

# L'OCCHIO DI GALILEO

## Come il cielo conquistò la terza dimensione

IL PASSAGGIO DAL SISTEMA TOLEMAICO A QUELLO ELIOCENTRICO COMPORTÒ ANCHE UNA RIVOLUZIONE PIÙ PROFONDA, POSSIBILE GRAZIE A UNA NUOVA CONCEZIONE DELLA PERCEZIONE VISIVA. GALILEO VI CONTRIBUÌ IN MODO DETERMINANTE



**Marco Piccolino**

Neurofisiologo, esegue ricerche sulla fisiologia della retina. È appassionato di visione e di storia della scienza.



**Nicholas J. Wade**

Psicofisiologo, è uno dei massimi esperti mondiali nello studio delle illusioni visive. Artista, le sue opere sono esposte in svariati musei.

«**L**e pecore lanute a passi lenti / van bramose tosando i lie-  
ti paschi, / ciascuna ove la  
chiama, ove l'invita / la di fresca rugiada  
erba gemmante, / e vi scherzan lascivi i  
grassi agnelli / vezzosamente saltellando  
a gara: / e pur tali 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 empian-  
do, / 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'erger alle stelle: / e pur luogo è ne'  
monti onde ci sembra / starsi nel campo  
un tal fulgore immoto.»

Queste due immagini, in apparenza così differenti (che cosa contrasta di più con il lento pascolare di mansuete greggi su verdi colli, dell'agitarsi di cavalli e cavalieri nel tumulto di una battaglia?), servono a Lucrezio, nel secondo libro del *De rerum natura*, per rispondere a una possibile obiezione contro la sua concezione dell'Universo come risultato dell'incontro più o meno casuale di una moltitudine di minutissimi elementi in rapido movimento (*semina* o *primordia rerum*: oggi diremmo "atomi" o "particelle elementari"): l'impossibilità di percepire con i sensi l'agitarsi continuo di queste particelle microscopiche dal cui incontro si formano i corpi.



Busto di Tito Lucrezio Caro (I secolo a.C.), autore del *De rerum natura*.

### Stelle fisse?

La difficoltà della visione di ciò che è così piccolo da sfuggire ai sensi viene paragonata da Lucrezio alla difficoltà di distinguere ciò che risulta poco visibile a causa della lontananza. Le immagini evocate dal poeta latino – che hanno anche implicazioni etiche, in quanto suggeriscono il calmo distacco con cui il saggio può, con la forza della filosofia, tenersi lontano dall'agitarsi della vita e delle sue tragedie – si fonda su una constatazione di psicologia della percezione visiva che potrebbe apparire scontata: da lontano le cose, oltre che piccole e indistinte, tendono ad apparire immobili.

Constatazione che non è in effetti né tanto ovvia né banale, e rivela l'attenzione che

Lucrezio ha per i dati provenienti dai sensi in una visione dell'Universo che – sulle orme di Epicuro suo maestro – è per lui allo stesso tempo scientifica e filosofica, oltre che poetica.

Al fenomeno sensoriale cui fa riferimento Lucrezio si può ricondurre una serie di osservazioni anche sorprendenti. Per esempio quella, comune ai nostri tempi per la frequenza dei voli aerei, della staticità quasi perfetta delle onde del mare osservate da grandi altitudini. E anche in gran parte l'aspetto del cielo notturno, con le stelle che sembrano del tutto immobili e come incastonate su una volta sferica trasparente. In effetti, la lontananza ci fa apparire le stelle immobili a dispetto dei vari tipi di movimento cui sono soggette.

Uno di questi movimenti di carattere “soggettivo” è quello di noi osservatori, trasportati dalla rivoluzione della Terra attorno al Sole e dalla rotazione giornaliera del nostro pianeta attorno al suo asse. Il secondo, più “oggettivo”, è dovuto ai moti delle stelle l'una rispetto all'altra, che possono essere estremamente rapidi ma dei quali non abbiamo alcuna percezione immediata, proprio per l'immensità delle distanze cosmiche.

A tal punto questi corpi celesti sembrano immobili, nonostante i loro movimenti, che per millenni essi sono stati indicati con il termine “stelle fisse”: una notazione che faceva appello proprio alla loro apparente immobilità e serviva a distinguerli da quelli erranti, cioè i pianeti, del cui moto relativo sulla volta stellata l'uomo non aveva tardato ad accorgersi sin dagli albori della civiltà.

L'immobilità delle stelle fisse, insomma, è 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.

## La nostra percezione del cielo

Non solo il concetto di stelle fisse, ma anche la stessa idea della volta celeste è in effetti il risultato di un fenomeno di tipo percettivo. Gli oggetti molto lontani, oltre che immobili e indistinti, ci sembrano tutti situati alla stessa distanza. In uno spazio tridimensionale il luogo dei punti situati

a uguale distanza dall'osservatore è una superficie sferica, e ciò spiega l'apparente aspetto a volta del cielo.

Queste considerazioni valgono sia per i punti luminosi che nel cielo notturno 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 (dalla quale dipende il colore azzurro).

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 essenzialmente percettivo.

Non è un caso se nel corso dei millenni gli astronomi sono stati particolarmente attenti ai processi sensoriali, e solo in tempi recenti il legame tra indagine astronomica e fenomenologia visiva si è in qualche modo attenuato per via dello sviluppo di sofisticate tecnologie di esplorazione – sia nell'astronomia di posizione sia in astrofisica – attraverso le quali il rapporto con il dato percettivo immediato è diventato gradualmente sempre più indiretto.

È abbastanza noto che gli arabi ricorrevano alle stelle (confidando anche nella nitidezza e oscurità del loro cielo notturno) per un facile test di acuità visiva: volgendo gli occhi all'Orsa Maggiore, solo le persone con una visione perfetta erano in grado di distinguere due stelle al centro del timone del carro (Mizar e Alcor), mentre chi aveva difetti visivi scorgeva un unico oggetto luminoso.

## Verso un'astronomia oggettiva

Ma l'interesse degli astronomi per i fenomeni visivi è andato ben oltre i test, sia “celesti” che “terrestri”, più o meno sofisticati di acuità visiva (anche se dobbiamo notare che un forte impulso alla determinazione scientifica dei limiti di risoluzione del sistema visivo è derivato dalla necessità, in astronomia, di distinguere le stelle singole dalle stelle doppie e che è stato proprio un astronomo, il modenese Gemignano Montanari, tra i primi a misurare in modo preciso, nella seconda metà del Seicento, l'acuità visiva).



Ritratto di Benedetto Castelli (1577-1643).

Nel corso dei secoli gli astronomi si sono interessati in modo particolare alla possibilità che le misure dei corpi celesti che essi eseguivano (dimensioni, posizione, forma delle costellazioni, distanza) potessero risultare ingannevoli o distorte per effetti di tipo ottico o fisiologico. Così, nel corso del tempo hanno teso a far riferimento più a misurazioni obiettive che ai puri dati sensoriali.

Un esempio è quello di Benedetto Castelli, l'allievo di Galileo, che tentò di spiegare l'illusione della Luna (*v. le Stelle n.94, pp. 62-67*). Nel caso della visione tridimensionale di oggetti celesti, raffinate tecniche geometrico-matematiche (e tra queste in particolare il metodo della parallasse) sono state sviluppate per superare i limiti del nostro sistema visivo, del tutto incapace di fornire indicazioni utili sulla posizione di corpi distanti 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 che, quando tra Cinquecento e Seicento venne scosso l'impianto stesso della cosmologia tradizionale, si sviluppò un rinnovato interesse per i fenomeni visivi.

## Thomas Digges: il primo cielo a stelle libere



Digges fu il primo a esplicitare, in questa pagina del *Perfit description*, la sua concezione – fortemente antiaristotelica – di un Universo aperto e infinito.

novana del 1572 e la cometa del 1576, dimostrando con il metodo della parallasse che in entrambi i casi si trattava di oggetti celesti situati oltre il cielo della Luna, fu uno dei più ferventi sostenitori del copernicanesimo in Inghilterra. La sua *Perfit description* è in effetti basata ampiamente sulla traduzione del decimo capitolo del *De revolutionibus* di Copernico.

Rispetto all'astronomo polacco, che aveva lasciato ai filosofi il problema di stabilire se il cosmo avesse o meno dei limiti, Digges si schierò per un universo infinito, come appare dal diagramma e dal testo scritto all'interno di quello che doveva essere il cielo delle stelle fisse. Un testo che combina in modo sorprendente la modernità astronomica con una religiosità a forti connotazioni esoterico-astrologiche: «Questo orbe delle stelle fisse si estende sfericamente in altezza all'infinito ed è pertanto l'immobile palazzo della felicità decorato con innumerevoli rifulgenti luci, superiori al Sole sia in quantità che in qualità, corte degli angeli celesti, luogo privo di afflizione e ricolmo di gioia infinita, abitacolo per l'eletto».

## 1604: anno cruciale per l'astronomia

Tradizionalmente si considera come pietra miliare dell'ottica fisiologica il 1604, l'anno in cui Keplero pubblicò *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 "pittura") grazie ai meccanismi diottrici dell'occhio.

Il 1604 fu un anno fondamentale per la nascita della nuova astronomia, perché

nei cieli comparve una stella nova (la supernova 1604), di grande luminosità, che rimase visibile per molti mesi, permettendo agli astronomi di determinare attraverso il metodo della parallasse la sua lontananza dalla Terra.

Tra coloro che la osservarono e la descrissero attentamente ci fu proprio Keplero, e questo spiega l'espressione "supernova di Keplero" con cui è anche conosciuto questo fenomeno celeste.

Le misure concordarono nel dimostrare che il fulgore proveniente da quell'esplo-

Una delle conseguenze storiche dell'affermarsi del sistema copernicano fu il progressivo abbandono dell'idea degli "orbi celesti", cioè sfere solide e trasparenti, deputate a trasportare i pianeti e le stelle nel loro moto intorno alla Terra.

Nel sistema aristotelico-tolemaico l'idea degli orbi rotanti si era sviluppata, oltre che su basi percettive, anche come tentativo di spiegare meccanicamente il moto apparente dei corpi celesti in assenza di principi fisici adeguati, come la legge di gravità e il principio d'inerzia.

Nella dottrina copernicana la rotazione della Terra permetteva di spiegare il moto diurno dei corpi celesti – e in particolare quello delle stelle fisse – senza assumere una rotazione dell'ipotetico orbe (l'ottava sfera) in cui si supponeva che le stelle fossero fisicamente contenute. Questo rende in parte ragione del fatto che fu proprio la sfera delle stelle fisse la prima a infrangersi sotto i colpi del sistema copernicano. Ciò rappresentò il primo passo verso l'idea di un cosmo potenzialmente infinito con una pluralità di mondi, contrapposto all'Universo chiuso della tradizione classica.

La prima immagine a stampa di un cosmo con stelle libere in uno spazio potenzialmente illimitato è contenuta in una singolare operetta scritta in inglese dal forte sapore elisabettiano: *A perfit description of the celestiall orbis according to the most auncient doctrine of the pythagoreans*. Autore ne è Thomas Digges (1546-1595), un importante matematico e astronomo inglese figlio di Leonard (1520-1559), anch'egli astronomo (e astrologo), oltre che costruttore di strumenti per prospezione cartografica; fu tra l'altro l'inventore verso la metà del Cinquecento di uno tra i primi rudimentali telescopi.

Il testo di Thomas con la figura delle stelle libere è inserito in appendice a un'opera astrologica del padre, *A Prognostication everlasting*, a partire dall'edizione pubblicata nel 1576. Thomas, che aveva osservato la super-

sione fosse situato molto al di là del cielo della Luna: una conclusione che andava contro il dogma aristotelico dell'immutabilità dei cieli.

Nella concezione antica del cosmo solo la Terra e la sua atmosfera, fino al cielo della Luna, potevano essere luogo di mutazioni; non a caso infatti Aristotele, per conservare l'immutabilità dei cieli soprallunari, collocò nell'atmosfera terrestre anche le stelle cadenti e le comete (considerate come fenomeni meteorologici al pari delle nuvole e dei fulmini).



Johannes Kepler, accanto a un'immagine che illustra la sua opera sulla supernova del 1604, alla quale lo studioso tedesco (protagonista con Galileo della rivoluzione astronomica del Seicento) dedicò uno studio importante.

Le stelle novae dunque misero in difficoltà l'astronomia classica; all'inizio del Seicento la cosa attirò un interesse particolare, anche perché alcuni astronomi dell'epoca conservavano ancora il ricordo della nova del 1572 (anch'essa una supernova), descritta accuratamente dal maestro di Keplero, Tycho Brahe (e per questo nota ancora oggi come "supernova di Brahe"), che l'aveva collocata ben oltre il cielo della Luna.

Molte discussioni, quindi, si scatenarono a causa della supernova del 1604. Su fronti contrapposti vennero a trovarsi da un lato gli esponenti della cultura tradizionale (di impronta ampiamente aristotelica), che 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 concezioni cosmiche.

### Il «discorso» di Galileo

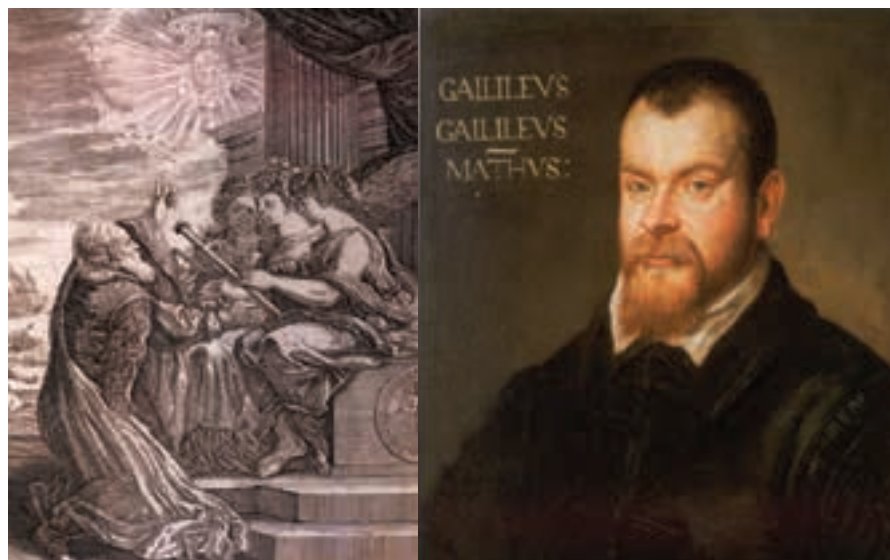
Non è un caso se tra coloro che s'interessarono al fenomeno vi fu Galileo, allora professore a Padova, il quale tenne tre lezioni pubbliche sulla stella nova, in cui sosteneva concezioni nettamente antiaristoteliche.

Fu la prima presa di posizione pubblica su

temi astronomici da parte 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 (vi presenziarono oltre

mille uditori), perché – com'egli stesso scrisse in una lettera del 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 conietura finisce. Et perché questa mia fantasia



Un ritratto che raffigura Galileo all'epoca delle sue prime osservazioni astronomiche a Padova, accanto a un'immagine, presa da un'edizione postuma del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, in cui egli è raffigurato insieme alla Matematica (la divinità rappresentata con il compasso), l'Astronomia (incoronata di stelle) e l'Optica (con in mano il telescopio): emblemi, per gli editori dell'epoca, della nuova scienza.

## Geminiano Montanari: i limiti della vista umana

Montanari fu uno studioso poliedrico: oltre che di astronomia, di fisica e meteorologia, si interessò anche di economia scrivendo un *Trattato mercantile delle monete*.

Rivolse un particolare interesse allo studio dei limiti del sistema visivo, sia per l'importanza generale della visione nell'osservazione astronomica, sia per motivi personali (era infatti affetto da disturbi della vista).

In una lettera, pubblicata senza indicazione di data dal suo allievo Francesco Bianchini (1662-1729), astronomo veronese, Montanari valutò con accuratezza l'acuità visiva a circa 1 minuto di arco, facendo osservare ai suoi studenti da distanze diverse cerchi scuri disegnati sulla carta. Sulla base di queste ricerche formulò poi una stima sostanzialmente corretta delle dimensioni dei fotorecettori retinici, e utilizzò i dati sui limiti microscopici della visibilità per spiegare il meccanismo della fusione dei colori nella visione di granuli di pigmento di piccole dimensioni.

Tra i problemi di ottica fisiologica che investigò spicca quello della visibilità a occhio nudo di stelle che, per le dimensioni fisiche della loro immagine, sarebbero al di sotto dei limiti geometrici della visione.

Questo problema nella prima metà del Seicento era stato al centro delle discussioni tra Galileo e i suoi oppositori. Montanari, seguace della scuola galileiana, fu un convinto assertore delle «novità celesti» e della variabilità del cielo, di cui portò numerose dimostrazioni. In particolare, studiò la variazione di luminosità di molte stelle (tra cui Algol, ovvero  $\beta$  Persei), della quale però non comprese la natura di sistema stellare multiplo a occultazione periodica.



*Montanari, l'occhio e la Luna* è un'elaborazione grafica di Nicholas Wade realizzata a partire dal ritratto dell'astronomo modenese Geminiano Montanari (1633-1687) e da un'immagine cartografica della Luna disegnata dallo stesso Montanari in seguito alle osservazioni telescopiche eseguite con l'ausilio di un reticolo micrometrico da lui messo a punto.

si tira dietro, o più tosto si mette avanti, grandissime conseguenze et conclusioni, però ho risoluto di mutar le letioni in una parte di discorso, che intorno a questa materia vo distendendo».

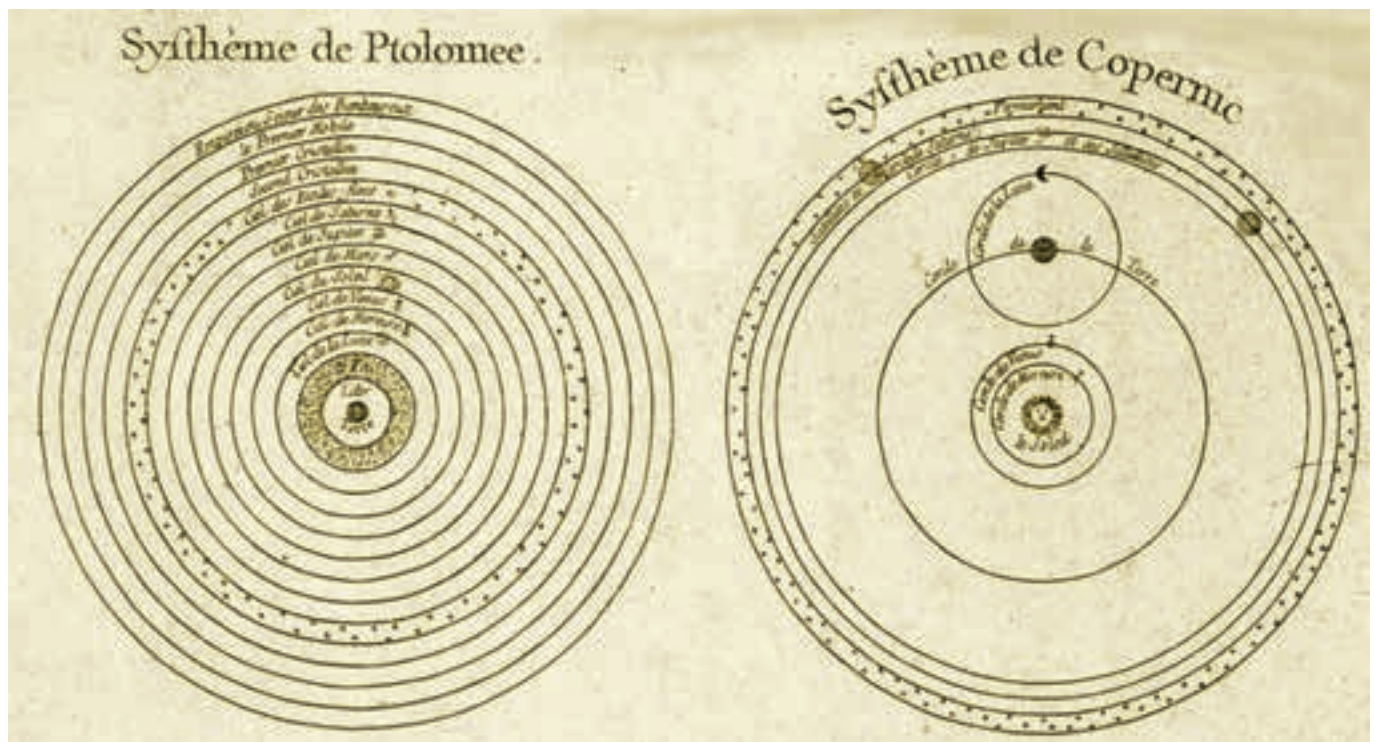
Il «discorso» che Galileo diceva di stare scrivendo riguarda quella nuova concezione dell'Universo che, sulla scorta dell'ipotesi formulata più di cinquant'anni prima da Copernico, poneva il Sole al suo centro, in contrapposizione con la dottrina geocentrica di Aristotele e Tolomeo.

Ci vollero però circa trent'anni perché il discorso galileiano potesse vedere la luce.

Questo lungo periodo servì allo studioso italiano per accumulare nuovi e sconvolgenti dati osservativi, primi tra tutti quelli derivanti dalle osservazioni del cielo con il cannocchiale, iniziate nell'autunno del 1609. Forte di questi dati, Galileo elaborò una nuova dottrina del moto in grado di rispondere alle obiezioni della cultura tradizionale che voleva la Terra immobile. Ma in questo periodo Galileo sviluppò anche una riflessione profonda sui meccanismi della conoscenza umana, nonché sul valore e sull'affidabilità delle apparenze sensoriali. Al centro di questa riflessione

vi era il tema della visione. Questa riflessione (a differenza di quanto avvenne per Keplero e altri studiosi dell'epoca) per Galileo non investì i meccanismi ottico-fisiologici del processo visivo ma si concentrò su aspetti che, con terminologia moderna, potremmo indicare come psico-fisici o psico-fisiologici.

Lo scienziato pisano svilupperà insomma quella che potremmo considerare come una vera e propria riflessione filosofica sui nostri sensi in quanto strumenti del rapporto conoscitivo con la realtà dell'Universo. Una riflessione cruciale per poter



Lo schema del sistema cosmologico tolemaico, messo a confronto con il nuovo sistema copernicano.

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. La profonda rivoluzione scientifica che Galileo operò in astronomia, togliendo la Terra dal centro geometrico del cosmo antico, fu solo uno degli aspetti di una rivoluzione più radicale e più ampia, in cui l'uomo venne spodestato da una centralità ancora più fondamentale nell'ambito della realtà naturale. La nostra specie smise di rappresentare il fine ultimo dell'intera creazione (come sostenuto dalla concezione teologico-filosofica del cristianesimo medievale) e l'uomo cessò di essere il destinatario privilegiato di un linguaggio sensoriale specifico che il mondo naturale avrebbe sviluppato proprio per lui, nell'ambito di questo accentuato finalismo antropocentrico.

### Un Galileo umoristico

L'inizio del percorso che condurrà a una diversa consapevolezza delle nostre per-

cezioni sensoriali si collega, in maniera un po' sorprendente e anche divertente, alle due prime opere a carattere astronomico di Galileo, poco conosciute fuori della cerchia degli specialisti ed entrambe pubblicate con nomi fittizi. La prima fu scritta addirittura in antico dialetto padovano, e l'altra è caratterizzata da pagine intrise di un umorismo abbastanza salace (tendenza, questa, che accompagnerà lo scienziato – seppure in forme diverse – in molte delle sue opere della maturità).

L'autorialità di queste prime opere, dissimulata ma tutto sommato abbastanza chiara per i coevi di Galileo, è uno degli aspetti del gioco della maschere che il grande pisano condurrà in modo magistrale nel corso delle numerose polemiche scientifiche che lo accompagneranno per tutta la vita. Un aspetto di quel gioco della dissimulazione a cui gli uomini del Seicento, e in particolare chi si opponeva al potere pervasivo di chiese e sovrani, era costretto, per poter affermare in modo pubblico le proprie convinzioni.

Galileo, che pure venne tacciato di imprudenza nei suoi rapporti con i potenti, fu un maestro di quella “dissimulazione one-

sta” che un suo contemporaneo, Torquato Accetto, teorizzò in un libro divenuto famoso.

È in questa chiave che dobbiamo leggere il *Dialogo de Cecco di Ronchitti*, in cui troviamo appunto un'anticipazione di quell'atteggiamento del Galileo maturo, che rivolgerà il suo discorso (scientifico ma anche etico e intellettuale) non tanto agli addetti ai lavori, ma a quegli altri che «forniti d'un bon naturale [...] sariano atti» a comprendere la realtà del mondo, ma restano tagliati fuori dal progresso della conoscenza perché «occupati o nelle cure familiari o in altre occupazioni aliene dalla letteratura». Anch'essi – egli dice – «voglio che veggino che la natura, sì come gl'ha dati gl'occhi per veder l'opere sue così bene come a i *filuorichi*, gli ha anco dato il cervello da poterle intendere e capire».

Lo stesso atteggiamento portò Galileo a pubblicare nel 1632 il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, l'opera che – insieme alla *Commedia* di Dante – segnò più di ogni altra la storia culturale italiana, e pose le basi per una delle più grandi rivoluzioni del pensiero occidentale: la rivoluzione scientifica. ■