



Naturalmente

anno 20 • numero 2 • maggio 2007

Anni galileiani

Verso il quarto centenario delle prime osservazioni telescopiche di Galileo Galilei

MARCO PICCOLINO

*Le pecore lanute a passi lenti
Van bramose tosando i lieti paschi,
Ciascuna ove la chiama, ove l'invita
La di fresca rugiada erba gemmante,
E vi scherzavan lascivi i grassi agnelli
Vezzosamente saltellando a gara:
E pur tai cose, se da lungi il guardo
Vi s'affissa da noi, sembran confuse
E ferme, quasi allor s'adorni e veli
Di bianca sopravvesta il verde colle.
In oltre; allor che poderose e grandi
Schiere di guerra in simulacro armate
Van con rapido corso i campi empinando,
E su prodi cavalli i cavalieri
Volan lungi dagli altri e furibondi
Scuoton con urto impetuoso il campo;
Quivi al cielo il fulgor se stesso inalza,
Quivi splende la terra, e l'aria intorno
Arde tutta e lampeggia, e sotto i piedi
De' valorosi eroi s'eccita un suono,
Che misto con le strida e ripercosso
Dai monti in un balen s'erge alle stelle:
E pur luogo è ne' monti onde ci sembra
Starsi nel campo un tal fulgore immoto.*

Queste due immagini dal II libro del *De rerum natura*, così in apparenza differenti (cos'è più in contrasto col lento e tranquillo pascolare di mansuete greggi su verdi colli, dell'agitarsi furibondo di cavalli e cavalieri nel fragoroso tumulto di corrusche battaglie?) servono entrambe a Lucrezio per rispondere a una possibile obiezione contro la sua concezione che vuole l'universo costituito dall'incontro più o meno casuale di una moltitudine di minutissimi elementi in rapido movimento (*semina o primordia rerum*): l'impossibilità di percepire l'agitarsi continuo di queste particelle microscopiche dal cui incontro si formano i corpi. La difficoltà della visione di ciò che è così piccolo da sfuggire ai sensi viene resa dal poeta latino con la suggestione della difficoltà a distinguere ciò che risulta poco visibile a causa della lontananza. Le immagini evocate da Lucrezio, che hanno anche implicazioni etiche -nella misura in cui possono suggerire il calmo distacco con cui il saggio può riuscire, con la forza della filosofia, a mantenersi lontano dall'agitarsi delle vite e delle sue tragedie- si fonda su un'osservazione psicologica che potrebbe sembrare scontata: da lontano le cose, oltre che piccole e indistinte, tendono ad apparire immobili. Ma non è in

effetti né tanto ovvia né banale, e manifesta l'attenzione che Lucrezio ha per i dati dei sensi in una visione dell'universo che, sull'orma del maestro Epicuro, è per lui allo stesso tempo scientifica e filosofica oltre che poetica.

Al fenomeno sensoriale cui fa riferimento Lucrezio nei suoi versi può essere ricondotta una serie di osservazioni anche sorprendenti. Come per esempio quella, comune da fare ai nostri tempi per la frequenza dei voli aerei, dell'immobilità perfetta delle onde del mare osservate da grandi altitudini. E anche in gran parte l'aspetto del cielo notturno con le stelle che sembrano perfettamente immobili e come incastonate su una volta sferica trasparente. In effetti la lontananza ci fa apparire le stelle immobili a dispetto di due movimenti diversi. Il primo è quello di noi osservatori trasportati, come ora sappiamo (e come nell'antichità riteneva tra gli altri Aristarco di Samo), dalla rapida rotazione giornaliera della Terra. Il secondo è invece quello più, per così dire, 'obbiettivo', dovuto ai moti delle stelle l'una rispetto all'altra, moti che possono essere estremamente veloci, ma di cui noi non abbiamo alcuna percezione immediata proprio per l'immensa distanza che ci separa dalle stelle. A tal punto questi corpi celesti sembrano immobili a dispetto dei loro movimenti, che per millenni essi sono stati indicati con il termine di "stelle fisse", una notazione che faceva appello proprio alla loro apparente immobilità e serviva a distinguere le stelle fisse da quelle erranti, cioè i pianeti (Luna compresa) del cui moto relativo sulla volta stellata l'uomo non aveva tardato ad accorgersi sin dall'alba della civiltà. L'immobilità delle stelle fisse è dunque solo apparente e dovuta a un fenomeno percettivo del tutto analogo a quello al quale allude Lucrezio con la sua osservazione a distanza delle pecore al pascolo e dei cavalli e cavalieri nel tumulto della battaglia.

Non solo il concetto di stelle fisse, ma anche la stessa idea della volta celeste è in effetti dovuta a un fenomeno di tipo percettivo. Le cose molto lontane, oltre che immobili e indistinte, ci sembrano tutte situate alla stessa distanza. In uno spazio tridimensionale il luogo dei punti situati ad uguale distanza dall'osservatore è una superficie sferica, e ciò spiega l'aspetto del cielo a 'volta' sferica. Questo vale sia per i punti luminosi che nel cielo notturno ci rappresentano le immagini di stelle e dei pianeti, sia per la luminosità celeste indistinta dovuta alla diffusione dei raggi solari da parte dell'atmosfera terrestre, da cui dipende il colore azzurro del cielo diurno.



La costruzione di un cosmo sferico e chiuso, uno dei capisaldi della tradizione scientifico-culturale greca, destinato a divenire nel medioevo, soprattutto attraverso la mediazione di Aristotele e Tolomeo, un punto di riferimento essenziale per la cultura arabo-cristiana, ha alla sua base un fenomeno eminentemente percettivo. Non è un caso se nel corso dei millenni gli astronomi sono stati particolarmente attenti ai fenomeni percettivi e solo in tempi recenti il legame tra indagine astronomica e fenomenologia visiva si è in qualche modo attenuato per lo sviluppo di sofisticate tecnologie di esplorazione, tanto nell'astronomia di posizione che in astrofisica, in cui il rapporto con il dato percettivo immediato si è fatto via via sempre più indiretto ed articolato.

E' abbastanza noto come gli arabi ricorressero alle stelle (in questo anche fidando nella chiarezza del loro cielo notturno) per un facile test di acuità visiva: volgendo gli occhi all'Orsa maggiore, solo persone con una visione perfetta erano in grado di distinguere due stelle al centro del timone del carro (e cioè Mizar -il cavallo- la più luminosa e Alcor -il cavaliere- la meno brillante), mentre chi aveva difetti visivi scorgeva un unico corpo luminoso. Ma l'interesse degli astronomi per i fenomeni visivi è andato ben oltre test più o meno sofisticati di acuità visiva (sebbene anche da questo punto di vista dobbiamo notare come sia stato proprio un astronomo, il modenese Geminiano Montanari, tra i primi a misurare in modo preciso, nella seconda metà del Seicento, la capacità di risoluzione spaziale del sistema visivo). Nel corso dei secoli gli astronomi si sono interessati in modo particolare alla possibilità che le apparenze celesti che essi osservavano e cercavano di misurare con precisione (dimensioni e posizione dei corpi celesti, forma delle costellazioni, distanza) potessero risultare ingannevoli o distorte per effetti di tipo ottico o fisiologico e si sono sforzati in vario modo di superare, facendo ricorso a sofisticate metodiche -come per esempio l'uso della parallasse- i limiti del sistema visivo del tutto incapace di fornire indicazioni utili della distanza di corpi lontani poco più di qualche centinaio di metri.

Se l'interesse per la visione ha accompagnato tutta la storia dell'astronomia classica (e tra i maggiori studiosi di visione dell'antichità è da annoverare proprio Tolomeo, l'artefice principale della visione del cosmo che ha dominato il medioevo arabo e cristiano), non è un caso se, al momento in cui tra Cinquecento e Seicento viene scosso l'impianto stesso della cosmologia tradizionale, ci sia un rinnovato interesse per i fenomeni visivi. Tradizionalmente si considera come pietra miliare dell'ottica fisiologica il 1604, l'anno in cui Keplero pubblica *Ad Vitellionem paralipomena*, l'opera nella quale viene per la prima volta descritto il modo in cui sulla superficie della retina si forma un'immagine reale e rovesciata del mondo visivo (una *pictura*) grazie ai meccanismi diottrici dell'occhio. Il 1604 è un anno

importante per la nascita della nuova astronomia perché nei cieli compare una stella nova di grande luminosità che rimane visibile per molti mesi prima di scomparire, permettendo agli astronomi di determinare, attraverso l'uso della parallasse, la sua lontananza dalla terra. Le misure concordano nel dimostrare che il fulgore celeste è situato molto al di là del cielo della Luna, una conclusione che va contro il dogma aristotelico dell'immutabilità dei cieli. Le discussioni che si scatenarono, con, su fronti contrapposti, da un lato gli esponenti della cultura tradizionale (di impronta ampiamente aristotelica) i quali pretendevano di salvare l'immutabilità dei cieli dinanzi a qualsiasi apparenza di cambiamento, e, dall'altro, gli astronomi e scienziati più aperti alle sfide della modernità, che proponevano nuove visioni cosmiche. Non è un caso se tra coloro che s'interessarono al fenomeno vi fu Galileo, allora professore a Padova, il quale tenne tre lezioni pubbliche sulla stella nova, in cui sosteneva concezioni nettamente antiaristoteliche. Fu la prima presa di posizione pubblica su temi astronomici dello scienziato pisano, fino ad allora apparentemente interessato in modo quasi esclusivo a problemi di meccanica e fisica terrestre. Galileo non diede alle stampe il testo di queste lezioni che ebbero un gran successo di pubblico (furono presenti *più di mille uditori*), perché -com'egli si esprimeva in una lettera scritta nel Gennaio 1605- *continuando la speculazione sopra questa meraviglia, sono finalmente venuto in credenza di poterne sapere qualche cosa di più di quello in che la semplice congettura finisce. Et perchè questa mia fantasia si tira dietro, o più tosto si mette avanti, grandissime conseguenze et conclusioni, però ho risoluto di mutar le lezioni in una parte di discorso, che intorno a questa materia vo distendendo*. Il 'discorso' che Galileo diceva di stare scrivendo riguardava quella nuova costituzione dell'universo, che, sulla scorta dell'ipotesi formulata più di cinquant'anni prima da Copernico, poneva il Sole al centro dell'universo, in contrapposizione con la dottrina geocentrica di Aristotele e Tolomeo.

Ci vorranno però circa trent'anni perché il discorso galileiano possa vedere la luce. In questo lungo periodo Galileo potrà accumulare nuovi e sconvolgenti dati osservativi, a partire dalle esplorazioni telescopiche del cielo iniziate nell'autunno del 1609, e potrà elaborare una nuova dottrina del moto in grado di rispondere alle obiezioni della cultura tradizionale contro il moto della Terra. Ma in questo periodo Galileo svilupperà una riflessione profonda sui meccanismi della conoscenza umana e sul valore e affidabilità delle apparenze sensoriali. Al centro di questa riflessione sarà il discorso sulla visione che, a differenza di Keplero e di altri studiosi dell'epoca, in Galileo non investirà i meccanismi fisiologici del processo visivo ma si concentrerà su aspetti che, con terminologia moderna, potremmo indicare come 'psico-fisici' o 'psico-fisiologici'. E toccherà anche quella che potremmo indicare come riflessione



filosofica sui sensi in quanto strumenti del rapporto conoscitivo con la realtà dell'universo. Una riflessione cruciale per poter sconvolgere quella concezione del cosmo che, come abbiamo visto, aveva nelle immediate apparenze visive i suoi presupposti di base. In questa sua riflessione Galileo trasse spunti importanti dalle concezioni atomistiche che si erano insinuate nella cultura del Rinascimento soprattutto con la riscoperta del *De rerum natura* di Lucrezio.

In questo numero di *NATURALMENTE* pubblichiamo la prima parte di un articolo sul tema della conoscenza e dei sensi in Galileo tratto da una relazione tenuta nel

corso di un convegno internazionale su Galileo e le arti organizzato nel Settembre 2006 per conto dall'Università di Pisa da Lucia Tongiorgi-Tomasi e Alessandro Tosi. Sarà questo il primo di una serie di testi che la nostra rivista dedicherà all'opera del grande pisano negli anni che ci avvicinano al quarto centenario delle prime osservazioni telescopiche, quelle osservazioni che aprirono agli occhi umani nuovi cieli e nuovi mondi e portarono ad una delle più grandi rivoluzioni intellettuali della cultura occidentale.

Marco Piccolino



L'occhio di Galileo in un'immagine di Nicholas Wade



L'occhio di Galileo

I sensi, la visione, la conoscenza nell'opera di Galileo

(parte prima)

MARCO PICCOLINO

Su Galileo hanno scritto studiosi di diversa formazione ed estrazione intellettuale, molti di provenienza umanistica (storici e filosofi della scienza ovviamente, epistemologi, italianisti, persino scrittori, studiosi di linguistica, di retorica, storici e critici d'arte, sociologi, teologi, studiosi della comunicazione), e ovviamente anche scienziati, (astronomi, fisici, matematici e, in minor misura, studiosi di scienze naturali). Le immagini

che sono emerse da queste diverse letture, non sempre com'è ovvio concordanti, hanno indubbiamente contribuito ad arricchire la nostra conoscenza di uno dei personaggi fondamentali della rivoluzione scientifica del Seicento e con essa di uno dei momenti più importanti della storia culturale dell'Occidente.

Una delle ragioni dell'ampia possibilità di lettura dei testi di Galileo è certamente da ricercare nella qualità letteraria della sua prosa: oltre che espressione delle sue doti di scrittore, il ricorso di Galileo a forme comunicative elevate è da mettere in larga misura in rapporto con il programma di rinnovamento intellettuale che lo scienziato pisano si proponeva e che non mirava solo all'avanzamento delle conoscenze in ambiti scientifici ben determinati (astronomia, cosmologia, idrostatica, meccanica). Sappiamo bene come, nella sua tendenza alla precisione e alla concisione, il linguaggio tecnico-scientifico tenda a farsi astratto ed esoterico, perdendo attrazione emotiva e capacità di evocazione al di fuori della ristretta cerchia degli specialisti. Il linguaggio della letteratura è caratterizzato dal ricorso a allusioni, simbolismi e metafore: può essere ridondante e ricco di ambiguità (e quindi potenzialmente inadatto alla comunicazione dei risultati scientifici) ma possiede certo più capacità di penetrazione emotiva ed intellettuale; è per questo soprattutto che Galileo, erede della grande tradizione letteraria del Rinascimento italiano, vi fa ricorso nelle sue opere maggiori, nel tentativo che egli si propone di profondo rinnovamento intellettuale della società della sua epoca.

La diversità di letture possibili riflette ovviamente anche la diversità dei lettori. Io vorrei presentare qui i risultati di una lettura particolare di alcuni testi galileiani in relazione soprattutto alla mia esperienza di studioso della fisiologia e psicologia sensoriale. La lettura che vorrei suggerire riguarda il problema dei sensi e della fisiologia sensoriale nell'opera di Galileo. Avverto che non si tratta certo di un problema inesplorato; in particolare, per quel che riguarda la visione e l'osservazione telescopica e il modo nuovo di porsi dinanzi alla realtà,

se ne è scritto molto sia dal punto di vista scientifico che letterario e artistico. Mi sembra però che molto resti ancora da dire dal punto di vista più specifico della fisiologia e della psico-fisica sensoriale, e quello su cui ora mi soffermerò servirà a far capire in che misura il discorso su Galileo e i sensi sia ancora da sviluppare.

Diciamo innanzitutto come risalti per noi in maniera molto perspicua l'importanza della riflessione sui sensi nella via galileiana alla conoscenza e come questa riflessione assuma aspetti molto variegati ma non completamente disgiunti l'uno dall'altro. In primo luogo è evidente come Galileo sia stato tra i primi a porre in modo chiaro la particolare e complessa relazione che esiste tra la conoscenza scientifica della realtà e i dati dell'osservazione sensoriale. Nelle sue opere egli sottolinea più volte, e in modo molto espressivo, la necessità di leggere direttamente il Libro dell'Universo (o 'Libro del Mondo' o 'Libro della Natura' secondo la varietà della terminologia a cui fa ricorso), e di non limitare la ricerca al mondo di carta dei libri degli uomini che registrano la tradizione e la testimonianza degli antichi. Al momento stesso in cui pone l'accento sull'osservazione diretta della realtà (e quindi sul valore delle informazioni che ci vengono dai sensi), Galileo invita però a diffidare dei dati sensoriali e mette più volte in risalto come la conoscenza vera della realtà vada spesso contro le immediate apparenze (contro il *comun sentimento*, o contro i *sensi manifesti*). Più volte egli sottolinea, e con particolare soddisfazione (con 'gusto' e 'diletto' diremmo per usare la sua terminologia), come la verità scientifica sia sorprendente, porti a conclusioni inattese, in deciso contrasto con i dati dei sensi o con le attese immediate. E' il caso del Sole che noi vediamo ruotare attorno alla Terra, ma che sta invece immobile secondo la nuova concezione copernicana, è il caso di corpi di peso diverso, una piuma o una palla di piombo, che in assenza di ostacoli esterni (l'attrito dell'aria) tenderebbero a cadere con ugual moto e a toccare terra nello stesso istante.

E' il caso in particolare di tutti quegli apparenti paradossi legati al principio di inerzia (al *nulla operare del moto comune*) che l'uomo antico non riconosceva, soprattutto perché ingannato da un'accettazione acritica dei dati dell'osservazione sensoriale. I sensi ci dicono che un oggetto si muove solo se su di esso si esercita una forza, e che, rimossa questa, il moto cessa poi più o meno rapidamente. Su questi paradossi e nulla operare del moto comune



Galileo scrive, sia nei *Massimi sistemi* che altrove, pagine molto belle dal punto di vista letterario: quella ad esempio della *maggior stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio con i pescetti* i quali, grazie al principio di inerzia formulato da Galileo, non sono obbligati ad affaticarsi freneticamente per tener dietro al corso del *vassello* ed evitare di sbattere contro le pareti del vaso in cui nuotano (e così le *farfalle* e le *mosche continueranno i lor voli indifferentemente verso tutte le parti, né mai accaderà che si riduchino verso la parete che riguarda la poppa, quasi che fussero stracche in tener dietro al veloce corso della nave*); con le gocce d'acqua -*le stille cadenti*- che cadono puntualmente nel *vaso sottoposto* a dispetto della velocità della nave (1). O come la pagina della *punta di una penna da scrivere, che fusse stata in nave per tutta la [...] navigazione da Venezia sino in Alessandretta*, con la quale un pittore, stando sulla nave: *avrebbe potuto cavar dal moto di quella un'intera storia di molte figure perfettamente dintornate e tratteggiate per mille e mille versi, con paesi, fabbriche, animali ed altre cose, se ben tutto il vero, reale ed essenzial movimento segnato dalla punta di quella penna non sarebbe stato altro che una ben lunga ma semplicissima linea* (Galilei, 1632, p. 166).

E abbiamo poi le pagine destinate a confutare antiche e nuove obiezioni contro il moto della Terra: quelle della colubrina che tira *una palla di volata verso levante, e poi un'altra con egual carica ed alla medesima elevazione verso ponente*; o dei tiri d'artiglieria radenti l'orizzonte (*di punto in bianco*) verso oriente o verso occidente che *non riuscirebber giusti, ma gli orientali riuscirebbero alti, e gli occidentali bassi* per il cambiamento della posizione dell'orizzonte dovuto al moto della Terra; quelle degli *uccelli volanti* i quali, se la Terra si muovesse così velocemente come vuole Copernico, avrebbero certo gran difficoltà a *tener dietro a un tanto corso*. E ancora i luoghi dove si parla del sasso lanciato dalla sommità della torre che cade a perpendicolo alla base della torre stessa a dispetto del movimento di questa dovuto alla rotazione della Terra. Proprio in relazione a questo esperimento della torre Galileo nota come la conoscenza che noi diremmo 'scientifica' della corretta traiettoria del sasso (evidentemente non rettilinea nel caso della torre in movimento solidale con il moto della Terra) di per sé non modificherà la percezione sensoriale da parte di un osservatore terrestre esperto, rispetto a un osservatore naif, ovvero -come egli si esprime- *non farà veder, cader quel sasso altrimenti che a perpendicolo*.

Citando le opinioni di Scipione Chiaramonti, professore a Pisa e seguace della cosmologia tolemaica (2) nei *Massimi sistemi* Simplicio aveva ribadito, in funzione anticopernicana, il ruolo cruciale dei sensi come criterio di conoscenza:

Et primo, si opinio Copernici recipiatur, criterium naturalis philosophia, ni prorsus tollatur, vehementer saltem labefactari videtur. [E in primo luogo, se si accetta l'opinione del

Copernico, appare essere in grave pericolo, se non del tutto distrutto, il criterio della filosofia naturale]. *Il qual criterio vuole, secondo l'opinione di tutte le sette de' filosofi, che il senso e l'esperienza siano le nostre scorte nel filosofare; ma nella posizion del Copernico i sensi vengono a ingannarsi grandemente, mentre visibilmente scorgono da vicino, in mezzi purissimi, i corpi gravissimi scender rettamente a perpendicolo, né mai deviar un sol capello dalla linea retta; con tutto ciò per il Copernico la vista in cosa tanto chiara s'inganna, e quel moto non è altrimenti retto, ma misto di retto e circolare.* (Galilei, 1632, p. 242).

Ai timori di chi vedeva crollare, con la nuova scienza, l'antica fiducia nel valore dei dati sensoriali ribatteva Salviati, alter ego per eccellenza di Galileo:

Meglio è dunque che, deposta l'apparenza, nella quale tutti convenghiamo, facciamo forza co 'l discorso, o per confermar la realtà di quella, o per iscoprir la sua fallacia (p. 250).

E più oltre, sempre nei *Massimi sistemi*, dinanzi alle opposizioni di Simplicio contro Copernico e contro il moto della Terra attorno al Sole, Salviati elogia l'astronomo polacco, mettendo in evidenza come nella via della conoscenza scientifica possa esser necessario far *forza e violenza* contro i dati dei sensi.

Scriva Galileo in merito all'opinione dei moti della Terra:

io stupisco come si sia mai sin qui trovato alcuno che l'abbia abbracciata e seguita, né posso a bastanza ammirare l'eminenza dell'ingegno di quelli che l'hanno ricevuta e stimata vera, ed hanno con la vivacità dell'intelletto loro fatto forza tale a i proprii sensi, che abbiano possuto antepor quello che il discorso gli dettava, a quello che le sensate esperienze gli mostravano apertissimamente in contrario. Che le ragioni contro alla vertigine diurna della Terra, già esaminate da voi, abbiano grandissima apparenza, già l'abbiamo veduto, e l'averle ricevute per concludentissime i Tolemaici, gli Aristotelici e tutti i lor seguaci, è ben grandissimo argomento della loro efficacia; ma quelle esperienze che apertamente contrariano al movimento annuo, son ben di tanto più apparente repugnanza, che (lo torno a dire) non posso trovar termine all'ammirazione mia, come abbia possuto in Aristarco e nel Copernico far la ragion tanta violenza al senso, che contro a questo ella si sia fatta padrona della loro credulità (p. 235). (3)

La conoscenza scientifica della realtà è dunque per Galileo spesso in contrasto con i dati sensoriali, e -questo è importante ricordarlo- i sensi (gli *occhi della fronte* per usare un'espressione di ascendenza platonica ricorrente nei testi galileiani) continuano a presentarci apparenze fallaci anche quando il discorso e la ragione (gli *occhi della mente*) ci permettono di conoscere le leggi reali dei fenomeni (4).

Quanto detto finora non è forse particolarmente nuovo per i lettori e per gli studiosi di Galileo. Ma quali sono le riflessioni che questo modo di affrontare i dati dei sensi da parte di Galileo può ispirare in uno studioso moderno di fisiologia sensoriale? In particolare, quali considerazioni possono nascere sul pensiero di Galileo



in chi si sforzi di trarre alcuni principi generali sul funzionamento dei sistemi sensoriali dal vasto insieme di conoscenze acquisite nella ricerca neurofisiologica e psicofisiologica moderna soprattutto negli ultimi cinquant'anni? In proposito ritengo qui opportuno richiamare quello che è a mio avviso il principio 'filosofico' fondamentale alla base dell'organizzazione e del funzionamento dei sistemi sensoriali (5). E' abbastanza evidente per tutti noi il fatto che i sensi siano evoluti per rendere possibile l'interazione dell'individuo con l'ambiente e, in particolare, per permettere agli esseri viventi di captare l'informazione ambientale in modo da sviluppare risposte comportamentali di valore adattativo (cioè importanti ai fini della sopravvivenza dell'individuo e della specie). E' forse un po' meno evidente come il problema che i sistemi sensoriali, dai più semplici ai più sofisticati, devono affrontare per espletare in modo efficace questo loro compito sia estremamente complesso e si scontri con difficoltà fisiche e fisiologiche apparentemente insormontabili. Bastano poche considerazioni di tipo fisico, nelle quali non posso ora addentrarmi, per dimostrare come l'informazione potenzialmente presente negli oggetti del mondo attorno a noi, anche nei più piccoli ed insignificanti, sia estremamente grande e tale da superare i limiti di qualsiasi sistema biologico (e anche fisico-tecnologico) concretamente concepibile. In un bel saggio di una quarantina di anni fa il fisico e scrittore inglese, Arthur Clarke, calcolava che per comunicare attraverso un sistema televisivo a grande capacità di trasmissione tutta l'informazione contenuta nella disposizione spaziale degli atomi di un corpo umano sarebbero stati necessari circa quindici trilioni di anni (e che le stelle si sarebbero con tutta probabilità estinte prima che la cosa potesse avvenire) (6). Bisogna qui notare come in generale i sistemi tecnologici a base di componenti elettronici abbiano una potenza di trasmissione e di elaborazione dell'informazione incomparabilmente maggiore dei sistemi biologici. Per i computer e per le reti telematiche parliamo di frequenze dei segnali elettrici o ottici che codificano o trasmettono l'informazione nell'ordine dei mega o giga Hertz (cioè milioni o miliardi di segnali al secondo) mentre raramente una fibra nervosa, fatta com'è di liquidi (e quindi di materiali poco adatti alla trasmissione elettrica per la loro elevata resistenza e capacità) può sviluppare più di qualche centinaio di impulsi al secondo. Eppure, a dispetto di queste limitazioni fisico-fisiologiche, è di fondamentale importanza per gli esseri viventi captare in modo rapido ed efficiente le informazioni ambientali, per esempio è importante per un leone riconoscere rapidamente una gazzella ed è di vitale importanza per una gazzella riconoscere subito il leone che appare più o meno indistinto nel suo campo visivo. E per il leone come per la gazzella è importante che la cosa avvenga a dispetto dei mutamenti dell'illuminazio-

ne ambientale, che può variare di milioni di volte passando dallo sfolgorante meriggio della savana al debole chiarore del crepuscolo o della notte illuminata dalla Luna. Come, in altro contesto, è altrettanto importante per un bimbo riconoscere rapidamente la propria madre e così via. Sappiamo in effetti che un bimbo di pochi mesi riconosce in pochi istanti il volto della madre tra le immagini di altri volti femminili superando in efficacia e rapidità le prestazioni esibite in compiti analoghi da computers molto potenti (7).

Come può accadere tutto questo? Come possono sistemi come quelli biologici fatti di costituenti così poco efficienti dal punto di vista fisico quali le fibre nervose avere performances così efficaci? La cosa si spiega considerando come i sistemi sensoriali abbiano messo a punto nel corso dell'evoluzione strategie tali da permettere di estrarre dall'informazione ambientale solo quella particolarmente ricca di valore adattativo scartando (o trasmettendo con minore priorità) quella di scarso significato biologico. E abbiano anche sviluppato la capacità di riconoscere gli elementi dello spazio sensoriale a dispetto di grandi mutazioni fisiche dello stimolo ambientale. Nel caso del sistema visivo, a cui è importante ora fare riferimento, la possibilità di rilevare informazione ambientale deve rimanere costante a dispetto delle enormi variazioni dell'intensità e della composizione cromatica della luce, ovvero delle caratteristiche dell'insieme di onde elettromagnetiche in un ambito di lunghezza d'onda abbastanza piccolo (dai 400 ai 600 nanometri) che costituiscono le energie ambientali di cui il sistema visivo si serve per captare l'informazione presente nello spazio sensoriale.

Le strategie sviluppate dal sistema visivo (e dagli altri sistemi sensoriali) sono tali da permettere efficaci e rapidi rilevamenti dell'informazione ambientale biologicamente importante, come per esempio variazioni spaziali improvvise di luminosità (contorni, bordi, contrasto), il movimento e i colori. Al tempo stesso però esse offrono il fianco a possibili errori e fallacie quando noi consideriamo la possibilità di una conoscenza 'vera' (o, diremmo 'scientifica') del mondo.

In effetti questo tipo di conoscenza, oltre ad esserci preclusa sia su basi biologiche che filosofiche, non appare di fondamentale importanza dal punto di vista della sopravvivenza primordiale degli animali e dell'uomo. E' più importante riconoscere il possibile predatore o la possibile preda che sapere per esempio che è la Terra a muoversi rispetto al Sole e non viceversa. Ed è importante che un oggetto o un animale dalla superficie scura ci appaia tale anche quando l'illuminazione ambientale aumenta a tal punto da far crescere enormemente la quantità di luce riflessa dal suo manto da dovercelo far apparire invece -sulla base di considerazioni puramente fisiche- molto chiara e luminosa.

Le strategie sviluppate dal sistema visivo sono tali da



privilegiare la luminosità relativa dell'oggetto rispetto al background, invece che la luminosità assoluta (che, come abbiamo detto, può variare in modo molto importante nel corso del giorno); e da far risaltare le variazioni spaziali, temporali e cromatiche di luminosità rispetto alle luminosità diffuse e costanti.

Non posso andare molto oltre in questo discorso ma mi servirò di pochi esempi per dimostrare alcuni aspetti di queste strategie, ampiamente analizzate da Nicholas Wade nei suoi studi sui meccanismi psicofisici delle illusioni visive (8). Basta guardare uno schermo su cui vengono proiettate delle scritte con caratteri in nero per notare subito che i caratteri della scrittura appaiono ben più scuri della parte esterna non illuminata dello schermo, a dispetto del fatto che questa non riceve affatto la luce del proiettore. Si può dimostrare facilmente con uno strumento fisico che c'è in effetti più luce nelle lettere 'neri', o -come Galileo direbbe - 'tenebrose', che nello schermo grigio. Su un principio analogo si basa uno dei più noti e semplici esperimenti di psicofisica che io ripropongo nelle figure 1 e 2. Se ci venisse chiesto di indicare come ci appare il quadrato interno nelle immagini della Fig. 1 e della Fig. 2 diremmo certamente che nel primo caso si tratta di un quadrato chiaro e nel secondo di un quadrato scuro. E' facile dimostrare che il quadrato interno è invece di uguale intensità nei due casi e che la differenza è solo percettiva e non fisica. Essa è dovuta alla diversa luminosità degli sfondi che circondano la parte centrale (per convincersene basterebbe occultare lo sfondo con un pezzo di carta opportunamente ritagliato in modo da lasciare al centro uno spazio vuoto grande quanto il quadrato).

Un fenomeno leggermente più complesso (il cosiddetto effetto Cornsweet) è presentato nella Fig. 3. Osservando la figura sembra che la parte centrale sia più chiara della parte periferica. Se però si ritaglia un anello di carta di dimensioni tali da poter mascherare il bordo di



Fig. 1. Immagine con quadrato grigio centrale su fondo scuro. Per effetti di contrasto il quadrato centrale appare decisamente chiaro.

separazione tra le due zone, allora si vede che queste hanno la stessa luminosità. Il fenomeno è dovuto ai processi di interazione laterale che operano nei circuiti nervosi del sistema visivo e che fanno parte delle strategie sviluppate dai nostri sistemi neurali per rilevare in modo efficace le variazioni spaziali della luminosità.

Questi pochi esempi sono utili a farci capire come si debba essere prudenti nell'emettere giudizi sulla realtà fisica-oggettiva del mondo esterno sulla base delle immediate apparenze visive.

Un atteggiamento di questo tipo risalta in modo molto evidente nell'opera di Galileo come ora cercherò di mettere in evidenza attingendo ad alcuni passi delle *Lettere sulle Macchie solari* nei quali lo scienziato pisano analizza criticamente due affermazioni del gesuita tedesco Christoph Scheiner: la prima a proposito della 'negrezza' delle macchie solari, la seconda in merito alla difficoltà di ammettere che la Terra possa, al pari della Luna, divenire brillante quando è rischiarata dalla luce solare. Un'obiezione questa che è in relazione con la concezione del gesuita secondo cui l'apparenza e la luminosità della Luna vengono spiegate in parte come conseguenza della penetrazione dei raggi solari nel suo corpo translucido (sulla base di una delle teorie della tradizione aristotelico-cristiana) (9).

Il modo in cui Galileo analizza e discute le concezioni di Scheiner rivela la sua attitudine critica riguardo alle apparenze visive e, in particolare, la sua convinzione che ciò che appare all'occhio non sia un indizio sicuro di ciò che è nella realtà. Nei suoi ragionamenti Galileo sviluppa veri e propri esperimenti mentali di psicofisica *ante litteram*. Il principio di questi esperimenti è quello a cui fanno riferimento le moderne metodiche psicofisiche quando ci si propone di stabilire un confronto tra la luminosità di target visivi diversi. E' necessario che le osservazioni siano condotte in condizioni comparabili, per evitare le conseguenze del



Fig. 2. Immagine con quadrato grigio centrale su fondo chiaro. Per l'effetto di contrasto il quadrato appare scuro. Si confronti l'immagine con la figura 1 nella quale il quadrato centrale, pur essendo dello stesso livello di luminanza, appare invece scuro.



Fig. 3. Effetto Cornsweet. Sebbene nell'immagine il cerchio centrale appaia più chiaro del settore circolare che lo circonda, la sua luminanza è esattamente uguale, come ci si può rendere conto coprendo con un anello di carta opportunamente ritagliato il bordo di separazione delle due parti dell'immagine. L'effetto è dovuto ad una particolare variazione di luminanza in corrispondenza di questo bordo messa a punto per creare la differenza apparente di luminosità sulla base delle conoscenze sui meccanismi fisiologici utilizzati dal sistema visivo per rilevare gli aspetti spaziali dell'informazione sensoriale.

cambiamento di performance visiva in rapporto alla variazioni della luminosità ambientale o dell'intensità della luce di background.

Nelle *Macchie solari* Galileo si sforza di realizzare due esperimenti in qualche modo 'impossibili': il primo consiste nel tentativo di confrontare la luminosità delle macchie solari con la luminosità della Luna ponendo la Luna su un background simile a quello in cui noi osserviamo normalmente il disco solare. Il secondo esperimento cercherà di porci idealmente in un punto di osservazione dal quale possiamo osservare la Terra in un modo analogo a quello in cui osserviamo la Luna quando questa ci appare sullo sfondo oscuro del cielo notturno. Entrambi gli esperimenti sono complessi e articolati e mostrano la straordinaria capacità di riflessione di Galileo sulla fenomenologia visiva. E' una riflessione che si nutre di una lunga tradizione la quale risale da una parte a una certa corrente di astronomia e fisiologia osservativa sviluppata soprattutto da Tolomeo e dai 'perspettivi' arabi e cristiani, e dall'altra fa riferimento alla grande tradizione dei pittori e dei teorici della pittura del Rinascimento italiano, primo tra tutti Leonardo.

Galileo sviluppa il primo dei suoi esperimenti in rapporto a una riflessione che Scheiner fa in una delle pagine iniziali della prima delle sue *Tres Epistolae de Maculis solaribus* scritte nel 1612 e dedicate a Marco Welser, lo stesso personaggio cui egli dedica le sue

lettere sullo stesso argomento pubblicate nel 1613 a cura dell'Accademia dei Lincei (di cui sia Galileo che Welser erano da poco diventati membri).

Scheiner (il quale si celava sotto lo pseudonimo di Apelle, in riferimento a un noto episodio narrato da Plinio relativo al famoso pittore greco) aveva scritto che gli sembrava inappropriato e improbabile porre delle macchie sul corpo brillantissimo del Sole, e addirittura macchie più nere di quelle che si osservavano sulla superficie lunare:

In Sole, corpore lucidissimo, statuere maculas, easque nigriores multo quam sint in Luna unquam visae (praeter unicam parvulam), mihi inconueniens semper est visum, et vero necdum fit probabile. [Nel Sole, che è un corpo splendidissimo, porre delle macchie, e addirittura molto più nere di quelle che si sian mai viste sulla luna (a parte quella piccolina) mi è sembrato sempre fuor di proposito, e in verità non appare neppure verosimile] (10)

L'osservazione del gesuita si collocava nell'ambito della concezione aristotelica della perfezione e immutabilità dei corpi celesti a cui egli ancora aderiva, anche in rapporto alle direttive emanate dai vertici della Compagnia di Gesù che tentavano una estrema difesa dell'aristotelismo contro le opinioni dei *novatores*. Galileo approfitta dell'occasione di quel 'nigriores' per dare all'avversario una lezione di metodo su come cogliere, attraverso l'osservazione critica, elementi che vadano oltre il puro dato sensoriale. E in modo sorprendente arriverà a dimostrare che le macchie solari, invece di essere più nere delle macchie lunari, sono addirittura più chiare delle parti luminose della Luna.

Scrivendo Galileo:

quello che vien da Apelle in questo luogo detto, cioè, che le macchie apparenti nel Sole siano molto più negre di quelle che mai si siano vedute nella Luna, credo che assolutamente sia falso; anzi stimo, che le macchie vedute nel Sole siano non solamente meno oscure delle macchie tenebrose, che nella Luna si scorgono, mà che le siano non meno lucide delle più luminose parti della Luna, quand'anche il Sole più direttamente l'illustra; & la ragione, che à ciò creder m'induce è tale. Venere nel suo esorto vespertino, ancorché ella sia di così gran splendor ripiena, non si scorge se non poi che è per molti gradi lontana dal Sole, e massime se amendue saranno elevati dall'Oriente; e ciò avviene per esser le parti dell'etere circunfuse intorno al Sole non meno risplendenti dell'istessa Venere, dal che si può arguire, che se noi potessimo per la Luna accanto al Sole splendida dell'istessa luce, che ella hà nel plenilunio, ella veramente resterebbe invisibile come quella, che verria collocata in un campo non meno splendente e chiaro della sua propria faccia. Hora pongasi mente, quando con il Telescopio, cioè con l'occhiale, rimiriamo il lucidissimo disco solare, quanto, e quanto egli ci appar più splendido del campo, che lo circonda, & in oltre paragoniamo la negrezza delle macchie solari, sì con la luce dell'istesso sole, come con l'oscurità dell'ambiente contiguo, e troveremo per l'uno, e per l'altro paragone non esser le macchie del Sole più oscure del campo circunfuso; se



dunque l'oscurità delle macchie solari non è maggiore di quella del campo, che circonda il medesimo Sole; e se di più lo splendor della Luna resterebbe impercettibile nella chiarezza del medesimo ambiente, adunque per necessaria conseguenza si conclude, le macchie solari non esser punto men chiare delle parti più splendide della Luna, benché situate nel fulgidissimo campo del disco solare ci si mostrino tenebrose, e nere, e se esse non cedono di chiarezza alle più luminose parti della Luna, quali saranno elleno in comparazione delle più oscure macchie di essa Luna? e massime se noi volessimo intender delle macchie tenebrose cagionate dalle proiezioni dell'ombre delle montuosità lunari, le quali in comparazione delle parti illuminate non sono manco nere che l'inchiostro rispetto a questa carta. E questo voglio che sia detto non tanto per contrariare Apelle, quanto per mostrare, come non è necessario por' la materia di esse macchie molto opaca e densa, quale si deve ragionevolmente stimare che sia quella della Luna e de gl'altri pianeti, ma una densità, & opacità simile a quella di una nugola è bastante nell'interporsi trà'l Sole e noi à far una tale oscurità, e negrezza.

Il ragionamento che Galileo sviluppa in questo passo della prima lettera sulle macchie solari per confrontare la brillantezza delle macchie solari con quella della Luna in condizioni di uguale luminosità di sfondo si articola in diversi passaggi che conviene qui distinguere ed evidenziare per sottolineare il modo in cui lo scienziato pisano realizza, sulla base

di un esperimento mentale, un confronto visivo di fatto impossibile nella realtà. Galileo fa un iniziale riferimento a Venere, il pianeta che appare luminosissimo se osservato sullo sfondo del cielo notturno, per dirci come questo fulgido astro diventi invece invisibile quando si mostra in stretta prossimità del corpo solare. Il riferimento a Venere si rende necessario perché in tal modo Galileo può suggerire al lettore in via mediata (attraverso appunto il luminoso pianeta) quel che avverrebbe se la Luna nel fulgore del plenilunio potesse mostrarsi in condizioni corrispondenti a quelle di Venere che segue da presso il Sole al tramonto (*se noi potessimo por la Luna accanto al Sole splendida dell'istessa luce, che ella hà nel plenilunio*). Cosa questa impossibile perché il plenilunio si verifica quando la Luna è in opposizione al Sole e quindi è del tutto lontana dal corpo luminoso di quest'ultimo.

Al pari di Venere -ci dice Galileo- la Luna resterebbe invisibile, e per una ragione analoga. Venendo l'uno o l'altro dei due corpi splendenti a trovarsi in un ambiente fortemente luminoso, scomparirebbe l'effetto di contrasto chiaro-scuro che si verifica quando essi si mostrano sul nero sfondo del cielo notturno (effetto che contribuisce ad accentuarne la visibilità, Cfr. Fig. 5). Mettendo in gioco Venere, Galileo ha potuto così far della zona luminosa



Fig. 4. Un'immagine della Luna tra le nuvole illuminate dal sole nel cielo mattutino che illustra l'affermazione di Galileo nella terza lettera sulle macchie solari: *se porremo cura alla Luna il giorno, quando talvolta, sendo più che l'quarto illuminata, ella s'imbatte a trovarsi tra le rotture di qualche nugola bianca o vero incontro a qualche sommità di torre o altro muro di color mezzanamente chiaro, quando rettamente sono illustrati dal Sole, sì che della chiarezza di quelli si possa far parallelo col lume della Luna, certo si troverà la lor lucidezza non esser inferiore a quella della Luna.*



circumsolare (*le parti dell'etere circonfuse intorno al Sole*) lo sfondo comune per il confronto tra la Luna e il Sole (con le loro macchie). A questo punto egli passa a stabilire per mezzo del telescopio un confronto tra la luminosità (o negrezza) delle macchie, da un lato con il corpo solare di cui si sottolinea la brillantezza (*la luce dell'istesso Sole*) e, dall'altro, con l'ambiente circostante al Sole, di cui ora si mette in evidenza l'aspetto oscuro (*l'oscurità dell'ambiente contiguo*). Quest'oscurità contrasta con quanto si notava in precedenza allorché si parlava delle *parti dell'etere circonfuse intorno al Sole non meno risplendenti dell'istessa Venere, o, della Luna che resterebbe invisibile come quella, che verria collocata in un campo non meno splendente e chiaro della sua propria faccia*. Questo avviene proprio perché Galileo ha chiaro come la luminosità apparente di un corpo dipenda in modo essenziale dallo sfondo contro cui è osservata, e non è semplice funzione dell'irradiazione fisica (Cfr. Fig. 1, 2, 4 e 5). Può quindi passare alla conclusione che le macchie solari, pur appearingoci *tenebrose e nere*, non sono in realtà *men chiare delle parti più splendide della Luna*. Conclusione questa paradossale che abbatte le conclusioni di Scheiner sulla negrezza delle macchie, espressione di una fede acritica sul valore dei dati immediati dei sensi. Passiamo ora a considerare quello che ho indicato

come secondo esperimento galileiano nell'ambito della psico-fisica visiva. La discussione nella quale questo esperimento è inserito riguarda il problema della luminosità della Luna, che Galileo considera compatibile con la superficie scabra da lui messa in evidenza nelle sue osservazioni telescopiche e ritiene conseguenza di una riflessione di tipo diffuso. Per Galileo anche la Terra, corpo evidentemente scabro, può apparire dunque luminosa, al pari della Luna. Scheiner invece, nell'ambito della separazione essenziale tipica della tradizione aristotelica tra mondo terrestre e mondo celeste, tende a negare che la Terra possa riflettere efficacemente la luce del sole e attribuisce l'apparenza irregolare della Luna a una parziale penetrazione dei raggi solari all'interno del suo corpo formato di una materia translucida (in modo simile, come Sagredo si esprimerà nei *Massimi sistemi*, alle *madreperle, le quali, si lavorano in varie figure, e benché ridotte ad una estrema liscezza, sembrano all'occhio tanto variamente in diverse parti cave e colme, che appena al tatto stesso si può dar fede della loro egualità*. Galilei, 1632, p. 79).

Nelle terza lettera sulle macchie solari Galileo sviluppa la sua polemica con Scheiner sforzandosi innanzitutto di comprendere le ragioni psicologiche e storiche per cui gli uomini (qui in particolare 'l popolo, ma in altri casi anche filosofi e uomini di scienza: *gli Aristoteli e i Tolomei*)



Fig. 5. La Luna fotografata di notte quando ella si trova nel campo oscuro del cielo e ci appare particolarmente brillante per l'effetto di contrasto visivo tra la sua luminosità e l'aspetto scuro dello sfondo. Il confronto tra la Fig. 4 e la Fig. 5 ci ricorda le parole di Simplicio nei *Massimi sistemi*: *Così ho io osservato alcune volte di giorno tra certe nuvolette la Luna non altrimenti che una di esse biancheggiante; ma la notte poi si mostra splendentissima* (p. 81). A proposito della Figura è da notare comunque che l'effetto di contrasto è molto più marcato nelle condizioni reali di osservazione della Luna sullo sfondo del cielo notturno che nelle immagini fotografiche.



abbiano potuto aderire per secoli in modo più o meno acritico a una particolare concezione. Egli scrive:

Ma poi che Apelle si rende così difficile a conceder questa così potente riflessione di lume fatta dal globo terrestre, e così facile ad ammettere il corpo lunare trasparente e penetrabile da i raggi solari, come in questo luogo ed ancor più apertamente replica verso il fine di questi discorsi, voglio produrre una o due delle molte ragioni che mi persuadono quella conclusione per vera e questa per falsa; le quali, per avventura risolte con qualche occasione da Apelle, potrebbero farmi cangiar opinione. Non tacerò intanto che io fortemente dubito, che questo comun concetto, che la Terra, come opacissima oscura ed aspra che l'è, sia inabile a riflettere il lume del Sole, sì come all'incontro molto lo riflette la Luna e gli altri pianeti, sia invalso tra 'l popolo perché non ci avvien mai il poterla vedere da qualche luogo tenebroso e lontano nel tempo che il Sole la illumina, come, per l'opposito, frequentemente vediamo la Luna, quando ed ella si trova nel campo oscuro del cielo, e noi siamo ingombrati dalle tenebre notturne; ed accadendoci, dopo aver non senza qualche meraviglia fissati gli occhi nello splendor della Luna e delle stelle, abbassarli in Terra, restiamo dalla sua oscurità in certo modo attristati, e di lei formiamo una tale apprensione, come di cosa repugnante per sua natura ad ogni lucidezza; non considerando più oltre, come nulla rileva al ricevere e riflettere il lume del Sole, la densità oscurità ed asprezza della materia e che l'illuminare è dote e virtù del Sole, non bisognosa d'eccellenza veruna ne i corpi che devono essere illuminati, anzi più presto sendo necessario il levarli certe condizioni più nobili, come la trasparenza della sostanza e la lisciezza della superficie, facendo quella opaca e questa ruvida e scabrosa: ed io son molto ben sicuro, contro alla comune opinione, ch'è quando la Luna fosse polita e tersa come uno specchio, ella non solamente non ci rifletterebbe, come fa, il lume del Sole, ma ci resterebbe assolutamente invisibile, come se la non fosse al mondo; il che a suo luogo con chiare dimostrazioni farò manifesto. (Galilei, 1613, pp. 133-134).

L'argomentazione è resa in modo vivace facendo riferimento alla tristezza che ci prenderebbe qualora, dopo aver osservato lo splendore della Luna, abbassassimo gli occhi verso l'oscurità della Terra. Galileo considera inizialmente l'opinione secondo cui la Terra sarebbe incapace di riflettere la luce solare per la natura irregolare della sua superficie, in contrasto con quanto avverrebbe in una Luna la cui superficie viene ritenuta perfettamente regolare e liscia: questa opinione nascerebbe dal fatto che la Terra appare particolarmente scura a chi di notte abbia avuto modo di osservare lo splendore della Luna sullo sfondo del cielo notturno. Continuando il suo ragionamento egli passa quindi a stabilire un confronto Terra-Luna creando, con l'artificio di un nuovo elaborato esperimento mentale, condizioni virtuali in cui il confronto possa avvenire in condizioni comparabili. Poiché non è possibile per l'osservatore terrestre porsi in una condizione tale da poter mirare, stando nell'ombra (da qualche luogo tenebroso), il globo terrestre illuminato dal Sole sullo sfondo del

cielo notturno (*sul campo oscuro del cielo*), Galileo stabilisce un raffronto diverso, portando la Luna sullo sfondo del cielo diurno e mettendola in rapporto diretto con le nuvole o con la cima di una torre o di un muro chiaro illuminati dal Sole (Cfr. Fig. 4 e 5):

Ma per non traviare dal particolare che ora tratto, dico che facilmente m'induco a credere, che se già mai non ci fosse occorso il veder la Luna di notte, ma solamente di giorno, avremmo di lei fatto il medesimo concetto e giudizio che della Terra: perché, se porremo cura alla Luna il giorno, quando talvolta, sendo più che 'l quarto illuminata, ella s'imbatta a trovarsi tra le rotture di qualche nugola bianca o vero incontro a qualche sommità di torre o altro muro di color mezzanamente chiaro, quando rettamente sono illustrati dal Sole, sì che della chiarezza di quelli si possa far parallelo col lume della Luna, certo si troverà la lor lucidezza non esser inferiore a quella della Luna; onde se loro ancora potessero mantenersi così illustrati sin alle tenebre della notte, lucidi ci si mostrerieno non meno della Luna, né men di quella illuminerebbono i luoghi a loro circonvicini, sin a tanta distanza da quanta la lor grandezza non apparisse minor della faccia lunare; ma le medesime nugole e l'istesse muraglie, spogliate de' raggi del Sole, rimangono poi la notte, non men della Terra, tenebrose e nere (pp. 134-135).

Da un confronto di questo tipo risulterebbe -nota Galileo- la *lucidezza* degli oggetti terrestri *non essere inferiore a quella della Luna*. La convinzione diversa dell'uomo (Luna più luminosa dalla Terra) nasce dal fatto che, a differenza della Luna la quale continua a ricevere i raggi del Sole dopo il tramonto del Sole, le cose terrestri (*le medesime nugole e l'istesse muraglie*) vengono di notte private dei raggi del Sole, divenendo così scure.

Che comunque, al pari della Luna, la Terra sia capace di riflessione viene confermato da un secondo esperimento in cui si stabilisce un diverso tipo di raffronto tra i due corpi, portando in qualche modo la Luna in ambiente terrestre. E' un esperimento in cui Galileo si ispira alle trattazioni sul 'lume secondario' dei pittori italiani del Rinascimento e utilizza, in ambito visivo, l'accorgimento del foro fatto nel muro per far entrare la luce del Sole che ricorre in molta della tradizione dell'ottica del medioevo arabo e cristiano. Se il foro è tale che, visto dal muro colpito dalla luce del Sole, esso sottende un angolo visivo non superiore a quello sotto il quale ci appare la Luna, allora la luce solare riflessa dal muro sarà tale da poter illuminare in modo efficace una seconda stanza in comunicazione con la prima. A tal punto che si potrà più agevolmente leggere il libro con la luce riflessa in via secondaria dal muro che con la luce diretta della Luna:

Di più, gran sicurezza doveremo noi pur prender dall'efficace riflessione della Terra dal veder quanto lume si sparga in una stanza priva d'ogn'altra luce, e solo illuminata dalla riflessione di qualche muro oppostogli e tocco dal Sole, ancor che tal riflessione passi per un foro così angusto, che dal luogo dove ella vien ricevuta non apparisca il suo diametro sottendere ad angolo maggiore che

l'visual diametro della Luna; nulla di meno tal luce secondaria è così potente, che, ripercossa e rimandata dalla prima in una seconda stanza, sarà ancor tanta che non punto cederà alla prima riflessione della Luna: di che si ha chiara e facile esperienza dal veder che più agevolmente leggeremo un libro con la seconda riflessione del muro, che con la prima della Luna (p. 135).

Galileo continua il suo confronto sulla luminosità tra Terra e Luna con un altro esempio in cui la comparazione si fa ricorrendo a vari termini intermedi. In primo luogo tra una fiamma veduta di notte da lontano sulla cima di un monte e una *stella radente l'orizzonte*: confronto da cui risulta che la luce di quest'ultima potrebbe non essere distinguibile da quella che riceviamo dalla fiamma. Se una fiamma può apparire come una stella, allora la Terra, qualora fosse *tutta ardente e piena di fiamme*, apparirebbe come una stella brillante se osservata da un luogo oscuro lontano (per esempio dalla parte scura della Luna). Ma una fiamma -dice Galileo- non è più luminosa di una pietra o di un pezzo di legno colpiti direttamente dal Sole (com'è dimostrabile attraverso un confronto diretto). Ne consegue che, nel corso delle notti lunari, accadrà che la Terra percossa dal Sole si mostrerà a un osservatore situato sulla superficie della Luna, come e più luminosa di quest'ultima (questo anche sulla base del raffronto geometrico tra i due globi). Scrive Galileo:

Aggiungo finalmente, che pochi saranno quelli a' quali, scorgendo di notte da lontano qualche fiamma sopra d'un monte, non sia accaduto star in dubbio, se fosse un fuoco o una stella radente l'orizzonte, non ci apparendo il lume della stella superiore a quel d'una fiamma; dal che ben si può credere che se la Terra fosse tutta ardente e piena di fiamme, veduta dalla parte tenebrosa della Luna, si mostrerebbe non men lucida d'una stella: ma ogni sasso ed ogni zolla percossa dal Sole e assai più lucida che se ardesse; il che si conoscerà facilmente, accostando una candela accesa appresso una pietra o un legno direttamente ferito dal raggio solare, al cui paragone la fiamma resta invisibile: adunque la Terra, percossa dal Sole, veduta dalla parte tenebrosa della Luna, si mostrerà lucida come ogn'altra stella; e tanto maggior lume rifletterà nella Luna, quanto ella vi si dimostra di smisurata grandezza, cioè di superficie circa 12 volte maggiore di quello che la Luna apparisce a noi; oltre che, trovandosi la Terra nel novilunio più vicina al Sole che la Luna nel plenilunio, e però sendo più gagliardamente, cioè più d'appresso, illuminata quella che questa, più gagliardamente, in conseguenza rifletterà il lume la Terra verso la Luna, che la Luna verso la Terra.

Per queste e per molte altre ragioni ed esperienze, che per brevità tralascio, dovrebbe, per mio credere, stimarsi la riflessione della Terra bastante alla secondaria illuminazione della luna, senza bisogno d'introdurvi alcuna perspicuità, e massime perspicuità in in quel grado che da Apelle ci viene assegnata, nella quale mi par di scorgere alcune inesplicabili contraddizioni (pp. 135-136).

Questi esempi, che sono solo alcuni tra quelli in cui Galileo riflette sulle apparenze visive, mostrano la sua particolare attitudine nel decostruire il processo della

visione e nel mettere in evidenza quanto c'è di incerto e inaffidabile in ciò che ai nostri occhi appare ovvio e scontato. E' solo in questo modo che le immagini visive possono condurci ad una conoscenza profonda del reale. La riflessione di Galileo sui sensi è un aspetto essenziale della sua opera scientifica e un momento importante della rivoluzione scientifica moderna alla quale il grande toscano ha contribuito più di ogni altro. Seguendo questa riflessione avremo modo di leggere insieme pagine di grande fascino letterario che ci faranno intravedere da vicino il modo di operare di una 'mente' davvero bella.

Marco Piccolino

Note

(1) Galilei, 1632. pp. 180-182. In formato immagine l'opera è consultabile nel sito dell'IMSS al seguente indirizzo: <http://fermi.imss.fi.it/rd/bd> e anche al sito web della Bibliothèque Nationale di Parigi al seguente indirizzo <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3353m>. In formato testo è consultabile al sito <http://www.liberliber.it/biblioteca/g/galilei/index.htm>

(2) Chiaramonti, 1628 (consultabile al sito: <http://fermi.imss.fi.it/rd/bd>). Il brano citato da Simplicio è a p. 472 dell'opera di Chiaramonti.

(3) L'elogio viene reiterato da Salviati nella giornata terza a proposito della fede nella concezione eliocentrica che l'astronomo polacco continuò a mantenere pur in mancanza di una corrispondenza tra le apparenze di Venere (fasi e grandezze visive) e le previsioni del suo sistema. Dice di lui Salviati rispondendo a Sagredo: *Si; ma quanto minore la fama della sublimità del suo ingegno appresso a gl'intendenti! mentre si vede, come pur dissi dianzi, aver egli costantemente continuato nell'affermare, scorto dalle ragioni, quello di cui le sensate esperienze mostravano il contrario: che io non posso finir di stupire ch'egli abbia pur costantemente voluto persistere in dir che Venere giri intorno al Sole, ed a noi sia meglio di sei volte più lontana una volta che un'altra, e pur sempre si mostri eguale a se stessa, quando ella dovrebbe mostrarsi quaranta volte maggiore (p. 331)*

(4) Tra le molte situazioni in cui nei *Massimi sistemi* si fa allusione agli aspetti sorprendenti della verità 'scientifica' rispetto alle aspettative del senso comune potremmo citare quella del telescopio che può essere montato in una parte elevata di una nave (sulla *gaggia* o anche *in su la cima dell'albero*) senza per questo risentire dei moti accidentali della nave più che se fosse montato in basso (Galilei, 1632 pp. 244-247); o quella relativa alla palla di artiglieria che mette lo stesso tempo a toccare terra se lasciata cadere verticalmente da una certa altezza (per esempio di *cento braccia*) o se sparata parallelamente all'orizzonte con una forza tale *da passare or quattrocento, or mille, or quattromila, ed or diecimila braccia* (ibidem, p. 145); o quella dell'uomo che dal fondo del pozzo guarda le stelle, temendo che, se la Terra si muovesse, potrebbe vederle solo per un brevissimo istante (il tempo che nel suo velocissimo moto la Terra percorre uno spazio corrispondente all'apertura del pozzo) e che invece, come si dimostra col ragionamento matematico, avrà modo di osservarle con molto più agio anche se la Terra fosse (com'è) in moto rapidissimo (il riferimento a questa seconda condizione non è presente nell'edizione originale dell'opera, ma fu

aggiunto da Galileo nella sua copia personale dei *Massimi sistemi*: Cfr. OG, VII, pp. 357-361). Troviamo numerosi riferimenti agli aspetti sorprendenti della scienza anche nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*. Tra questi il fenomeno dell'isocronismo del pendolo per cui l'oscillazione ha la stessa durata *nel passar l'arco grande de i sessanta gradi, quanto nel passare il minore di cinquanta o 'l minimo di dieci* a dispetto della differenza dello spazio che il pendolo deve percorrere (p. 86). Possiamo leggere una dichiarazione abbastanza esplicita di Galileo riguardo al suo gusto per ciò che sembra a prima vista inverosimile e paradossale in una delle sue scritture attenente l'idraulica datata 16 Gennaio 1630 e presente in OG VI p. 642: *Io so, Eccellentissimo Signore, che in questa mia scrittura sono alcune proposizioni, le quali, per aver nel primo aspetto sembianza di paradossi e di impossibili, mi manterranno, anzi mi accresceranno, nel concetto di molti l'attributo che mi vien dato, di cervello stravagante e vago di contrariare alle opinioni comunemente ricevute anco da gli stessi professori nelle arti; e per questo non mi è ascoso che meglio sarebbe (conforme a quell'utile documento) tacer quel vero che ha faccia di menzogna, che pronunziandolo, esporlo alle contradizioni e impugnazioni, e tal volta alle derisioni, di molti. Tuttavia in questo ancora sono di parer diverso dal comune e stimo più utile il proporre ed esporre alle contradizioni pensieri nuovi, che, per assicurarmi da i contradittori, empier le carte di cose trascritte in mille volumi.*

(5) Questi temi sono stati già sviluppati in due articoli apparsi su *NATURALMENTE* (si veda Piccolino e Moriondo, 2002 e Moriondo e Piccolino 2002)

(6) Clarke, 1965

(7) Sull'argomento si veda anche il capitolo dal titolo *Retina e visione: elogio dell'imperfezione* in Piccolino, 2005, pp. 209-249.

(8) Si veda per esempio Wade, 1982 e 2005

(9) Sulla concezione galileiana della luminosità della luna (un tema su cui Galileo ritornerà nell'ultima sua opera, la Lettera dissertatoria al Principe Leopoldo di Toscana del 1640) si veda Reeves, 1997. Una trattazione fisica chiara del fenomeno è presente in Frova e Marenzana, 1997 (Cfr. in particolare il Cap. 8)

(10) La macchia "piccolina" a cui Scheiner fa allusione è il cratere Grimaldi situato vicino al bordo della Luna leggermente a Sud (coordinate seleniche: 68,6° longitudine Ovest, 5,2° di latitudine Sud) e ritenuto la zona più oscura della superficie lunare.

Bibliografia

A. C. Clarke *Profiles of the future* Harper and Row, New York, 1962. [Trad. it. *Le nuove frontiere del possibile* Rizzoli, Milano, 1965]

S. Chiamonti *De tribus novis stellis quae annis 1572, 1600, 1604 comparuere libri tres* apud Josephum Nerium, Cesenae, 1628

A. Frova, M. Marenzana *Parola di Galileo* Milano, Rizzoli, 1997

G. Galilei *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti: comprese in tre lettere scritte all'illustrissimo [...] Marco Velseri [...] dal signor Galileo Galilei* Mascardi, Roma, 1613

G. Galilei *Il Saggiatore: nel quale con bilancia esquisita e giusta si ponderano le cose contenute nella Libra astronomica e filosofica di Lotario Sarsi* Mascardi, Roma, 1623

G. Galilei *Dialogo di Galileo Galilei sopra i due massimi sistemi del mondo* Landini, Firenze, 1632

G. Galilei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* Elzeviri, Leida, 1638

G. Galilei *Edizione Nazionale delle opere di Galileo*, 20 voll., a cura di A. Favaro e I. Del Lungo, G. Barbera, Firenze, 1890-1909

G. Galilei *Capitolo contro il portar la toga*, a cura di L. Fongiorgi Tomasi ETS, Pisa, 2005

A. Moriondo, M. Piccolino *Retina e visione: elogio dell'imperfezione. II: Imperfezioni ottiche, campionamento e 'aliasing'* *NATURALMENTE*, anno 15, n. 4, 2002, pp. 5-18

M. Piccolino *Lo zufolo e la cicala: Divagazioni galileiane tra la scienza e la sua storia* Bollati-Boringhieri, Torini, 2005

M. Piccolino, A. Moriondo *Retina e visione: elogio dell'imperfezione. I parte: l'immagine imperfetta e l'informazione biologicamente rilevante* *NATURALMENTE*, anno 15, n. 2, 2002, pp. 3-11

E. Reeves *Painting the heavens: art and science in the age of Galileo* Princeton University Press, Princeton, 1997

C. Scheiner *Tres epistolae de maculis solaribus ... Cum observationum iconismis...Augustae Vindelicorum, ad insigne pinus*, 1612

C. Scheiner *Disquisitiones mathematicae de controuersis et nouitatibus astronomicis ex Typographeo Ederiano apud Elisabetham Angermariam Ingolstadii*

N. J. Wade *The art and science of visual illusions* Routledge & Kegan, Boston, 1982

N. J. Wade *Perception and illusion: historical perspectives* Springer, New York, 2005