

## CAPITOLO 7

## Il trionfo dell'ottica (1625-28)

La legge di rifrazione è una delle più semplici e importanti dell'ottica, ma nessuno prima di Descartes pensò a darne una precisa formulazione. Può essere espressa nel seguente modo: quando un raggio di luce passa da un mezzo a un altro, il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione si mantiene costante. Questo rapporto ( $\sin i / \sin r$ ) viene chiamato indice di rifrazione da un mezzo a un altro, ad esempio nel caso di un raggio che passa da aria in acqua vale  $4/3$ . Per questo motivo la legge di rifrazione è nota anche come legge del seno.

Descartes scoprì questa legge prima di fare ritorno in Olanda nell'autunno del 1628, probabilmente durante la permanenza a Parigi tra il 1625 e il 1628, ma dal momento che non fornì mai alcun resoconto autobiografico della traccia seguita, dopo la sua morte furono sollevati dubbi circa l'originalità della scoperta.

Wilibrod Snell, professore di matematica a Leida dal 1615 fino alla morte nel 1623, aveva formulato la legge di rifrazione in una forma di poco differente (dove l'indice di rifrazione è espresso come il rapporto  $\text{cosec } r / \text{cosec } i$ ), ma non aveva mai pubblicato il risultato. Il suo manoscritto fu visto in seguito da Isaac Vossius e da Christiaan Huygens, i quali frettolosamente conclusero che Descartes aveva tratto le proprie idee da Snell. È generalmente riconosciuto che le cose non siano andate in questo modo, dal momento che Descartes aveva formulato la legge di rifrazione prima del 1628, e prima di questa data non avrebbe potuto essere a conoscenza della differente strada seguita da Snell.<sup>1</sup> Inoltre quando, nel febbraio del 1632, Descartes informò il successore di Snell, Jakob Gool, della legge del seno, questi non insinuò mai che Snell era giunto a un risultato simile, ma si comportò come se la legge di Descartes gli risultasse del tutto nuova.

## L'ottica parigina

Quando Descartes fece ritorno a Parigi nell'estate del 1625, dopo aver trascorso più di un anno in giro per l'Italia, trovò che in sua assenza, soprattutto per impulso di Mersenne, erano state avviate numerose ricerche nel campo dell'ottica. Nell'opera enciclopedica *Quaestiones in Genesim*, pubblicata nel 1623, e in *La vérité des sciences*, apparsa due anni dopo, Mersenne aveva riassunto lo stato dell'arte nelle tre aree dell'ottica come erano conosciute allora: *ottica* propriamente detta, ovvero studio della propagazione rettilinea della luce; *catottrica*, studio della riflessione, e *dioottrica* (che Mersenne chiama anche *mesottica*, *anaclastica* o *diaclastica*), teoria della rifrazione.<sup>2</sup> L'ultimo era argomento di punta, e Claude Mydorge fra gli altri tentava di determinare la sezione di lente in grado di dare un punto focale reale con raggi di luce paralleli. Mydorge era un valente matematico, ma era anche un acuto sperimentatore e, secondo Adrien Baillet nella *Vie de monsieur Des-Cartes*, pagò la dispendiosa somma di 100 000 scudi per il disegno e la costruzione di strumenti ottici.<sup>3</sup> L'interesse per l'argomento si estendeva al di fuori della capitale, come sappiamo da una lettera che l'ingegnere Robert Cornier scriveva a Mersenne il 18 agosto 1625:

Non mi è noto alcun altro mezzo per costruire degli specchi parabolici oltre a quelli di cui siete già a conoscenza, considerato soprattutto che avete lo scritto del signor Mydorge che sull'argomento sa tutto quel che si può sapere. Posso solo dirvi che il signor Le Vasseur asserisce di aver trovato una via assolutamente certa *per mezzo dei seni*. Ma non posso dire di più perché non so ancora come la cosa funzioni.<sup>4</sup>

Pierre Costabel recentemente ha ipotizzato che all'origine della scoperta di Descartes possa esservi stato un suggerimento di Le Vasseur, «che Descartes in seguito ammetterà di aver conosciuto bene».<sup>5</sup> Sfortunatamente l'identificazione non è esatta: il Le Vasseur che Descartes conosceva e nella cui casa era sempre un ospite benvenuto (anche se non sempre cortese) era il signore d'Etioles che risiedeva a Parigi ed era un amico del padre, mentre la persona nominata nella lettera è Guillaume Le Vasseur, che viveva a Rouen e fu un rinomato costruttore di strumenti.<sup>6</sup>

Mersenne continuò a informare Cornier sugli sviluppi della questione, e nella lettera di risposta di quest'ultimo del 16 marzo 1626 troviamo per la prima volta nominato Descartes come colui che ha dato «ragione delle rifrazioni», e il primo riferimento all'artigiano Jean Ferrier che avrebbe presto lavorato per Descartes.<sup>7</sup> Ferrier aveva costruito alcuni strumenti per Jacques Aleaume, uno studioso parigino, i cui libri e strumenti vennero messi in

vendita alla sua morte nel 1627. Sembra che Mydorge abbia acquistato tutta o parte di questa eredità e che all'incirca in questo periodo abbia cominciato a servirsi dello stesso artigiano. Ferrier ricevette commesse anche da Jean-Baptiste Morin, l'insegnante di matematica al Collège de France. Con ogni probabilità Ferrier fu presentato a Descartes da Mydorge o da Mersenne nel 1626 o nel 1627, e avrebbe rivelato una inestimabile capacità di realizzare le idee di Descartes.

### L'anaclastica

Il principale problema di interesse per gli studiosi parigini riguardava la determinazione dell'anaclastica, la linea secondo la quale raggi paralleli si sarebbero intersecati in un singolo punto dopo aver attraversato un mezzo rifrangente. Il calcolo richiede la conoscenza del valore di curvatura di una lente necessario per far convergere tutti i raggi paralleli in un singolo punto focale. E questo è possibile solo se è nota la legge di rifrazione. Descartes fu in grado di risolvere il problema proprio perché conosceva tale legge. In una lettera a Constantin Huygens, scritta nel 1635, Descartes descrive il modo in cui «otto o nove anni» prima Ferrier aveva molato una lente capace di far convergere tutti i raggi incidenti paralleli in un fuoco alla distanza di otto pollici:

Ma permettetemi di raccontare con quanta cura tagliammo il vetro. Prima di tutto, avevo fatto ricavare tre piccoli triangoli identici. Ognuno aveva un angolo di 90 gradi e uno di 30 gradi cosicché un lato era il doppio dell'altro. Il primo era di cristallo di rocca, il secondo di vetro di Venezia o cristallino, e il terzo di vetro comune. Venne costruita anche una squadra di rame con due alette e i triangoli vennero fissati su di queste per misurare le rifrazioni, come spiego nella *Diottrica*. Questo è il modo in cui ho trovato che la rifrazione è molto più grande nel cristallo di rocca che in vetro di minore purezza, ma non ricordo quali ne erano gli effettivi valori. Può darsi che abbiate sentito parlare del signor Mydorge, la cui abilità nel tracciare figure geometriche è senza confronto. Egli prese un compasso con punte di acciaio fini come aghi, e tracciò l'iperbole riferita alla rifrazione attraverso il vetro di Venezia su un grande piatto di rame che era stato molto ben lucidato. Quindi ritagliò questa iperbole e la limò con grande cura lungo il bordo disegnato dal compasso. Un costruttore di strumenti di nome Ferrier usò questo modello per levigare una sagoma di rame su un tornio e le diede la curvatura corrispondente alla forma che doveva avere la lente. Al fine di non danneggiare il modello applicandolo ripetutamente alla sagoma, ritagliò dei pezzi di cartone sul piatto di rame e usò questi come forme sagomate. Quando la sagoma fu pronta, fissò la lente al tornio, mise dell'arenaria tra la sagoma e le lenti, e molò la lente tenendola premuta contro la sagoma. Ma quando procedette a molare una lente concava nello stesso modo, risultò impossibile perché la lente era meno sottile al centro che alla circonferenza dato che il movimento del tornio è più lento verso il centro.<sup>8</sup>

Da questo racconto è chiaro che Descartes contava sulla precisione grafica di Mydorge e sull'abilità artigianale di Ferrier per costruire un dispositivo atto a dimostrare sperimentalmente la legge dei seni, ma non illustra a Huygens il procedimento seguito. Descrive solamente come fu molato il vetro e l'esito dell'esperimento: si poté costruire una lente iperbolica convessa di ottima qualità, ma non fu possibile, con gli strumenti disponibili, ottenere una buona lente concava.

### La misura della rifrazione

Se ora leggiamo il Discorso decimo della *Diottrica*, che risale allo stesso periodo della lettera a Huygens appena citata, troviamo come Descartes descrive il metodo seguito per la determinazione dell'indice di rifrazione, che egli chiama «la proporzione che (...) serve a misurare le rifrazioni» di un pezzo di cristallo o di vetro.<sup>9</sup> Descartes si serve di una tavola piana *EFL* (fig. 1). *EA* e *FL* sono due traguardi con due piccoli fori in *A* e *L* posti in modo che un raggio di luce *AL*, attraversandoli, sia parallelo alla base *EFL*. Si pone, come mostrato in figura, un campione del vetro da esaminare *RPQ*, tagliato in forma di prisma ad angolo retto il cui angolo *PRQ* è più acuto dell'angolo *RPQ*. Il raggio *AL* colpisce perpendicolarmente la superficie del vetro *QR* e non viene rifratto, ma nel punto *B* viene deviato verso *I*. I punti *B*, *P*, *I* vengono ora trasferiti su un foglio di carta (fig. 2).

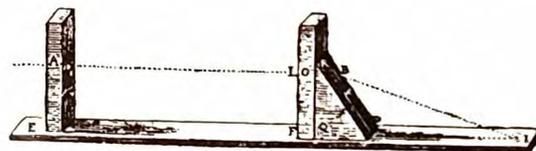


Figura 1

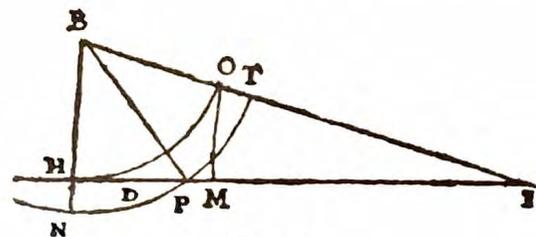


Figura 2

Con centro in  $B$  e raggio  $BP$  si deve descrivere l'arco che interseca  $BI$  in  $T$ , e disegnare l'arco  $PN$  uguale all'arco  $PT$ . Si tracci la retta  $BN$  che interseca nel punto  $H$  il prolungamento della retta  $IP$ . Con centro in  $B$  e raggio  $BH$  si deve tracciare l'arco  $HO$  che interseca  $BI$  nel punto  $O$ . «si otterrà così la proporzione che sussiste tra le linee  $HI$  e  $OI$  come misura comune di tutte le rifrazioni che possono venire prodotte dalla differenza tra l'aria e il vetro che stiamo esaminando».<sup>10</sup>

Si noti che Descartes *non fa menzione* del fatto che  $OI$  sia il seno dell'angolo di incidenza e che  $HI$  sia il seno dell'angolo di rifrazione. Quindi egli non offre alcuna dimostrazione ma si limita ad affermare che se scegliamo su  $HI$  i segmenti  $MI = OI$  e  $HD = DM$ , avremo  $D$  come vertice e  $H$  e  $I$  come fuochi della lente iperbolica che vogliamo realizzare.

Credo che la procedura descritta nella *Diottrica* sia quella usata originariamente da Descartes. Se ne ha conferma dalla lettera che egli scrisse a Ferrier il 13 novembre 1629 e nella quale si riferisce allo stesso metodo, ma passa direttamente a determinare il vertice e i fuochi delle lenti iperboliche. La costruzione è descritta di seguito (fig. 3).<sup>11</sup> Il raggio  $ID$  viene rifratto in  $D$  e prosegue fino al punto  $A$ . Si tracci la linea  $DC$  che incontra il piano  $EA$  in  $C$  in modo che l'angolo  $CDF$  sia uguale all'angolo  $ADF$ . Si costruiscano i lati  $CK = CD$  e  $AL = AD$ . Si bisecchi  $KL$  in  $B$ .

Senza indicare il seno degli angoli di incidenza o di rifrazione Descartes fornisce quindi a Ferrier un modo semplice per tracciare un'iperbole con un compasso usando  $A, B, C$  come punti di riferimento (fig. 4).<sup>12</sup> Si prendano i punti  $N$  e  $O$  sulla linea  $AC$  in modo tale che  $BN = BO$ , e con  $A$  come centro si tracci l'arco  $TOV$ . Ora con  $C$  come centro e  $CN$  come raggio si disegni l'arco  $VNT$  che interseca l'arco  $TOV$  in  $V$  e in  $T$ . Si ripeta lo stesso procedimento con gli archi leggermente più grandi  $XQY$  e  $YPX$ . L'iperbole giacerà lungo i punti di intersezione degli archi e avrà  $B$  come vertice.

Qui nuovamente non è fatto alcun accenno ai seni di incidenza o di rifrazione, e non viene fornita alcuna dimostrazione. Presumibilmente questa non era necessaria per Ferrier al quale era sufficiente solo una indicazione pratica per molare le lenti. Ma noi siamo in grado di ricostruire il cammino che portò Descartes alla sua scoperta?

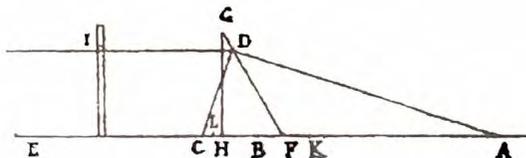


Figura 3

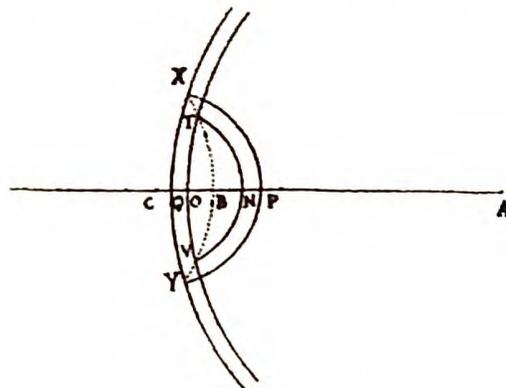


Figura 4

#### «Il mio primo maestro di ottica»

Una cosa è chiara: quando Descartes fece visita a Beeckman, l'8 ottobre 1628, lo informò di avere determinato l'angolo di rifrazione con il dispositivo che abbiamo appena esaminato, e due diagrammi nel *Journal* di Beeckman rappresentano una indicazione importante di come trasmise i risultati all'amico (fig. 5). Sotto la figura Beeckman scrisse: «Dopo avere determinato la quantità di rifrazione per un angolo, dedusse i valori per gli altri secondo i seni: "come  $ab$  sta a  $bg$ ", diceva, "così  $cd$  sta a  $if$ "» (fig. 5b).<sup>13</sup>

Descartes non fa cenno alcuno a una possibile fonte di ispirazione per la messa a punto di questo procedimento, ma una frase nella sua lettera a Mersenne del 31 marzo 1638 è rivelatrice. Ammettendo finalmente di avere imparato qualcosa da un altro, scrive: «Kepler è stato il mio primo maestro di ottica».<sup>14</sup>

Dal momento che Descartes nega con fermezza di avere ripreso da Kepler l'idea delle lenti ellittiche e iperboliche descritte nella *Diottrica*, che cosa può avere imparato da lui?<sup>15</sup> Credo che la risposta vada cercata all'inizio dell'importante *Dioptrice* di Kepler, dove troviamo un diagramma (fig. 6)<sup>16</sup> molto simile a quello che Descartes fornì a Beeckman (fig. 5a). Kepler usa la costruzione illustrata per misurare la rifrazione all'incirca come fa Descartes nella lettera a Ferrier (fig. 3) e nella *Diottrica* (figg. 1 e 2). Siamo ancora molto lontani dalla legge del seno, ma credo che il diagramma segni il punto di partenza della ricerca cartesiana di un rapporto costante che lo condusse infine a una coppia di linee che potevano essere messe direttamente in correlazione con il valore del seno dell'angolo di incidenza e di rifrazione.

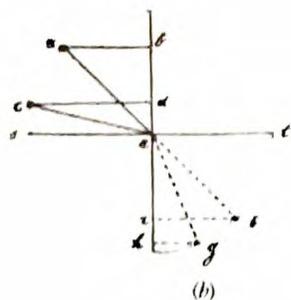
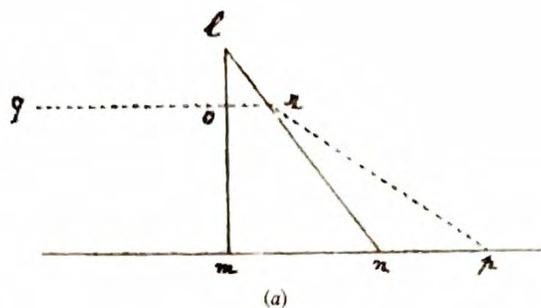


Figura 5

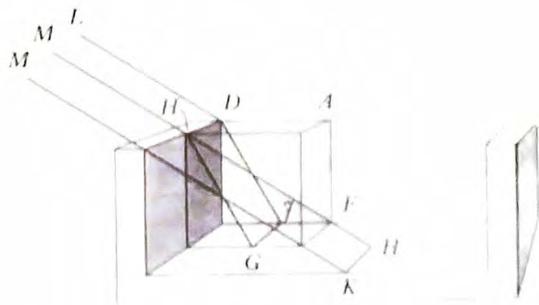


Figura 6

### La legge celata

Qualunque strada abbia seguito, Descartes desiderava tenere nascosta la propria scoperta. Sebbene intrattenesse una regolare corrispondenza con Mersenne dal 1629, gli rivelò la legge dei seni solamente in una lettera del giugno 1632: «per quel che riguarda il mio modo di misurare la rifrazione della luce, confronto il valore del seno dell'angolo di incidenza con il seno dell'angolo di rifrazione, ma sarei lieto se il risultato non venisse

divulgato per il momento». <sup>17</sup> In precedenza, in una lettera che porta la data del 25 novembre 1630, affermava di non temere che altri potessero precederlo nella pubblicazione «a meno che non si valgano delle lettere che ho spedito a Ferrier». <sup>18</sup>

Come abbiamo visto, Descartes non comunicò a Ferrier la legge dei seni, ma solo un metodo pratico per misurare la rifrazione. Un lettore attento quale indizio avrebbe potuto trovare in queste lettere per giungere alla formulazione della legge suddetta? Osserviamo la figura 2 tratta dalla *Diottrica*: essa è una semplice variante della figura 3 spedita da Descartes a Ferrier il 13 novembre 1629. <sup>19</sup> Qui di seguito me ne servirò per illustrare come Descartes avrebbe potuto procedere nella scoperta della legge.

Considerando come il raggio  $AB$  (fig. 7) entra nel prisma ed esce lungo  $BI$ , sarebbe stato naturale misurare gli angoli di incidenza e di rifrazione nel punto  $B$ . Allo scopo sarebbe stato sufficiente aggiungere  $CE$ , la perpendicolare in  $B$ , ovvero la linea retta che è perpendicolare al lato del prisma  $BP$ . Quindi si sarebbe potuto dimostrare che  $HI$  vale  $\sin r$  (il seno dell'angolo di rifrazione), e  $OI$  vale  $\sin i$  (il seno dell'angolo di incidenza). Infatti

Si congiungano i punti  $H$  e  $O$ .

Dato che  $BH = BO$ ,  $HO$  è parallela alla normale  $CE$ .

Ora il raggio incidente  $AB$  è parallelo al piano  $HF$ .

Ne segue che l'angolo di incidenza  $ABC$  è uguale all'angolo  $OHB$ , e l'angolo di rifrazione  $EBI$  è uguale all'angolo  $BOH$  e ancora che l'angolo  $HOI = 180^\circ - r$ .

Quindi, poiché in un triangolo il rapporto tra i seni di due angoli interni è uguale al rapporto tra i rispettivi lati opposti, nel triangolo  $OHI$

$$\frac{\sin HOI}{\sin OHI} = \frac{HI}{OI}, \text{ infatti } \frac{\sin(180^\circ - r)}{\sin r} = \frac{HI}{OI}$$

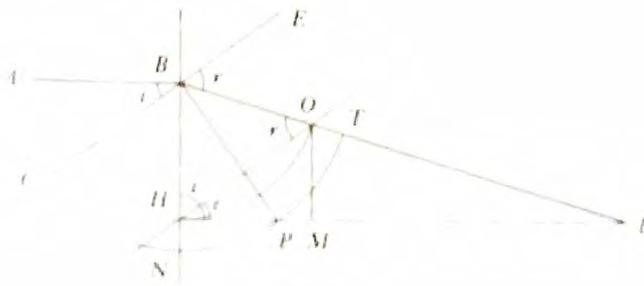


Figura 7



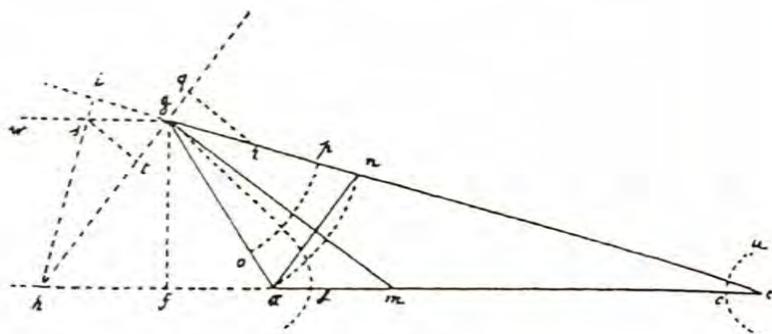


Figura 9

goli simili, Beekman dimostra che  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{st}{qr} = \frac{bc}{ae}$ , dove  $bc$  = distanza tra i vertici, e  $ae$  = distanza tra i due fuochi.<sup>25</sup>

### La logica della giustificazione

Una volta trovato il rapporto corretto della legge del seno, Descartes doveva darne una spiegazione fisica. A questo scopo, ancora una volta mise a profitto l'insegnamento di Kepler, che già gli aveva suggerito il suo strumento per misurare la rifrazione.

Nel suo primo importante lavoro sull'ottica, *Ad Vitellionem paralipomena*, Kepler accarezzava esplicitamente l'idea che la leva potesse fornire la chiave per una comprensione della rifrazione,<sup>26</sup> e Descartes fece lo stesso tentativo. Ecco come Beekman riassume l'argomentazione di Descartes per il caso di rifrazione da aria in acqua (fig. 10):

Suppone che ci sia dell'acqua al di sotto della linea  $st$  e che i raggi siano  $aeg$  e  $cef$ . Questi sembrano soggetti alle stesse variazioni dei bracci uguali di una bilancia alle cui estremità siano attaccati dei pesi tali che quello nell'acqua sia più leggero e sollevi il braccio.<sup>27</sup>

L'analogia statica è in accordo con una tradizione che fu in vigore per tutto il secolo XVII, ma non è chiaro in che modo Descartes intendesse estenderla. Infatti per prima cosa, i bracci  $eg$  ed  $ef$  non vengono sollevati, come accadrebbe per un peso tenuto a galla dall'acqua, ma abbassati, dato che Descartes sta considerando la rifrazione da un mezzo più rarefatto verso uno più denso.

In seguito Descartes non fece più ricorso alla leva o alla bilancia, infatti

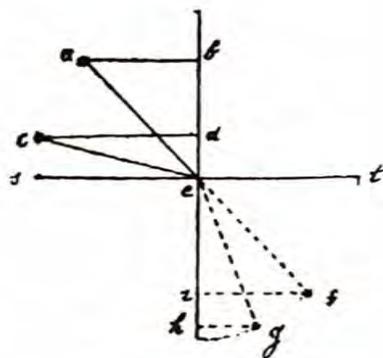


Figura 10

non se ne trova traccia nella *Diottrica* e nei lavori successivi, ma credo che sia stato questo il procedimento seguito durante gli anni parigini. Se ne ha conferma in un ben noto brano dell'ottava delle *Regole*.

### L'ordine giusto

Nella Regola VIII, Descartes riflette su quale ordine seguire nella scienza e su quando desistere da ulteriori ricerche. Come primo esempio egli riporta proprio la determinazione dell'anaclastica. Come possiamo trovare la linea lungo la quale raggi paralleli, dopo aver attraversato un mezzo rifrangente, si intersecheranno in un singolo punto? Descartes contrappone l'approccio del *matematico puro*, interessato solo a trovare rapporti o proporzioni, a quello del *filosofo naturale*, che ambisce a comprendere la natura.<sup>28</sup>

Il matematico puro «facilmente si accorgerà», dice Descartes, di come la determinazione dell'anaclastica «dipenda dalla proporzione che gli angoli di rifrazione conservano rispetto agli angoli di incidenza». <sup>29</sup> In altre parole, ogni matematico di Parigi aveva ben chiaro che occorreva trovare un rapporto costante tra una qualche proprietà dell'angolo di incidenza e qualche altra, o magari la stessa proprietà dell'angolo di rifrazione. Come abbiamo già mostrato, Descartes fin dal principio era alla ricerca di una relazione del genere. Quando vide (fig. 7) che il rapporto  $HI/OI$  era costante per i raggi rifratti da un determinato mezzo, si volse immediatamente a cercare se  $OI$  e  $HI$  erano in qualche modo correlati con gli angoli di incidenza e di rifrazione, e trovò che infatti essi valevano  $\sin i$  e  $\sin r$ .

Ma il semplice fatto che  $OI/HI = \sin i/\sin r$  non fornisce una interpretazione della forza o della potenza in gioco. Di qui la necessità di allargare

il terreno di indagine. La cosa sconcertante è che nella Regola VIII Descartes non fa alcuna affermazione in tal senso. Non formula neppure la legge, ma dichiara semplicemente che la si può trovare solo oltrepassando il piano delle considerazioni puramente matematiche. I passi indicati sono i seguenti: primo, notare che il rapporto tra l'angolo di incidenza e l'angolo di rifrazione dipende dalla variazione degli angoli causata dai differenti mezzi di rifrazione; secondo, comprendere che queste variazioni dipendono dal modo in cui la luce attraversa il mezzo trasparente; terzo, avere ben chiaro che la conoscenza del processo di penetrazione presuppone la conoscenza dell'azione della luce; quarto, ricordare che la conoscenza dell'azione della luce presuppone a sua volta la conoscenza di una potenza naturale. Una volta che sia stato «chiaramente percepito ciò mediante l'intuito della mente», il fisico matematico può ritracciare i propri passi in modo ordinato. Cade a questo punto il brano che credo sia frutto della personale esperienza compiuta da Descartes con l'anaclastica:

Se non può riconoscere subito nel *secondo grado* la natura dell'azione della luce, enumererà, secondo la Regola VII, tutte le altre potenze naturali, affinché dalla conoscenza di qualche altra potenza naturale comprenda, almeno per analogia, di cui diremo in seguito, anche quella; e fatto ciò, ricercherà per qual ragione il raggio penetra per tutto il corpo trasparente; e così indagherà con ordine le altre cose, fino a che pervenga appunto all'anaclastica. E sebbene questa sia stata da molti fin qui ricercata invano, niente vedo tuttavia che possa esser d'impedimento all'evidente conoscenza di essa, per chi sappia fare perfetto uso del nostro metodo.<sup>10</sup>

La lunga descrizione del modo di studiare l'anaclastica lascia perplessi per numerosi aspetti. Principalmente sorprende che non sia fornita alcuna spiegazione del fenomeno, e ci si vuol far credere che la soluzione nasca soltanto come risultato del percorso filosofico descritto da Descartes. Già durante la stesura delle *Regole*, era giunto alla legge del seno, e l'aveva applicata con successo al problema dell'anaclastica. In secondo luogo, Descartes intende puntualizzare che il matematico puro non è in grado di escogitare un modo di procedere. Non otterrà alcun risultato «dal volere o sentire esporre questa conoscenza dai filosofi o dal mutuarla dall'esperienza», e neppure gli è concesso di postulare un rapporto che egli ritiene giusto, ma del quale non può provare la validità.<sup>11</sup> Si tratta di una strana situazione, perché sembrerebbe escludere la possibilità di servirsi di modelli matematici. Terzo, Descartes non sta propugnando la pratica di esperimenti, ma fa appello a qualche concetto indefinito che spieghi l'azione della luce in se stessa o per analogia con una potenza naturale.

È tuttavia chiaro che Descartes non riteneva che aver trovato per caso la legge del seno rappresentasse una garanzia sufficiente per definire scientifico il processo. Come abbiamo visto nel capitolo 6, le *Regole* si presentavano come il suo primo tentativo di formulare un metodo scientifico in grado di produrre risultati apodittici, essendo fondato sulla comprensione intuitiva delle nature semplici. Il suo ricorso a una «potenza naturale» deve essere visto in questa luce. Anche se Descartes non la definisce o la assimila a una natura semplice, è chiaro che una potenza naturale è un oggetto proprio dell'intuizione, da cogliere, come scrive, «mediante l'intuito della mente».<sup>12</sup>

Nella Regola IX, Descartes illustra il suo concetto di intuizione con il seguente esempio. Per sapere, dice, se una potenza naturale può venire trasmessa istantaneamente, non dovrei rivolgermi alla forza magnetica, all'influsso degli astri, o alla velocità della luce e chiedere se la loro azione è istantanea, dato che questa è una domanda ancora più difficile. «Piuttosto rifletterò», dice, «sui moti locali dei corpi, perché niente in tutto questo genere di cose può esser più percepibile dai sensi». Anche se una pietra, in quanto corpo, non può passare da un luogo a un altro in un istante, la «potenza» che la muove può comportarsi in questo modo:

Per esempio, se muovo una sola estremità di un pur lunghissimo bastone, facilmente comprendo che la potenza, per la quale vien mossa quella parte del bastone, di necessità muove in un solo e medesimo istante anche tutte le altre parti di esso, perché allora viene comunicata puramente e semplicemente e non esiste in qualche corpo, come nella pietra, dal quale sia trasportata.<sup>13</sup>

Come abbiamo visto (fig. 10), Descartes in origine si servì della leva per spiegare la legge del seno a Beeckman. Nella Regola IX, descrive la leva o bilancia come un primo esempio di potenza naturale:

Allo stesso modo, se voglio conoscere come da una sola e medesima causa semplice possano esser prodotti nello stesso tempo effetti contrari, non prenderò dai medici i farmaci, che cacciano via alcuni umori e ne ritengono altri; non andrò vaneggiando intorno alla Luna, che essa si riscalda per la luce e si raffredda per una proprietà occulta; ma piuttosto guarderò la bilancia [*intuebor librum*], nella quale lo stesso peso in un solo e medesimo istante solleva uno dei piatti, mentre abbassa l'altro.<sup>14</sup>

Il movimento istantaneo sembrava ovvio a Descartes. Proprio come la punta di una penna non può muoversi senza che si muova anche la parte superiore,<sup>15</sup> così un lato della leva non può scendere senza che l'altro salga. Quel che sfuggiva a Descartes era il fatto che nessun corpo è del tutto rigido. Tutte le sostanze sono più o meno dure, e nessun movimento viene trasmesso istantaneamente.

La leva come modello di potenza naturale si dimostrò insoddisfacente e venne abbandonata, ma Descartes doveva sostituirla con altre analogie nella *Diottrica*: il bastone di un cieco, la pressione di un liquido in un tino, e l'impatto di una racchetta. Come vedremo nel capitolo 10, Descartes credeva che questi casi non mettessero in discussione la sua spiegazione in termini di variazione istantanea.