

## ***Materiali per Lenti Oftalmiche***

I materiali per la costruzione delle lenti si dividono in:

- **MATERIALI VETROSI** (Lenti minerali)
- **MATERIALI PLASTICI** (Lenti organiche)

Per circa sei secoli, il vetro ha rappresentato l'unico materiale utilizzato per la produzione di lenti oftalmiche e così è stato fino al secondo dopoguerra quando sono apparsi i primi materiali plastici trasparenti.

Attualmente, lenti di tutti i tipi vengono realizzate, oltre che in vetro, anche con diversi polimeri organici che, per le loro caratteristiche fisiche ed il loro potere di rifrazione, vengono chiamati "polimeri ottici".

Considerando i vari materiali ottici, le caratteristiche principali sono:

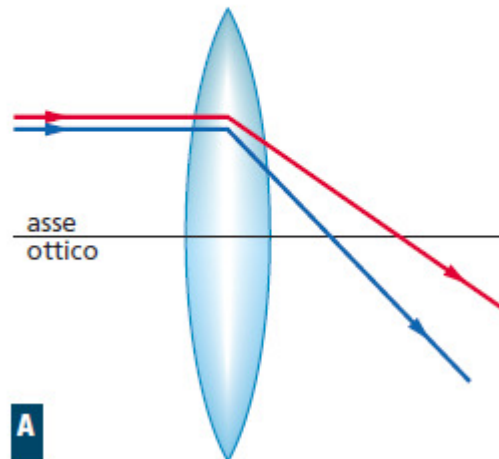
- **Indice di rifrazione**
- **Peso specifico** (da cui dipende il peso dell'occhiale: le lenti in polimero ottico pesano circa la metà delle corrispondenti lenti in vetro)
- **Numero di Abbe o Coefficiente di dispersione cromatica**
- **Riflettanza** ( $I_R/I_0$ )
- **Trasmittanza** ( $I_T/I_0$ )

## Numero di Abbe

Il numero di Abbe (che prende il nome dal fisico, ottico e imprenditore tedesco Ernst Abbe) è un indice che misura la **dispersione cromatica** di un materiale trasparente alle lunghezze d'onda del visibile.

In pratica esprime la tendenza del mezzo ottico a scomporre la luce bianca nei colori fondamentali che la compongono, compromettendo la nitidezza dell'immagine.

► Il raggio di luce blu si piega più del raggio rosso dopo che ha attraversato la lente. Quindi i due raggi rifratti non passano per un unico punto.



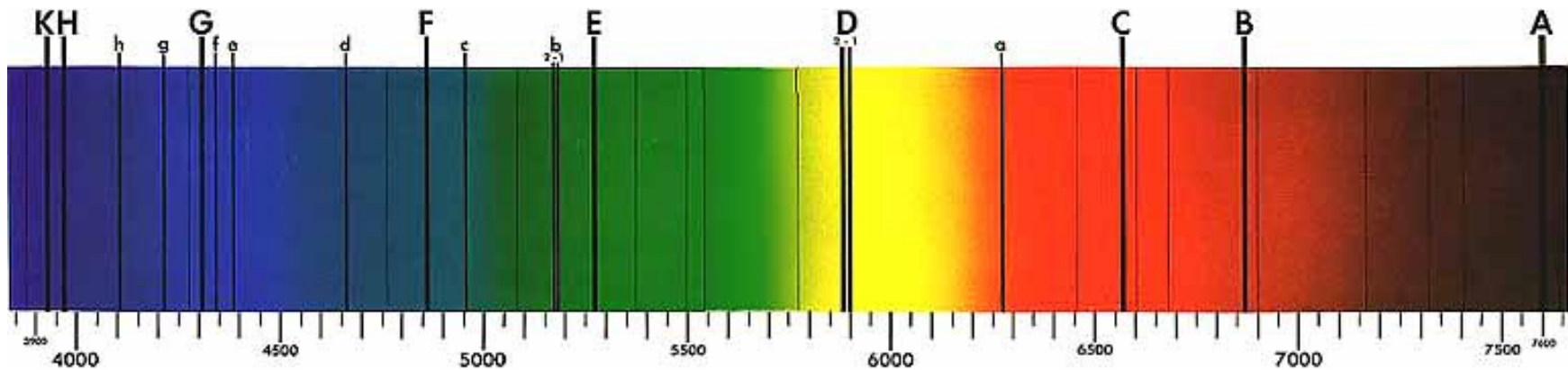
► La diversa rifrazione dei colori produce delle frange colorate intorno all'immagine di un oggetto formata da una lente (*aberrazione cromatica*).



## Numero di Abbe

$$V_D = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

dove  $n_D$ ,  $n_F$  e  $n_C$  sono gli indici di rifrazione del materiale alle lunghezze d'onda delle linee spettrali di Fraunhofer **D (589.2 nm)**, **F (486.1 nm)** e **C (656.3 nm)** rispettivamente.



Fu una scoperta di Fraunhofer che la luce solare scomposta da un prisma mostrasse delle righe scure, appunto in seguito denominate Linee di Fraunhofer.

Si deve ad egli la classificazione delle suddette linee per mezzo di lettere dell'alfabeto.

Fu una osservazione di Kirkoff che le linee **D** corrispondessero al doppietto giallo del sodio.

Designation	Element	Wavelength (nm)
c	Fe	495.761
F	H $\beta$	486.134
d	Fe	466.814
e	Fe	438.355
G'	H $\gamma$	434.047
G	Fe	430.790
G	Ca	430.774
h	H $\delta$	410.175
H	Ca <sup>+</sup>	396.847
K	Ca <sup>+</sup>	393.368
L	Fe	382.044
N	Fe	358.121
P	Ti <sup>+</sup>	336.112
T	Fe	302.108
t	Ni	299.444

Designation	Element	Wavelength (nm)
y	O <sub>2</sub>	898.765
Z	O <sub>2</sub>	822.696
A	O <sub>2</sub>	759.370
B	O <sub>2</sub>	686.719
C	H $\alpha$	656.281
a	O <sub>2</sub>	627.661
D <sub>1</sub>	Na	589.592
D <sub>2</sub>	Na	588.995
D <sub>3</sub> or d	He	587.5618
e	Hg	546.073
E <sub>2</sub>	Fe	527.039
b <sub>1</sub>	Mg	518.362
b <sub>2</sub>	Mg	517.270
b <sub>3</sub>	Fe	516.891
b <sub>4</sub>	Fe	516.891
b <sub>4</sub>	Mg	516.733

## Numero di Abbe

dove  $n_D$ ,  $n_F$  e  $n_C$  sono gli indici di rifrazione del materiale alle lunghezze d'onda delle linee spettrali di Fraunhofer **D** (589.2 nm), **F** (486.1 nm) e **C** (656.3 nm).

$$V_D = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

$\lambda$ in nm	Fraunhofer's symbol	Light source	Color
365.01	i	Hg	UV
404.66	h	Hg	violet
435.84	g	Hg	blue
479.99	F'	Cd	blue
486.13	F	H	blue
546.07	e	Hg	green
587.56	d	He	yellow
589.3	D	Na	yellow
643.85	C'	Cd	red
656.27	C	H	red
706.52	r	He	red
768.2	A'	K	IR
852.11	s	Cs	IR
1013.98	t	Hg	IR

$$V_D = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

Per come è definito, in particolare a causa del fatto che è a denominatore la differenza di indici di rifrazione a lunghezze d'onda diverse, **un numero di Abbe inferiore indica un materiale più dispersivo.**

Pertanto **un materiale avrà caratteristiche ottiche tanto migliori quanto più grande è il numero di Abbe.**

Definizioni alternative possono essere date usando gli indici di rifrazione a lunghezze d'onda leggermente diverse; ciò viene indicato con un pedice corrispondente alla riga utilizzata.

Ad esempio:

$$V_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$$

definisce il numero di Abbe rispetto alla linea d di Fraunhofer (linea D3-d-dell'elio) a 587.6 nm.

$\lambda$ in nm	Fraunhofer's symbol	Light source	Color
365.01	i	Hg	UV
404.66	h	Hg	violet
435.84	g	Hg	blue
479.99	F'	Cd	blue
486.13	F	H	blue
546.07	e	Hg	green
587.56	d	He	yellow
589.3	D	Na	yellow
643.85	C'	Cd	red
656.27	C	H	red
706.52	r	He	red
768.2	A'	K	IR
852.11	s	Cs	IR
1013.98	t	Hg	IR

Oppure:

$$V_e = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}$$

definisce il numero di Abbe rispetto alla linea verde del mercurio a 546.07 nm e F' e C' del cadmio a 480 nm and 643.8 nm

$\lambda$ in nm	Fraunhofer's symbol	Light source	Color
365.01	i	Hg	UV
404.66	h	Hg	violet
435.84	g	Hg	blue
479.99	F'	Cd	blue
486.13	F	H	blue
546.07	e	Hg	green
587.56	d	He	yellow
589.3	D	Na	yellow
643.85	C'	Cd	red
656.27	C	H	red
706.52	r	He	red
768.2	A'	K	IR
852.11	s	Cs	IR
1013.98	t	Hg	IR

Per esprimere le **caratteristiche ottiche** di una lente ci serviamo pertanto di due indici:

- indice di rifrazione
- numero di Abbe

Per aumentare l'indice di rifrazione delle lenti vengono impiegati particolari ossidi metallici che hanno lo svantaggio di aumentarne il peso specifico.

La qualità delle lenti dipende anche dalle **proprietà meccaniche**:

**Resistenza all'urto**: è il problema del vetro che deve essere temperato per poter essere di sicurezza. I polimeri ottici sono invece resistenti all'urto.

**Resistenza al graffio**: la situazione si inverte. Il vetro presenta una elevata resistenza al graffio mentre i polimeri ottici, ad eccezione del CR39 e dei suoi derivati, necessitano di un trattamento antigraffio per ottenere una resistenza al graffio adeguata

# Lenti inorganiche

## Vetro Crown

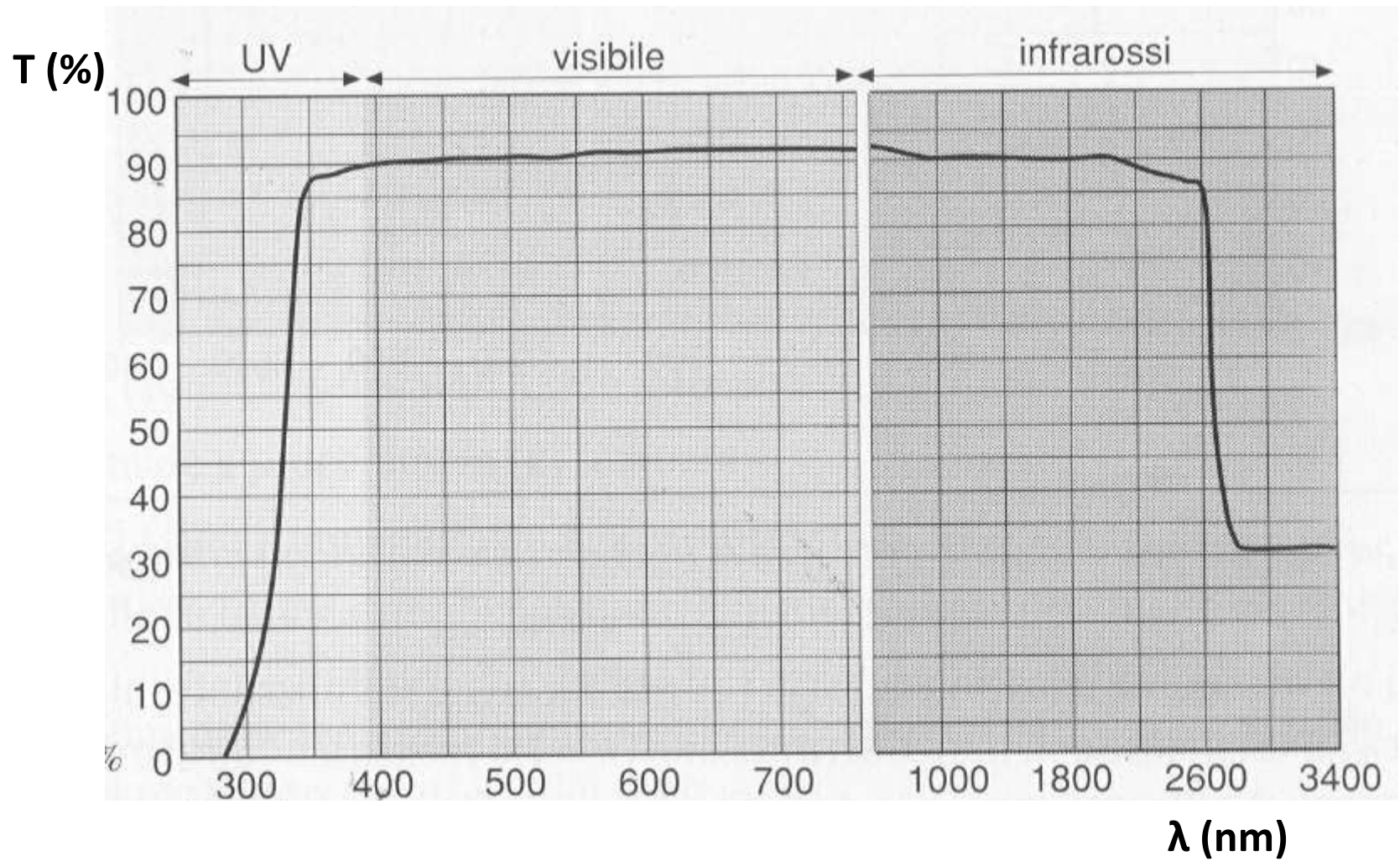
Si tratta di una lente minerale con buone proprietà ottiche:

- indice di rifrazione  $n = 1,523$
- numero di Abbe = 59

Presenta due inconvenienti principali:

- E' fragile quindi si può rompere in caso di urto o di caduta;
- Ad elevati poteri correttivi il peso e lo spessore sono accentuati.

Il vetro crown permette una trasmittanza della luce visibile pari a circa il 92%.



Il vetro crown permette una trasmittanza della luce visibile pari a circa il 92%.

## **Vetri a medio indice**

Sono stati introdotti sul mercato per ovviare all'inconveniente di lenti a spessore elevato che si ha con lenti in crown.

- indice di rifrazione  $n = 1,6$
- numero di Abbe = 43

Questo tipo di lenti permettono di avere una riduzione di spessore di circa il 10- 15% rispetto a una lente crown.

## **Vetri a alto indice**

I vetri ad alto indice si dividono in:

### **Vetri al Titanio**

- indice di rifrazione  $n = 1,7$
- numero di Abbe = 40

### **Vetri al Lantanio**

- indice di rifrazione  $\geq 1,8$
- numero di Abbe  $\geq 35$

### **Vetri alle Terre rare**

- indice di rifrazione = 1,9
- numero di Abbe = 38

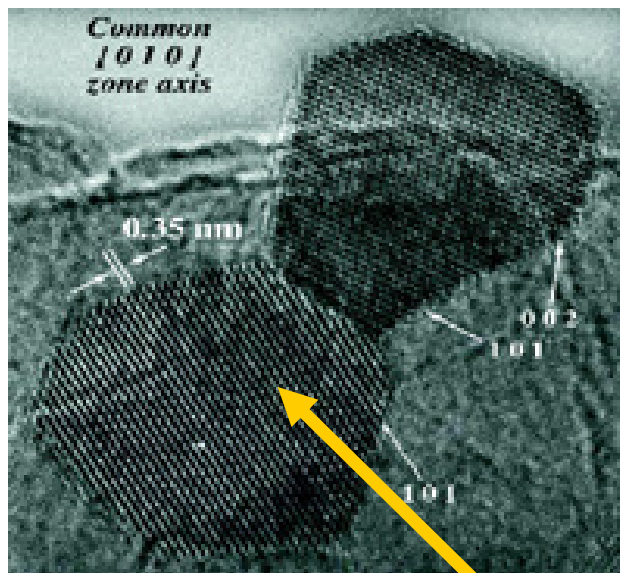
Questo tipo di lenti si raccomandano per correzioni elevate.

LENTI MINERALI (VETRO)				LENTI ORGANICHE			
MATERIALE	n	Abbe	PS	MATERIALE	n	Abbe	PS
Crown	1.523	58.8	2.61	CR-39	1.49	59	1.3
Titanio	1.7	30-40-50	3.21	Trivex	1.52	43	1.1
Lantano	1.8	35	3.65	Policarbonato	1.58	30	1.2
Lantano	1.9	31	3.99		6		

## Perché il vetro è trasparente?

L'opacità o la non trasparenza è conferita dalla presenza dei bordi di grano ossia da difetti intrinseci nei cristalli che aumentano la diffusione della luce.

Un cristallo perfetto è trasparente, lascia passare la luce, ma un'insieme di piccoli cristalli accoppiati diffonde la luce in ogni direzione e perde quindi la sua trasparenza.



Il vetro, essendo amorfo e quindi privo di struttura cristallina non presenta bordi di grano. Se si frantuma un vetro e si riduce in polvere perde la sua trasparenza.

Bordo di grano

## LENTI OFTALMICHE IN MATERIALE ORGANICO

Le lenti in materiale organico sono disponibili in svariati indici di rifrazione che vanno dall' 1,50 del classico materiale organico chiamato CR39, all' 1,67 e all' 1,74 dei relativamente nuovi materiali organici con i quali si ottengono lenti sottili come o più di quelle al titanio, con il grande vantaggio dell'infrangibilità e di una notevole riduzione di peso.

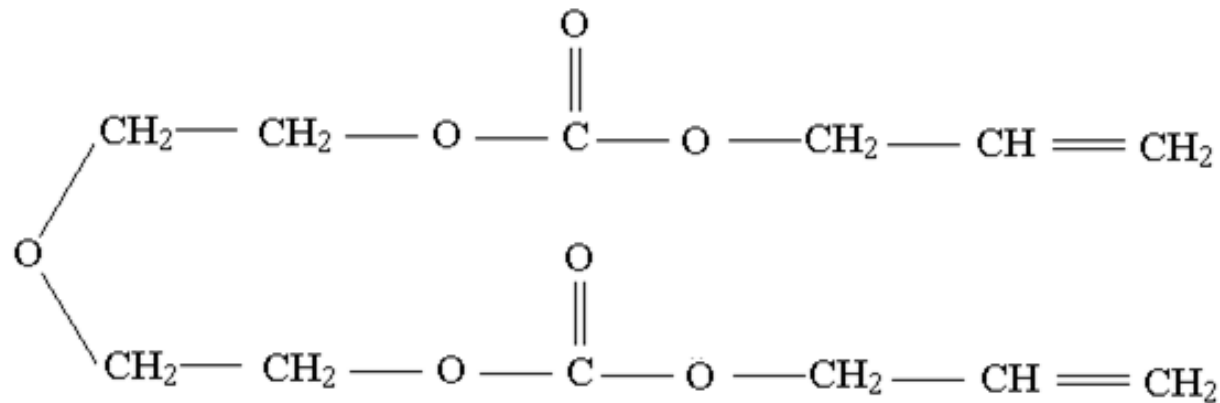
Il lato negativo dei materiali organici in genere, è dato dalla scarsa resistenza alle abrasioni, difetto che comunque è stato attenuato dai nuovi trattamenti indurenti applicati alle superfici, anche in accoppiamento al trattamento antiriflesso multistrato e ad un altro trattamento che ne facilita la pulizia.



Il **CR39** o **poliallil-diglicol-carbonato** (PADC) è un polimero plastico appartenente al gruppo allilici.

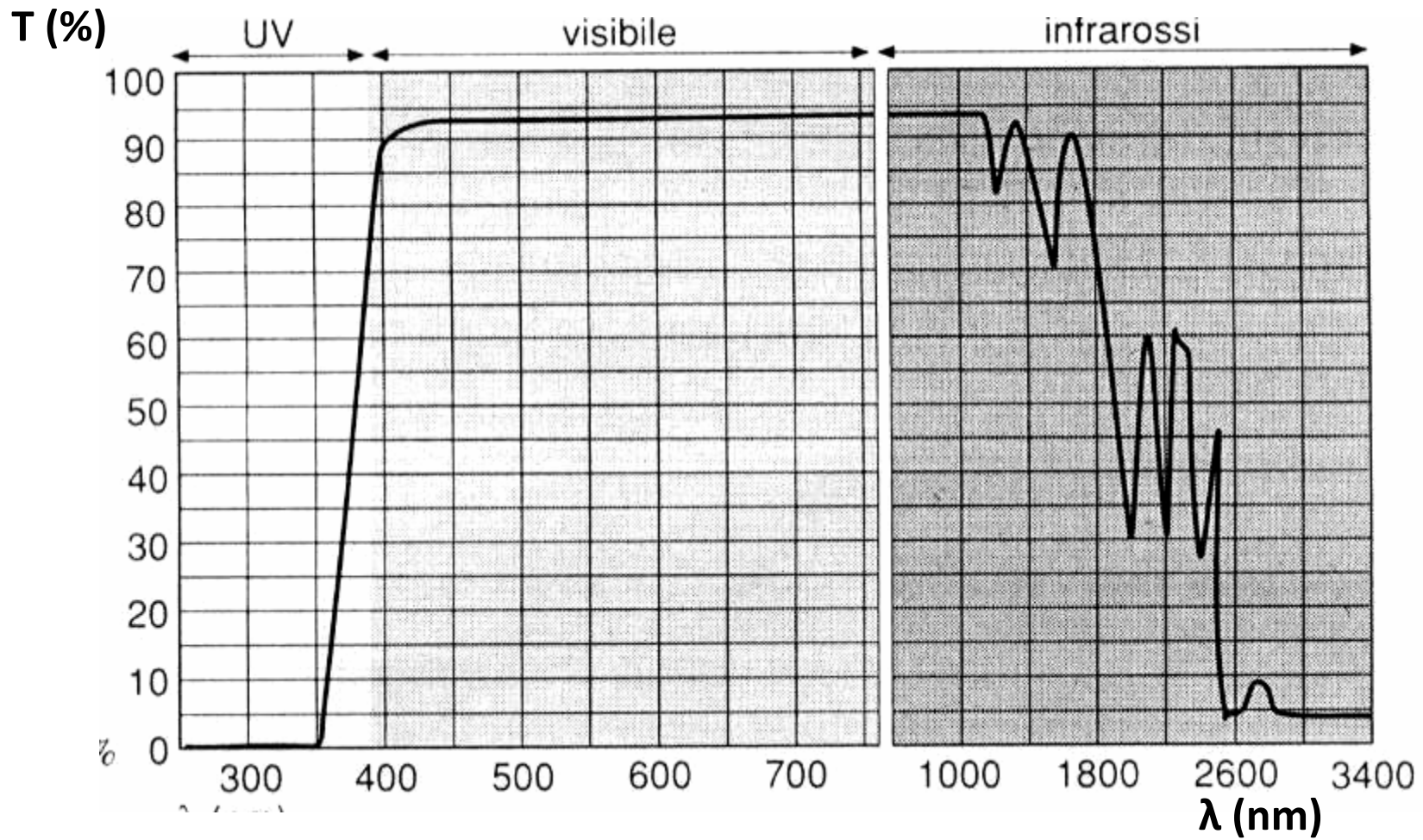
Il suo nome deriva dal fatto di essere il trentanovesimo composto studiato nell'ambito di un progetto per la ricerca di resine trasparenti da parte di una divisione della PPG Industries (**Pittsburgh Plate Glass Company**); tale progetto era denominato «Columbia Resins»

Caratterizzato da peso molecolare elevato, con doppi legami che consentono la formazione di macromolecole reticolate e di *cross-link*.



Questo polimero garantisce proprietà ottiche e meccaniche, vantaggiose rispetto al vetro, nella realizzazione di lenti oftalmiche perché:

- è infrangibile
- è resistente ai graffi e all'abrasione grazie alla reticolazione delle macromolecole
- ha circa lo stesso indice di rifrazione del vetro (1.49 @ 546nm)
- ha bassa dispersione cromatica (numero di Abbe ~ 59)
- ha una densità di 1,3 g/cm<sup>3</sup>, circa la metà del vetro con resistenza all'impatto 4 volte superiore
- è chimicamente inerte
- resiste all'appannaggio
- è facilmente colorabile
- ha assorbimento da  $\lambda < 360\text{nm}$
- presenta una trasmittanza della luce visibile pari a circa il 93%

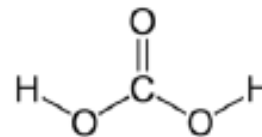
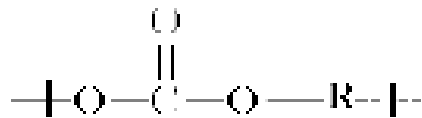


Il CR39 presenta una trasmittanza della luce visibile pari a circa il 93%, quindi superiore al crown, ed inoltre taglia tutti i raggi U.V: inferiori a 350nm.

## POLICARBONATO

noto con la sigla PC, Lexan, Makrolon, Resartglas

In generale appartengono alla famiglia dei **policarbonati** i poliesteri dell'acido carbonico.

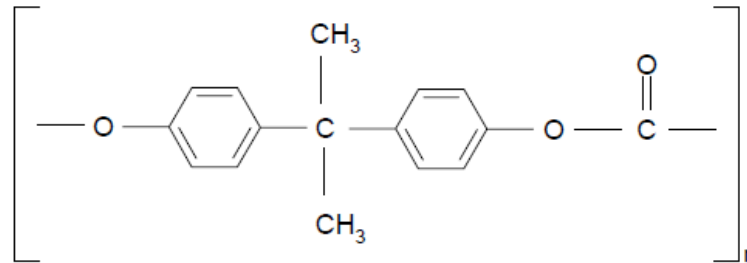


Formula acido carbonico

I primi studi su questo polimero risalgono al 1928 da parte di E. I. Carothers della DuPont.

Lo sfruttamento commerciale del materiale avviene solo intorno al 1960 da parte della Bayer e della General Electric, in entrambi i casi si tratta del policarbonato di bisfenolo A.

## policarbonato da bisfenolo A



è un materiale plastico trasparente usato per realizzare lenti leggere e infrangibili.

Il policarbonato presenta una struttura con limitata libertà di rotazione attorno ai legami assiali della catena polimerica con conseguente irrigidimento della stessa. L'impacchettamento delle macromolecole risulta difficile e la cristallizzazione non avviene spontaneamente.

Il polimero può cristallizzare attraverso prolungato riscaldamento ad elevata temperatura (180°C per otto giorni).

Il policarbonato di bisfenolo-A è

- è termicamente resistente (fino a 130°C-140°C),
- è resistente ai graffi e abrasione
- ha indice di rifrazione pari a 1.586 @ 546nm,
- ha assorbimento da  $\lambda < 380$  nm
- ha trasmissività VIS dell'ordine del 89%
- ha dispersione cromatica significativa (numero di Abbe 30)
- ha densità 1.2 g/cm<sup>3</sup>,
- è facilmente lavorabile e resistente ai post-trattamenti,
- è curvabile a freddo,
- ha elevate proprietà meccaniche.



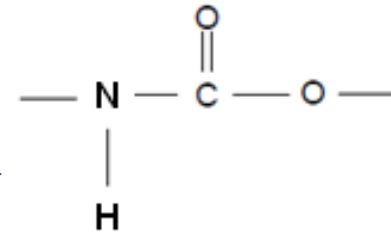
# TRIVEX

*Trivex* è un materiale sviluppato nel 2001 dalla PPG, che unisce la resistenza meccanica del policarbonato con una grande qualità ottica e una grande leggerezza.

Il materiale *Trivex* si basa sulla formulazione chimica del poliuretano (la catena polimerica è costituita di legami uretanici -NH-(CO)-O-), similamente a numerosi materiali per lenti oftalmiche.

I ricercatori di PPG Industries hanno scoperto il modo di perfezionare la molecola di base del poliuretano arricchendola con l'azoto.

Il risultato è un materiale per lenti che non solo vanta proprietà ottiche avanzate ma è anche eccezionalmente resistente e ultraleggero.



Le sue caratteristiche sono:

- Indice di rifrazione 1,52 simile a quello del CR-39 e del vetro crown.
- Numero di Abbe 43, sufficientemente elevato da non dare problemi di aberrazione cromatica.
- Densità 1,1 g/cm<sup>3</sup>: è il materiale più leggero disponibile per la produzione di lenti oftalmiche.
- Opacità ai raggi UV.

Diversi produttori offrono lenti in Trivex con differenti nomi commerciali (“Phoenix” per Hoya, “Trilogy” per Younger Optics, ecc.).

LENTI MINERALI (VETRO)				LENTI ORGANICHE			
MATERIALE	n	Abbe	Densita' (g/cm <sup>3</sup> )	MATERIALE	n	Abbe	Densita' (g/cm <sup>3</sup> )
Crown	1.523	58.8	2.61	CR-39	1.49	59	1.3
Titanio	1.7	30-40-50	3.21	Trivex	1.52	43	1.1
Lantano	1.8	35	3.65	Policarbonato	1.59	30	1.2
Lantano	1.9	31	3.99				

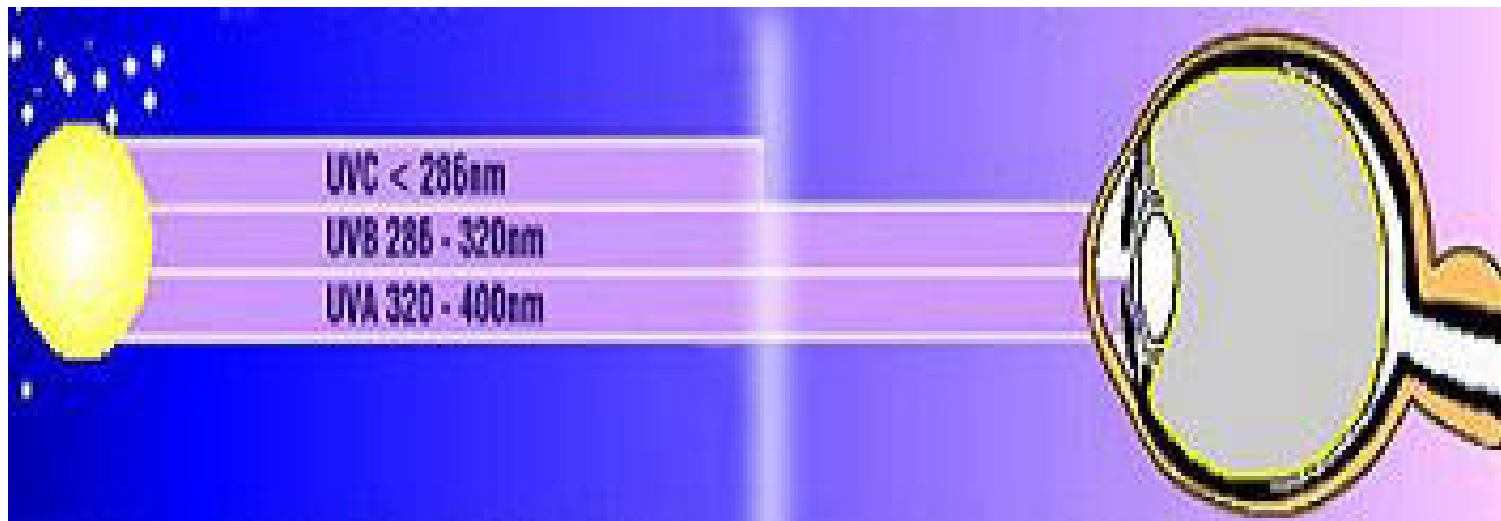
## **LENTI ASSORBENTI**

Le lenti assorbenti hanno lo scopo di proteggere l'occhio dalle radiazioni dannose dello spettro elettromagnetico. In particolare i filtri assorbenti devono:

- Eliminare completamente i raggi UV (lunghezze d'onda da 280 a 390 nm) che risultano essere causa di danni sia a livello della cornea che a livello del cristallino;
- Eliminare la trasmissione dei raggi infrarossi (lunghezze d'onda da 760 a 15000 nm) che possono causare danni alla retina o al cristallino;
- Lasciare invariata la percezione cromatica dei colori.

I raggi UV costituiscono complessivamente circa l'8% della radiazione solare, il 75% dei quali è UV-A, il 19% è UV-B ed il 6% è UV-C.

- I raggi UV-A (315-400 nm) viene assorbito in gran parte dal cristallino
- I raggi UV-B (280-315 nm) viene assorbito dall'ozono dalla cornea ed in parte dal cristallino
- I raggi UV-C (100-280 nm), viene assorbito in gran parte dall'ossigeno atmosferico



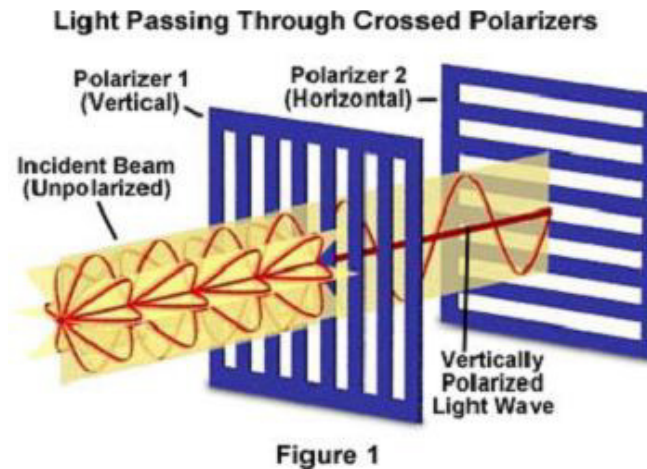
## **LENTI DI SICUREZZA**

Appartengono a questa categoria le lenti TEMPERATE. Il trattamento di tempera su lenti in vetro ha lo scopo di aumentare la compattezza della struttura del vetro in modo da renderlo più resistente agli urti. La procedura di tempera termica prevede un riscaldamento del vetro ad alte temperature e poi un rapido raffreddamento con getti di aria o di acqua su entrambe le superfici della lente.

Questo trattamento prevede di avere delle lenti più resiste di circa 2-3 volte rispetto ad una lente non trattata.

Oltre alla tempera termica esiste anche una tempera chimica che funziona per immersione della lente in sostanze chimiche sottoposte ad una temperatura di circa 450°.

## LENTI POLARIZZATE



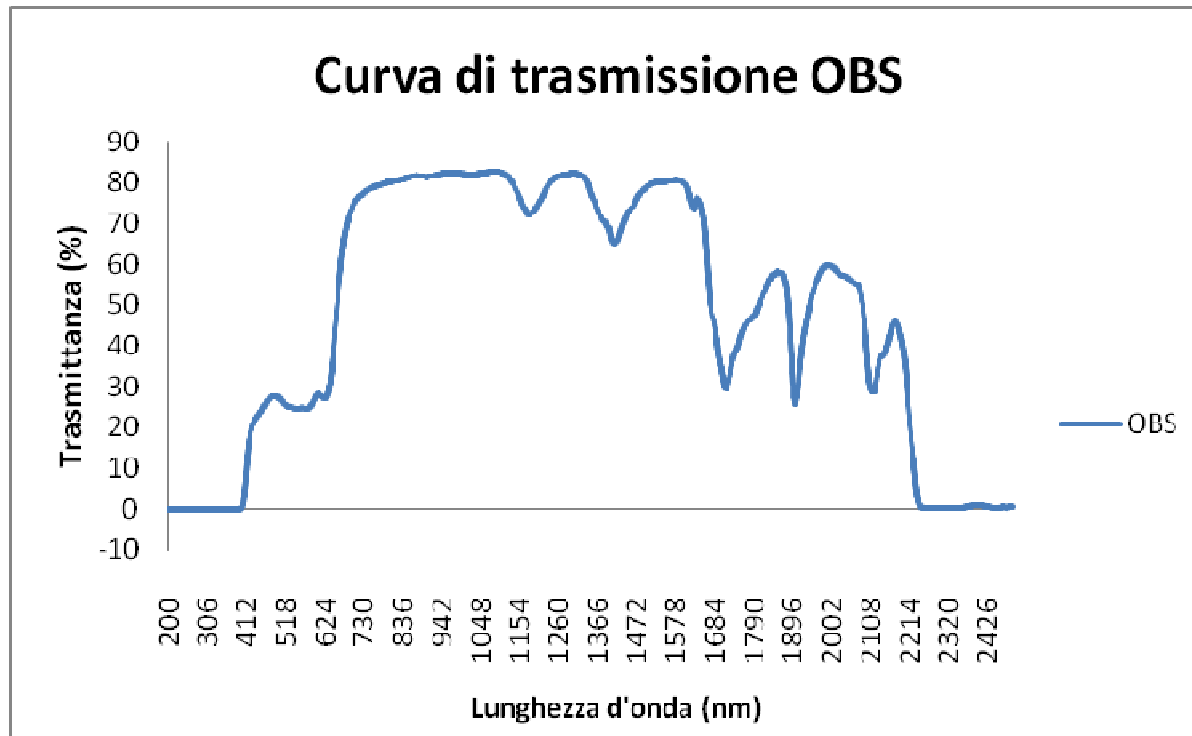
### Come funzionano le lenti polarizzate?

La luce riflessa da una superficie come una strada in piano o l'acqua calma è generalmente polarizzata orizzontalmente. Questa luce polarizzata orizzontalmente è bloccata dalle lenti con asse di polarizzazione verticale.

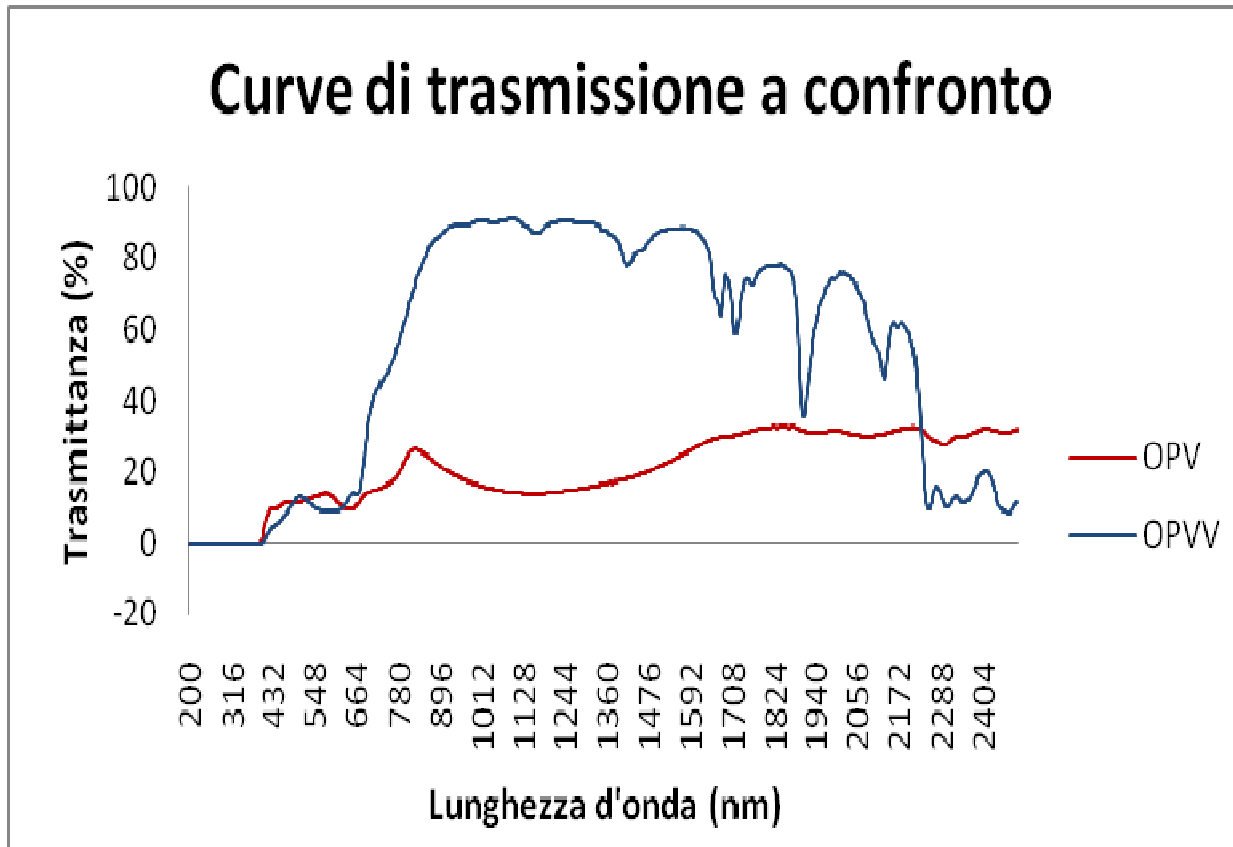
### Qual'è la differenza tra una lente polarizzante e una normale lente colorata ?

Le normali lenti da sole diminuiscono solo la trasmissione della luce riducendone l'intensità mentre le lenti polarizzanti eliminando i raggi riflessi permettono una visione più confortevole, aumentano la profondità di campo e migliorano la percezione dei colori.

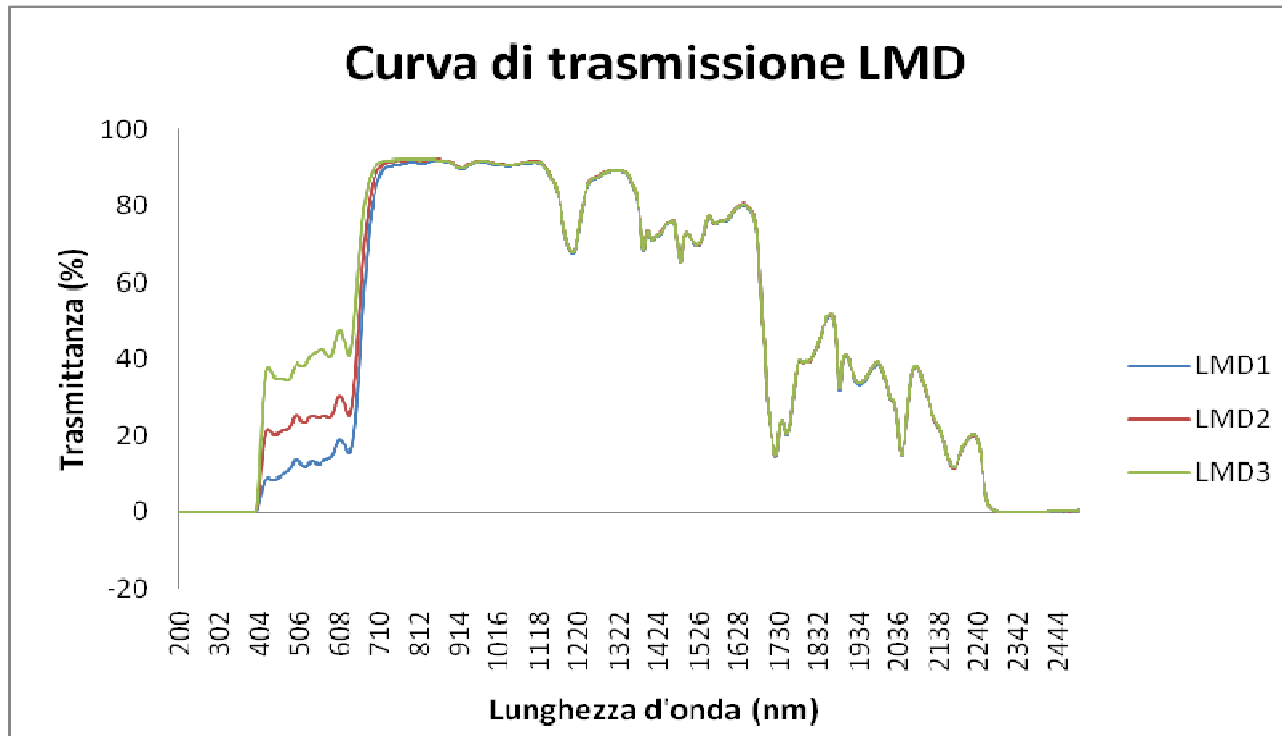
## CURVE DI TRASMISSIONI PER ALCUNE LENTI IN COMMERCIO



*Curva di trasmissione di un occhiale con lenti blu specchiate*



*Curva di trasmissione di occhiali con lenti verdi (apparentemente uguali)*



*Curva di trasmissione di un occhiale con lenti marroni degradanti:  
 parte alta della lente (con opacità maggiore) (LMD1),  
 parte centrale della lente (con opacità intermedia) (LMD2)  
 parte inferiore (quella con opacità minore) (LMD3).*

# I POLIMERI PER LENTI A CONTATTO

I polimeri utilizzati per realizzare le lenti a contatto sono classificati in quattro gruppi:

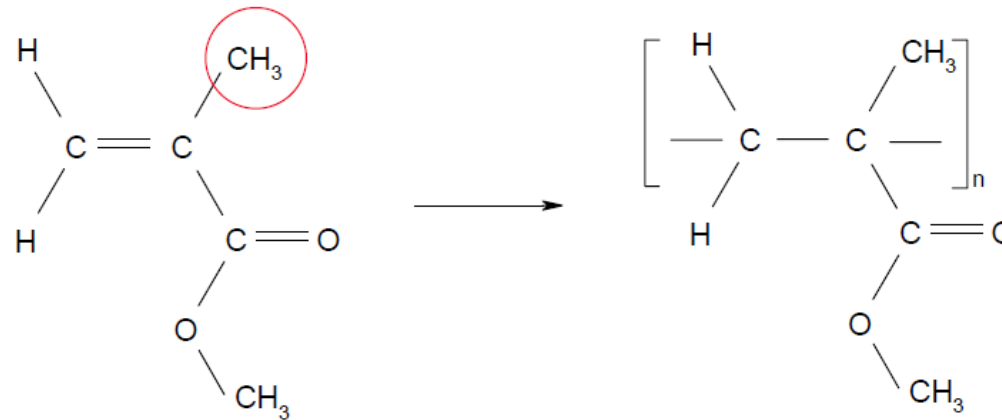
1. termoplastici
2. elastomeri sintetici
3. copolimeri ibridi rigidi permeabili (RGP – rigid gas permeable)
4. idrogel

## **I POLIMERI TERMOPLASTICI PER LENTI A CONTATTO**

Sono modellabili ad alte temperature, ma piuttosto rigidi, con moderata flessibilità e non elastici a temperatura ambiente.

## PMMA polimetilmetacrilato

resina sintetica, nota come: Lucite o Plexiglas (USA) Perspex (UK)



Metilmetacrilato

Polimetilmetacrilato

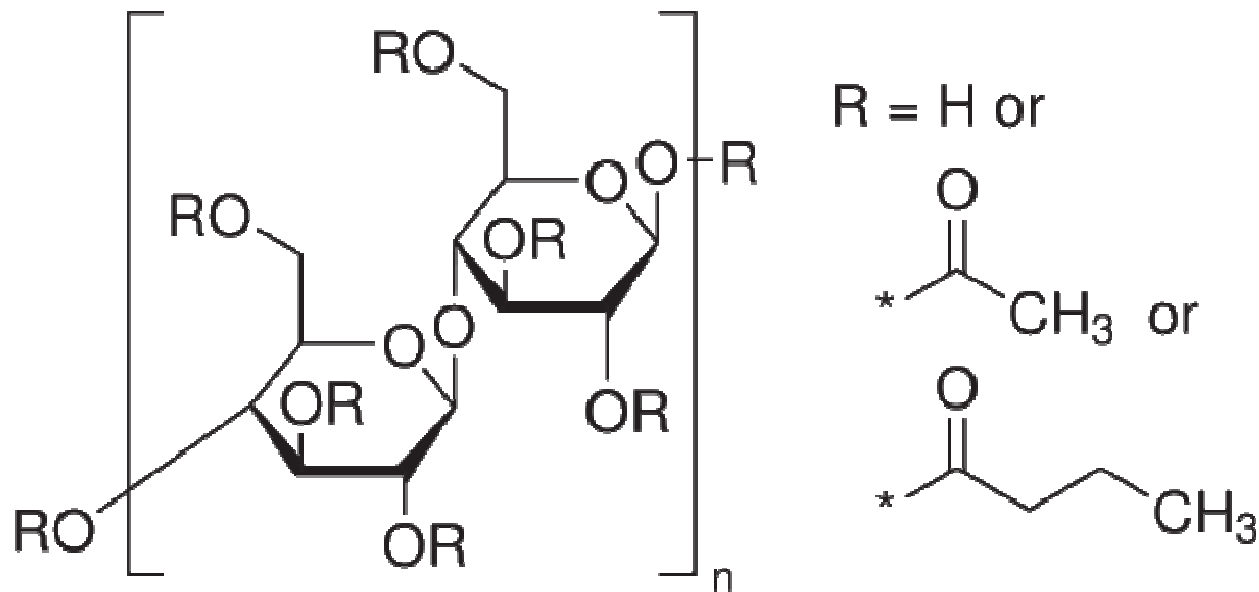
La reazione di polimerizzazione avviene a 40°C-60°C, catalizzata dal perossido di sodio (Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) con grado di polimerizzazione di 106.

## Il PMMA

- è infrangibile
- è poco resistente ai graffi
- ha indice di rifrazione 1.49 @ 546nm
- ha bassa dispersione cromatica (numero di Abbe ~ 57)
- ha densità 1.19 g/cm<sup>3</sup>
- è biocompatibile
- è sterilizzabile
- non è permeabile all'ossigeno

Negli anni Settanta venne introdotto il **CAB**, o **acetato butirrato di cellulosa**.

L'acetato-butirrato di cellulosa è stato il primo materiale disponibile dotato di permeabilità all'ossigeno, se pur per valori molto ridotti, ma ha segnato l'inizio di un nuovo approccio alla contattologia



I principali vantaggi dell'acetato butirrato di cellulosa sono:

- la permeabilità all'ossigeno (anche se non elevata  $Dk = 10$  barrers)
- buona bagnabilità delle superfici
- buona flessibilità ed elasticità
- buona compatibilità con i tessuti oculari
- indice di rifrazione 1.5
- bassissima dispersione cromatica

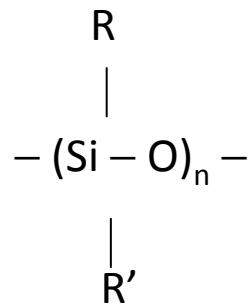
## GLI ELASTOMERI SINTETICI PER LENTI A CONTATTO

Sono molto più flessibili con un comportamento gommoso.

Hanno proprietà intermedie fra termoplastici e idrogel.

Hanno permeabilità che è anche più di 100 volte superiore a quella del PMMA.

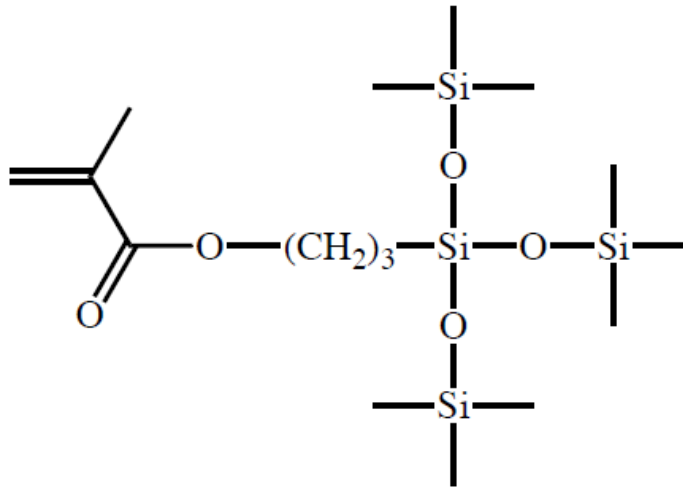
Un materiale che ha avuto molto successo con una permeabilità pari a 1000 volte quella del PMMA è il polidimetilsilossano (gomma siliconica):



Con  $\text{R} = \text{R}' = \text{CH}_3$

# POLIMERI RGP – rigid gas permeable

Il monomero più rappresentativo è il TRIS



Fornisce polimeri con ***Dk* > 200 barrers**. Infatti, grazie alla flessibilità dei legami silossanici ed alla voluminosità dell'unità tris(trimetilsililossi)silano che dà un elevato volume libero disponibile per il passaggio dell'ossigeno.

# IDROGEL

Gli idrogel sono materiali polimerici idrofili che per assorbimento di acqua si rigonfiano fino ad assumere una consistenza elastica. L'acqua infatti si comporta come agente plastificante.

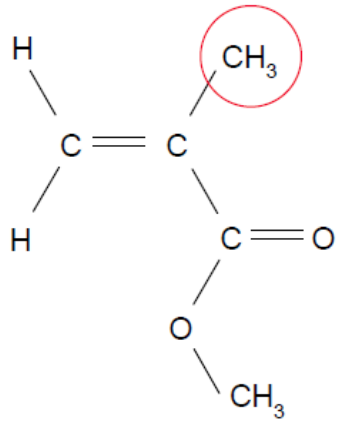
Un idrogel è costituito da una matrice polimerica reticolata permeata da liquido e il suo stato fisico è intermedio fra lo stato solido e lo stato liquido.

Deve la sua insolubilità alla presenza del reticolo tridimensionale e l'idrofilia alla presenza di gruppi polari come

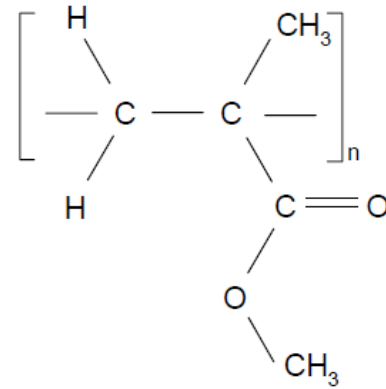
- $\text{NH}_2$
- OH
- COOH
- $\text{CONH}_2$
- CONH

Può assorbire dal 28 all'80% in peso di contenuto d'acqua

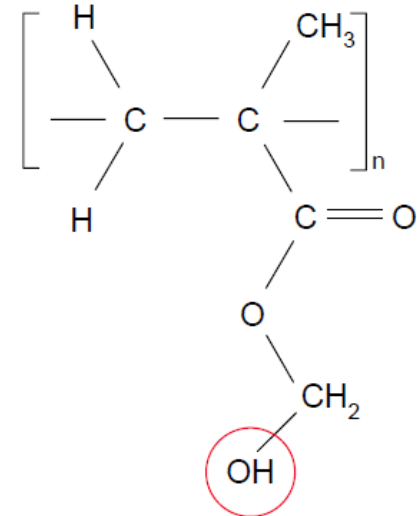
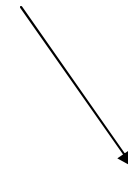
L'**HEMA** o poli HEMA (o PHEMA) è stato il primo idrogel ad essere usato per la costruzione delle LAC ed è tuttora il più diffuso: è il polimetilmetacrilato contenente dei gruppi ossidrilici



Metilmetacrilato



Polimetilmetacrilato



Poliidrossimetilmetacrilato

Le lenti a contatto in **silicone idrogel** rappresentano una recente innovazione nel campo delle lenti a contatto.

Sono molto più permeabili delle tradizionali lenti a contatto morbide in idrogel e attraverso la lente passa più ossigeno che raggiunge la cornea donando all'occhio un maggiore comfort. Ciò consente anche di indossare le lenti a contatto più a lungo.

I polimeri idrogel nelle regolari lenti a contatto morbide consentono il passaggio dell'acqua attraverso l'occhio. L'acqua apporta ossigeno permettendo all'occhio di respirare anche quando è coperto dalle lenti a contatto. Tuttavia, la quantità di ossigeno che l'occhio riceve è limitata. Il silicone invece è permeabile all'ossigeno: le lenti in silicone idrogel possono condurre ossigeno all'occhio sia in maniera indiretta attraverso l'acqua che contengono, sia in maniera diretta perché l'ossigeno le attraversa.