

## Scheda di approfondimento storico



*Claudio Tolomeo*  
100 – 175 circa d. Cr.

- *l'Ottica*, opera di Tolomeo è giunta incompleta e in una pessima traduzione latina, compiuta dall'ammiraglio Eugenio, in Sicilia, da una precedente versione araba. Il trattato consta, oltre a una sezione sulla riflessione, una trattazione dei fenomeni di rifrazione ed include, una tabella che fornisce gli angoli di rifrazione corrispondenti a vari angoli di incidenza per le coppie acqua-aria, aria-vetro e acqua-vetro: si tratta di una importante testimonianza dell'antico metodo sperimentale.

Tolomeo notò che nel passare da un mezzo trasparente all'altro, il raggio visuale deviava in dipendenza dalla densità dei mezzi a contatto. L'angolo di rifrazione era minore dell'angolo d'incidenza nel passaggio da un mezzo rarefatto ad uno denso; nel passare da un mezzo denso a uno rarefatto l'angolo di rifrazione era maggiore dell'angolo di incidenza.

- Con uno cerchio graduato munito al centro di due indici per facilitare la misurazione degli angoli di incidenza  $i$  e di rifrazione  $r$ , Tolomeo ricavò una serie di misure nei mezzi aria-acqua, aria-vetro, acqua-vetro. Nel caso del passaggio della luce da un mezzo più denso a uno meno denso stabilì il valore dell'angolo limite per l'acqua.

Per gli angoli di incidenza  $i$  e di rifrazione  $r$  individuò una relazione che associava ad un valore dato di  $i$ , il rapporto  $\frac{i}{r}$ . Questa assunzione verrà da molti intesa come una legge del

tipo  $\frac{i}{r} = \text{costante}$ , risultato che, per piccoli valori di  $i$ , è in accordo con la legge della rifrazione.

- [L'Ottica di Claudio Tolomeo](#) cit.. libro V. pp. 144-50



### ***al-Haytham (Alhazen)***

*(Abu Ali al Hassan ibn al Haitham) (Bassora c. 965- Il Cairo c. 1040)*

- Scrisse il più importante trattato di ottica dai tempi di Tolomeo “*Kitab al-Manazir*” che fu tradotto in latino da Gherardo da Cremona col titolo “*Opticae thesaurus Alhazeni*” nel 1270.
- Contribuì a conciliare la teoria intromissiva della visione (i raggi luminosi procedevano dagli oggetti del mondo osservato fino all’occhio) con i risultati di Euclide e di Tolomeo.
- Egli stesso trattava di: lumen, lux e color illuminatus.
- Il lavoro fu trasmesso all’Occidente latino e nel XIII secolo divenne il testo per la tradizione prospettiva dell’ottica (nel dibattito sulla riflessione e sulla rifrazione, i prospettivisti erano interessati alla percezione delle immagini solo tramite specchi e sfere di vetro).
- In esso si conferma la natura della luce come raggio riflesso dagli oggetti e non come proveniente dall’occhio dell’osservatore; si discute di lenti, specchi ricurvi e piani, colori, nonché della camera oscura.
- Riedito nel 1572 fu alla base dei lavori di ottica di Keplero

La seguente selezione dal *Discorso sullo specchio sferico concavo* è un buon esempio dell’approccio di Alhazen allo studio dell’ottica.

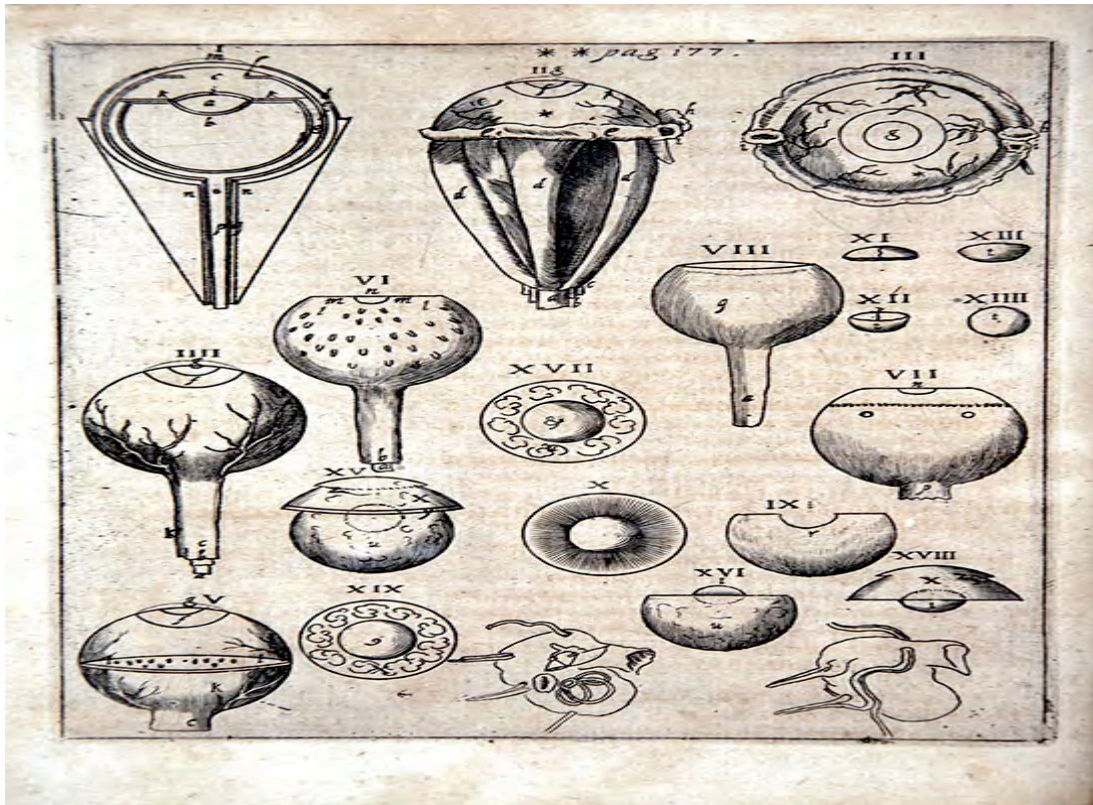
#### ***Sugli specchi ustori di forma circolare:***

*I raggi solari procedono dal Sole secondo linee rette e sono riflessi da ogni oggetto lucido ad angoli uguali, ossia il raggio riflesso sottende, insieme con la linea tangenziale all’oggetto lucido che si trova nel piano del raggio riflesso, due angoli uguali. Ne segue perciò che il raggio riflesso dalla superficie sferica, insieme con la circonferenza del cerchio che è nel piano del raggio,*

sottende due angoli eguali. Da ciò segue anche che il raggio riflesso sottende, assieme al diametro del cerchio, due angoli eguali. E ogni raggio che è riflesso da un oggetto lucido a un punto produce in quel punto un certo riscaldamento, così che se numerosi raggi vengono raccolti in un punto, il riscaldamento in quel punto si moltiplica: e se il numero dei raggi aumenta, aumenta conformemente l'effetto del calore.

### Johannes Kepler

(Weil der Stadt, 1571 – Ratisbona, 1630)



L'occhio umano dispositivo ottico

J. Kepler 1604 "Ad Vitellonium paralipomena"

- Nel 1604 J. Kepler pubblica l'opera "Ad vitellonium paralipomena", esamina le dimostrazioni geometriche della teoria della propagazione rettilinea dei raggi luminosi e della legge della riflessione, anche la rifrazione dei raggi luminosi attraverso la superficie di separazione tra due mezzi trasparenti.
- Introduce la rifrazione fra l'etere cristallino e l'aria per trattare poi "la rifrazione astronomica" (spiegata da Tolomeo e in parte da Tycho). Aggiunge un breve studio sull'occhio umano, che considera un dispositivo ottico nel quale la rifrazione ha un ruolo importante nella formazione dell'immagine.



1611 Dioptrice

- Nel 1611 J.Kepler si dedica all'ottica e pubblica ad Augsburg la "Dioptrice", studio geometrico esaustivo dei raggi di luce rifratti attraverso cubi e prismi di vetro, tramite superfici piane, concave e convesse e lenti di forma diversa.

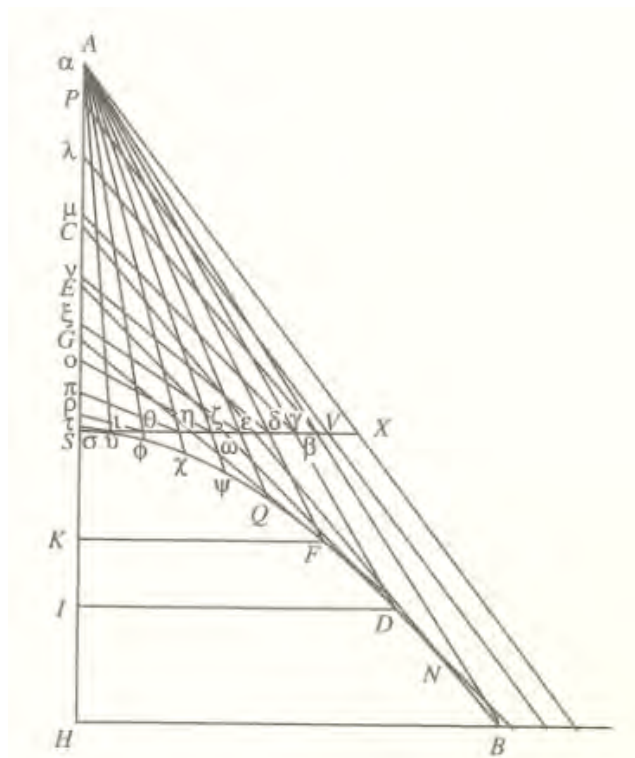
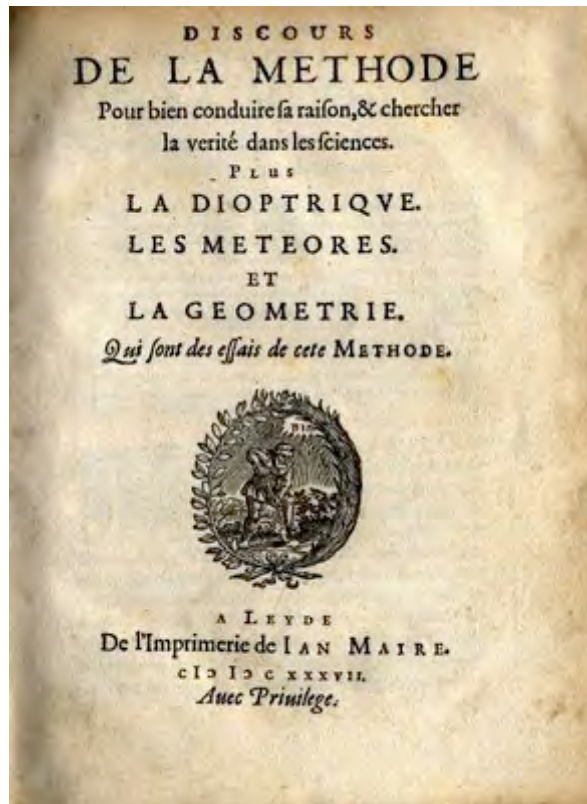


Illustrazione di Keplero sulle proprietà della rifrazione

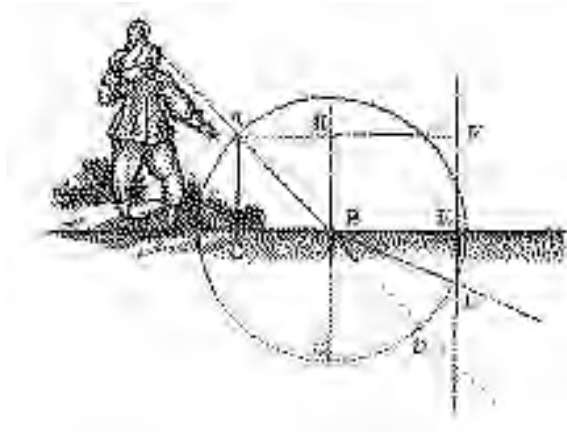
## Cartesio

(René des Cartes du Perron)  
La HayeTouraine 1596, Stoccolma, 1650



Nel 1637 Cartesio pubblicò la “*Dioptrique*” con altri due lavori di carattere scientifico.

I suoi contributi alla natura della luce e all’ottica geometrica si trovano anche nelle “*Meteore*” e in un “*Traité de la lumière*” completato già nel 1633, ma pubblicato postumo.



La legge della rifrazione venne esposta, con notazione moderna, nella “*Dioptrique*” a cui egli giunse in base ad un presupposto del tutto sbagliato.

Per spiegare l’avvicinamento alla normale del raggio rifratto da un vetro o dall’acqua, più “*duri*” dell’aria, Cartesio concluse che la componente parallela alla superficie rifrangente rimaneva inalterata dopo rifrazione, mentre quella perpendicolare aumentava per cui risultava che la luce viaggiava *più velocemente nei mezzi più densi*.

E' da notare che una spiegazione simile era stata introdotta da Alhazen che riteneva finita la velocità del *lumen*. Per giustificare la sua assunzione, Cartesio invocava uno dei vari paragoni balistici sfruttati in tutta la *Dioptrique* :

***“ come una palla perde più del suo moto urtando contro un corpo molle che contro uno duro ..... così l'azione di questa materia sottile può essere impedita dall'aria ... ”***

Cartesio come studioso di ottica non era molto metodico, si mostrava distaccato riguardo alla natura della luce e ciò si notava nella stesura originale della *“La Dioptrique”*

*(Discours premier )*.

***“ ... je crois qu'il suffira que je me serve de deux ou trois comparaisons qui aident à la concevoir en la façon qui me semble la plus commode ( sic ) pour expliquer toutes celles de ses propriétés que l'expérience nous fait connaître, et pour déduire ensuite toutes les autres qui ne peuvent pas se aisément être remarquées ”***

Nella *Dioptrique* viene invece proposta una teoria della visione ( Discorsi IV e VI ).

Cartesio formulò in modo corretto le leggi della rifrazione e riflessione, però per la prima sorse un altro caso di priorità contestata.

Pierre de Fermat, formulò il suo principio proprio in polemica con le ipotesi errate, di Cartesio sulle velocità relative nei diversi mezzi.

Egli entrò in polemica fin dal 1637, ma espose la propria dimostrazione della legge di rifrazione soltanto nel 1662, in uno scritto intitolato *“Synthesis ad refractiones”*.

Fermat non contestava il risultato fornito da Descartes sulla legge di rifrazione, bensì la sua dimostrazione, che considerava sbagliata e piena di paralogismi.

La dimostrazione di Fermat della legge di rifrazione si basava su :

- 1) il principio del tempo minimo
- 2) un'ipotesi relativa alla velocità della luce.

Dette la formulazione poco prima della sua morte, ma la dimostrazione fu pubblicata postuma dal figlio solo nel 1679.

## *P. Fermat*

(Beaumont de Lomagne -1601 Castres (Tarn) 1665)



Dopo la pubblicazione della *Dioptrique*, lo stesso Fermat più volte aveva accusato Cartesio di aver usato nella sua dimostrazione *ipotesi ad hoc*.

La decomposizione del moto della luce, secondo Fermat, era arbitraria e inoltre mal si conciliava con l'ipotesi postulata da Cartesio che la luce dovesse propagarsi istantaneamente; l'affermazione che la velocità della luce dovesse essere maggiore in acqua che in aria, inoltre, era inammissibile e andava contro ogni buon senso. Nel 1662 lo stesso Fermat deriverà la legge della rifrazione in base al principio di minimo, secondo il quale il tempo che la luce impiega per propagarsi in due o più mezzi ottici deve essere minimo; egli trova la legge:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_i}{v_r}$$

Le idee di Fermat, accusato dagli stessi cartesiani di condurre dimostrazioni non causali bensì teleologiche, non troveranno accoglienza negli ambienti accademici e l'affermazione che la velocità della luce debba aumentare nei mezzi più densi dominerà le ricerche di ottica per oltre due secoli.

Fermat sapeva che nella riflessione la luce percorre il cammino che richiede il minor tempo possibile e, convinto che la natura agisse effettivamente in maniera semplice ed economica, enunciò in due lettere del 1657 e del 1662 “*il suo principio di minimo tempo*”, secondo cui la luce percorre sempre il cammino che richiede il tempo minore.

- [P. Fermat, \*OEuvres\*, II, pp. 485-89](#)
- [P. Fermat, \*OEuvres\*, III, p. 156](#)