



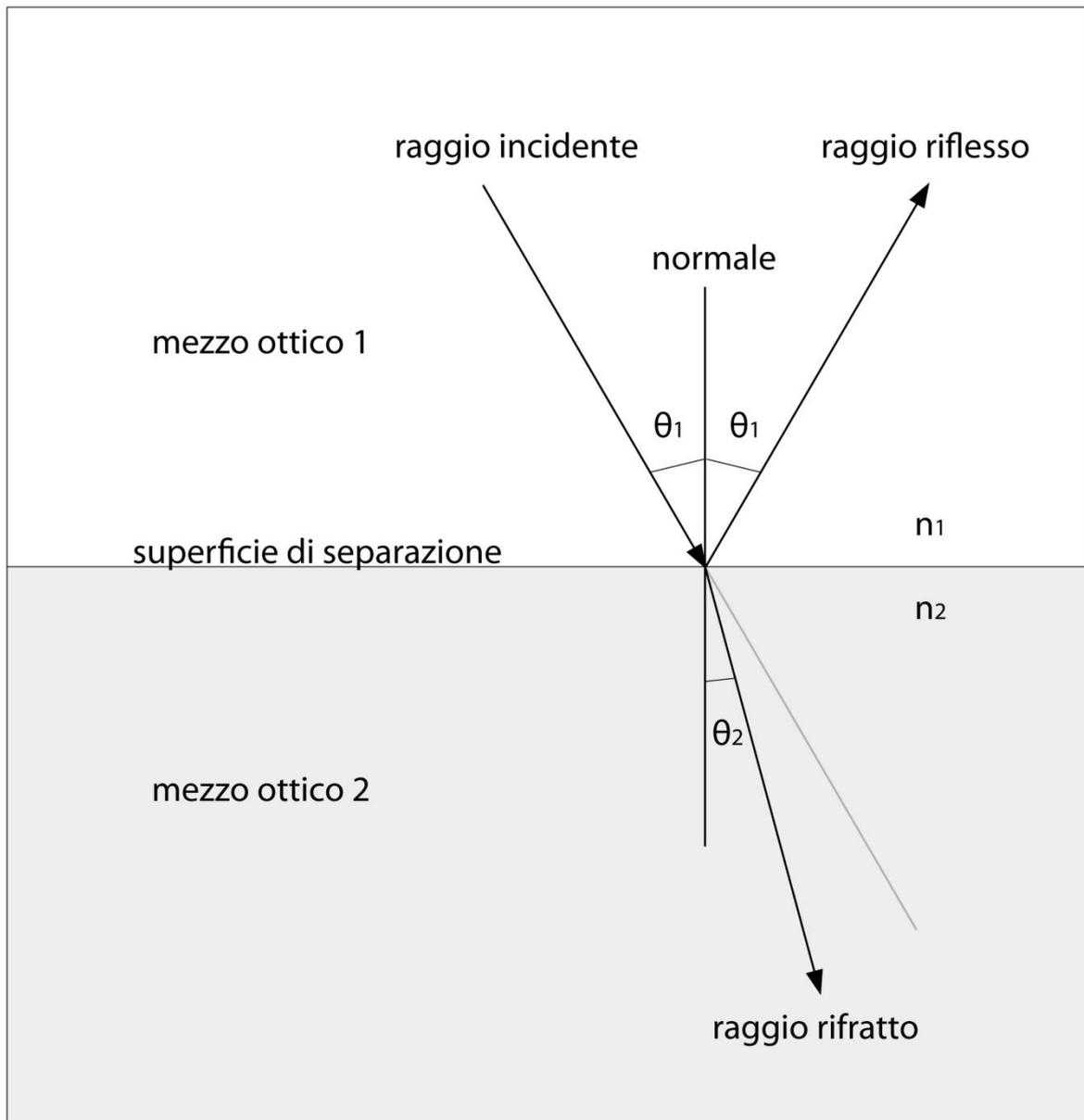
Sommario

Leggi della rifrazione2
Lamina ottica.....6
Diottro sferico9
Ingrandimento con il diottro sferico.....15
Prisma di rifrazione.....16
Dispersione cromatica.....17
Prismi rifrangenti24
Riflessione interna totale26
Prismi riflettenti.....28
Fibre ottiche37

Leggi della rifrazione

Un raggio luminoso che incide sulla superficie di separazione fra due mezzi trasparenti di natura diversa, attraversa il secondo mezzo secondo una direzione diversa da quella di incidenza e determinata dalle seguenti leggi:

- il raggio incidente, quello rifratto e la normale alla superficie nel punto di incidenza fra i due mezzi sono complanari,
- il rapporto fra il seno dell'angolo di incidenza ($\sin\theta_1$) ed il seno dell'angolo rifratto ($\sin\theta_2$) è costante ed è pari al rapporto fra l'indice di rifrazione assoluto del secondo mezzo (n_2), rispetto all'indice di rifrazione del primo (n_1); tale rapporto viene anche indicato come indice di rifrazione relativo fra il secondo mezzo ed il primo ($n_{1,2}$).



In figura è rappresentato anche il raggio riflesso che è sempre presente, qualunque sia il tipo di superficie.

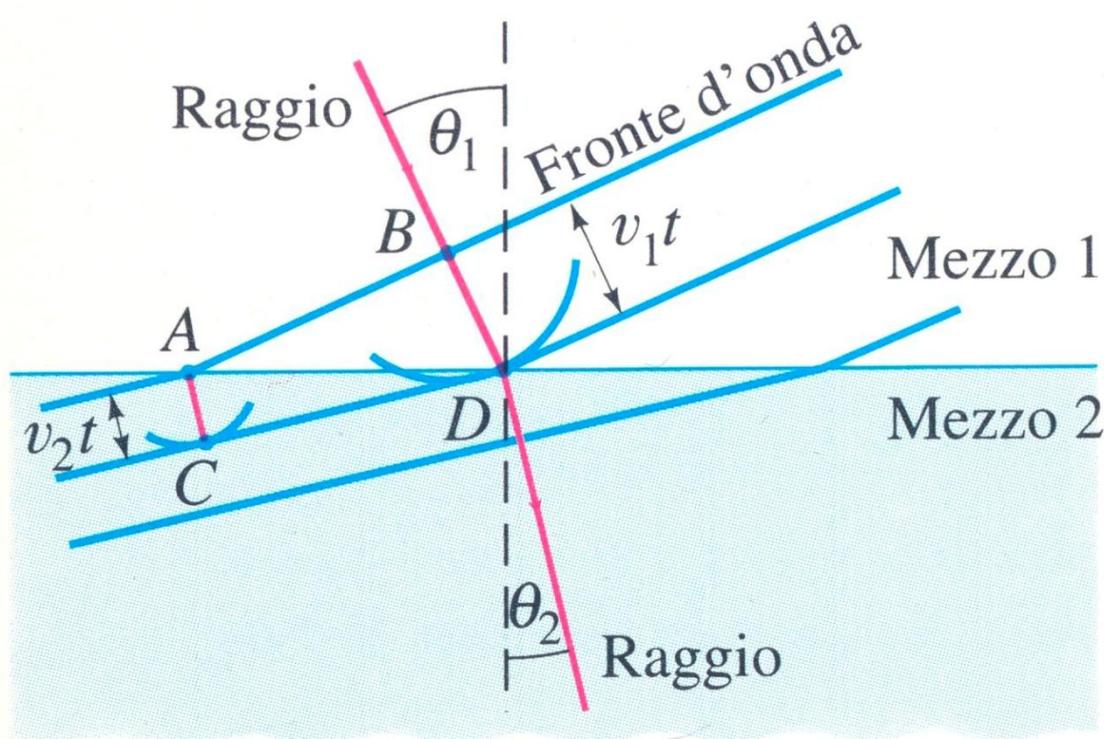
La seconda legge è comunemente conosciuta come **legge di Snell**:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{1,2}$$

ma è più frequentemente riportata nella seguente forma:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Per analizzare il fenomeno ottico della rifrazione, si supponga che il raggio luminoso entri in un mezzo caratterizzato da una minore velocità di propagazione ($v_1 > v_2$), così come esemplificato nella precedente figura. Nell'intervallo di tempo t il punto B del fronte d'onda AB percorre nel mezzo 1 la distanza v_1t fino a D; nel frattempo, A percorre nel mezzo 2 la distanza v_2t fino a C. Applicando il principio di Huygens per generare le onde secondarie da A e B in C e D, il nuovo fronte d'onda CD è tangente alle due onde; i fotoni quindi deviano per rimanere perpendicolari al fronte d'onda, avvicinandosi alla normale nel punto di ingresso del raggio.



Qualora invece il raggio luminoso entri in un mezzo caratterizzato da una maggiore velocità di propagazione ($v_1 < v_2$), i fotoni deviano allontanandosi dalla normale nel punto di ingresso del raggio.

In entrambi i casi, **la lunghezza d'onda cambia nel passaggio al nuovo mezzo mentre la frequenza è invariante.**

Analogamente a quelle della riflessione, le leggi della rifrazione godono del **principio di reversibilità**, cioè le direzioni dei raggi sono le stesse quando si inverte il loro verso, scambiando il raggio incidente con il raggio rifratto (vedere le due figure successive).

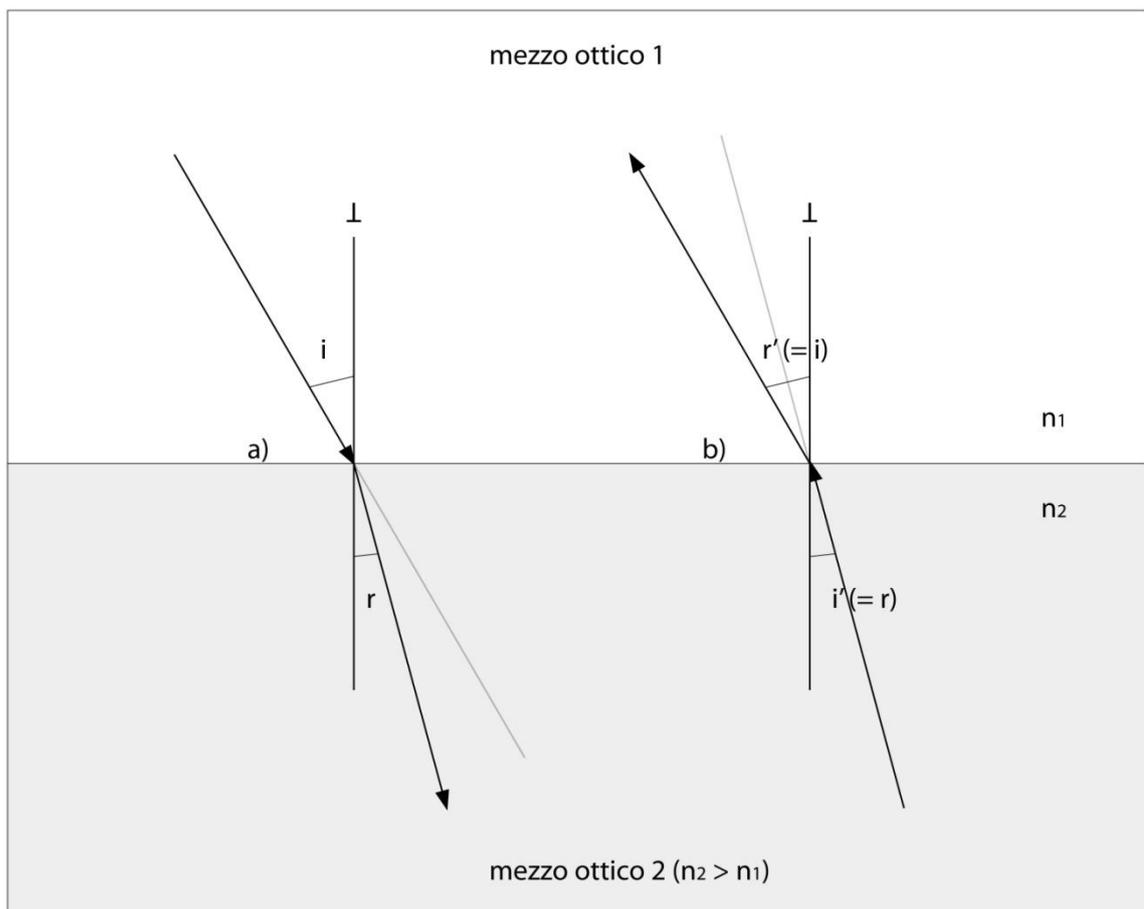
Riassumendo, la legge di Snell evidenzia quanto segue:

$$n_2 > n_1 \quad \rightarrow \quad \sin\theta_1 > \sin\theta_2$$

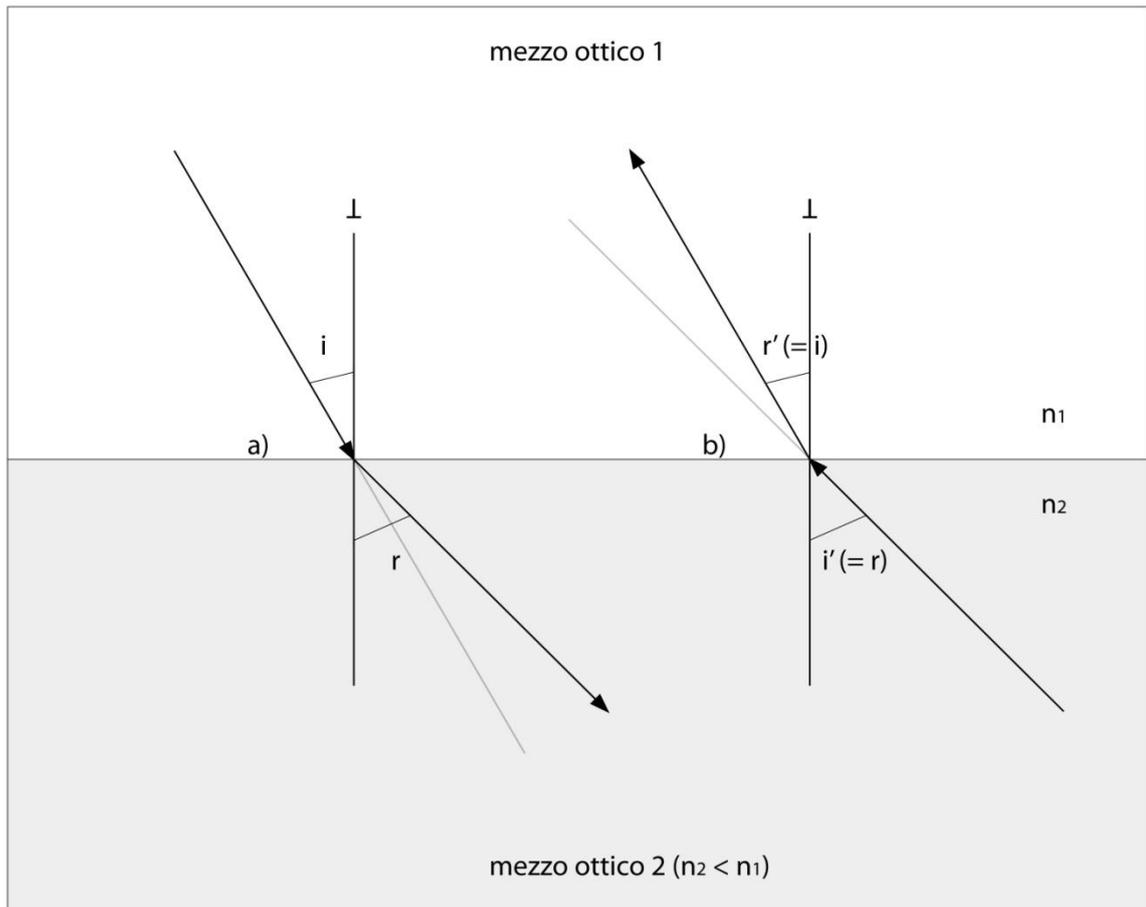
$$n_2 < n_1 \quad \rightarrow \quad \sin\theta_1 < \sin\theta_2$$

ovvero:

- 1) il raggio rifratto si avvicina alla normale, rispetto al raggio incidente, se passa da un mezzo con indice di rifrazione assoluto minore ad uno maggiore ($n_{1,2} < 1$),



- 2) il raggio rifratto si allontana dalla normale, rispetto al raggio incidente, se passa da un mezzo con indice di rifrazione assoluto ad uno minore ($n_{1,2} > 1$).

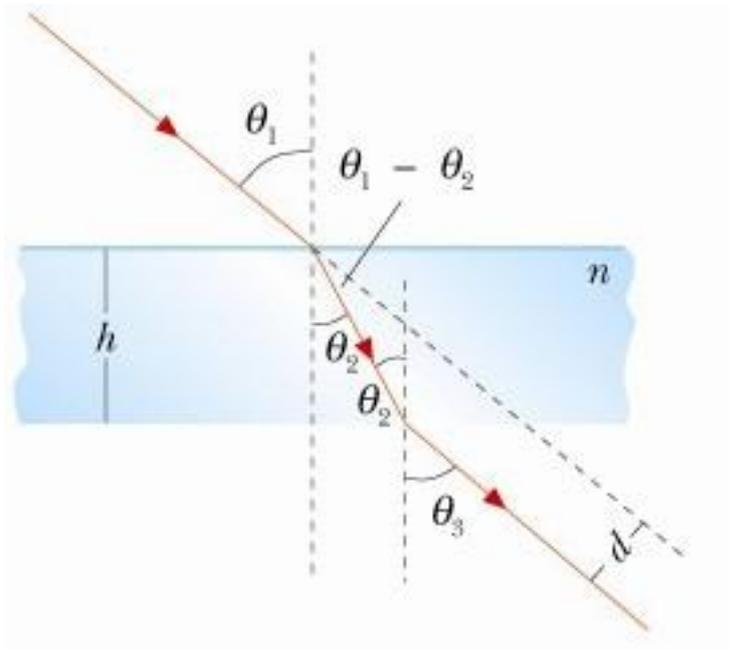


Le superfici sulle quali si verifica la rifrazione, siano esse piane o curve, vengono definite **diottri o superfici diottriche**.

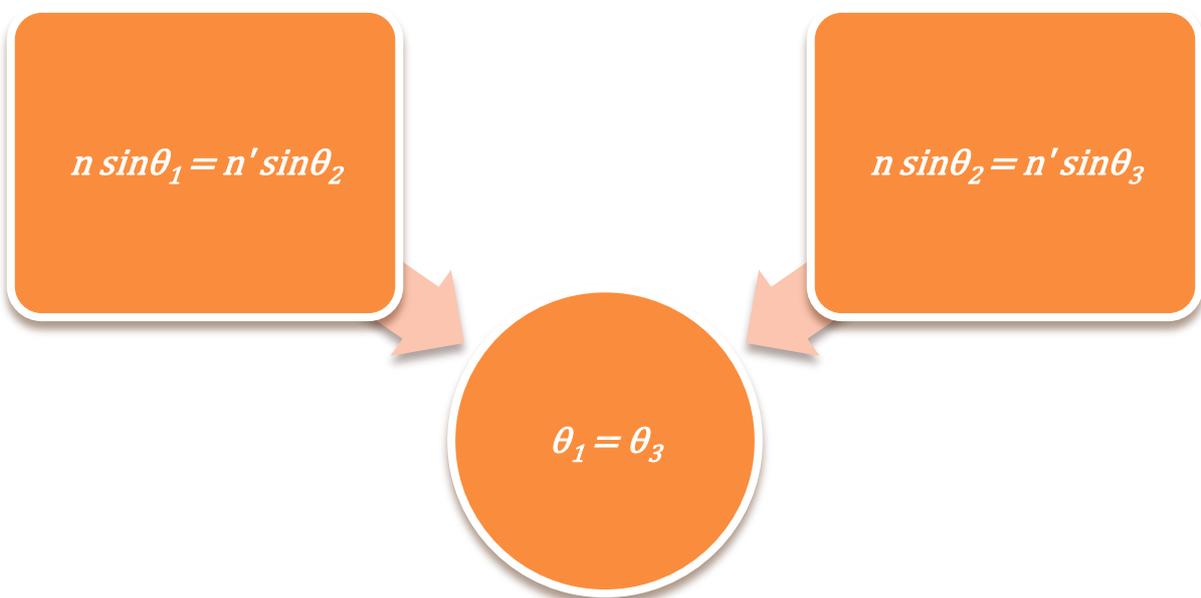
Lamina ottica

La lamina ottica è una lastra piana a facce parallele, con indice di rifrazione n , immersa in un mezzo con indice di rifrazione n' : si tratta della **configurazione tipica dei filtri fotografici**.

Si consideri la seguente figura, dove si è ipotizzato che $n' > n$ (con $n' < n$ le risultanze non cambierebbero):



Applicando la legge di Snell alle rifrazioni su entrambe le facce, si ottiene:

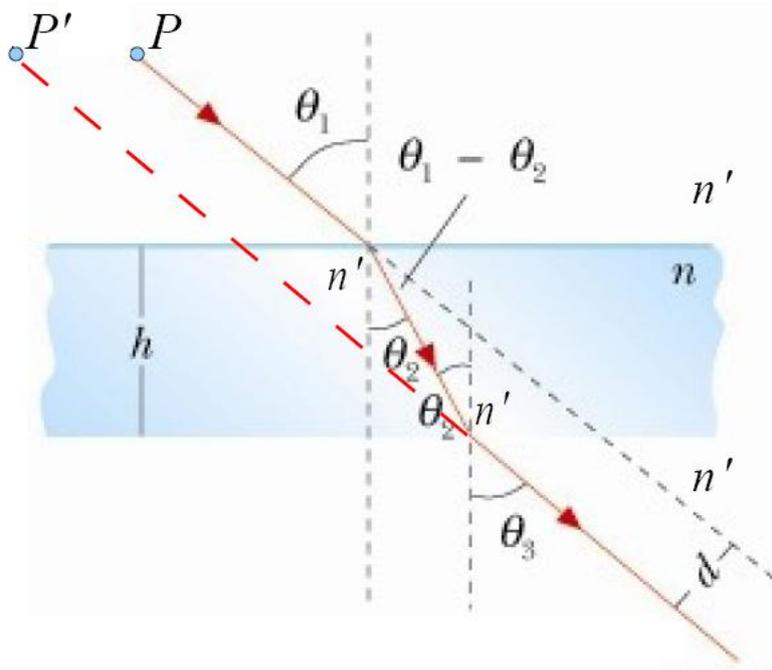


ovvero, **il raggio emergente è parallelo al raggio incidente.**

Il raggio subisce una traslazione la cui entità è determinabile in base alla seguente relazione:

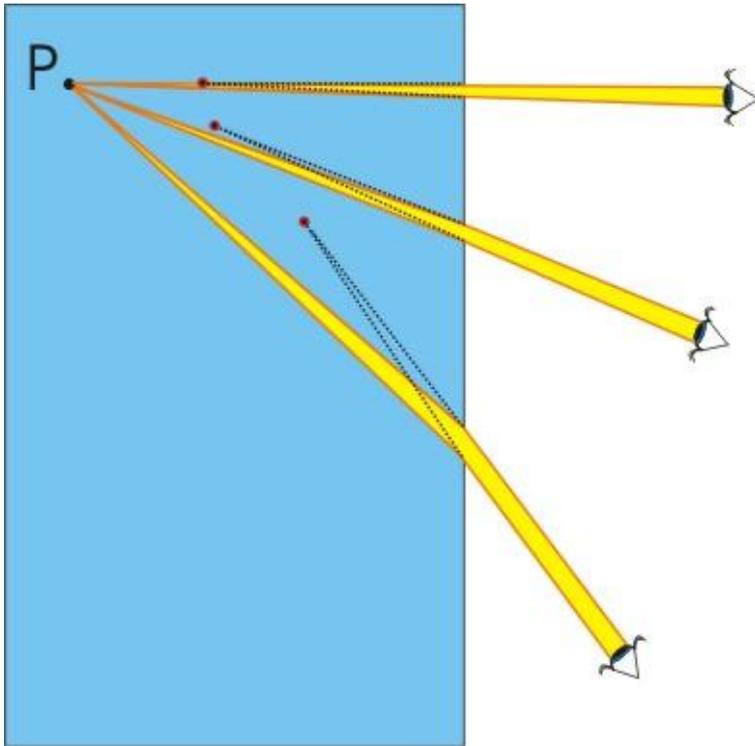
$$d = h \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\cos \theta_2}$$

Un osservatore posto dopo la lamina vede un'immagine virtuale P' , la cui posizione dipende dall'angolo di incidenza θ_1 : se questo è molto piccolo, le posizioni di P e P' coincidono.



La lamina ottica è un sistema stigmatico (ovvero in grado di formare un'unica immagine puntuale di ciascun punto reale) esclusivamente per angoli di incidenza molto piccoli e luce monocromatica.

Invece, la rifrazione semplice è sempre astigmatica, in quanto la posizione dell'immagine puntuale varia con la collocazione dell'osservatore:



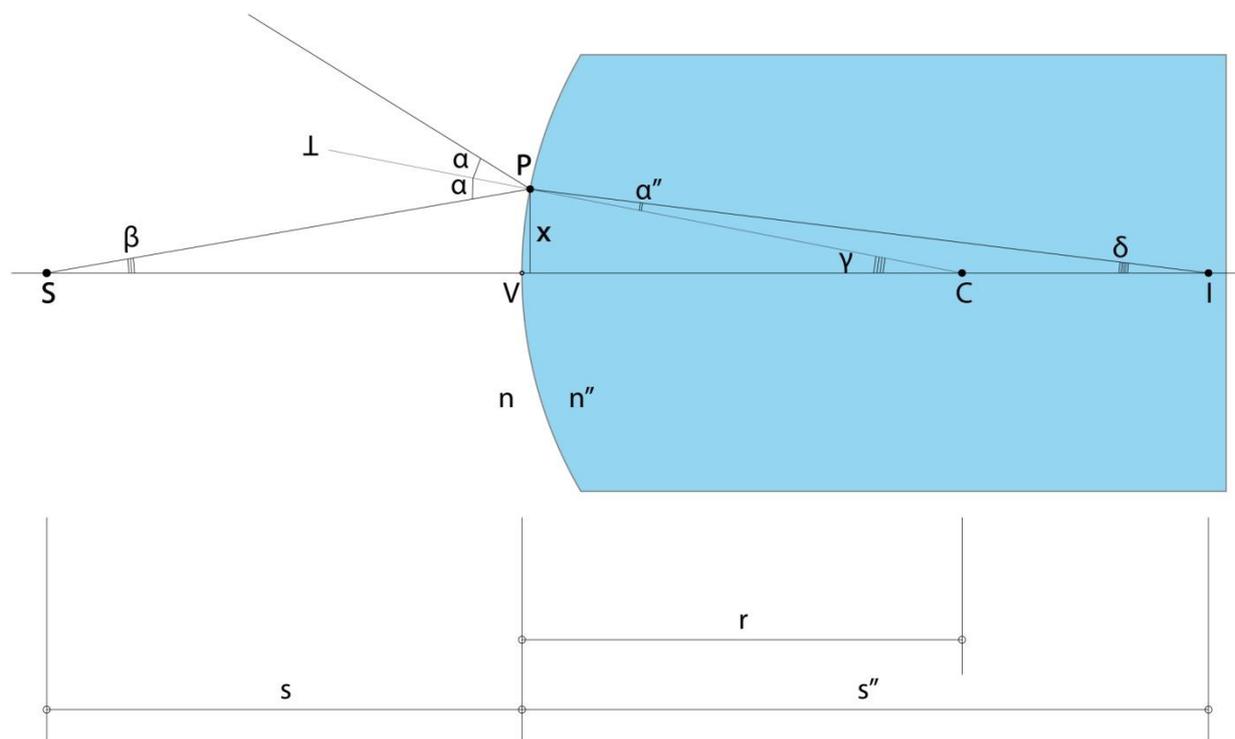
Diottro sferico

È una **superficie sferica che separa due mezzi trasparenti di diverso indice di rifrazione**; ad esempio, una sfera di vetro immersa in aria. In ciascun punto di incidenza, i raggi luminosi sono soggetti a rifrazione rispetto alla normale, secondo la legge di Snell.

Le convenzioni universalmente adottate per la trattazione dei diottri sferici sono le seguenti:

- le figure sono disegnate supponendo che la luce si propaghi da sinistra a destra;
- le distanze degli oggetti sono positive quando sono misurate a sinistra del vertice, negative quando sono misurate a destra;
- le distanze delle immagini sono positive quando sono misurate a destra del vertice, negative quando sono misurate a sinistra;
- entrambe le distanze focali sono positive per un sistema convergente, negative per un sistema divergente;
- le dimensioni degli oggetti e delle immagini sono positive quando sono misurate al di sopra dell'asse, negative quando sono misurate al di sotto dell'asse;
- il raggio di curvatura delle superfici convesse è considerato positivo, quello delle superfici concave è considerato negativo.

La figura sottostante mostra un soggetto puntiforme S posto in un mezzo con indice di rifrazione n , a distanza s dal vertice V di una superficie sferica convessa di raggio r e centro in C, di materiale caratterizzato da un indice di rifrazione n'' .



Il raggio diretto da S verso P viene in parte riflesso sulla superficie di separazione, dove incide con angolo α , ed in parte rifratto verso I, con angolo α'' , secondo le leggi della riflessione e della rifrazione.

Per angoli molto piccoli, si ha $\sin \alpha \approx \alpha$ e $\sin \alpha'' \approx \alpha''$. Pertanto, l'approssimazione parassiale permette di riscrivere la legge di Snell nella seguente forma semplificata:

$$\frac{\alpha}{\alpha''} \approx \frac{n''}{n}$$

Dalla figura si ricava:

$$\alpha = \beta + \gamma$$

$$\alpha'' = \gamma - \delta$$

e sostituendo:

$$n\beta + n''\delta = (n'' - n)\gamma$$

Per raggi parassiali, si ha:

$$\beta = x/s$$

$$\gamma = x/r$$

$$\delta = x/s''$$

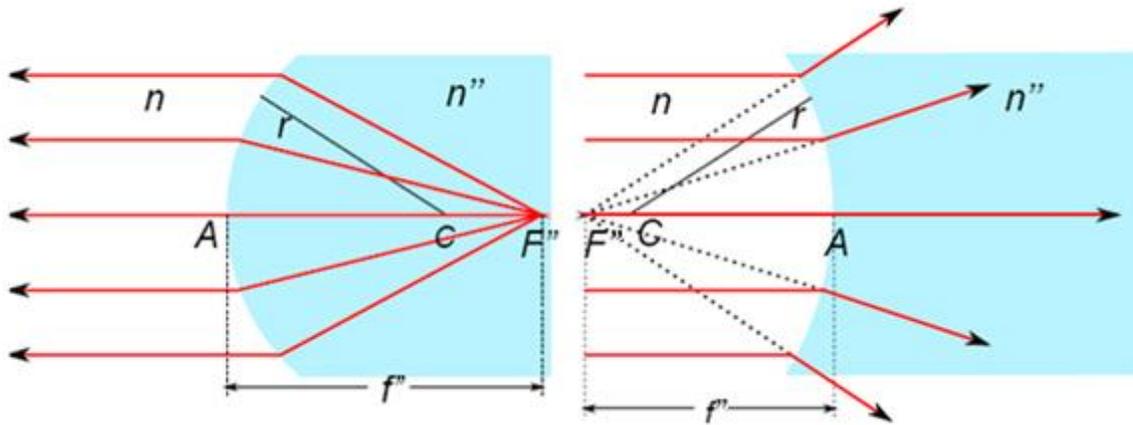
Sostituendo e dividendo per x , si ottiene la **formula di Gauss per il diottro sferico**:

$$\frac{n}{s} + \frac{n''}{s''} = \frac{n'' - n}{r}$$

S e I sono detti **punti coniugati** ed i piani passanti per essi e perpendicolari all'asse sono detti **piani coniugati**.

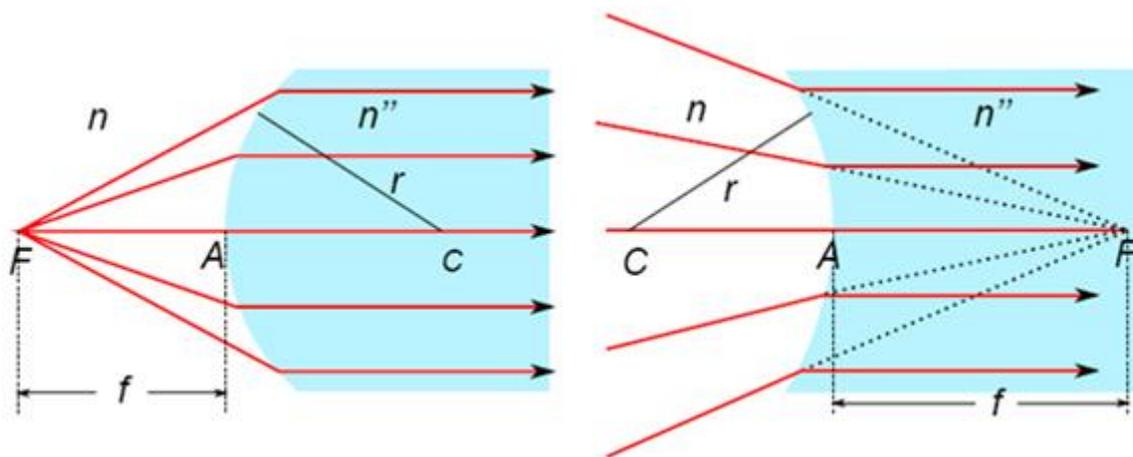
L'equazione appena scritta è valida per tutti i tipi di diottro, sia con superficie rifrangente convessa sia con superficie rifrangente concava, e ancora, sia con $n > n''$ sia con $n < n''$.

Se s tende ad infinito (raggi paralleli), l'immagine si forma nel secondo fuoco principale F'' :



$$s'' \equiv f'' = r \frac{n''}{n'' - n}$$

Se s'' tende ad infinito, il punto oggetto si trova nel primo fuoco principale F:



$$s \equiv f = r \frac{n}{n'' - n}$$

Dalle equazioni precedenti, si ha:

$$\frac{f''}{f} = \frac{n''}{n}$$

e:

$$\frac{n}{f} + \frac{n''}{s''} = \frac{n}{f} = \frac{n''}{f''}$$

Relativamente alla formazione delle immagini, valgono le seguenti considerazioni generali:

Immagine reale

Con un diottrio sferico positivo (convesso), l'immagine si forma nel lato rifrangente ed è reale quando il punto soggetto è più distante del fuoco primario F_1 dal diottrio.

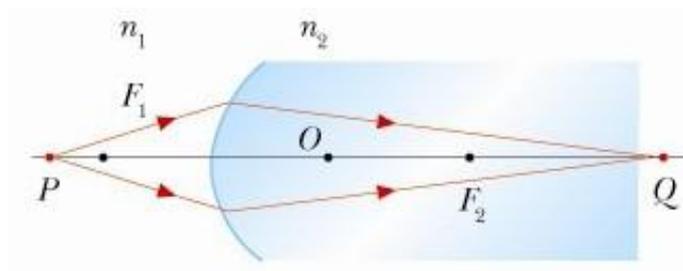
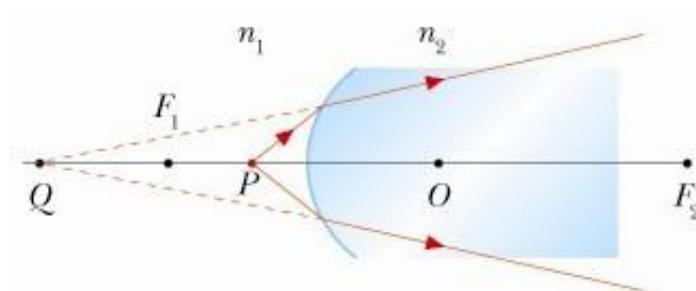


Immagine virtuale

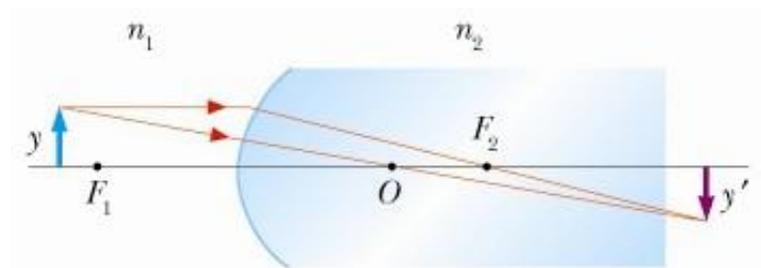
Con un diottrio sferico positivo (convesso), l'immagine si forma nel lato incidente ed è virtuale quando il punto soggetto è più vicino del fuoco primario F_1 dal diottrio.



Diotto convesso in modalità convergente

Se il soggetto è esteso e dista dal diottero più del fuoco primario F_1 , l'immagine si forma nel lato rifrangente ed è reale e capovolta:

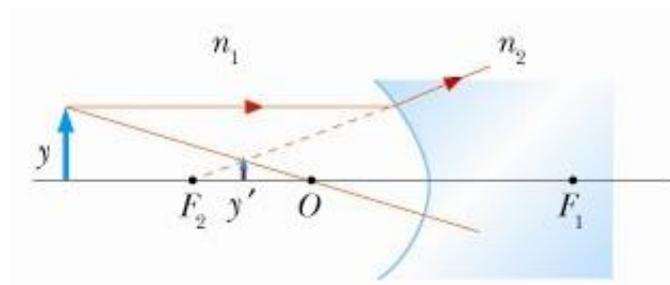
- i raggi che incidono parallelamente all'asse ottico vengono deviati verso il fuoco secondario (fuoco posteriore) F_2 ;
- i raggi che passano per il centro di curvatura non vengono deviati.



Diotto concavo in modalità divergente

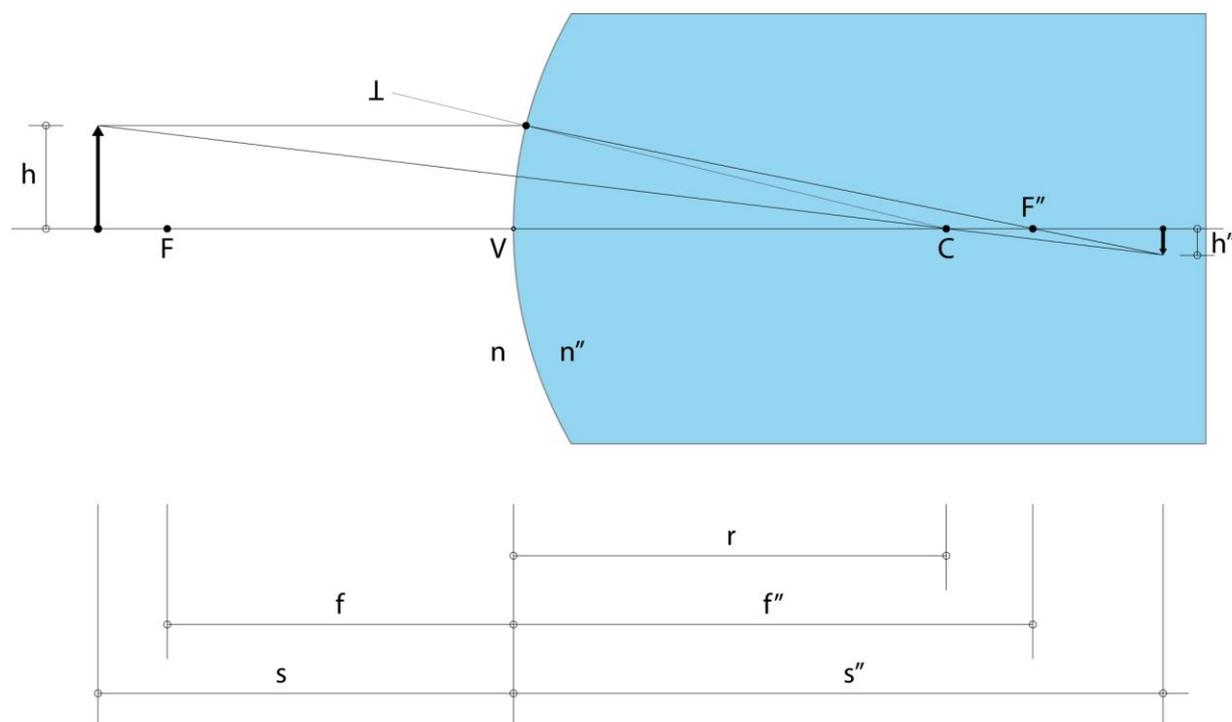
Se il soggetto è esteso e dista dal diottero più del fuoco secondario F_2 , l'immagine si forma nel lato incidente ed è virtuale e diritta:

- i raggi che incidono parallelamente all'asse ottico vengono deviati in modo che i loro prolungamenti divergano dal fuoco secondario F_2 ;
- i raggi che passano per il centro di curvatura non vengono deviati.



Ingrandimento con il diottro sferico

Con riferimento alla figura seguente:



si ha:

$$\frac{-h''}{h} = \frac{s'' - r}{s + r}$$

Poiché l'ingrandimento lineare m è definito dal rapporto h''/h , si ottiene:

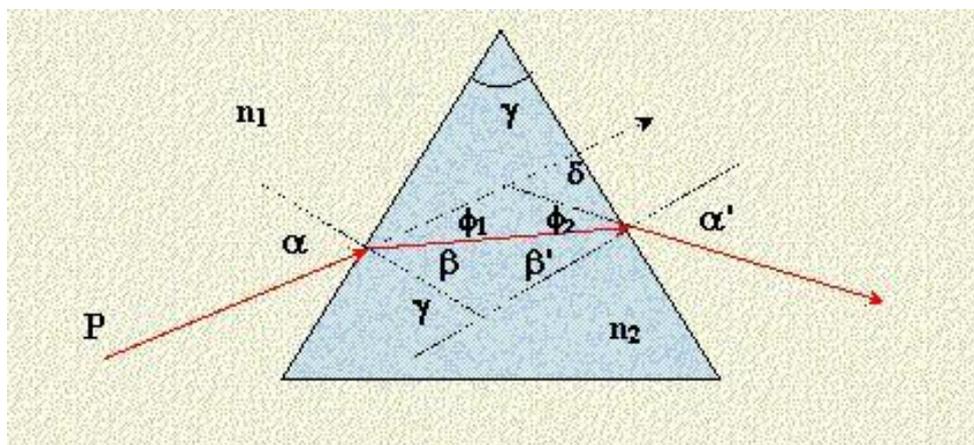
$$m = -\frac{s'' - r}{s + r} = -\frac{n s''}{n'' s}$$

Di conseguenza, si possono avere due diverse situazioni:

- $m > 0 \rightarrow$ **immagine virtuale e diritta**;
- $m < 0 \rightarrow$ **immagine reale e capovolta**.

Prisma di rifrazione

Si consideri un raggio luminoso entrante in un prisma ottico con angolo di incidenza α :



In base alle leggi della rifrazione, il raggio incidente subirà due successive rifrazioni sulle superfici del prisma, formando angoli espressi dalla legge di Snell:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

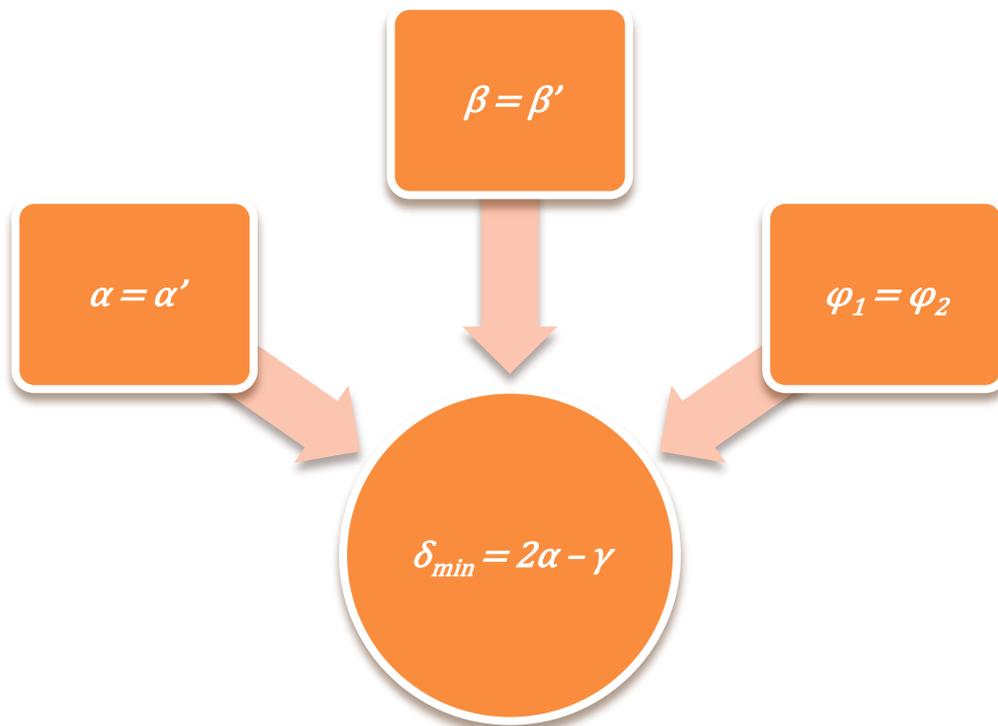
$$\frac{\sin \beta'}{\sin \alpha'} = \frac{n_1}{n_2}$$

Il raggio uscente risulterà così deviato complessivamente di un angolo δ . Questa deviazione varierà in funzione dell'angolo di incidenza α , dell'apertura γ del prisma e degli indici di rifrazione del mezzo in cui è immerso il prisma e del materiale di cui esso è costituito. La relazione seguente evidenzia la dipendenza dell'angolo di deviazione δ con l'angolo di incidenza α (vedere la figura precedente):

$$\delta = \alpha - \beta + \alpha' - \beta' = \alpha + \alpha' - (\beta + \beta') = \alpha + \alpha' - \gamma$$

Se si mantiene fissa la direzione del raggio incidente e si fa ruotare il prisma intorno ad un asse perpendicolare al piano della figura, a partire da

piccoli valori di α si osserva che la deviazione δ diminuisce, raggiungendo un minimo e poi crescendo di nuovo. Il valore minimo della deviazione δ si ha quando:



da cui:

$$\alpha = \frac{1}{2} (\delta_{min} + \gamma)$$

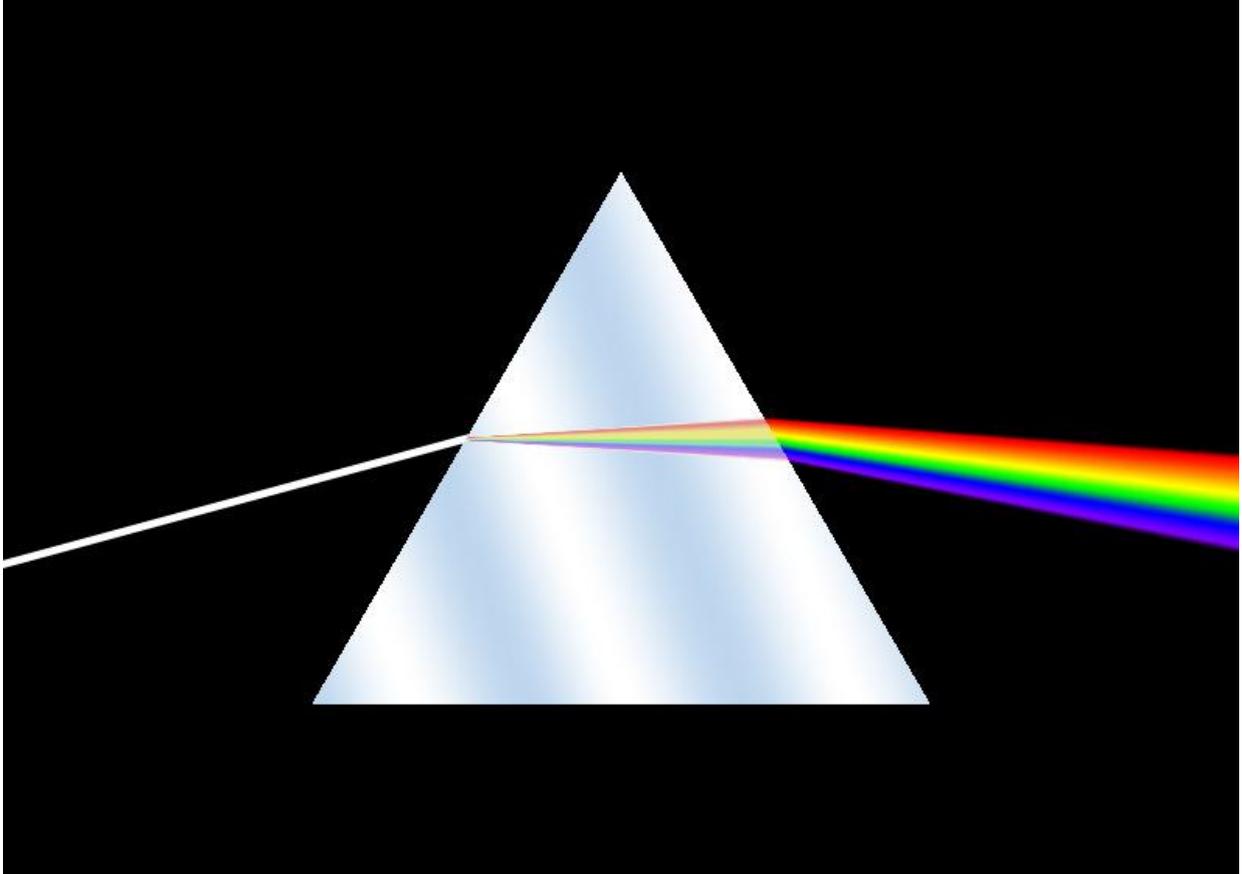
$$\text{con: } \gamma = 2\beta$$

Dispersione cromatica

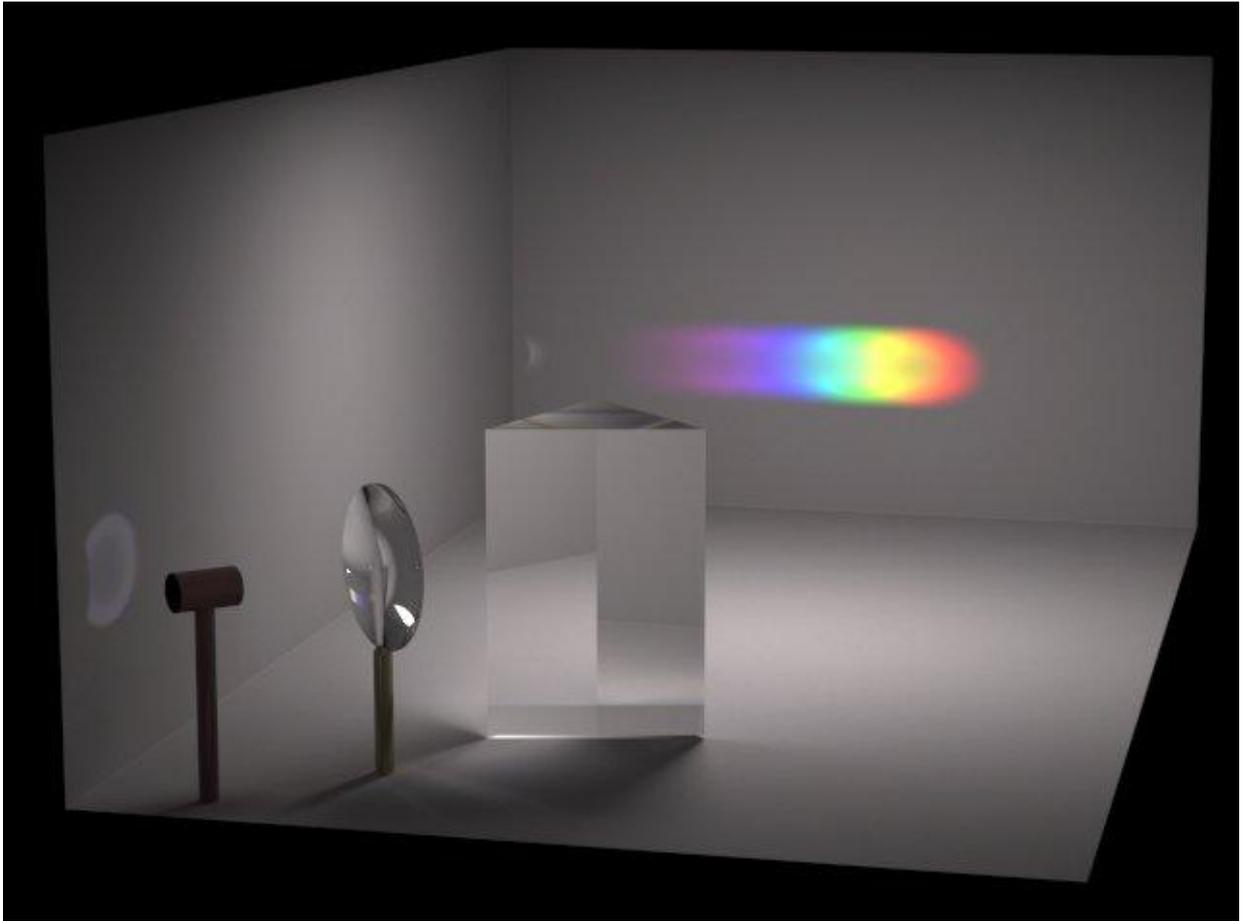
L'indice di rifrazione di un qualsiasi mezzo ottico non è costante, ma è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda della luce, ovvero dipende dal suo colore. Di conseguenza, nello spettro visibile, la luce rossa, che ha la lunghezza d'onda più grande, presenta l'indice di rifrazione e la deviazione minori, mentre la luce blu, che ha la lunghezza d'onda più corta, ha l'indice di rifrazione e la deviazione maggiori:

$$1 < n_{\text{rosso}} < n_{\text{verde}} < n_{\text{blu}}$$

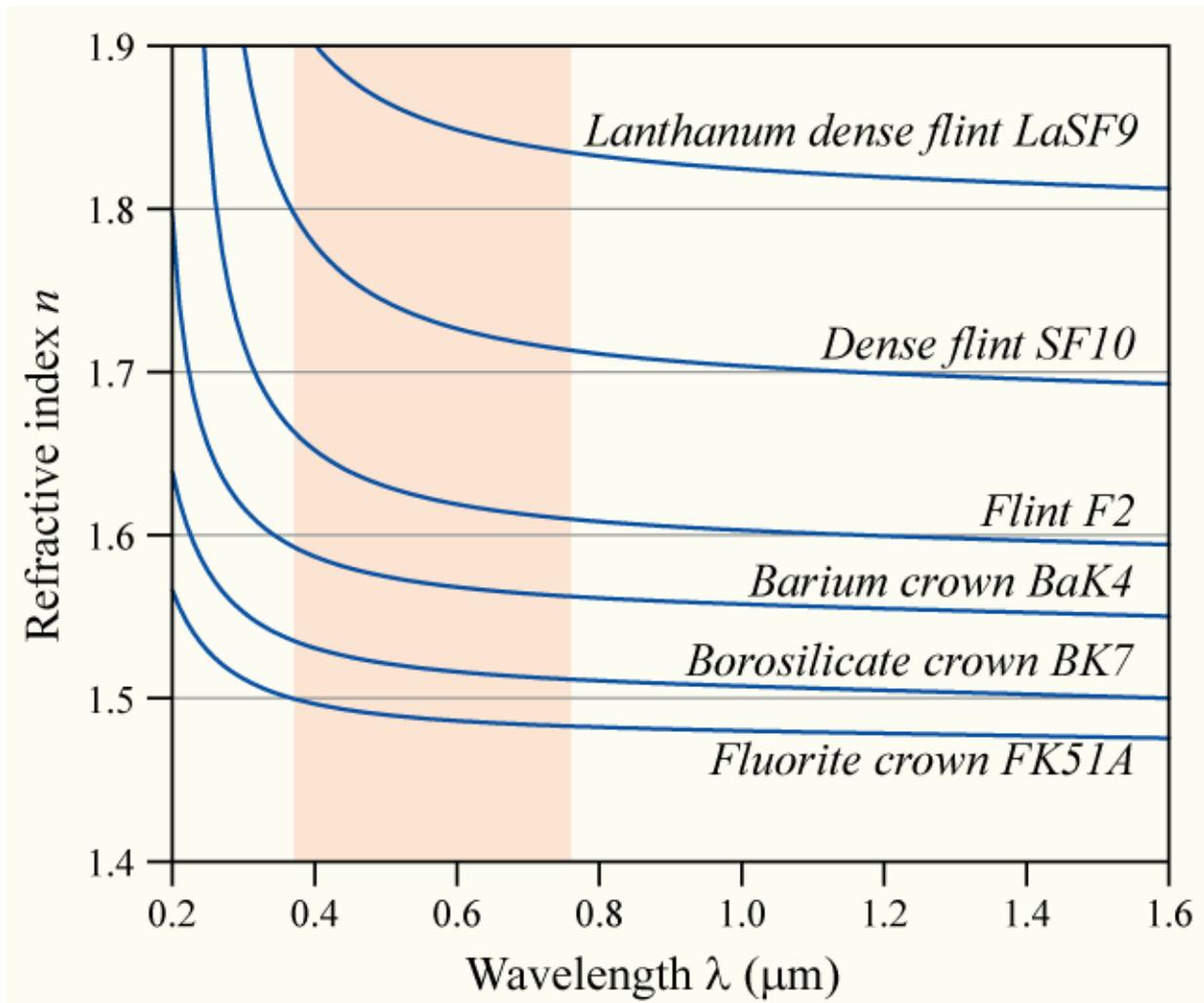
$$\delta_{\text{rosso}} < \delta_{\text{verde}} < \delta_{\text{blu}}$$



Se si fa incidere un fascio di luce bianca sulla faccia di un prisma, si nota che ciascuna lunghezza d'onda subirà una specifica deviazione, dando origine in uscita dal prisma ad una separazione dei vari colori facilmente osservabile su schermo.

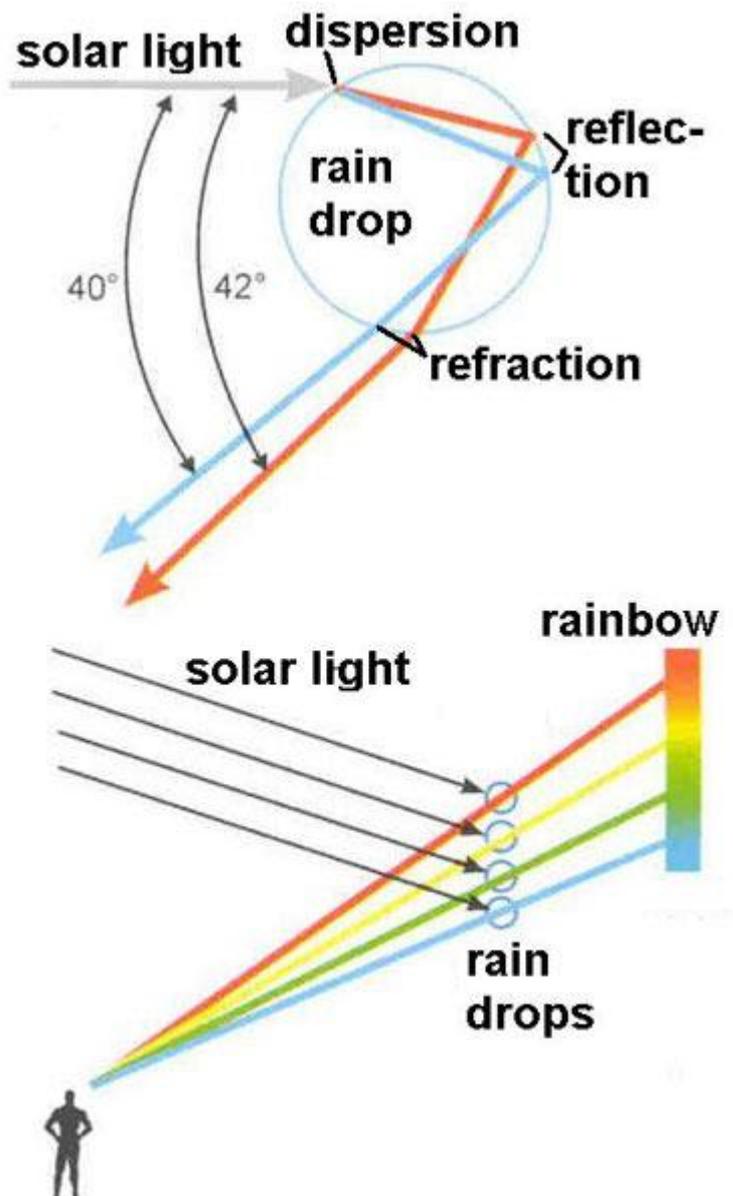


Riassumendo, l'entità della **dispersione cromatica** dipenderà dall'indice di rifrazione (funzione della lunghezza d'onda) e dall'angolo di deviazione (funzione dell'angolo di incidenza del fascio e dell'angolo di apertura del prisma).



La dispersione cromatica presenta sia aspetti negativi sia aspetti positivi; ad esempio:

- genera l'aberrazione cromatica nelle lenti,
- permette la separazione delle varie lunghezze d'onda negli spettroscopi e negli spettrofotometri,
- forma gli arcobaleni grazie alle microgocce di acqua in sospensione nell'aria in seguito ad intense piogge o in prossimità di cascate.



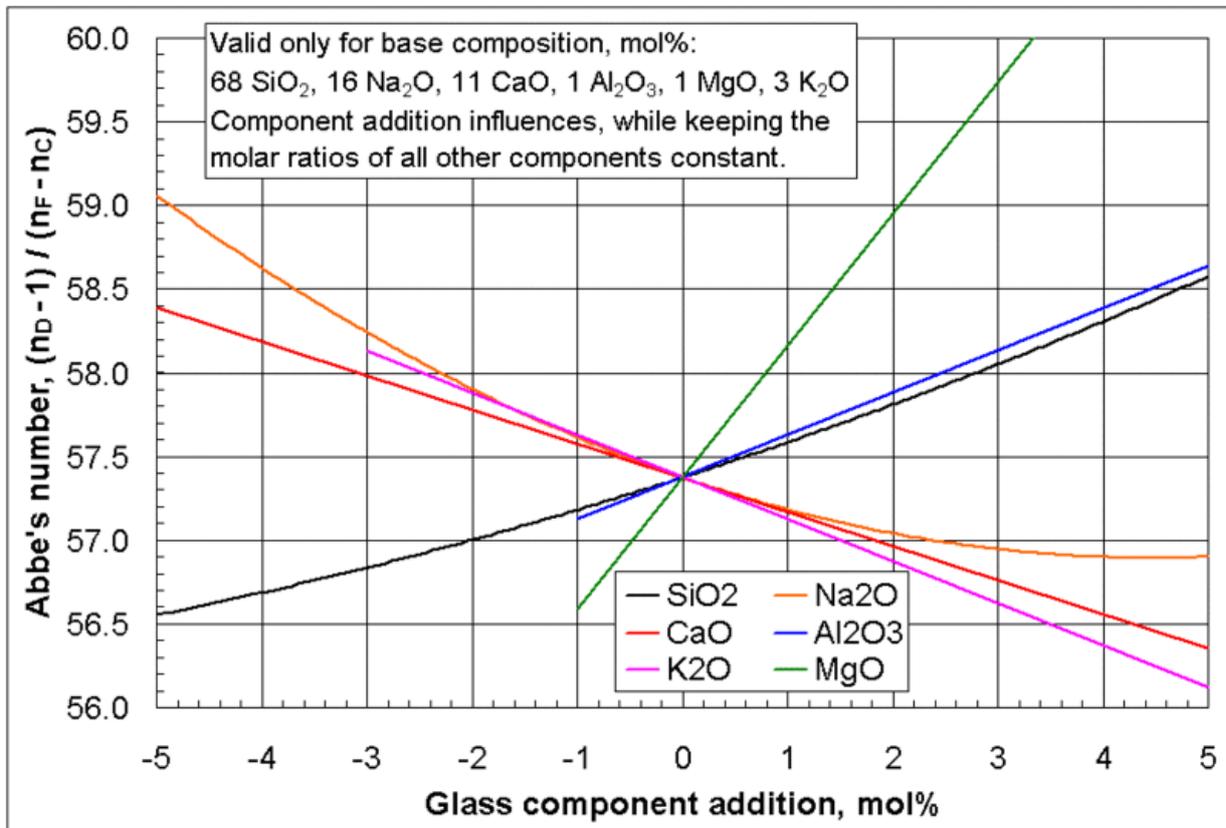
Numero di Abbe

Prende il nome dal fisico tedesco Ernst Abbe (1840-1905) ed è un indice che misura la dispersione cromatica di un materiale trasparente alle lunghezze d'onda del visibile. È anche indicato come **numero *V*** o **costringenza**.

È definito dalla seguente formula:

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

dove: n_D = indice di rifrazione del materiale alla lunghezza d'onda della linea spettrale D di Fraunhofer (589,2 nm)
 n_F = indice di rifrazione del materiale alla lunghezza d'onda della linea spettrale F di Fraunhofer (486,1 nm)
 n_C = indice di rifrazione del materiale alla lunghezza d'onda della linea spettrale di C Fraunhofer (656,3 nm).



Si utilizzano anche definizioni alternative che utilizzano indici di rifrazione a lunghezze d'onda diverse dalle precedenti. Ad esempio:

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

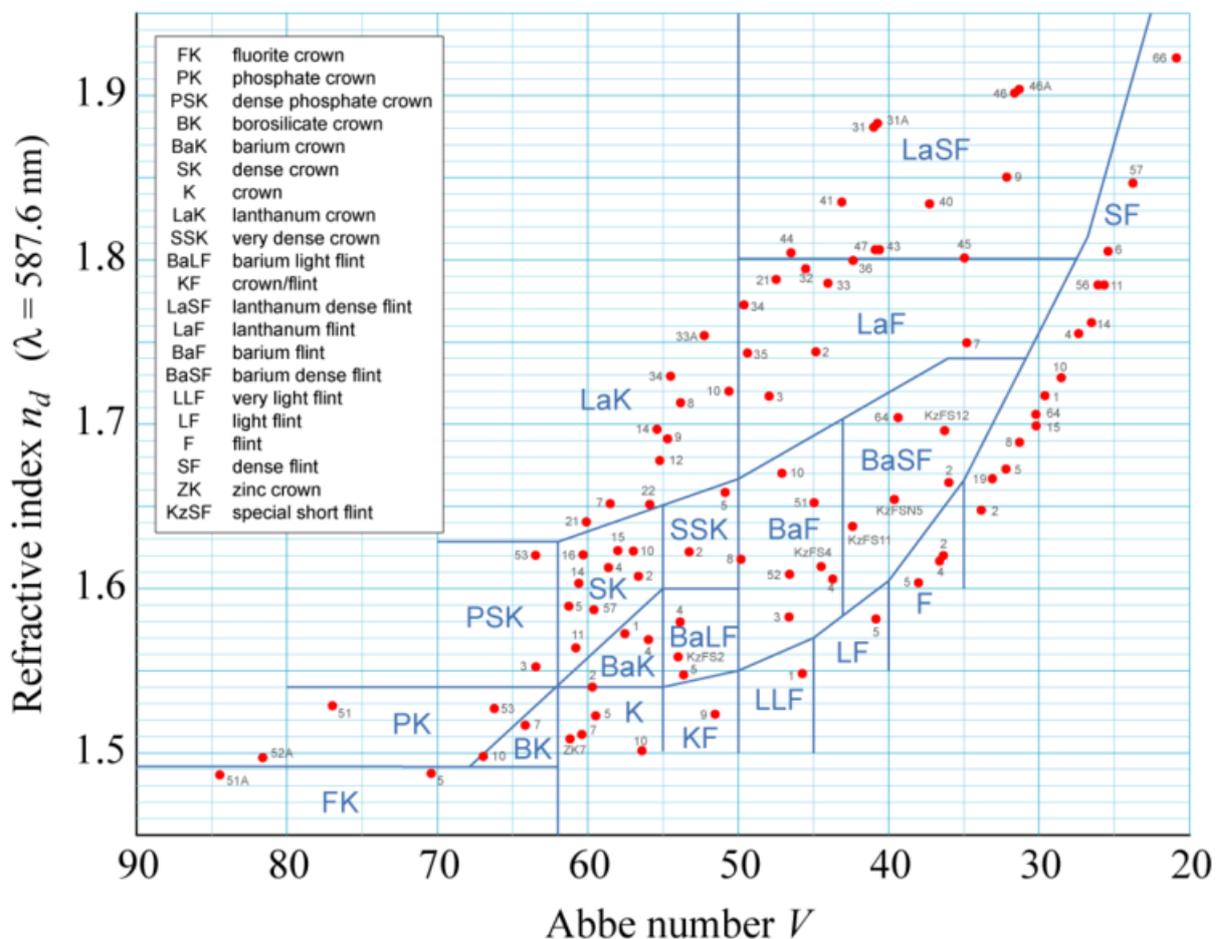
definisce il numero di Abbe rispetto alla linea d di Fraunhofer (linea D₃ dell'elio) a 587,6 nm.

Per come è definito, con la differenza di indici di rifrazione a lunghezze d'onda diverse posta a denominatore, il numero di Abbe è inversamente proporzionale al valore di dispersione cromatica dei materiali rifrangenti. È quindi utilizzato per classificare i vari tipi di vetri ed altri materiali trasparenti in funzione della loro capacità di separare spazialmente i diversi

colori di un fascio di luce policromatica. Tipicamente, varia da circa 20 per vetri flint molto densi fino a più di 85 per vetri crown particolarmente leggeri.

Data la definizione come rapporto di differenze di indici di rifrazione nel visibile, le proprietà di dispersione quantificate dal numero di Abbe sono utili per classificare i materiali limitatamente all'intervallo spettrale di 380-760 nm.

Molto utile è il diagramma di Abbe, in cui si riporta l'indice di rifrazione n_d in funzione del numero di Abbe V_d , in modo da catalogare i vetri in base alla loro posizione nel diagramma.



Il numero di Abbe viene usato per calcolare i raggi di curvatura e le lunghezze focali delle singole lenti nei doppietti acromatici per minimizzare l'aberrazione cromatica.

Prismi rifrangenti

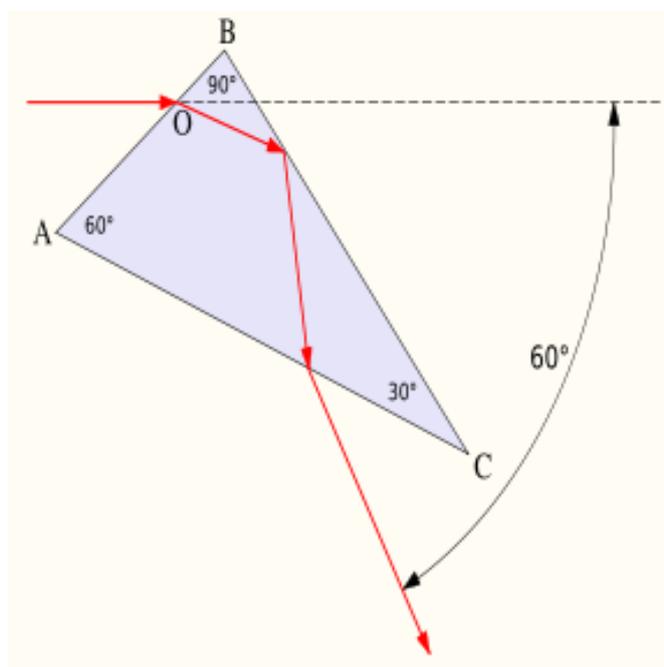
Prisma triangolare

Ha la tipica sezione a triangolo isoscele o equilatero, analizzata nel precedente paragrafo "Prisma di rifrazione".

Prisma di Abbe

Ha una sezione a triangolo rettangolo, con angoli di 30° , 60° e 90° . Il fascio luminoso incidente viene rifratto una prima volta sul lato AB, è soggetto ad una riflessione interna totale sul lato BC e viene rifratto una seconda volta sul lato di uscita AC.

La forma della sezione permette di disperdere i colori in modo che una specifica lunghezza d'onda esca dal prisma con un angolo di deviazione esattamente pari a 60° . Questa è la minima deviazione generabile dal prisma e tutte le altre lunghezze d'onda escono con angoli maggiori. La selezione della lunghezza d'onda da deviare di 60° avviene ruotando il prisma attorno al punto O del lato AB.

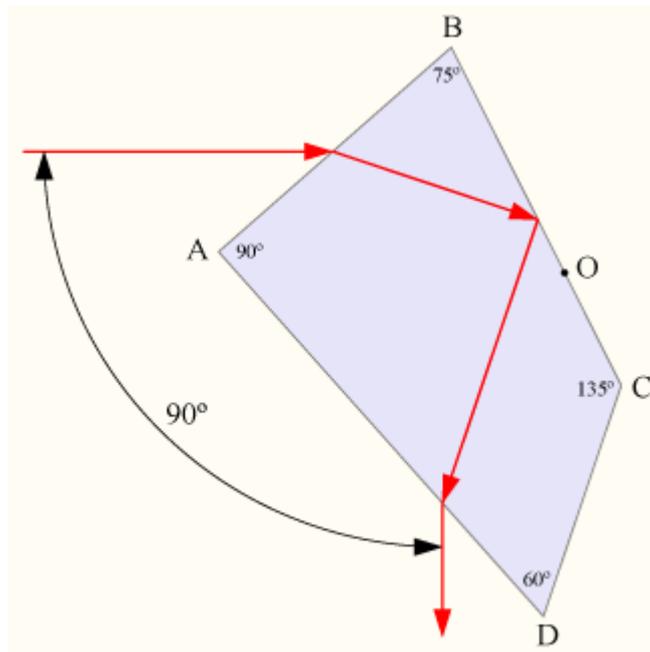


Prisma di Pellin-Broca

Prende il nome dai suoi inventori, i francesi Philippe Pellin e André Broca.

Ha una sezione a quadrilatero rettangolo, con angoli di 90° , 75° , 135° e 60° . Il fascio luminoso incidente viene rifratto una prima volta sul lato AB, è soggetto ad una riflessione interna totale sul lato BC e viene rifratto una seconda volta sul lato di uscita AD.

La forma della sezione permette di disperdere i colori in modo che una specifica lunghezza d'onda esca dal prisma con un angolo di deviazione esattamente pari a 90° . La selezione della lunghezza d'onda da deviare di 90° avviene ruotando il prisma attorno al punto O, posto a $2/3$ del lato BC.

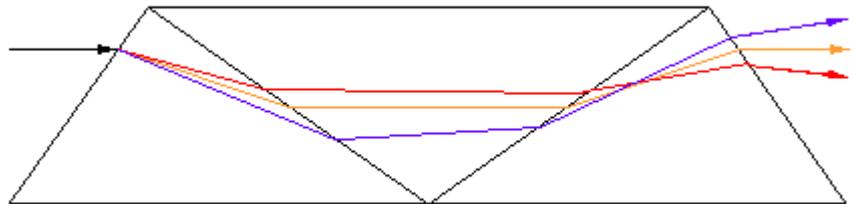


Prisma di Amici

Prende il nome dal suo inventore, l'astronomo Giovanni Amici.

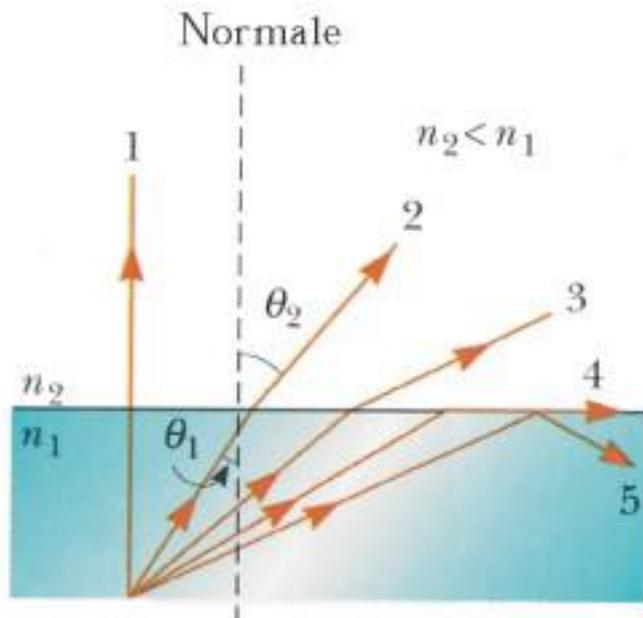
È costituito da due prismi triangolari a contatto, con il primo in vetro crown a media dispersione ed il secondo in vetro flint ad alta dispersione. Il fascio luminoso incidente viene rifratto sul lato di ingresso del primo prisma, sull'interfaccia tra i prismi e sul lato di uscita del secondo prisma, con un angolo di rifrazione finale quasi nullo. Gli angoli ed i materiali

dei due prismi sono selezionati in modo che una specifica lunghezza d'onda, la cosiddetta **lunghezza d'onda centrale**, esca traslata parallelamente alla direzione di incidenza. Le altre lunghezze d'onda vengono deviate con angoli che dipendono dalla capacità di dispersione dei materiali dei prismi. Sovente, si utilizza una configurazione simmetrica a tre prismi, nota come **prisma doppio di Amici**, al fine di incrementare la dispersione angolare. Inoltre, questa configurazione ha la proprietà di rifrangere la lunghezza d'onda centrale perfettamente in asse con la direzione di incidenza.

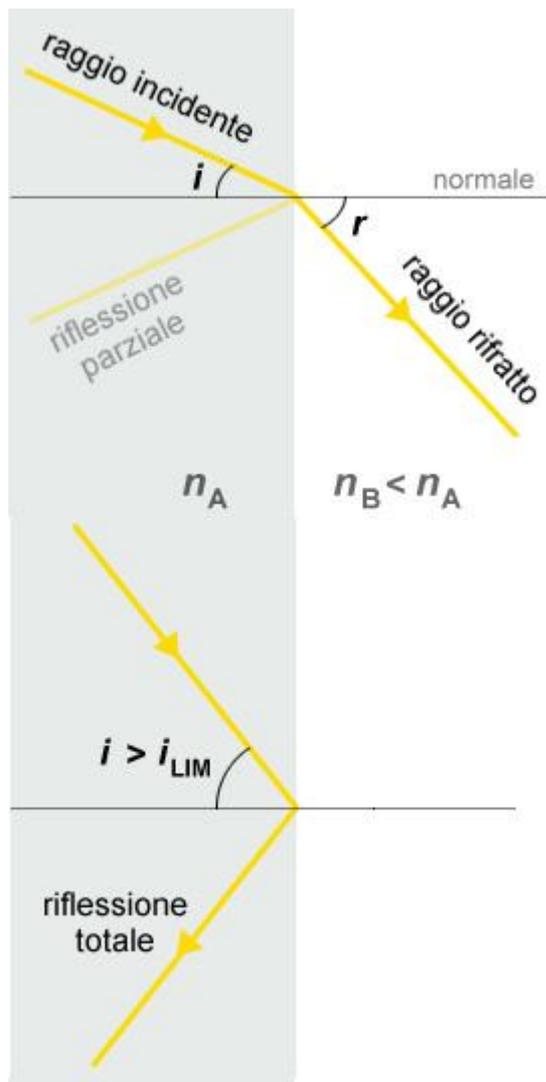


Riflessione interna totale

Si consideri il caso di un raggio luminoso che incide con angoli progressivamente crescenti sulla superficie di separazione tra due diversi materiali ottici, dove il secondo mezzo è caratterizzato da una velocità di propagazione inferiore a quella del primo mezzo ($n_2 < n_1$):



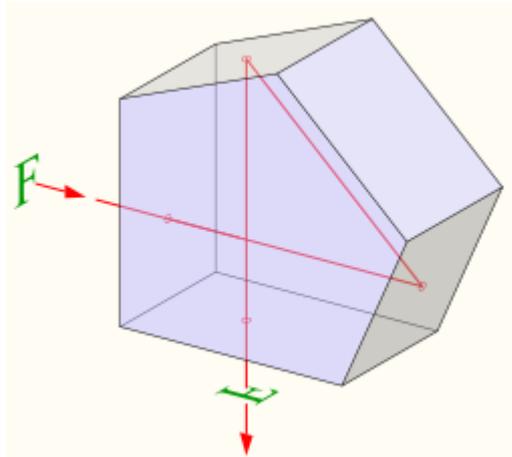
- 1) Il raggio ha un angolo di incidenza nullo (è perpendicolare alla superficie). In base alla legge di Snell, anche l'angolo di rifrazione è nullo: il raggio non subisce alcuna deviazione della direzione di propagazione.
- 2) Il raggio ha un angolo di incidenza non nullo. In base alla legge di Snell ed alla riduzione dell'indice di rifrazione ($n_2 < n_1$), l'angolo di rifrazione è maggiore di quello di incidenza: il raggio viene rifratto allontanandosi dalla perpendicolare.
- 3) Il raggio ha un angolo di incidenza crescente. In base alla legge di Snell ed alla riduzione dell'indice di rifrazione ($n_2 < n_1$), l'angolo di rifrazione è maggiore di quello di incidenza: il raggio viene rifratto allontanandosi ancora di più dalla perpendicolare.
- 4) Il raggio ha un angolo di incidenza pari all'**angolo limite**. In base alla legge di Snell ed alla riduzione dell'indice di rifrazione ($n_2 < n_1$), l'angolo di rifrazione è di 90° : il raggio viene rifratto lungo la superficie di separazione senza entrare nel secondo mezzo.
- 5) Il raggio ha un angolo di incidenza superiore a quello limite. Si ha il fenomeno della **riflessione totale**, ovvero il raggio incidente è soggetto a riflessione (senza alcun assorbimento) ma non a rifrazione.



Prismi riflettenti

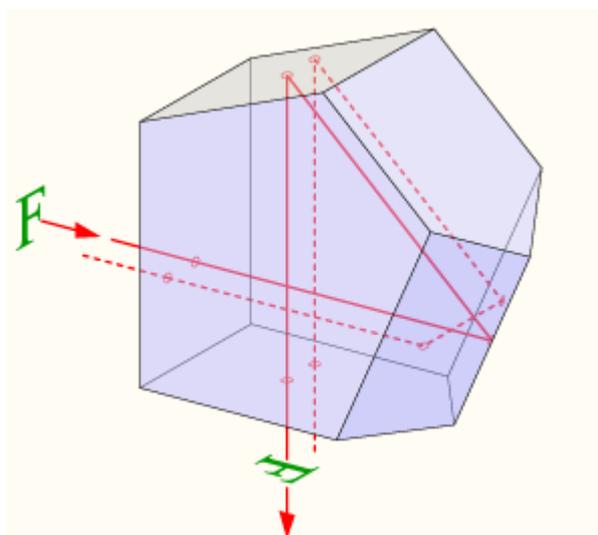
Pentaprisma

Ha una sezione a cinque lati in grado di deviare il fascio luminoso incidente di 90° . La doppia riflessione interna consente di trasmettere l'immagine ad angolo retto senza invertirla in orizzontale ed in verticale, al contrario di quanto accadrebbe con un prisma ad angolo retto.



Poiché gli angoli di incidenza dentro il prisma sono inferiori all'angolo limite, il fascio luminoso non viene deviato per riflessione interna totale ed è quindi necessario lavorare a specchio le due superfici, trattandole anche con uno strato antiriflesso per minimizzare le riflessioni spurie. Il quinto lato non svolge alcuna funzione ottica ed è il risultato della troncatura del prisma al fine di contenerne l'ingombro.

La variante nota come **pentaprisma a tetto** permette di invertire in orizzontale l'immagine sostituendo uno dei due lati riflettenti del pentaprisma normale con una sezione "a tetto", costituita da due superfici che formano un angolo di 90° .

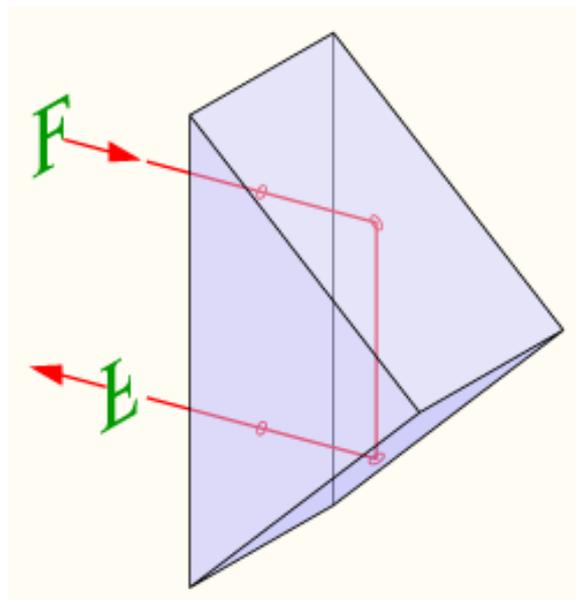


Questa proprietà lo rende idoneo all'utilizzo nei mirini delle fotocamere **reflex monobiiettivo (Single Lens Reflex, SLR)**.

Prisma di Porro

Prende il nome dal suo inventore, Ignazio Porro, e serve a modificare l'orientamento dell'immagine.

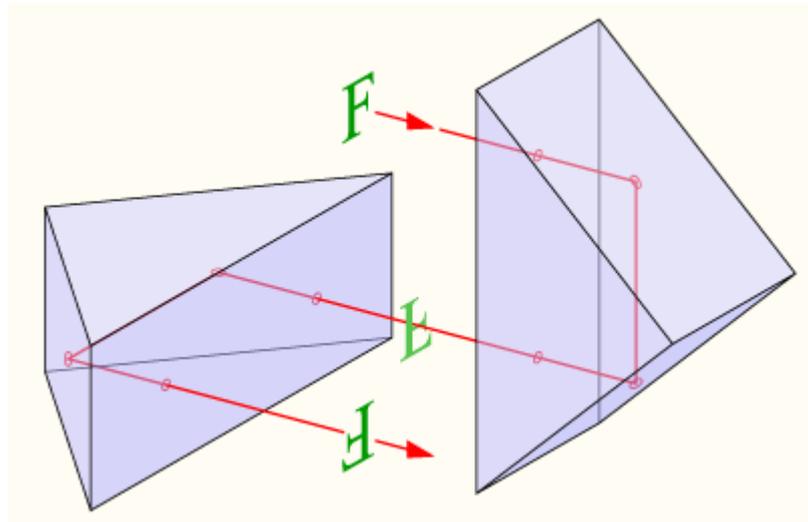
Ha una sezione a triangolo rettangolo con cateti uguali. Il fascio luminoso entra ed esce in corrispondenza della superficie dell'ipotenusa, subendo una traslazione con inversione del verso di propagazione in virtù della doppia riflessione interna totale sulle superfici dei cateti. Poiché le direzioni di ingresso ed uscita sono perpendicolari alla superficie dell'ipotenusa, il prisma non genera alcuna dispersione.



In conseguenza della doppia riflessione, l'immagine viene ruotata di 180° e traslata, senza però subire alcuna inversione in orizzontale.

Accoppiando due prismi di Porro ruotati di 90° tra loro, si ottiene un'immagine traslata ed invertita sia orizzontalmente sia verticalmente. Il sistema a doppio prisma di Porro trova soprattutto impiego nei binocoli, permettendo non solo di raddrizzare l'immagine ma anche di ridurre l'ingombro di questi

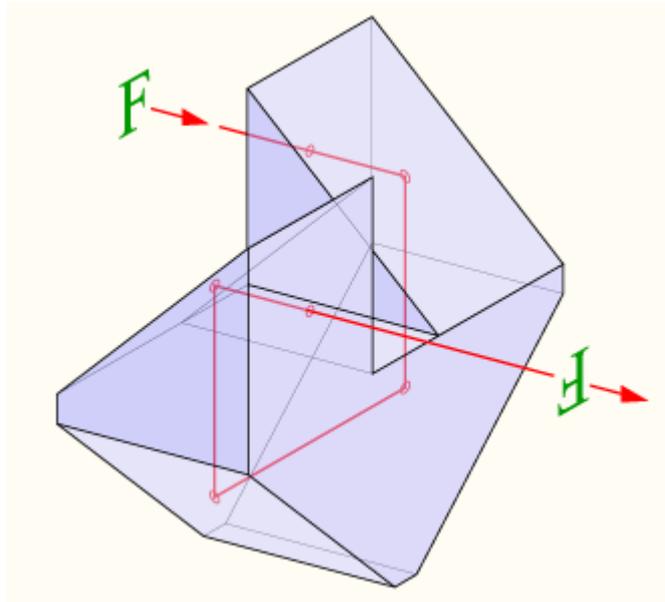
strumenti grazie al doppio "ripiegamento" della lunghezza focale.



Di solito, i due prismi sono cementati ed hanno i vertici troncati per ridurre peso ed ingombro.

Prisma di Porro-Abbe

Prende il nome dai suoi inventori, Ignazio Porro ed Ernst Abbe, e serve a modificare l'orientamento dell'immagine. Si può considerare una variante della più comune configurazione a doppio prisma di Porro. È un prisma monoblocco con forma equivalente a quattro prismi ad angolo retto ruotati tra loro e cementati. Il fascio luminoso entra ed esce in corrispondenza delle due superfici verticali, subendo una traslazione senza inversione del verso di propagazione in virtù delle quattro riflessioni interne totali. Di conseguenza, l'immagine viene ruotata di 180° . Poiché il fascio luminoso è perpendicolare alle superfici di ingresso ed uscita, il prisma non genera alcuna dispersione ed è utilizzabile per raddrizzare l'immagine in alcuni tipi di binocoli.

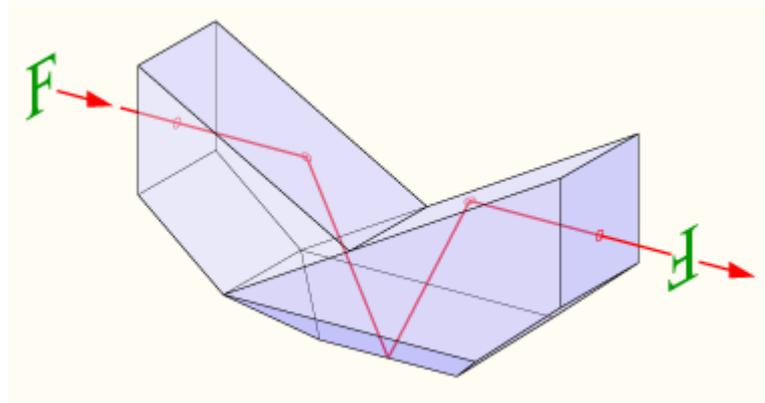


Sovente, per semplificarne la produzione, il prisma è realizzato con una coppia di prismi a doppio angolo retto cementati.

Prisma di Abbe-Koenig

Prende il nome dai suoi inventori, Ernst Abbe ed Albert Koenig. Serve ad invertire un'immagine ruotandola di 180° e per questo trova impiego nei binocoli.

È costituito da due prismi cementati a formare un gruppo ottico simmetrico a V. Il fascio incide perpendicolarmente sulla prima superficie verticale, viene riflesso internamente dalla prima superficie inclinata a 30° e riflesso dalla sezione inferiore a tetto (con le due superfici angolate a 90° tra loro). Viene quindi riflesso internamente dalla seconda superficie inclinata a 30° ed esce perpendicolarmente alla seconda superficie verticale. L'effetto complessivo consiste nell'inversione sia in orizzontale sia in verticale dell'immagine.



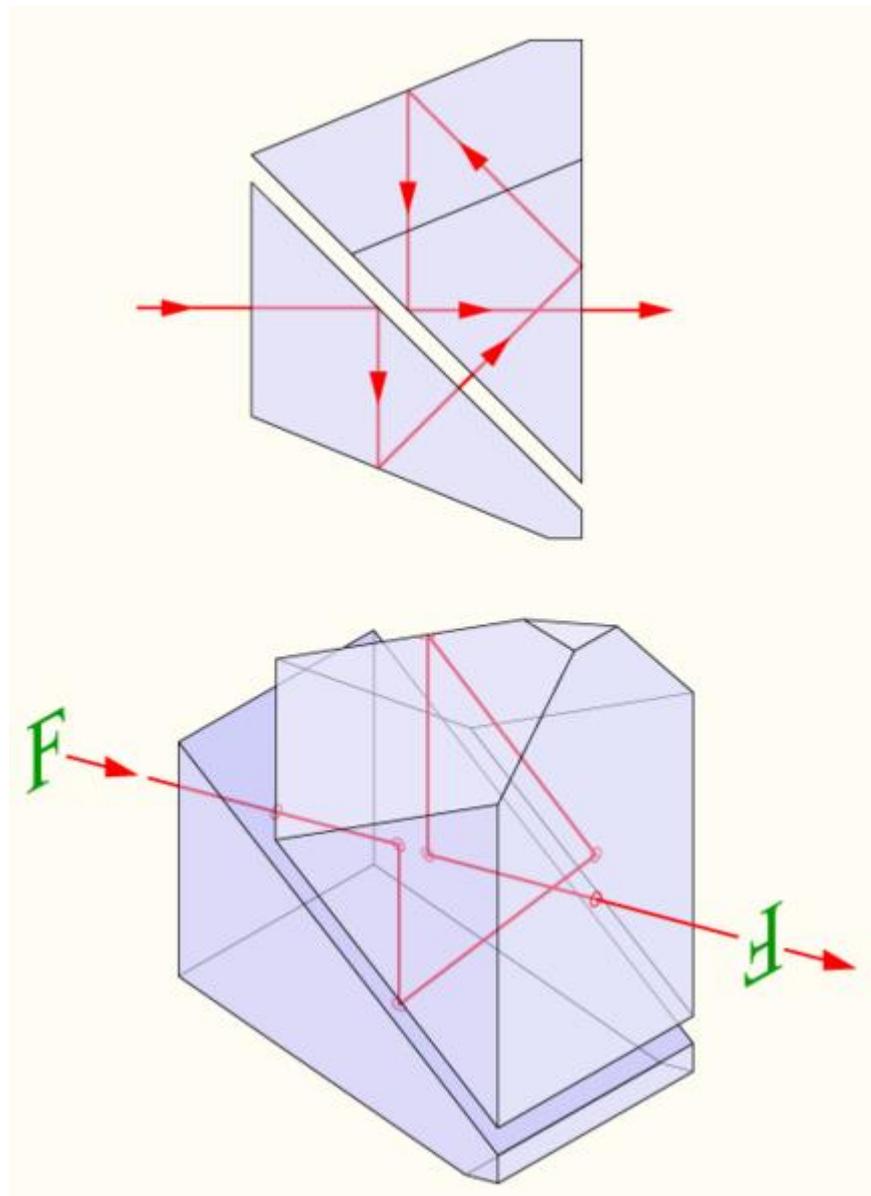
Diversamente dal doppio prisma di Porro, le direzioni del fascio luminoso in ingresso ed in uscita sono in asse. Inoltre, il prisma risulta più compatto. Una variante prevede la sostituzione della sezione a tetto con una singola superficie lavorata a specchio. Questo tipo di prisma inverte l'immagine in verticale ma non in orizzontale.

Prisma di Schmidt-Pechan

Consente di ruotare l'immagine di 180° e trova impiego nei binocoli, grazie anche alla sua maggiore compattezza rispetto ai prismi di Porro e di Abbe-Koenig.

È costituito dall'unione del prisma di Schmidt e del prisma di Pechan, composto a sua volta da due prismi separati da uno strato di aria. Il prisma di Pechan inverte o rinvia l'immagine in funzione dell'orientamento ma non contemporaneamente. Sostituendo il secondo prisma nello schema di Pechan con un prisma di Schmidt, il risultante prisma di Schmidt-Pechan è in grado di invertire e rinviare l'immagine, ovvero di ruotarla.

Il prisma di Schmidt-Pechan consiste quindi in due prismi separati da aria. Il secondo prisma, quello di Schmidt, inverte e rinvia l'immagine, deviando però il cammino ottico di 45° . Il primo prisma corregge questa deviazione inviando il fascio ottico inclinato a 45° nel prisma di Schmidt. La configurazione mantiene coassiali le direzioni di ingresso e di uscita, cosicché il prisma di Schmidt-Pechan non devia il fascio luminoso centrato sull'asse ottico.



Il prisma inferiore sfrutta una riflessione interna totale seguita da una riflessione su superficie a specchio, al fine di indirizzare il fascio luminoso sul prisma superiore senza modificare l'orientamento dell'immagine.

Il prisma superiore inverte l'immagine mediante tre riflessioni (di cui due interne totali) sul piano verticale nella sezione a tetto. La sezione a tetto rinvia l'immagine mediante due riflessioni sul piano orizzontale, una per ciascuna superficie del tetto. Si può considerare questa coppia di riflessioni come una riflessione sul piano verticale. Poiché la doppia

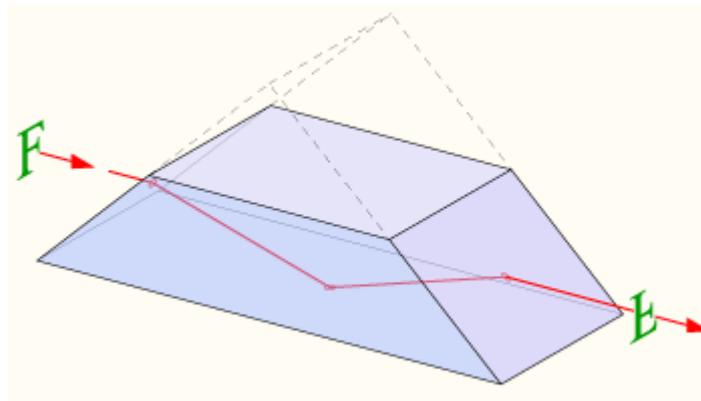
riflessione nella sezione a tetto avviene con angoli di incidenza inferiori a quello limite, è necessario lavorare a specchio le due superfici. L'inversione ed il rinvio generano una rotazione di 180° dell'immagine senza invertirne i lati.

Al fine di minimizzare le perdite, è necessario depositare su tutte le superfici di ingresso e di uscita uno strato antiriflesso.

Prisma di Dove

Prende il nome dal suo inventore, Heinrich Wilhelm Dove.

Serve ad invertire l'immagine ed è un prisma ad angolo retto troncato parallelamente alla base, con una sezione quindi trapezoidale. Il fascio luminoso, incidente su una delle due superfici inclinate, è soggetto ad una riflessione interna totale sulla superficie di base ed emerge dall'altra superficie inclinata. Poiché si ha una sola riflessione, l'immagine viene capovolta ma non invertita lateralmente.



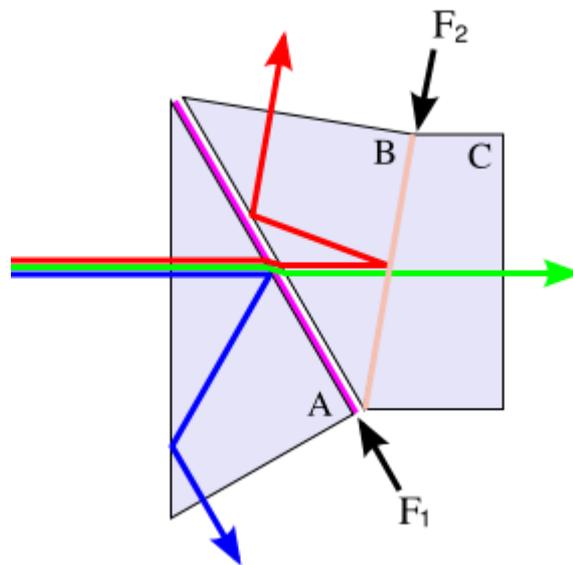
Il prisma di Dove è caratterizzato da un'interessante proprietà: se viene fatto ruotare sull'asse longitudinale, ruota l'immagine ad una velocità doppia.

Prisma dicroico

Ha la caratteristica di suddividere il fascio luminoso in due sottofasci di differente colore. Di norma, è costituito da uno o più prismi con **rivestimento ottico dicroico**, in grado di riflettere o trasmettere

selettivamente una determinata lunghezza d'onda. In altri termini, le superfici interne del prisma agiscono da filtri dicroici.

La configurazione a **prisma tricromatico** è la combinazione di due prismi dicroici ed è quindi in grado di suddividere l'immagine nelle sue componenti rossa, verde e blu, rilevabili separatamente da un sistema a tre CCD (come accade nelle telecamere professionali e nelle videocamere amatoriali di fascia alta).



Il fascio luminoso entra nel primo prisma (A) e la componente blu, ad alta frequenza, è riflessa dal rivestimento filtrante passa-alto (F_1), mentre le lunghezze d'onda a frequenza inferiore (luce gialla) vengono trasmesse. La luce blu subisce quindi una riflessione interna totale ed esce lateralmente dal prisma. La luce gialla entra nel secondo prisma (B) e la componente rossa è riflessa dal rivestimento filtrante (F_2), mentre le lunghezze d'onda a frequenza inferiore (luce verde) vengono trasmesse. La luce rossa subisce quindi una riflessione interna totale grazie alla sottile spaziatura tra i prismi A e B ed esce lateralmente dal prisma. La luce verde attraversa il prisma C senza alcuna deviazione.

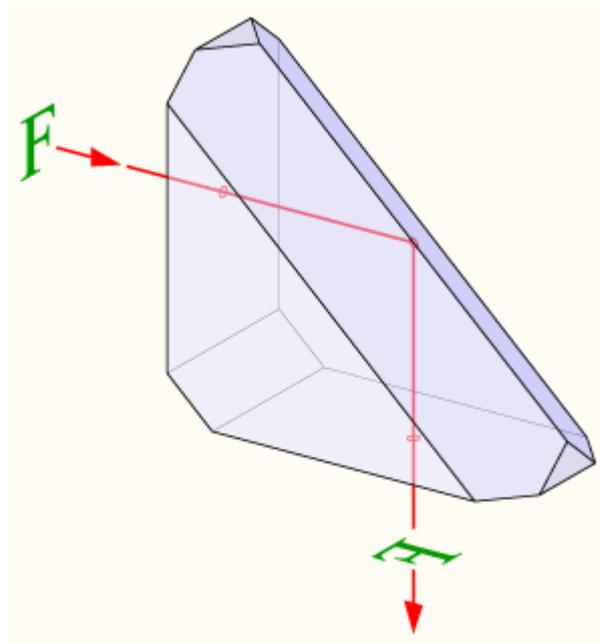
Come accade in alcuni tipi di videoproiettori, è possibile utilizzare il prisma tricromatico al contrario,

ricombinando le tre componenti rossa, verde e blu in un'immagine a colori.

Prisma a tetto di Amici

Prende il nome dal suo inventore, l'astronomo Giovanni Amici.

Serve a deviare l'immagine di 90° , invertendola nel contempo.



È analogo ad un prisma ad angolo retto, ma con l'aggiunta di una sezione a tetto (con le due superfici angolate a 90°) sul lato più lungo. La riflessione interna totale nella sezione a tetto inverte l'immagine lateralmente.

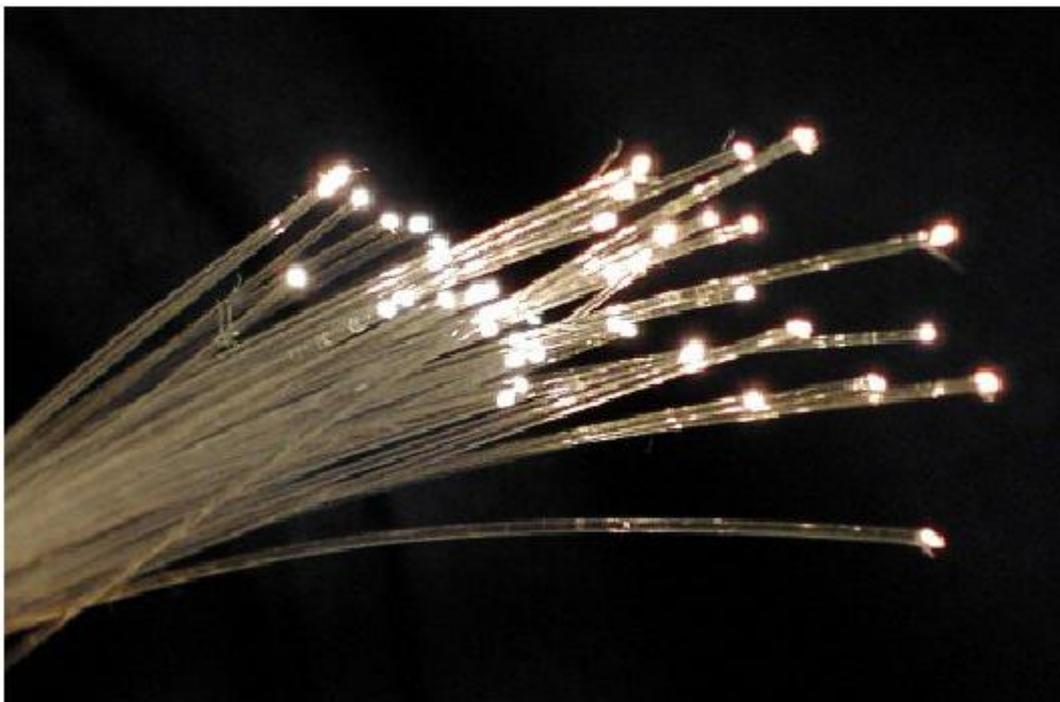
Talvolta, le superfici del tetto sono lavorate a specchio, potendo così svincolarsi dalla riflessione interna totale ed utilizzare angoli di incidenza variabili del fascio luminoso.

Fibre ottiche

Sono filamenti di materiali vetrosi o polimerici, realizzati in modo da poter condurre la luce e normalmente disponibili sotto forma di cavi.

Sono flessibili, immuni a disturbi elettrici ed a condizioni atmosferiche estreme e poco sensibili a variazioni di temperatura. Hanno le dimensioni di un capello e sono molto leggere: una singola fibra pesa circa 20 kg/km, compresa la guaina che la ricopre.

Le fibre ottiche sono classificate come guide d'onda dielettriche. In altri termini, permettono di convogliare al loro interno un campo elettromagnetico di frequenza sufficientemente alta (infrarosso e visibile) con perdite estremamente limitate. Vengono comunemente impiegate nell'illuminazione, nelle telecomunicazioni anche su grandi distanze e nella fornitura di accessi di rete a banda larga.

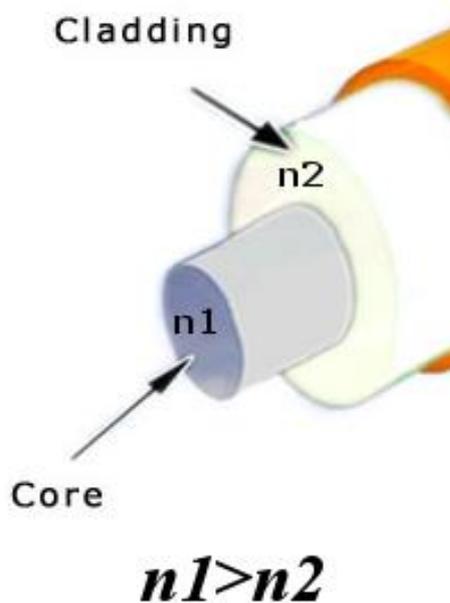


Per quanto riguarda la vera e propria composizione strutturale, una fibra ottica è costituita essenzialmente da:

- nucleo (**core**),
- mantello o rivestimento (**cladding**),
- copertura (**buffer**),
- fibre di irrigidimento (**strengthening fibers**),
- guaina (**outside** o **jacket**).

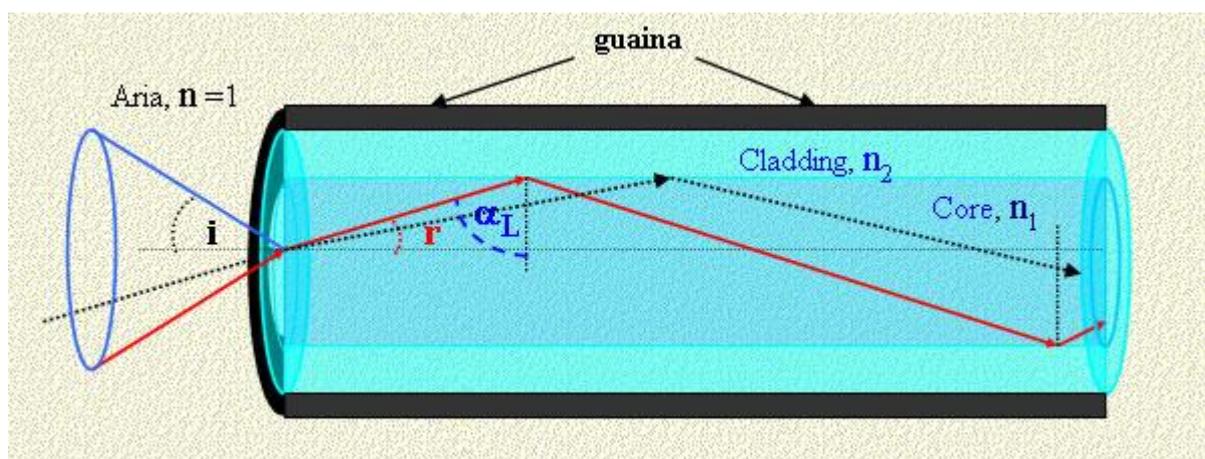


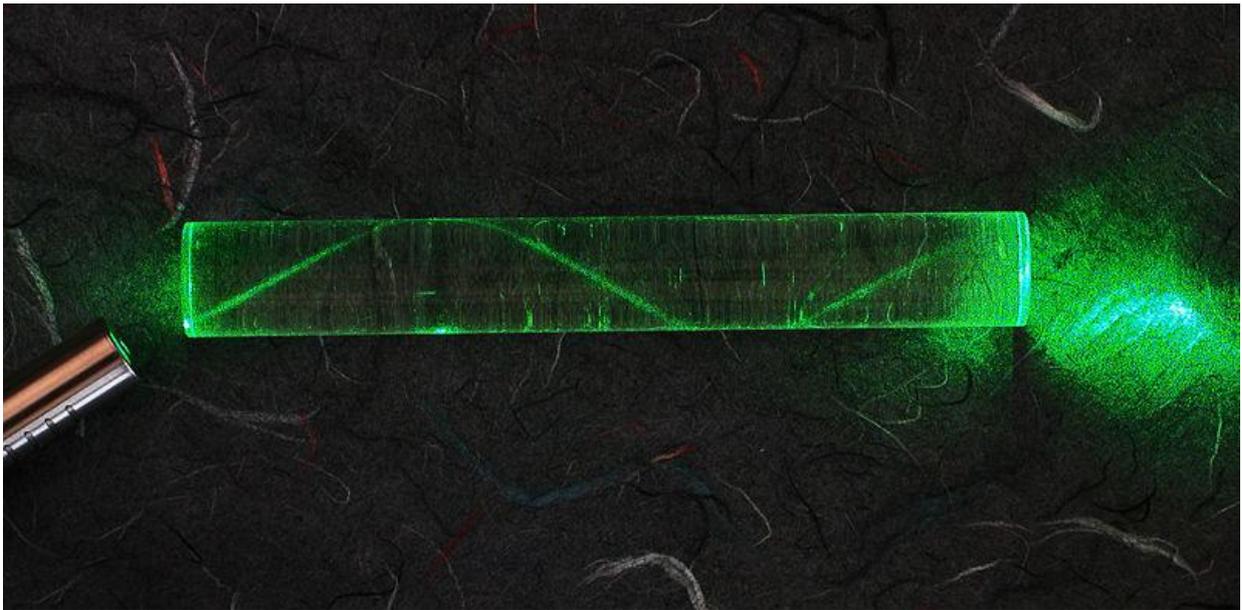
Le parti che hanno un ruolo primario nel funzionamento della fibra ottica sono, senza dubbio, il core e il cladding. Il materiale di cui è composto il nucleo ha un indice di rifrazione n_1 maggiore dell'indice di rifrazione n_2 del materiale componente il cladding.



La differenza tra n_1 ed n_2 crea tra il core e il cladding una cosiddetta **superficie di discontinuità**. Il raggio luminoso colpendo questa superficie, viene riflesso continuamente secondo il **principio di riflessione interna totale**.

Non è possibile irradiare un raggio luminoso all'interno della fibra ottica con una qualsiasi angolazione, bensì l'angolo deve essere compreso nel **cono di accettazione**. All'interno del suddetto cono, l'angolo di incidenza sarà maggiore dell'angolo limite α_L ed il raggio sarà quindi totalmente riflesso.



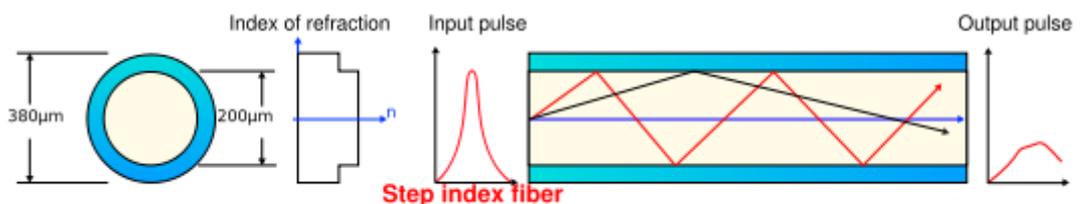


Tipico delle fibre ottiche è il concetto di **modo**, cioè il possibile percorso dei raggi al loro interno.

Fibre multimodali Step Index

Sono fibre che permettono ai vari raggi luminosi di seguire diversi percorsi (o modi) per giungere alla fine del canale trasmissivo.

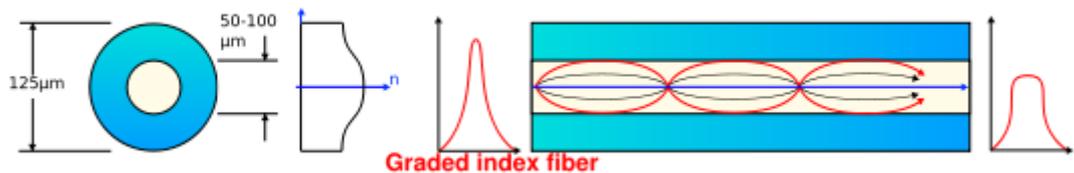
Il termine Step Index sta ad indicare che tra l'indice di rifrazione del core e l'indice di rifrazione del cladding vi è una **discontinuità a gradino (step)**. Ciò significa che è presente una variazione brusca tra l'indice di rifrazione n_1 del core e l'indice di rifrazione n_2 del cladding.



Fibre multimodali Graded Index

Sono fibre che permettono ai vari raggi luminosi di seguire diversi percorsi (o modi) per giungere alla fine del canale trasmissivo.

Il termine Graded Index sta ad indicare che l'indice di rifrazione del core varia progressivamente e gradualmente, mentre l'indice di rifrazione del cladding rimane costante. Più precisamente, l'indice di rifrazione del core diminuisce in senso radiale andando dall'asse alla superficie di discontinuità. Di conseguenza, vi è proporzionalità inversa tra la distanza percorsa e la velocità assunta dai raggi luminosi, permettendo a questi di arrivare alla fine del canale trasmissivo nello stesso istante. Infatti, più un raggio si allontana dall'asse, maggiore sarà la distanza che dovrà percorrere, ma maggiore sarà anche la sua velocità in quanto l'indice di rifrazione sarà minore.



Fibre monomodali

Sono fibre che permettono ai raggi luminosi di seguire un unico percorso ed eliminano quindi il problema della dispersione modale. Affinchè le fibre di questo tipo dispongano di un solo percorso di propagazione, i diametri del core e del cladding vengono ridotti rispettivamente a 8 μm e 125 μm. Inoltre, presentano un'attenuazione inferiore a quella delle fibre multimodali: poiché l'angolo di accettazione necessario è minore ed il nucleo risulta conseguentemente più sottile, è sufficiente un drogaggio meno consistente dei materiali interni, con minori perdite.

