

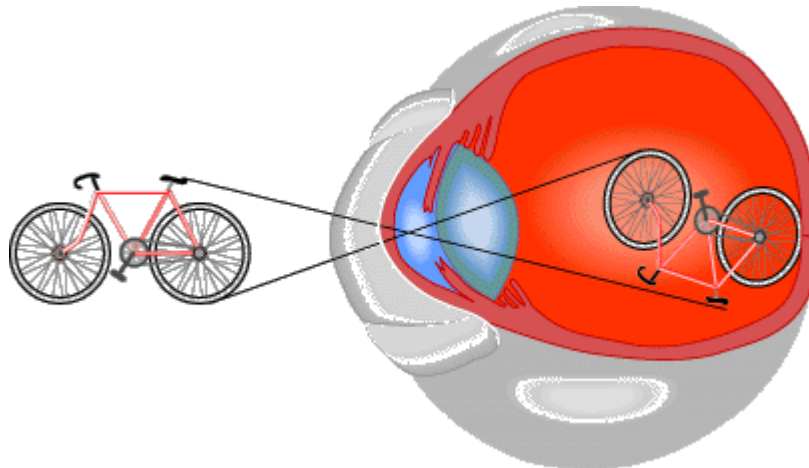


Sommario

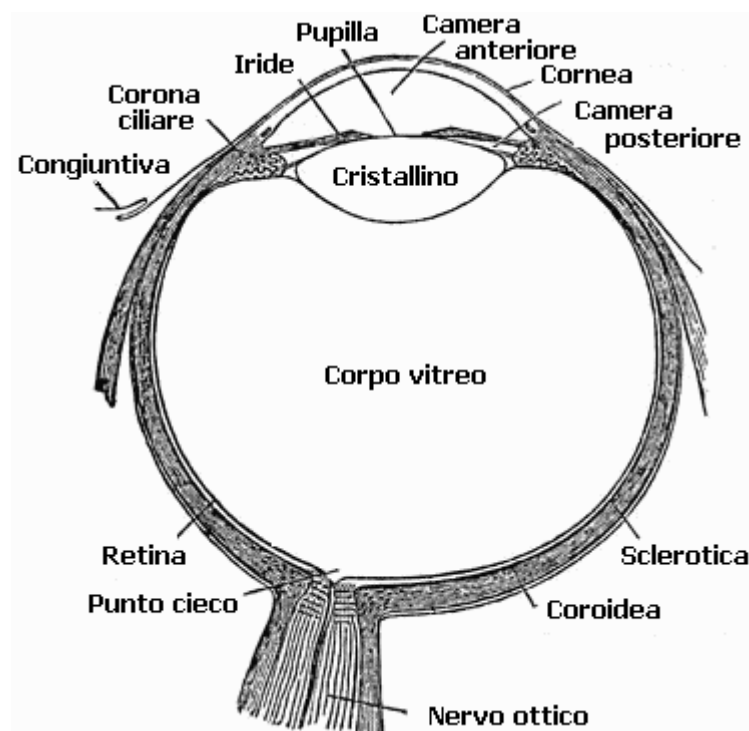
Struttura dell'occhio	2
Funzionamento della retina.....	6
Disfunzioni e malattie della visione.....	9
Daltonismo	15
Limitazioni dell'occhio normale.....	18

Struttura dell'occhio

Dal punto di vista ottico, si può considerare l'occhio come una camera oscura sferoidale, munita di un diaframma, chiamato pupilla, attraverso il quale entra la luce.



Le parti che lo compongono sono le seguenti:



Sclera

È la più robusta delle tre membrane che costituiscono la parete del bulbo oculare e conferisce all'occhio la sua forma

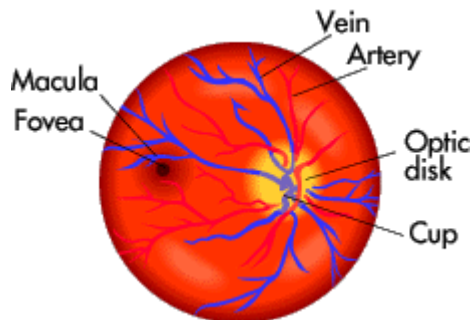
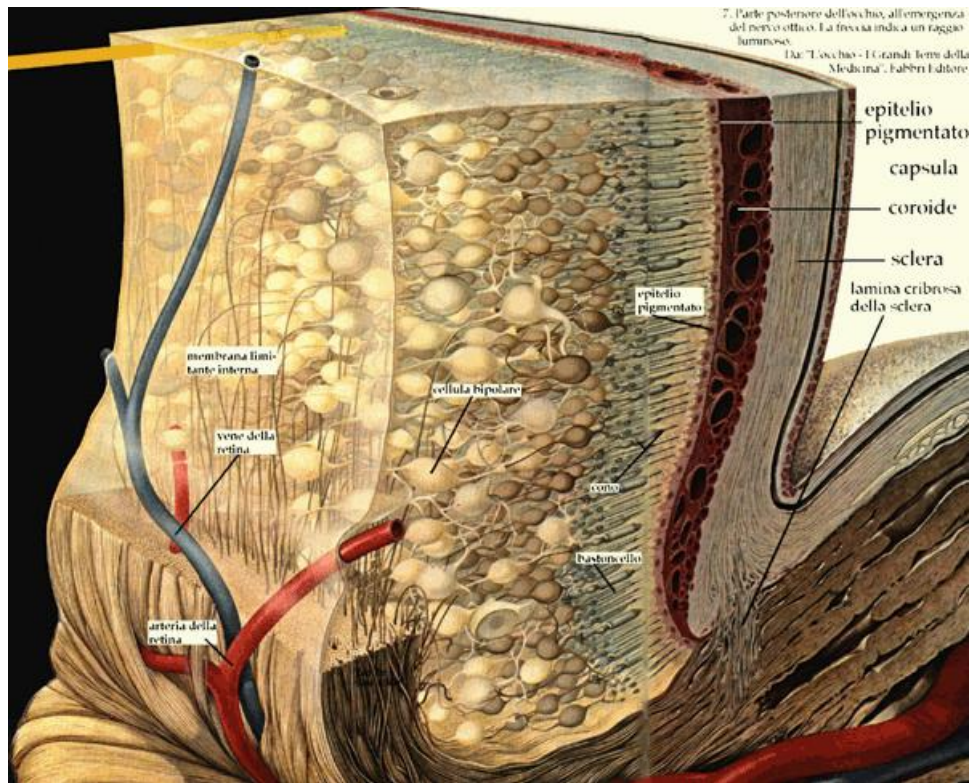
sferica. È una membrana elastica ricca di fibre connettivali, di colore bianco opaco, che serve da involucre esterno al globo oculare. Anteriormente la sclera è trasparente, con una curvatura molto accentuata (il raggio è di circa 8 mm), ed è chiamata **cornea**; posteriormente presenta la zona di uscita delle fibre del nervo ottico.

Coroide

È la membrana intermedia che aderisce perfettamente alla sclera ed è ricca di vasi sanguigni e di un pigmento nero-bruno. La sua funzione è di assorbire la luce che passa attraverso la retina, impedendo così riflessioni o diffusioni ad opera della sclera, che altrimenti nuocerebbero alla nitidezza dell'immagine. Gli albinici mancano di questo pigmento e la loro visione dei colori è sbiadita dalla luce riflessa e diffusa dalla sclera. In corrispondenza della cornea, la coroide si curva verso l'interno e forma un diaframma, detto **iride**, con un foro centrale circolare, detto **pupilla**.

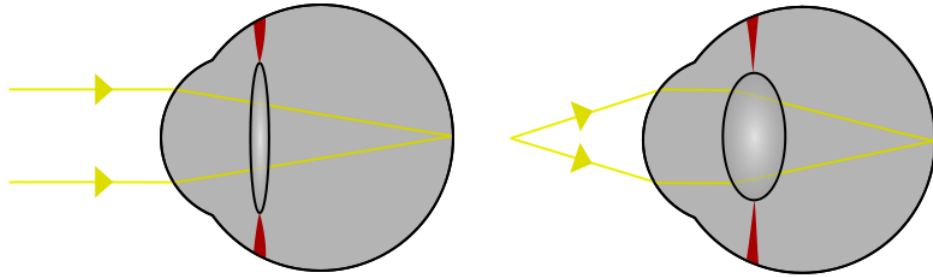
Retina

È una membrana fotosensibile sottilissima che riveste per circa 2/3 la parte interna del bulbo oculare e che ha uno spessore medio di circa 300 μm . La sua struttura è complessa essendo composta da 10 strati, uno dei quali contiene le terminazioni del nervo ottico sensibili alle radiazioni luminose e denominate **bastoncelli** e **coni**, mentre gli altri sono costituiti da vasi sanguigni e dalla rete neurale di trasmissione degli stimoli della retina alla corteccia cerebrale. Nel punto centrale del fondo dell'occhio, posto sull'asse ottico, è presente una zona di 2-3 mm^2 , di colore giallo, detta **macula lutea** o **macchia gialla**. Nel suo mezzo, si trova una fossetta con diametro di circa 0,3 mm chiamata **fovea centrale**, nella quale si forma l'immagine corrispondente al centro di attenzione. I bastoncelli sono collegati a gruppi ad una particolare struttura nervosa che trasmette la somma degli stimoli al cervello; essi sono assenti nella fovea centrale e la loro densità aumenta verso la periferia della retina. I coni sono di due tipi: quelli della zona centrale sono più sottili di quelli periferici per favorirne la maggiore concentrazione. Sulla retina si contano 120 milioni di bastoncelli e 6,3 - 6,4 milioni di coni.



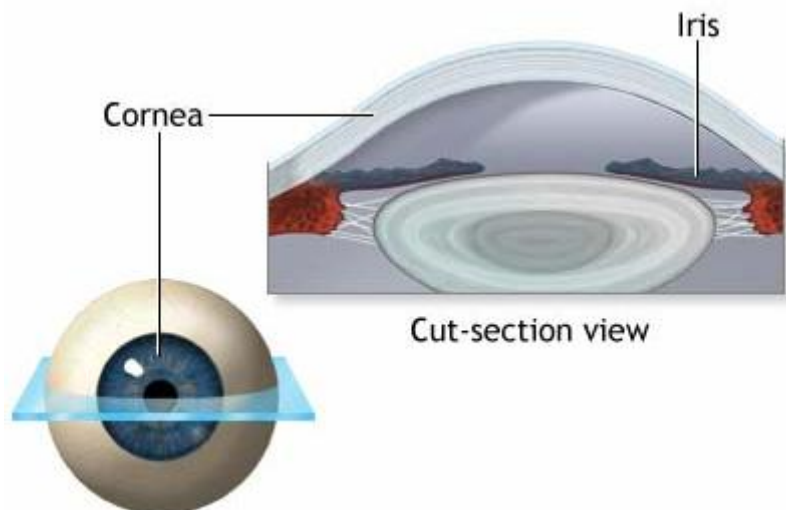
Cristallino

Ha la forma di una lente biconvessa, con la faccia posteriore più convessa di quella anteriore, e divide in due parti distinte il bulbo oculare. Il cristallino è elastico e trasparente ed è costituito da una serie di strati concentrici con indici di rifrazione crescenti dall'esterno verso l'interno ($n = 1,38 - 1,40$). In risposta agli stimoli nervosi inviati dal cervello ai muscoli connessi, si deforma opportunamente e focalizza l'immagine sulla retina. L'inadeguato adattamento genera i difetti visivi più comuni.



Iride

È il diaframma posto anteriormente al cristallino che, allargandosi o restringendosi, regola la quantità di luce che raggiunge la retina: se l'ambiente è eccessivamente luminoso, gli stimoli nervosi conseguenti provocheranno la contrazione della pupilla; viceversa, si avrà la dilatazione della pupilla.



Umor acqueo

È un liquido che riempie completamente la camera anteriore del bulbo oculare ed ha anche la funzione di mantenere costante la curvatura della cornea.

Umor vitreo

È una sostanza gelatinosa che riempie completamente la camera posteriore del bulbo oculare ed ha anche la funzione di mantenere costante la distanza tra cristallino e retina.

Funzionamento della retina

Bastoncelli

Ai bastoncelli spetta la funzione di discriminare le variazioni di intensità luminosa e di adattarsi alla luce crepuscolare ed a quella notturna. Si ritiene che il meccanismo di funzionamento sia il seguente: quando un fotone dello spettro visibile colpisce un bastoncello, interagisce con un pigmento fotosensibile contenuto al suo interno, detto **rodopsina**, che si decompone decolorandosi e generando uno stimolo nervoso.

Se la quantità di luce è eccessiva (abbagliamento), si ha la decomposizione di un'elevata quantità di rodopsina con conseguente cecità, che perdura finché la circolazione sanguigna non elimina i prodotti di decomposizione e ripristina la concentrazione ottimale di pigmento.

La funzione della pupilla è di controllare la quantità di luce in modo da evitare stimolazioni superiori al consentito. È interessante notare che il collegamento a gruppi dei bastoncelli permette all'occhio di vedere anche in condizioni di scarsa luminosità: quando la luce è molto debole, si vede per mezzo di questi fotosensori. I bastoncelli forniscono una visione in termini di bianco e nero, cioè neutra e acromatica.

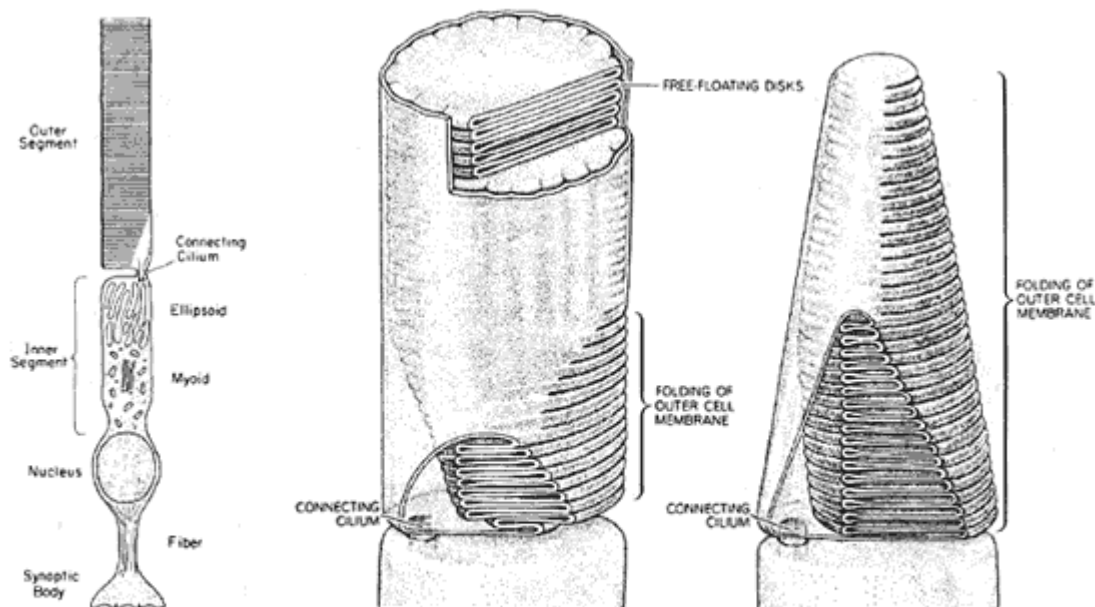
Coni

Alla visione dei dettagli e dei colori provvedono i coni, che forniscono una risposta in funzione della differenza di blu o giallo o verde o rosso e della brillantezza.

I coni sono tutti identici dal punto di vista anatomico, mentre differiscono per i tipi di connessione. Ognuno dispone di un proprio circuito di trasmissione del segnale.

Il pigmento fotosensibile contenuto al loro interno è la **iodopsina**, presente in tre varianti caratterizzate dalla diversa sensibilità cromatica. Si ritiene infatti che alcuni coni contengano un pigmento sensibile alla banda del blu, altri un pigmento sensibile alla banda del verde ed altri ancora un pigmento sensibile alla banda del rosso. Le diverse lunghezze d'onda dello spettro visibile, interagendo con queste sostanze, inducono reazioni chimiche che determinano il meccanismo della visione. Questo ha inizio con la generazione degli stimoli nervosi, si concretizza nella sensazione di colore e si manifesta mediante l'espressione di un giudizio.

I coni si addensano nella fovea centrale al fine di permettere la visione nitida dei dettagli.



At the left is a generalized conception of the important structural features of a vertebrate photoreceptor cell. At the right are shown the differences between the structure of rod (left) and cone (right) outer segments. These diagrams are from Young (1970) and Young (1971).

Punto cieco

Il **punto cieco** è una piccola area della retina che non contiene recettori per la luce, ed è quindi cieca.

Il punto cieco si trova in posizione laterale: a destra nell'occhio destro e a sinistra nell'occhio sinistro. In questo punto, i fasci nervosi provenienti dalle varie zone della retina si riuniscono a formare il nervo ottico, e vengono incanalati verso il cervello. La retina viene interrotta perché i fasci passano davanti ad essa, e non dietro come si potrebbe pensare, e devono quindi attraversarla quando formano il nervo ottico. La visione non viene disturbata da questi fasci, perché sono molto piccoli.

Il campo visivo di ogni occhio contiene quindi un piccolo buco, che a rigor di logica dovrebbe essere nero. Però questo buco non viene notato consciamente, per due ragioni:

- l'altro occhio fornisce al cervello informazioni su cosa si trova in quella parte di campo visivo, anche se non molto dettagliate,
- se l'altro occhio viene chiuso, il cervello riempie comunque il buco usando informazioni provenienti dalle zone immediatamente circostanti.

È importante sottolineare che, quando viene usato un solo occhio, ciò che viene visto nell'area del punto cieco è solo una supposizione da parte del cervello, e potrebbe essere sbagliata.

Gli ottici usano speciali immagini che sfruttano questo meccanismo e permettono al soggetto di notare l'esistenza del punto cieco. A questo scopo è sufficiente coprire l'occhio sinistro ed osservare l'immagine qui sotto con l'occhio destro. Ponetevi ad una distanza di circa 30 cm dal

monitor, e fissate con l'occhio destro la croce. È importante fissare la croce senza muovere gli occhi.

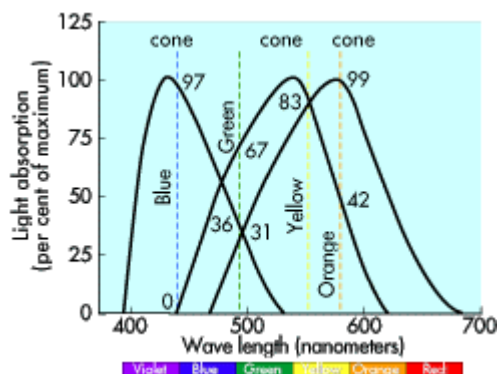
Muovendo avanti e indietro la testa, si dovrebbe notare che il pallino a destra scompare e riappare alternativamente. Questo perché, quando il pallino passa attraverso il punto cieco dell'occhio destro, il cervello usa l'area circostante (completamente bianca) per riempire il pezzo mancante.



Sensibilità spettrale

Le sottostanti curve visualizzano le sensibilità spettrali relative dei bastoncelli e dei coni.

I bastoncelli sono più sensibili dei coni alle lunghezze d'onda minori; viceversa, i coni sono più sensibili dei bastoncelli alle lunghezze d'onda maggiori.



Inoltre la sensibilità dell'occhio dipende dall'intensità della radiazione:

Visione scotopica

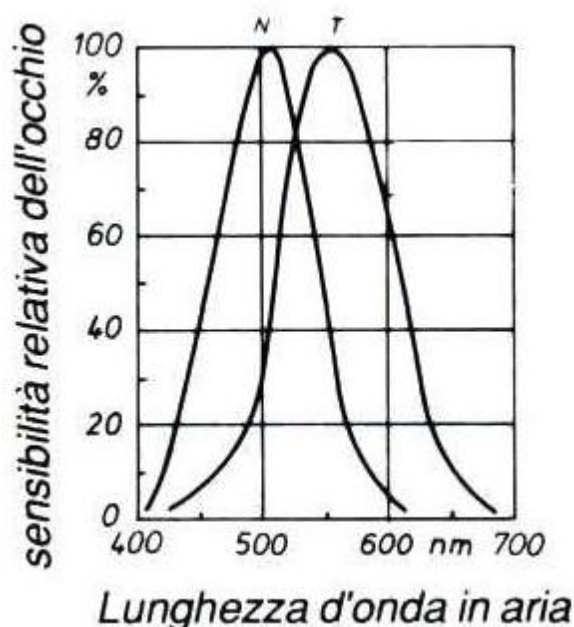
È la visione monocromatica dovuta unicamente all'attività dei bastoncelli della retina. Si tratta del tipo di visione che si ha quando il livello di illuminazione è molto basso e consente di rilevare differenze di brillantezza ma non differenze di cromaticità. Poiché la luce è percepita principalmente dai bastoncelli al bordo della retina, la sensibilità relativa è data dalla curva N della figura e ha il massimo a 507 nm.

Visione mesopica

È la visione dovuta all'attività contemporanea dei bastoncelli e dei coni della retina. Si tratta del tipo di visione che si ha quando il livello di illuminazione è intermedio e consente di rilevare differenze di colore.

Visione fotopica

È la visione a livelli di illuminazione normali. Poiché la luce è percepita principalmente dai coni al centro della retina, la sensibilità relativa $V(\lambda)$ è data dalla curva T della figura e ha il massimo a 555 nm.



Disfunzioni e malattie della visione

Nella comune accezione del termine, l'individuo normale è quello che, dal punto di vista visivo, non presenta anomalie o disfunzioni. Tuttavia, la visione normale, definita in termini tecnici **emmetropia**, implica la capacità del sistema visivo di fare in modo che l'immagine di un oggetto posto all'infinito (inteso come una distanza pari o superiore a 5 - 6 m) sia perfettamente focalizzata sulla retina. Questa condizione naturale permette di avere una visione nitida, ma non esclude la presenza di eventuali patologie.

Quando ci si allontana dall'emmetropia, si entra nel campo dei cosiddetti **vizi rifrattivi** o **ametropie**. Per ametropia si intende la condizione in cui l'immagine di un oggetto non va a fuoco sulla retina. Questa condizione costituisce la manifestazione evidente della presenza di uno o più dei vizi rifrattivi descritti qui di seguito.

Miopia

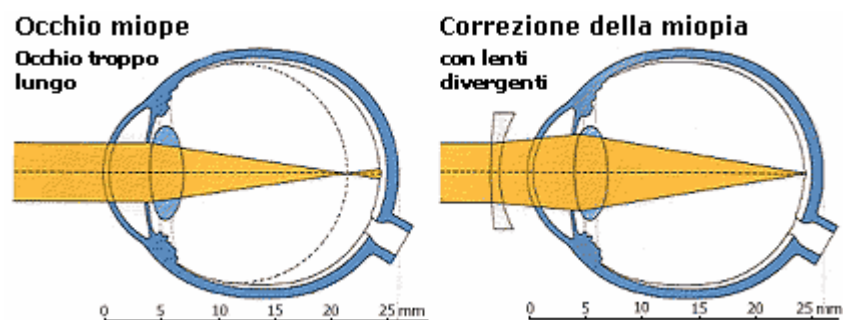
L'occhio focalizza le immagini di oggetti posti all'infinito anteriormente alla retina e non su di essa, come dovrebbe essere; ne consegue che la visione di tali oggetti risulta sbiadita e sfocata. La distanza tra il punto teorico e quello effettivo di formazione dell'immagine è proporzionale all'entità della miopia.

Il soggetto miope incontra difficoltà nel mettere a fuoco gli oggetti lontani, mentre a distanza ravvicinata ha generalmente una visione più nitida. In presenza di un'elevata miopia con alterazioni retiniche, la visione risulta imperfetta anche per oggetti vicini.

La miopia può essere congenita o acquisita. Quella congenita è legata a fattori ereditari e si manifesta precocemente anche in età prescolare. Quella acquisita può subentrare anche dopo lo sviluppo o in età adulta e può dipendere da fattori fisiologici, ambientali, posturali o da applicazioni prolungate a distanza ravvicinata.

Normalmente, l'evoluzione della miopia va di pari passo con lo sviluppo fisico, per cui possono esserci variazioni fino a quando questa fase non ha termine; tuttavia, la sua progressione può proseguire anche successivamente.

La miopia si compensa con lenti negative (divergenti).



Ipermetropia

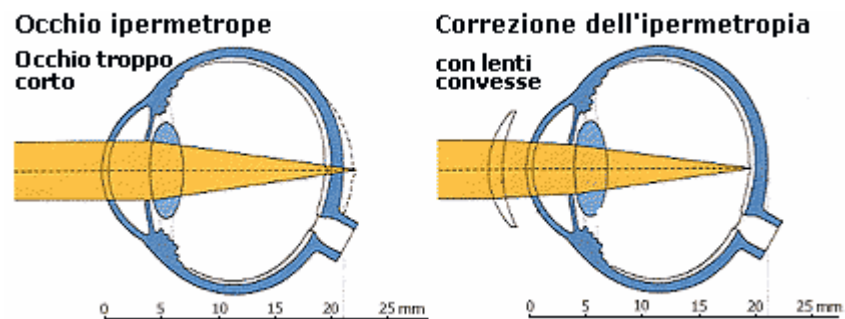
L'occhio focalizza le immagini di oggetti posti all'infinito posteriormente alla retina e non su di essa, come dovrebbe essere. La distanza tra il punto teorico e quello effettivo di formazione dell'immagine è proporzionale all'entità dell'ipermetropia.

In funzione dell'entità e dell'età, l'ipermetropia può essere manifesta o latente. Nei gradi leggeri ed in soggetti giovani, può essere esclusivamente latente in quanto compensata dal potere accomodativo, che rappresenta la capacità del sistema visivo di aumentare la propria potenza, grazie alla modificazione del

cristallino, e quindi di focalizzare gli oggetti al variare della loro distanza. Poiché il potere accomodativo diminuisce all'aumentare dell'età, si potranno manifestare un affaticamento eccessivo e disturbi vari nella visione da vicino, pur mantenendo una buona acuità visiva da lontano. Nei casi di ipermetropia più elevata e con l'avanzare dell'età, sarà più consistente la componente manifesta e si avranno quindi disturbi sia nella visione da lontano sia in quella da vicino. Una situazione analoga si potrà verificare anche nelle ipermetropie più lievi in età avanzata.

L'ipermetropia è quasi sempre di origine congenita. La causa è sovente un bulbo oculare di lunghezza insufficiente e/o una cornea e un cristallino di curvatura insufficiente. In generale, l'ipermetropia tende a ridursi spontaneamente con lo sviluppo corporeo per il progressivo allungamento del bulbo oculare.

L'ipermetropia si compensa con lenti positive (convergenti).



Astigmatismo

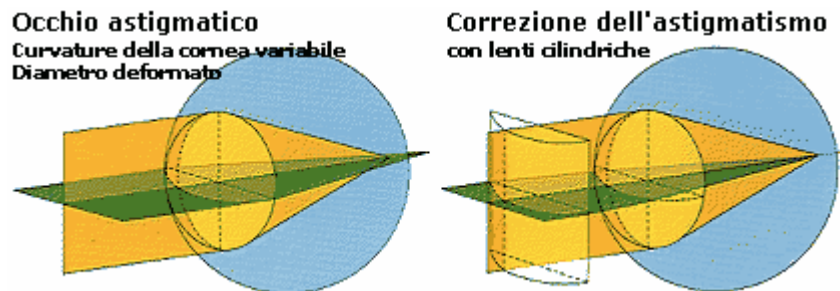
L'occhio non focalizza le immagini sulla retina allo stesso modo nelle diverse direzioni (meridiani); la causa è quasi sempre una differente curvatura della cornea nei vari meridiani. La forma della cornea assomiglia più a un'ellisse che a una sfera, con due meridiani principali: uno più curvo e l'altro più piatto. L'astigmatismo si manifesta perciò quando il bulbo oculare non dispone di un'ottica sferica e, di conseguenza, presenta due piani focali distinti invece di uno solo. La distanza tra i due piani focali è proporzionale all'entità dell'astigmatismo.

L'astigmatismo si manifesta con una visione più o meno sfocata sia da lontano sia da vicino, in funzione dell'entità del vizio. Può presentarsi con un meridiano emmetrope e l'altro ametropo, con entrambi miopi o ipermetropi, con uno miope e l'altro ipermetrope.

Anche l'astigmatismo è quasi sempre un'ametropia di tipo congenito, salvo i casi in cui si manifesta come

conseguenza di traumi o patologie. Normalmente, la sua entità non si modifica in modo rilevante nel corso della vita.

L'astigmatismo si compensa con lenti cilindriche o sferocilindriche.



Anisometropia

I due occhi presentano una differenza di difetto rifrattivo. Quando tale differenza supera determinati valori, viene meno la visione confortevole.

Si può avere anisometropia sia nel caso di miopia, ipermetropia e astigmatismo, sia nel caso di combinazione di ametropie diverse.

Diverso è il discorso nel caso della presbiopia, in quanto si tratta di un fenomeno degenerativo naturale conseguente all'invecchiamento.

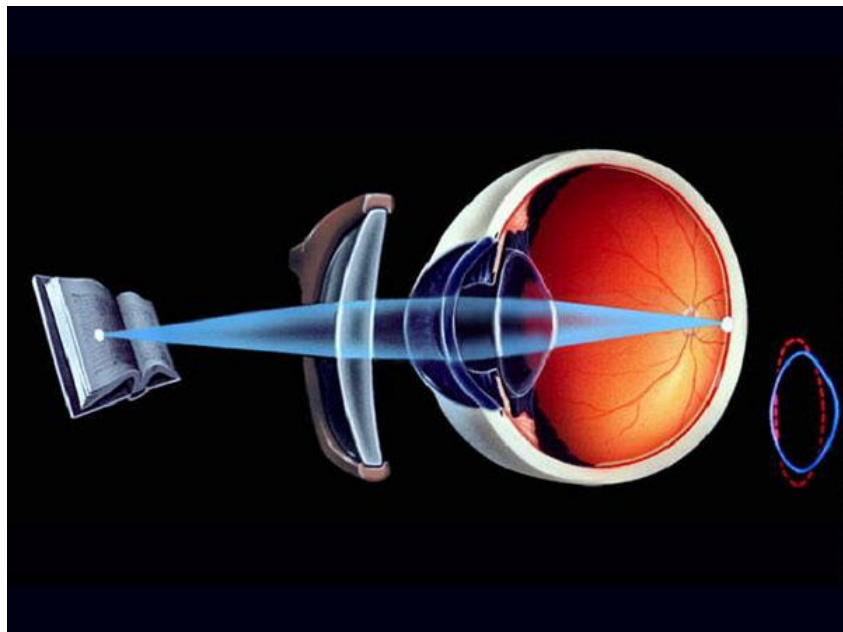
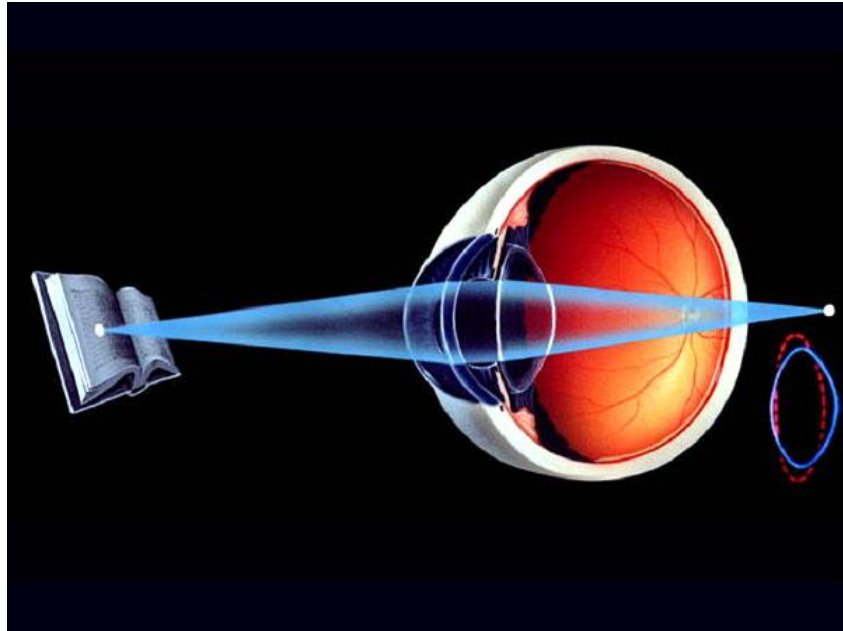
Presbiopia

L'occhio ha difficoltà nella messa fuoco di oggetti vicini a causa della perdita di elasticità del cristallino. L'entità della presbiopia è generalmente uguale in entrambi gli occhi e cresce all'aumentare dell'età.

Di solito, la presbiopia si manifesta attorno ai 40 anni. Se in una prima fase si può porvi rimedio allontanando l'oggetto osservato, con il passare degli anni è necessario ricorrere ad ausili ottici.

La progressiva perdita di elasticità del cristallino porta ad un aumento costante della presbiopia fino al raggiungimento di 60 anni circa, età in cui si ritiene subentri una stabilizzazione corrispondente alla perdita totale di accomodazione. Si ha quindi una profondità di visione nitida da vicino sempre più limitata.

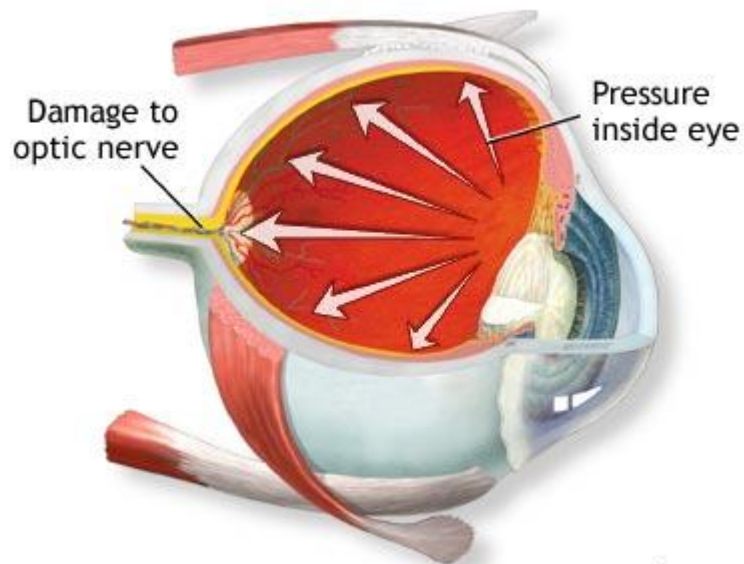
La presbiopia si può compensare con diversi tipi di lente, in funzione di specifiche condizioni ed esigenze: lenti a variazione di fuoco contenuto, lenti multifocali progressive, lenti bifocali, lenti monofocali.



Tra le malattie tipiche della visione sono da segnalare le seguenti:

Glaucoma

Consistente in una pressione interna eccessiva conseguente a un deflusso difficoltoso dell'umor acqueo che grava sulle delicate strutture interne del bulbo oculare e che può portare al loro danneggiamento.



ADAM.

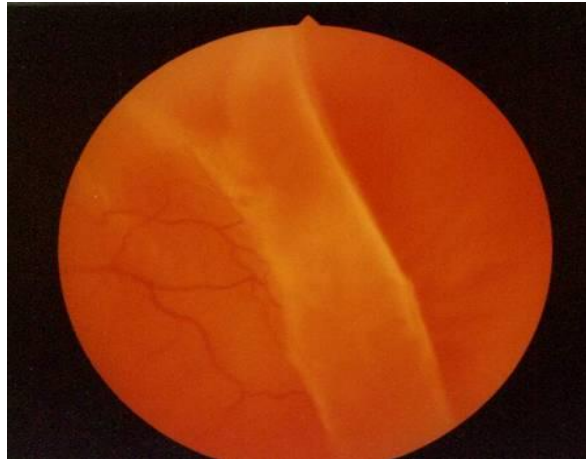
Cataratta

È una progressiva e costante opacizzazione del cristallino umano che interferisce o blocca del tutto il passaggio della luce necessaria ad una visione nitida. Per diversi motivi quali età, traumi, malattie (es. diabete), uso prolungato di certi farmaci o fattori eredo-familiari il cristallino perde la sua trasparenza. La cataratta può svilupparsi rapidamente o può essere lenta e progressiva. Comunemente i sintomi che si avvertono sono la riduzione della capacità visiva, una sua fluttuazione, un facile abbagliamento, spesso un peggioramento della visione contro luce ed un falso miglioramento della visione da vicino.



Assottigliamenti e rotture retiniche

Alla periferia della retina possono verificarsi delle alterazioni come assottigliamenti o rotture che possono essere causa di una malattia molto grave: il distacco della retina dalla parete interna dell'occhio, cui si pone rimedio solo con interventi chirurgici. Le lesioni sono più frequenti negli individui che subiscono traumi e negli individui con elevata miopia.



Daltonismo

Il termine ***daltonismo*** indica una condizione in cui si ha un'alterata percezione dei colori e deriva dal nome del ricercatore John Dalton che per primo nel 1794 descrisse il disturbo. Dalton era affetto da discromatopsia rosso-verde o, più precisamente, da deuteranopia.

Più precisamente si distingue in:

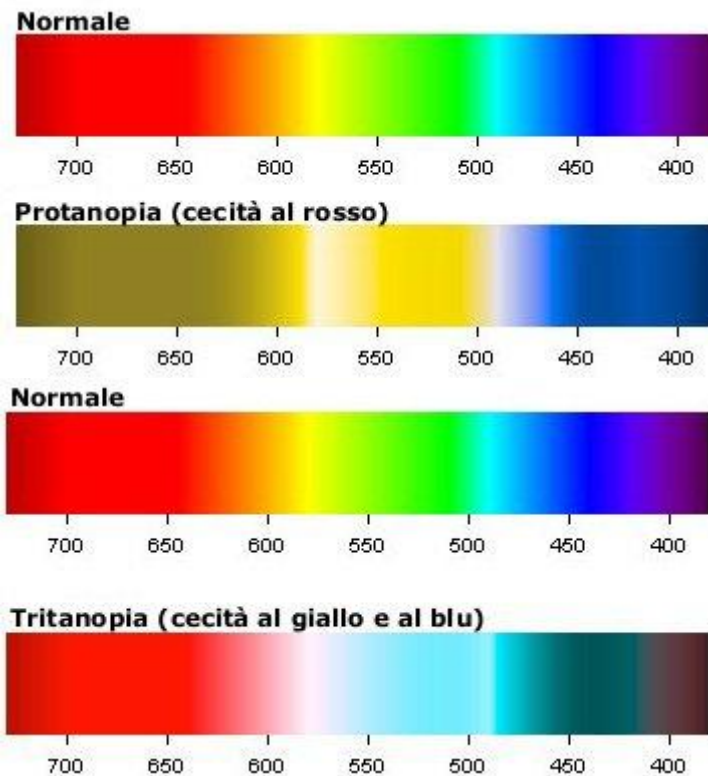
Acromatopsia

Deficit di visione di tutti e tre i colori fondamentali (rosso, verde e blu) che comporta una visione monocromatica.

Discromatopsie

Deficit di visione di uno dei tre colori fondamentali che comportano una visione bicromatica. Più in particolare si ha:

- Protanopia (insensibilità) e protanomalia (scarsa sensibilità) al rosso.
- Deuteranopia (insensibilità) e deuteranomalia (scarsa sensibilità) al verde.
- Tritanopia (insensibilità) e tritanomalia (scarsa sensibilità) al blu e giallo.



La causa più frequente di questa patologia è un'alterazione ereditaria dei fotorecettori.

Per questa ragione dobbiamo esaminare alcuni principi base della genetica. Nell'uomo si trovano 22 coppie di cromosomi omologhi e una coppia di cromosomi diversi, detti eterosomi o cromosomi sessuali.

Eterosomi		
Uomini	X	Y
Donne	X	X

La forma congenita dei disturbi rosso-verde sono dovuti ad una mutazione recessiva sul cromosoma X e sono, quindi legati, al sesso dell'individuo. Perché un soggetto sia daltonico per i disturbi rosso verde *non* deve avere neanche un cromosoma X "sano".

Poiché gli uomini hanno un solo cromosoma X, ereditato sempre dalla madre, devono avere una madre che sia portatrice o affetta dalla malattia per avere, rispettivamente, il 50% o il 100% di possibilità di esserne colpito. Al contrario, non è influente se il padre sia o meno daltonico, in quanto il figlio maschio non eredita mai il cromosoma X del padre.

Trasmissione del daltonismo negli uomini			
	Madre sana	Madre portatrice	Madre malata
Padre sano	Figlio sano (100%)	Figlio sano (50%) Figlio malato (50%)	Figlio malato (100%)
Padre malato	Figlio sano (100%)	Figlio sano (50%) Figlio malato (50%)	Figlio malato (100%)

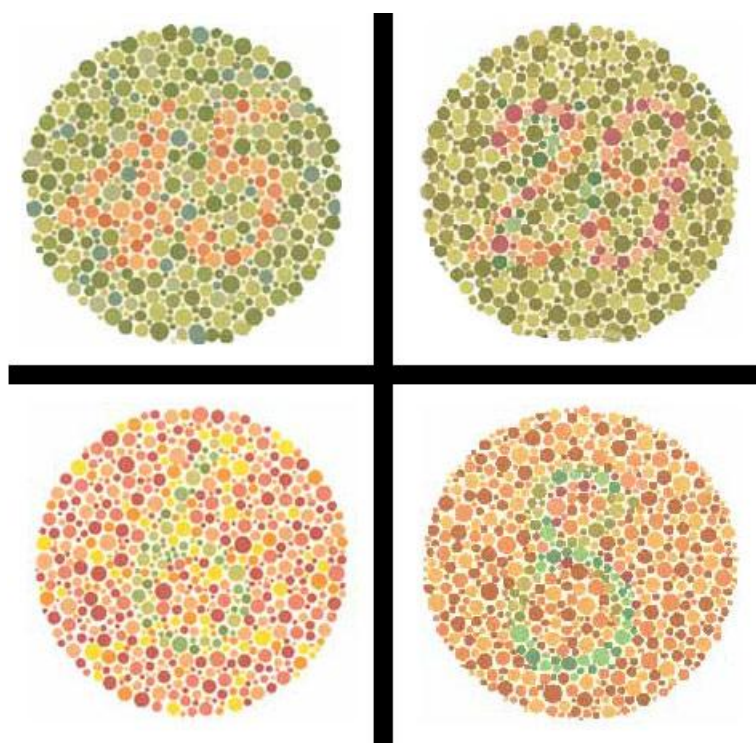
La figlia femmina, invece, ha due cromosomi X, uno materno e l'altro paterno e deve avere la madre portatrice o malata e il padre affetto da daltonismo per essere malata anche lei.

Trasmissione del daltonismo nelle donne			
	Madre sana	Madre portatrice	Madre malata
Padre sano	Figlia sana (100%)	Figlia sana (50%) Figlia portatrice (50%)	Figlia portatrice (100%)
Padre malato	Figlia portatrice (100%)	Figlia portatrice (50%) Figlia malata (50%)	Figlia malata (100%)

Questo spiega perché gli uomini siano maggiormente affetti da daltonismo rispetto alle donne. Infatti, essendo un difetto genetico sono colpiti entrambi gli occhi anche se, a volte, il deficit è espresso in modo diverso nei due occhi.

Incidenza del daltonismo nella popolazione mondiale				
Sesso	Protanopia	Protanomalia	Deuteranopia	Deuteranomalia
Uomini	1,01%	1,08%	1%	5%
Donne	0,02%	0,03%	0,1%	0,35%

La tritanopia e tritanomalia sono una condizione genetica molto rara causata da un'alterazione sul cromosoma 7 e omologo; quindi, non è legata al sesso (uomini e donne sono colpiti in ugual misura).



I deficit di sensibilità cromatica possono essere anche acquisiti; in questo caso possono essere *bilaterali* o *monolaterali*:

- L'opacità del cristallino può portare ad una lieve alterazione della sensibilità blu-giallo: le frequenze luminose sono tagliate dal cristallino opacizzato.
- Negli alcolisti si osserva una diffusa riduzione della sensibilità ai colori, maggiormente per il blu-giallo piuttosto che per il rosso-verde.
- Traumi cranici possono portare ad un'alterata sensibilità ai colori.

In soggetti affetti da maculopatia o otticopatie si può riscontrare un deficit del senso cromatico.

Limitazioni dell'occhio normale

Gli occhi funzionano dalla nascita e già nelle prime settimane di vita è evidente una sensibilità ai colori.

Dai 5 ai 25 anni si nota generalmente un rapido miglioramento della capacità di selezionare i colori. In media, la sensibilità cromatica è massima a 25 anni; in seguito, la capacità di selezionare i colori tende a diminuire lentamente ma costantemente.

A 65 anni, il fenomeno diventa rilevante per i seguenti motivi:

- perdita di trasparenza dell'umor acqueo, del cristallino e dell'umor vitreo,
- contrazione del campo visivo periferico,
- ingiallimento del cristallino.

La radiazione, entrando nell'occhio, attraversa la cornea, l'umor acqueo, la pupilla, il cristallino, l'umor vitreo e giunge quindi sul fondo del bulbo oculare, dove viene assorbita in parte dalla retina e in parte dalla coroide e degradata in calore.

Lungo il percorso descritto, la composizione spettrale della radiazione luminosa subisce un'alterazione per effetto dell'assorbimento dei mezzi attraversati. Le modifiche più importanti sono quelle che si verificano nel cristallino e nella macula lutea.

Il cristallino causa un assorbimento che è sensibile per le radiazioni a 400 nm e che diminuisce progressivamente all'aumentare della lunghezza d'onda, fino ad annullarsi a circa 500 nm. Di conseguenza, la radiazione luminosa che ha attraversato il cristallino risulta sensibilmente impoverita di viola e limitatamente di blu.

Il cristallino, che è trasparente e quasi incolore nei giovani, tende a diventare sempre più giallo con il passare degli anni. A questa degradazione si sommano, anche se in misura minima, quelle della cornea, dell'umor acqueo e dell'umor vitreo. Gli anziani sono quindi meno sensibili dei giovani al viola e al blu.

La macula lutea, o macchia gialla perché di colore giallo-bruno, ha la funzione di proteggere la fovea centrale, che è la zona più importante e delicata dell'occhio, dalle sovrastimolazioni dovute alle radiazioni viola e blu.

La sensibilità relativamente scarsa dell'occhio normale nel giallo e nell'arancione è dovuta alla pigmentazione della macula lutea.

Il grado di pigmentazione del cristallino e della macula lutea varia non solo da individuo a individuo, ma anche nel tempo. Questa è una delle cause principali della disparità di giudizio tra soggetti diversi e della scarsa riproducibilità di giudizio nel tempo dello stesso soggetto.

Oltre alle limitazioni già illustrate che non permettono all'uomo di valutare i colori in maniera oggettiva e riproducibile nel tempo, quella più grave è la mancanza di memoria dei colori. L'individuo non è quindi in grado di riconoscere se un colore è uguale (qualitativamente e quantitativamente) ad un altro esaminato in precedenza, anche a breve distanza di tempo, perché non ha potuto memorizzare la sensazione provata.