da Gemoules nel  
2008 (riga 594) e da DeNaeyer nel novembre 2017 (riga 611).

La personalizzazione della lente, o la progettazione di una zona aptica  
torica, aiutano ad evitare il discomfort, l'impingement sui meridiani  
della lente, lo sbiancamento (*blanching*) settoriale, la formazione di  
bolle, il prolasso congiuntivale, il decentramento e la distorsione della  
lente <sup>(7)</sup> <sup>(10)</sup> <sup>(51)</sup> <sup>(65)</sup>.

Blanching e impingement possono essere causati da un diametro  
eccessivamente ridotto e quindi una zona d'appoggio non sufficiente  
760 <sup>(10)</sup>. Oltre alla zona d'appoggio ampia, è stato dichiarato che un altro  
fattore che contribuisce meccanicamente al supporto del peso della  
lente è costituito dalla riserva lacrimale che agirebbe quindi come un  
materasso ad acqua <sup>(64)</sup>.

La riserva lacrimale situata tra la cornea e la superficie posteriore della  
lente costituisce una sorta di microambiente le cui dinamiche sono  
ancora poco chiare. Da alcuni studi <sup>(71)</sup> si sa che lo scambio lacrimale a  
lente applicata corrisponde allo 0,2% al minuto.

Questo significa che occorrono più di otto ore per rimpiazzare tutto il contenuto della riserva <sup>(2)</sup>. Tuttavia, il mescolamento lacrimale

770 rappresenta un altro fattore da indagare in quanto lo strato lacrimale costituisce un ambiente dinamico e in costante cambiamento <sup>(2)</sup>. Michaud <sup>(2)</sup> paragona il fluido della riserva all'acqua in una lavatrice: si era suggerito che lo strato più profondo del fluido entrasse periodicamente in contatto con la superficie posteriore della lente sclerale per rifornire i livelli di ossigeno. Al contrario, però, i dati hanno fatto pensare che il mescolamento lacrimale potrebbe essere limitato durante un'applicazione con livelli di clearance più o meno ottimali <sup>(2)</sup>. Lo scambio lacrimale potrebbe risultare inibito anche quando la clearance appare eccessiva <sup>(2)</sup>.

780 Ad ogni modo, un monito ridondante in questa ricerca è che il rapporto tra ipossia corneale e lenti sclerali non è ancora del tutto chiaro. Bergmanson et al. <sup>(34)</sup> hanno affermato che l'ipossia con l'uso di lenti sclerali fabbricate con materiali ad elevato Dk non è stato ancora né provato né confutato <sup>(34)</sup> e sono ancora necessari studi approfonditi sulla risposta corneale all'uso di lenti sclerali, che prendano in considerazione i vari fattori influenzanti l'apporto di ossigeno <sup>(10)</sup>. Una possibile evidenza di edema *epiteliale* è rappresentata dal bogging epiteliale (impantanamento epiteliale – riga 410), fenomeno che al momento non sembra avere effetti a lungo termine sulla salute

790 corneale <sup>(12)</sup>. Bogging epiteliale, midday fogging, prolasso congiuntivale e la necessità di progettare complicate periferie toriche curve o aptiche sono sfide quotidiane nell'applicazione delle lenti sclerali, soprattutto a diametro ampio e sono ad oggi considerate eventualità benigne <sup>(2)</sup>.

Comunque sia, ogni occhio e ogni caso necessita di una specifica lente dipendentemente da forma e condizioni oculari <sup>(10)</sup>, la cui indagine esula dagli intenti di questo scritto.

## Conclusioni

L'impatto fisiologico delle lenti sclerali sul segmento anteriore non è stato ancora rigorosamente studiato <sup>(4)</sup>. Molte delle evidenze sviluppate finora sono limitate a studi clinici relativamente piccoli condotti da ricercatori indipendenti o ad ampi studi di collaborazione svolti da applicatori e compagnie sviluppani e applicanti i loro stessi designs <sup>(72)</sup>. Non ci sono dubbi che il ritorno alla ribalta di queste lenti abbia rivoluzionato il range delle le opzioni disponibili per trattare malattie corneali, della superficie oculare, ma anche le opzioni di correzione di occhi sani con elevati errori refrattivi o elevati astigmatismi <sup>(10)</sup>. Le lenti sclerali costituiscono un'opzione anche per la correzione della presbiopia, rappresentando una soluzione unica alla potenziale somma di complicanze <sup>(2)</sup> riscontrabili in questa fase della vita dell'uomo. Considerando le sconosciute conseguenze a lungo termine della stagnazione lacrimale <sup>(73)</sup> e della compressione congiuntivale perilibare nel porto in occhi normali e in salute rispetto al guadagno in acuità visiva e in comfort, tuttavia, la bilancia tra rischio e beneficio è meno evidente rispetto al caso dell'applicazione a occhi malati <sup>(8)</sup>.

Nonostante le incertezze riguardo gli effetti di un ridotto apporto di ossigeno alla cornea, infatti, la gestione medica delle lenti sclerali nell'ambito di occhi malati coinvolge un bilanciamento di rischio e beneficio <sup>(12)</sup>: potrebbero esserci danni cronici alla cornea dovuti al porto delle lenti, ma la maggior parte di questa tipologia di portatori fa affidamento a queste lenti per avere una visione efficiente e funzionale nella loro vita quotidiana <sup>(12)</sup>. In più, gli effetti legati all'ipossia potrebbero essere a progressione lenta e quindi insignificanti considerando la durata del tessuto corneale di questi portatori <sup>(12)</sup>. Studi più avanzati

sono necessari per completare l'esplorazione di questo problema, ma è ormai assodato il potenziale delle lenti sclerali di ritardare o prevenire la chirurgia <sup>(65)</sup> <sup>(74)</sup>: già nel 1988, uno studio condotto da Smiddy et al. riportava che "il 69% dei pazienti refertati per la

830 cheratoplastica potevano risolvere con successo applicando delle lenti a contatto senza affrontare la chirurgia" <sup>(74)</sup>. Secondo uno studio del 2002 di Lim e Vogt, in aggiunta, la stragrande maggioranza dei soggetti sceglie di sottoporsi alla cheratoplastica per problematiche risolvibili con l'applicazione sclerale quali intolleranza alla lente a contatto (83%), decentramento della lente (8,5%) e insoddisfazione dell'acuità visiva ottenuta con lenti a contatto (8,5%) <sup>(75)</sup>.

Ancora una volta, non ci sono studi longitudinali che documentino la presenza o l'assenza di un impatto negativo di questi elementi sulla

840 salute oculare nel tempo <sup>(2)</sup>.

Implicazioni quali quelle elencate alla riga 789 sono tuttavia tipicamente non viste quando le lenti sono applicate con un diametro inferiore ai 15mm dal momento che questa misura tende a generare un ridotto impatto meccanico sulla congiuntiva e presenta una minor clearance limbale <sup>(2)</sup>.

Si può dire che questo rappresenti un importante elemento nella riduzione dell'inquinamento del fluido della riserva lacrimale che comporta quindi una riduzione della presenza di lipidi e mucine presenti con diametri maggiori <sup>(2)</sup>.

850 Va ricordato che l'obiettivo primario dell'applicatore dev'essere la salvaguardia della salute oculare o, visto l'argomento borderline, la *stabilità* delle condizioni oculari.

Il tempo di porto può essere considerato un buon indicatore di tolleranza e successo della correzione con lenti a contatto <sup>(8)</sup>.

Tenendo presenti le condizioni della maggior parte dei portatori di questo dispositivo, il bisogno di correzione significa che il *tempo di porto confortevole* rappresenta un miglior indicatore del semplice *tempo di porto* per raggiungere la soddisfazione della persona.

860 Come affermato da Schornack <sup>(4)</sup>, “il paragone diretto dei risultati degli studi e le loro conclusioni nella letteratura disponibile sono difficili per la mancanza di standardizzazione inerente al lavoro retrospettivo”. In altre parole, la maggior difficoltà nella ricerca di dati oggettivi riguardanti il porto di lenti sclerali è rappresentata dall’attuale mancanza di questi stessi dati. Come già affermato, gli studi effettuati sono condotti su numeri esigui, non costituenti solide certezze. In aggiunta, essendo quella delle lenti sclerali una tecnologia riscoperta di recente, costituisce un campo florido per ricerche e scoperte, talmente florido che, come nel caso di Michaud, porta gli studiosi a rettificare le proprie stesse parole a distanza di anche soli quattro anni.

870

“Further researches and considerations are necessary”

## Bibliografia

- (1) Van der Worp E., "Scleral lenses (are) special", *Contact Lens and Anterior Eye*; 2017; 40; pp. 271-272  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clae.2017.07.006>
- (2) Michaud L., "Scleral Lens Fitting: once rare, now routine?", *Review of cornea & contact lenses*, aprile 2016, online:  
<https://www.reviewofoptometry.com/ce/scleral-lens-fitting-once-rare>  
[consultato il 9 marzo 2018]
- (3) *Pubmed.gov*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=scleral+lens>,  
[consultato il 21 marzo 2018]
- (4) Schornack M.M., "Scleral Lenses: A Literature Review", *Eye & Contact Lens* 41; 1; gennaio 2015
- (5) Kaufman P.L., Alm A., "Adler's physiology of the eye: clinical application", 2003, Mosby
- (6) Sciacca S., "Lenti a contatto sclerali RGP: come, quando, perché", 2011, SOPTI
- (7) Van der Worp E., "A guide to scleral lens fitting – version 2.0", 2015, College of Optometry, Pacific University
- (8) Van der Worp E. et al., "Modern scleral contact lenses: A review", *Contact Lens Anterior Eye*, 2014  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ciae.2014.02.002>
- (9) "Scleral lens nomenclature", (giugno) 2013, [www.sclerallens.org](http://www.sclerallens.org)
- (10) Fadel D., "Modern scleral lenses: mini versus large", *Contact Lens and Anterior Eye*, 2017  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clae.2017.04.003>
- (11) Lupelli L., *Optometria A – Z. Dizionario di Scienza, Tecnica e Clinica della Visione*, 1st ed., Medical Books, Palermo, 2014
- (12) Walker M.K. et al., "Complications and fitting challenges associated with scleral contact lenses: A review", *Contact Lens Anterior Eye*, 2015  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clae.2015.08.003>

- (13) Bleshoy H., Pullum K.W., "Corneal Response to gas-permeable impression scleral lenses", J Brit Cont Lens Assoc 1988; 2; pp. 31-34
- (14) Pullum K.W., Stapleton F.J., "Scleral lens induced corneal swelling: what is the effect of varying Dk and lens thickness?", CLAO J 1997; 23; pp. 259-263
- (15) Tan D.T., Pullum K.W., Buckley R.J., "Medical applications of scleral contact lenses: A retrospective analysis of 343 cases", Cornea 1995; 14; pp. 121-129
- (16) Ezekiel D., "Gas permeable haptic lenses", J Br Contact Lens Association 1983; 6; pp. 158-161
- (17) Lyons C.J., Buckley R.J., Pullum K., Sapp N., "Development of the gas-permeable impression-moulded scleral contact lens. A preliminary report", Acta Ophthalmologica Supplementum 1989; 192; pp. 162-164
- (18) Pecego M., Barnett M., Mannis M.J., Durbin-Johnson B., "Jupiter scleral lenses: the UC Davis Eye Center Experience", Eye Contact Lens 2012; 38; pp. 179-182
- (19) D.T. Tan, K.W. Pullum, R.J. Buckley, "Medical applications of scleral contact lenses: 2. Gas-permeable scleral contact lenses", Cornea 1995; 14; pp. 130-137
- (20) Schornack M.M., Patel S.V., "Relationship between corneal topographic indices and scleral lens base curve", Eye Contact Lens 2010; 33; pp. 330-333
- (21) DeNaeyer G.W., "Vault into scleral lens Fits. Technology is now available to improve efficiency and success", Optometric Management (Maggio) 2017; 52; pp. 22-25
- (22) Michaud L., Van der Worp E., Brazeau D., Warde R., Giasson C.J., "Predicting estimates of oxygen transmissibility for scleral lenses", Contact Lens Anterior Eye 2012; 35; pp. 266-271,  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clae.2012.07.004>
- (23) Klyce S.D., "Stromal lactate accumulation can account for corneal oedema osmotically following epithelial hypoxia in the rabbit", J. Physiol. 1981; 321; pp. 49-64 *in* (12)

- (24) Augsburger A., Hill R., King J., "Quantifying the distribution of lactic acid dehydrogenase in the corneal epithelium with oxygen deprivation", *Am. J. Optom. Arch. Am. Acad. Optom.* 1972; 49; pp. 859-862 *in* (12)
- (25) Mertz G.W., "Overnight swelling of the living human cornea", *Journal of the American Optometric Association* 1980; 51; pp.211-214 *in* (12)
- (26) Gheller P., "Corso di contattologia II AA.2016/17", Università di Padova
- (27) Ortenberg I., Behrman S., Geraisy W., Barequet I.S., "Wearing time as a measure of success of scleral lenses for patients with irregular astigmatism", *Eye Contact Lens* 2013; 39; pp. 381-384,  
doi: <http://dx.doi.org/10.1097/icl.0b013e31829e8faa>
- (28) Compañ V., Aguilera-Arzo M., Edrington T.B., Weissman B.A., "Modeling corneal oxygen with scleral gas permeable lens wear, *Optometry Vision Science* 2016; 93; pp. 1339-1348,  
doi: <http://dx.doi.org/10.1097/OPX.0000000000000988>
- (29) Compañ V., Oliveira C., Aguilera-Arzo M., Mollà S., Peixoto-de-Matos S.C., González Méijome J.M., "Oxygen diffusion and edema with modern scleral rigid gas permeable contact lenses", *Invest. Ophthalmology Vision Science* 2014; 55; pp. 6421-6429  
doi: <http://dx.doi.org/10.1167/iovs.14-14038>
- (30) Weissman B., Ye P., "Calculated tear oxygen tension under contact lenses offering resistance in series: piggyback and scleral lenses", *Contact Lens Anterior Eye* 2006; 29; pp. 231-237,  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clae.2006.09.001>
- (31) Jaynes J., Edrington T., Wejssman B., "Predicting scleral GP lens entrapped tear layer oxygen tensions", *Contact Lens Anterior Eye* 2015; 38; pp. 44-47
- (32) Pullum K., "Scleral contact lenses: indications and current clinical methods", *Optometry Today* (ottobre) 2006; pp. 26-33
- (33) Sweeney D.F., Stretton S., Fonn D., Swarbrick H.A., Holden B.A., "Extended- and continuous-wear lenses", in Phillips A.J., Speedwell L., (Eds.), *Contact Lenses*, Butterworth Heinemann, 2007

- (34) Bergamson J.P.G., Ezekiel D.F., Van der Worp E., "Scleral contact lenses and hypoxia. Theory versus practice", *Contact Lens Anterior Eye* (marzo) 2015; 38; pp. 145-147  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clae.2015.03.007>
- (35) Hall L., Hunt A.C., Young G., Wolffsohn J., "Factors affecting corneoscleral topography", *Invest. Ophthalmology Visual Science* 2013; 54; pp. 3691-3701  
doi: <http://dx.doi.org/10.1167/iovs.13-11657>
- (36) Choi H.J., Lee S.M., Lee J.Y., Lee S.Y., Kim M.K., Wee W.R., "Measurement of anterior scleral curvature using anterior segment OCT, *Ophthalmology Visual Science* 2014; 91; pp. 793-802  
doi: <http://dx.doi.org/10.1097/OPX.000000000000298>
- (37) Giasson C.J., Rancourt J., Robillard J., Melillo M., Michaud L., "Do Endothelial Blebs Better Predict Corneal Edema than Pachometry after the Wear of Scleral Lenses with different clearances?", *École d'optométrie, Université de Montréal, Canada; LOEX, Centre Hospitalier Affilié, Québec, Canada; n.i.*
- (38) Safvati A., Cole N., Hume E., Willcox M., "Mediators of neovascularization and the hypoxic cornea", *Current Eye Research* 2009; 34; pp. 501-514  
doi: <http://dx.doi.org/10.1080/02713680902919557>
- (39) Severinsky B., Behrman S., Frucht-Pery J., Solomon A., "Scleral contact lenses for visual rehabilitation after penetrating keratoplasty: long term outcomes", *Contact Lens Anterior Eye* 2014; 37; pp. 196-202  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clae.2013.11.001>
- (40) Davanger M., Evensen A., "Role of the pericorneal papillary structure in renewal of corneal epithelium", *Nature* 1971; 229; pp. 560-561 *in* (12)
- (41) Bergamson J.P.G., "Clinical Ocular Anatomy and Physiology", 17<sup>th</sup> ed., Texas Eye Research and Technology Center, Huston, 2010, p.111
- (42) Ritzmann M., Morrison S., Caroline P., Kinoshita B., Lampa M., Kojima R., "Scleral shape and asymmetry as measured by OCT in 78 normal eyes", Scientific Poster Presented at the Global Specialty Lens Symposium, Las Vegas, January 2016
- (43) DeNaeyer G.W., "The scleral vault: scleral lenses and the limbus", *Contact Lens Spectrum* (gennaio) 2015; 31; p.46

- (44) Dua H.S., Azuara-Blanco A., "Limbal stem cells of the corneal epithelium", *Surv Ophthalmol* 2000; 44; pp. 415-425 *in* (12)  
doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0039-6257\(00\)00109-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0039-6257(00)00109-0)
- (45) DeNaeyer G., Sanders D.R., Van der Worp E., Jedlicka J., Michaud L., Morrison S., "Qualitative assessment of scleral shape patterns using a new wide field ocular surface elevation topographer: the sssg study", *Original Research, Journal of Contact Lens Research and Science*, (novembre) 2017
- (46) Sheila D.M., DeNaeyer G., "Scleral lens fitting: understanding scleral shape", *GSLs*, (26 gennaio) 2018
- (47) Mariott P.J., "An analysis of the global contours and haptic contact lens fitting" *Br J Physiol Opt* 1966; 23; pp.1-40 *in* (8)
- (48) De Paolis M., Shovlin J., De Kinder J.O., Sindt C., "Postsurgical contact lens fitting" *in* "Bennet, Henry (Eds.), "Clinical manual of contact lenses", Walters Kluwer, 2009; pp. 508-541
- (49) Jedlicka J., Johns L.K., Byrnes S.P., "Scleral contact lens fitting guide", *Contact Lens Spectrum* (ottobre) 2010; 3; pp. 30-36
- (50) Visser E.S., Visser R., Van Lier H.J.J., "Advantages of toric scleral lenses", *Optometry Visual Science* 2006; 83; pp.233-236  
doi: <http://dx.doi.org/10.1097/01/OPX.0000214297.38421.15>
- (51) Mahadevan R., Jagadeesh D., Rajan R., Arumugan A.O., "Unique hard scleral lens post-LASIK ectasia fitting", *Optometry Visual Science* 2014; 73; pp.136-142  
doi: <http://dx.doi.org/10.1097/OPX.0000000000000170>
- (52) Schornack M., "Toric haptics in scleral lens design: a case series", Poster present. *Global Spectrum Lens Symposium, Las Vegas (Nevada)*, 2013
- (53) Visser E.S., Van der Linden B.J.J.J., Otten H.M., Van der Lelij A., Visser R., "Medical applications and outcomes of bitangential scleral lenses", *Optometry Visual Science* 2013; 90; pp.1078-1085  
doi: <http://dx.doi.org/10.1097/OPX.0000000000000018>

- (54) Tan B., Graham A.D., Tsechpenakis G., Lin M.C., "A novel analytical method using OCT to describe the corneoscleral junction", *Optometry Visual Science* 2014; 91; pp. 650-657  
doi: <http://dx.doi.org/10.1097/OPX.0000000000000267>
- (55) Van der Worp E., Graf T., Caroline P., "Exploring beyond the borders", *Contact Lens Spectrum* 2010; 6; pp. 26-32
- (56) Kojima R., Caroline P., Graf T., et al., "Eye shape and scleral lenses", *Contact Lens Spectrum* 2013; 3; pp.8-43
- (57) Harvitt D.M., Bonanno J.A., "Re-evaluation of the oxygen diffusion model for predicting minimum contact lens Dk/t values needed to avoid corneal anoxia", *Optometry Vision Science* 1999; 76; pp. 712-719 in (11)  
doi: <http://dx.doi.org/10.1097/00006324-199910000-00023>
- (58) Kinoshita B., Morrison S., Caroline P., "Corneal toricity and scleral asymmetry... are they related?", Poster GSLS; 21-24 gennaio 2016; Las Vegas (USA)
- (59) Siebert S., Jedlicka J., "Utilizing corneal topography to aid in predicting scleral topography for the purpose of fitting scleral contact lenses", Poster GSLS; 26-29 gennaio 2017; Las Vegas (USA)  
Available at:  
<http://www.gslsymposium.com/getattachment/posters/siebert,-sara-utilizing-corneal-topography-to-aid-in-predicting-scleral-topography.pdf.aspx>  
[visitato il 23/03/2018]
- (60) Bandlitz S., Bäumer J., Conrad U., Wolffsohn J., "Scleral topography analysed by optical coherence tomography", *Contact Lens Anterior Eye* (aprile) 2017; 40; pp. 242-247
- (61) Gemoules G., "A novel method of fitting scleral lenses using high resolution optical coherence tomography", *Eye Contact Lens* 2008; 34; pp. 80-83
- (62) Rathi V.M., Mandathara P.S., Vaddavalli P.K., Srikanth D., Sangwan V.S., "Fluid filled scleral contact lens in pediatric patients: challenges and outcome", *Contact Lens Anterior Eye* 2012; 35; pp. 189-192  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clae.2012.03.001>

- (63) Walker M., "Scleral lenses, cleaning the fog", ISITE Online J 2014, dicembre 2014
- (64) Gemoules G., "Scleral lens fogging", articolo online in *laserfitlens.com*, prima pubblicazione online gennaio 2012  
Disponibile a: <https://laserfitlens.com/scleral-lens-fogging/>  
[consultato il 10 marzo 2018]
- (65) McKinney A., Miller W., Leach N., Polizzi C., van der Worp E., Bergmanson J., "The cause of midday visual fogging in scleral gas permeable lens wearers", Invest Ophthalmology Vision Science 2013: ARVO E-Abstract 5483
- (66) Rosenthal P., Croteau A., "Fluid-ventilated, gas-permeable scleral contact lens is an effective option for managing severe ocular surface disease and many corneal disorders that would otherwise require penetrating keratoplasty", Eye Contact Lens 2005; 31; pp. 130-134  
doi: <http://dx.doi.org/10.1097/01.1CL.0000152492.98553.8D>
- (67) Michaud I., "Sclerals for normal corneas. Beyond irregular: scleral lenses for everyday use", Contact Lens Spectrum (giugno) 2015; 30; pp. 30-36
- (68) Barnett M., Messer B., "The developing role of scleral lenses in today's society", Contact Lens Spectrum (ottobre) 2013; 28; pp. 40-50
- (69) Walker M., Caroline P., Kinoschita B., Lampa M., Andre M., Kojima R., "A proposed mechanism for scleral lens induced conjunctival prolapse", Poster Presentato al GSLS; 2014; Las Vegas
- (70) Caroline P., "Conjunctival prolapse, hooding, chalasis or...", Contact Lens Spectrum 2012; 27; p. 56
- (71) Vance K.D., Miller W., Bermangson J., "Measurement of tear flow in scleral contact lens wearers" Poster presented at the American Academy of Optometry meeting, 2015 in (2)
- (72) Pullum K.W., Buckley R.J., "A study of 530 patients referred for rigid gas permeable scleral contact lens assessment", Cornea 1997; 16; pp. 612-622 in (8)

- (73) Ko L., Maurice D., Ruben M., "Fluid exchange under scleral contact lenses in relation to wearing time", *Br J Ophthalmol*; 1970; 54; pp. 486-489 *in* (8)
- (74) Smiddy W.E., Hamburg T.R., Kracher G.P., Stark W.J., "Keratoconus. Contact lens or keratoplasty?", *Ophthalmology*; 1988; 95; pp. 487-492 *in* (8) e *in* <http://www.ales.it/perchescegliesclerali>
- (75) Lim N, Vogt U., "Characteristics and functional outcomes of 130 patients with keratoconus attending a specialist contact lens clinic", *Eye* 2002; 16; pp. 54-59 *in* <http://www.ales.it/perchescegliesclerali>



## Ringraziamenti

Vorrei in primo luogo ringraziare quanti hanno speso anche pochi minuti per leggere e commentare il mio elaborato, in modo particolare chi ha saputo darmi preziosi spunti d'interesse.

880 Ringrazio Daddi Fadel per l'interesse nella mia ricerca e Greg DeNaeyer per i chiarimenti e la disponibilità nel fornirmi le immagini necessarie.

Un grazie particolare alle mie amiche ed ai miei amici per avermi sempre motivata a proseguire questo percorso,  
a Carla, per avermi lasciato il tempo necessario,  
a Julian, per la forza di cui avevo bisogno,  
a Matilda, per l'inseparabile compagnia,  
ai miei genitori, per avermi dato la possibilità di giungere a questo traguardo.

Grazie per aver creduto in me.