

combattenti nella prima guerra mondiale, che anelavano a «una forma di vita nella quale lo Stato e la cultura fossero una cosa sola», raccontato da Thomas Mann nelle pagine del *Doctor Faustus*.

Chiudono il volume alcuni articoli più specificamente legati al lavoro del direttore d'orchestra, dai programmi da concerto, all'interpretazione – sia in genere che legata alla musica antica – sia, infine, al dirigere a memoria. Su quest'ultimo tema, merita di essere riportata la sua autorevole opinione, espressa con un'ironia che forse non ci aspetteremmo da un personaggio come Furtwängler: «Il dirigere tutto a memoria, senza eccezioni, è una questione che, secondo me, può avere un suo interesse sportivo, ma che per l'arte non è propriamente essenziale». (Guido Giannuzzi)

La natura

Luce. Una storia da Pitagora a oggi,
di Andrea Frova, Roma, Carocci, 2017,
pp. 306.

«Cosa insegna la scienza?». Con questa semplice domanda, Andrea Frova, già ordinario di Fisica generale alla Sapienza, apre questo suo racconto sulla «luce», filo conduttore per parlare di scienza dai suoi primi passi ad oggi. Un percorso fortemente accidentato non solo per le difficoltà intrinseche a conoscere, interpretare e predire i fenomeni naturali ma anche, almeno fino al secolo dei Lumi, per la forte ingerenza della religione nel dibattito scientifico, di cui il processo a Galileo è un chiarissimo esempio. È evidente sia

dall'organizzazione dei capitoli sia dai loro contenuti come l'autore prenda a pretesto la luce per tentare di rispondere alle molte domande che nel corso dei secoli sono state poste agli uomini di scienza perché, afferma Frova, la luce «è la chiave di volta della vita, dell'arte e della conoscenza» (p. 12).

La luce, e il suo principale produttore, il Sole, ha da sempre alimentato le credenze e le religioni, fino a quelle attuali. Innegabile il ruolo focale svolto dalla luce nell'evoluzione e nel sostentamento della vita sul nostro pianeta (la fotosintesi clorofilliana, ad esempio) al punto che l'Unesco le ha dedicato l'anno 2015 (*International Year of Light and Light Based Technologies*).

Il difficile cammino per comprendere la luce e i fenomeni ad essa collegati deve molti degli ostacoli incontrati anche all'autorevolezza assunta nei secoli dalla teoria aristotelica della luce, che esercitò la sua soffocante autorità fino al tempo di Galileo ed anche oltre, come pure la sua teoria dei colori e la loro funzione. Scrollarsi dalle spalle il giogo aristotelico non fu facile e Frova mostra come Leon Battista Alberti nel suo *De pictura* (1435) già mettesse in discussione la teoria aristotelica che i colori avessero origine da una mescolanza di bianco e nero; e che se oggi si parla di iride e del bianco come somma di tutti i colori lo dobbiamo a Newton. L'ipotesi aristotelica, tuttavia, dei raggi visuali suggeriva la possibilità di un'ottica geometrica (Euclide) secondo la quale la percezione delle immagini fosse legata all'incidenza dei vari raggi visuali sui punti della superficie osservata: l'ottica geometrica è tuttora utilizzata nella costruzione, ad esempio, degli specchi

– sia concavi sia convessi –, degli obiettivi di ogni specie. Si deve allo studioso Ibn al-Haytham (965 ca. d.C. – 1039 ca. d.C.), più noto come Alhazen, attivo al Cairo, un effettivo passo in avanti nella comprensione del processo della visione: «Aboli i raggi visuali, riconobbe alla luce un ruolo esclusivo e basilare nel meccanismo della visione, attribuì quest'ultima alla percezione di un'impronta luminosa da parte di un recettore sensibile interno all'occhio e, infine, colse l'importanza della memoria e della pratica nell'interpretazione delle sensazioni visive» (p. 44). Restarono fuori dal suo terreno di indagine sia la natura (fisica) della luce sia l'origine dei colori.

L'autore rende quindi omaggio alla scienza e agli scienziati arabi e persiani: solo attingendo ai loro lavori il mondo occidentale riesce sia a migliorare la comprensione della luce e dei fenomeni visivi sia a porre le basi di ciò che sarà chiamata la rivoluzione scientifica, realizzatasi in Europa fra il Cinquecento e il secolo dei Lumi: il secondo capitolo porta, infatti, il significativo titolo *Leonardo, Keplero e Cartesio*.

Il fenomeno della luce è strettamente connesso a quello della visione ed è necessario giungere alla seconda metà del Cinquecento per imbattersi in un medico che sia in grado di intuire la reale funzione del cristallino dell'occhio e che la visione sia, in ultima analisi, il risultato dell'azione combinata del cristallino-retina-nervo ottico: questo medico è Felix Platter (1536-1614) dell'Università di Basilea. La comprensione di un fenomeno fisico così complesso come la luce, come essa si propaghi e interagisca con il nostro occhio ha richiesto il contributo di molti scienziati

e filosofi naturali, anche se alcune delle ipotesi via via formulate nel corso dei secoli non avrebbero superato la verifica sperimentale o sarebbero state soppianate da successive ipotesi ritenute più attendibili. In questo secondo capitolo, come in tutto questo interessante viaggio attraverso la fisica della luce, Frova mostra come il metodo scientifico sia in realtà un processo in perpetua elaborazione: è oltremodo utile che il significato del metodo scientifico venga spiegato e rispiegato in un tempo – come l'attuale – in cui in tanti sembrano prevalere le suggestioni o gli ipse-dixit! E per amore della verità che l'autore, citando i testi arabi e persiani antichi, in questo capitolo rende omaggio al già citato scienziato arabo Alhazen, come pure ad Ibn Sahl, matematico e fisico persiano della fine del X secolo d.C., cui si devono le leggi sulla rifrazione, anche se in Europa queste sono note come leggi di Descartes. È evidente anche da questo esempio, come nel corso del Cinque-Seicento gli scienziati europei abbiano attinto a piene mani dalle opere arabo-persiane, grazie soprattutto alle traduzioni di Gerardo da Cremona e di altri monaci che, studiato l'arabo e il persiano, trovarono nella biblioteca di Madrid centinaia e centinaia di opere scientifiche. Per certo, fenomeni come l'arcobaleno (p. 66) e il prisma disperdente non mancarono di attirare l'attenzione degli studiosi sin dall'antichità, tuttavia fu Descartes a dare un'interpretazione accettabile di questi due fenomeni, ponendo le basi per quella branca della fisica che chiamiamo ottica (p. 72).

Questa carrellata su importanti traguardi conseguiti nel corso dei secoli serve per introdurre quello che potrem-

mo definire il problema dei problemi quando si parla di luce: la sua natura è ondulatoria o corpuscolare? Questo interrogativo, cruciale per la comprensione non solo dell'ottica ma della fisica moderna, fa da ponte con il terzo capitolo dedicato a Robert Hooke, definito il Leonardo inglese, che per primo ipotizzò la natura ondulatoria della luce (1665). L'intuizione di Hooke, anche se ancora lontanissima dall'idea di campo elettromagnetico, contempla «vibrazioni delle particelle che si propagano in tutte le direzioni nel mezzo circostante sotto forma di perturbazioni ondose» (p. 81). Una concezione, quella di Hooke, che si avvicina di molto a quella reale, che di lì a poco sarà descritta in modo rigoroso da Christiaan Huygens.

Come si può evincere anche da quanto scritto finora, uno degli obiettivi dell'autore è far comprendere al lettore il percorso speculativo che ha portato – attraverso intuizioni, errori, conferme – alle conoscenze attuali, e come i vari protagonisti dell'evoluzione delle conoscenze scientifiche abbiano fra loro interagito per raggiungere i risultati che conosciamo. I lavori di Hooke interessarono l'olandese Huygens e gli permisero di spiegare la rifrazione e un gran numero di altri fenomeni. Nello stesso periodo, a Cambridge, Isaac Newton (1642-1727) rovescia tutte le teorie fino ad allora accettate avanzando un'idea rivoluzionaria sulla natura dei colori: essi erano unicamente i componenti di base della luce bianca e che la loro osservazione in modo separato di uno dall'altro fosse possibile solamente scomponendo la luce bianca (1666). Il lavoro principale di Hooke, *Micrographia*, interessò molto Newton ma

non lo convinsero le tesi a sostegno della teoria ondulatoria della luce: la sua conclusione invece fu che la luce solare fosse costituita da un insieme di «raggi diversamente rifrangibili», vale a dire che la luce bianca fosse composta da raggi luminosi con differenti indici di rifrazione, cioè caratterizzati da diverse velocità di propagazione all'interno del mezzo. Il bianco non è altro che la mescolanza di tutti i colori dell'iride.

Il dibattito sulla natura corpuscolare o ondulatoria della luce rimase acceso fino agli inizi del Novecento, allorquando Max Planck e Albert Einstein non dimostrarono che la luce presenta entrambe le nature, in funzione del fenomeno osservato. È interessante ricordare quanto scrisse Newton che, sebbene ne sostenesse la natura corpuscolare, non si sentiva sufficientemente sicuro per negarne completamente la natura ondulatoria: «Non voglio mescolare congetture con certezze» scrive nel *New Theory about Light and Colours* (1672), a dimostrazione della grande onestà intellettuale che contraddistingue i grandi uomini di scienza.

Il secolo dei Lumi (cap. 7) mette in pratica in modo sistematico gli insegnamenti dei padri della scienza moderna e si concentra sugli esperimenti e la strumentazione scientifica per realizzarli, anche se gli studi sono più spesso finalizzati alla ricerca di conferme per i risultati già ottenuti dagli scienziati del secolo precedente che utilizzati per indagare nuovi terreni di ricerca, rappresentati, per sommi capi, dalla dimostrazione della natura corpuscolare della luce, dallo studio del comportamento, ondulatorio non solo

della luce, ma anche del suono e delle onde nei liquidi (partendo dai lavori di Descartes ed Huygens soprattutto in Francia) e dalla propagazione della luce (ad esempio, lo svizzero Leonhard Euler). Fu in quel periodo che i fautori del modello corpuscolare si spinsero ad ipotizzare una possibile interazione con la gravità: congettura ritenuta assurda finché, nel 1919, non ne venne dimostrata la fondatezza scientifica, diretta conseguenza dell'incurvamento dello spazio previsto dalla relatività generale di Albert Einstein; di contro, chi operava sul versante ondulatorio, facendo perno sulla filosofia cartesiana, cercò di esporstarne il modello anche in altri dominii, come il suono e i liquidi. Su questi ultimi temi lavorarono e raggiunsero risultati importanti per l'epoca il francese Malebranche ed Euler; in particolare quest'ultimo, per spiegare la propagazione della luce nel vuoto, introdusse il concetto di etere così motivandolo: «la luce è causata da un moto vibrazionale trasmesso dall'etere» (p. 117). Le sue affermazioni non solo introdussero un'entità, che occorrerà più di un secolo per dimostrarne l'inesistenza, ma relegarono alla storia l'ipotesi cartesiana delle sfere rigide, perché incompatibili con la propagazione rettilinea, in quanto il modello euleriano tesse l'analogia fra la propagazione della luce in tutto lo spazio circostante e quella dell'onda sonora che, generata da una corda vibrante, si propaga nell'aria circostante con un'alternanza di compressioni e dilatazioni che vengono trasmesse a successivi strati d'aria sempre più lontani. Nell'ultima parte della sua *Nova teoria lucis et colorum* (1746), Euler, infatti, afferma che l'emissione

della luce da parte di corpi luminosi è associata alla capacità delle loro parti di oscillare, anticipando ipotesi che saranno confermate solo molto tempo dopo.

La dialettica tra i fautori del modello corpuscolare e quello ondulatorio rimane accesa, anche se durante il Settecento i fautori del modello ondulatorio prevalgono avendo dalla loro due importanti fenomeni: la diffrazione e l'interferenza. Occorrerà giungere agli inizi dell'Ottocento perché Fresnel proponga una formulazione completa del fenomeno della diffrazione, formulazione che permise di spiegare anche la riflessione, come pure la rifrazione (che abbiamo visto già affrontata ottocento anni prima da Ibn Sahl) e l'ultima proprietà – in ordine di scoperta – la polarizzazione. Le sue equazioni restano formalmente valide anche dopo che Maxwell ebbe dimostrato (alla fine dell'Ottocento) la natura elettromagnetica delle oscillazioni luminose.

Nella disputa fra fautori del modello corpuscolare e quello ondulatorio, le ipotesi di Fresnel sulla diffrazione – confermate sperimentalmente – diedero un duro colpo alla teoria corpuscolare della luce, soprattutto ai propugnatori inglesi più vicini alle teorie newtoniane. Tuttavia anche oltre Manica non tutti erano allineati con Newton: Thomas Young con una lettera del 1799 alla Royal Society afferma l'assoluta correttezza della teoria ondulatoria e la certezza dell'esistenza dell'etere per poter rivendicare la stretta analogia fra la propagazione della luce e quella del suono (p. 133).

Questi accessi dibattiti non hanno solo il merito di costringere i sostenitori dell'una o dell'altra tesi a produrre prove sperimentali a suffragio della tesi

sostenuta ma sollecitano a fare passi in avanti nella conoscenza della realtà. È in questo vivacissimo clima che comincia a farsi strada, sottolinea Frova, il concetto di campo ed in particolare quello di campo elettrico e di campo magnetico (ritenuti inizialmente due entità distinte) per spiegare i fenomeni luminosi. Dobbiamo all'olandese Lorentz (1853-1928) la formulazione, alla fine dell'Ottocento, delle equazioni che portano il suo nome, in grado di dare una rappresentazione matematica alla teoria dell'etere elettrico, equazioni in cui erano ben distinte la materia (i.e. gli elettroni) e l'etere. Su questo tema lo stesso Einstein scrisse a Lorentz una lettera (1919) in cui affermava che «sarebbe stato più corretto se nelle mie prime pubblicazioni mi fossi limitato a sottolineare l'impossibilità di misurare la velocità dell'etere, invece di sostenere soprattutto la sua non esistenza. Ora capisco che con la parola etere non si intende nient'altro che la necessità di rappresentare lo spazio come portatore di proprietà fisiche» (p. 133).

Fra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento l'assunto che la luce abbia una natura ondulatoria si consolida completamente all'interno della comunità scientifica con l'aggiunta che l'ultima proprietà dimostrata, la polarizzazione – come già si diceva – trova nella teoria ondulatoria una piena spiegazione. Questa proprietà troverà nel 1932 anche uno specifico impiego industriale con l'invenzione delle lenti polarizzanti note con il marchio commerciale Polaroid.

La velocità della luce, che è il tema cui è dedicato il nono capitolo (p. 147), affronta un problema che affonda le

sue radici negli albori della scienza: la sua velocità è finita o infinita. A parte qualche voce discordante, come ad esempio Galileo, la comunità scientifica sosteneva che la luce avesse velocità infinita. Fu l'astronomo danese Ole Rømer (1644-1710), sfruttando la ciclicità dei ritardi nell'osservazione delle eclissi del satellite gioviano Io (scoperto da Galileo grazie al suo cannocchiale), a spiegarli con il fatto che la luce avesse velocità finita. Tentò anche una sua misura ed ottenne il valore di 210.000 km/s, valore ancora lontano da quello reale, ma con il pregio di essere basato – sottolinea Frova – su dati sperimentali, senza uso di modelli teorici. Mezzo secolo dopo, James Bradley tentò la misurazione della velocità della luce, utilizzando un metodo diverso da quello dell'astronomo danese, e ottenne valori compresi fra 301.000 e 304.000 km/s; un valore molto più vicino a quello conosciuto.

A metà Ottocento, Parigi diventa il centro degli esperimenti volti a misurare la velocità della luce. Fu J.B. Léon Foucault che, utilizzando specchi rotanti e semoventi, ottenne per la velocità della luce il valore di 298.000 km/s: era il 1862, solo due anni prima che lo scozzese James Clerck Maxwell rendesse noti i suoi calcoli teorici sull'unificazione dei campi elettrici e magnetici. Occorre poi giungere al 1920 per registrare, grazie agli esperimenti dell'americano Albert Abraham Michelson, il primo valore vicinissimo al valore reale: 299.774 ± 11 km/s. Nel 1983 la velocità della luce calcolata teoricamente da Maxwell, vale a dire 299.792,458 km/s, fu assunta come standard internazionale. Che i calcoli di Maxwell siano esatti lo confermano anche recentissimi esperimenti che im-

piegano raggi laser e cavità a microonde che producono risultati che coincidono con il valore stimato dal padre del campo elettromagnetico fino alla settima cifra dopo la virgola.

Il contributo più importante, tuttavia, dell'esperimento di Michelson, assieme al collega Morley, fu la dimostrazione che la velocità della luce nel vuoto è invariante rispetto tutti i riferimenti inerziali, ossia non dipendente dal moto dell'osservatore e della sorgente: l'esperimento confermava quanto postulato da Einstein nella teoria della relatività ristretta e in contrasto con la legge galileiana di composizione delle velocità, valida nella meccanica classica. L'esperimento di Michelson-Morley portò, inaspettatamente, ad un'altra conclusione: la negazione dell'esistenza dell'etere, che fino ad allora, e in modo molto radicato nella comunità scientifica, era ritenuto il mezzo, in analogia con l'aria per il suono, in cui si propagavano le onde elettromagnetiche. Questo non-risultato valse a Michelson il Nobel nel 1907.

Resta ora il problema dei colori che Newton aveva in prima approssimazione impostato. La visione dei colori è anche un problema fisiologico e pertanto non deve stupire che un medico-biologo come l'inglese Thomas Young abbia formulato – nel 1801 – quella che è nota come la teoria *tricromatica* della visione che sostiene che componendo fra loro i colori rosso, verde e blu (tendente al violetto) in percentuali variabili si possono ottenere tutti i colori. La novità introdotta da Young, distaccandosi da Newton, è che la proprietà di composizioni dei colori non è intrinseca alla luce bensì una specificità fisiologica dell'occhio,

che è in grado di distinguerne solo circa duecento. Questo comportamento dell'occhio umano è determinato dall'organizzazione in coni (circa 7 milioni) e bastoncelli (circa 120 milioni) e che questi sono sensibili solo ad una ridottissima porzione dello spettro, vale a dire l'intervallo di lunghezze d'onda compreso fra 400 nm e 700 nm (nm: nanometri, miliardesimi di metro) rispetto ad un range delle lunghezze d'onda delle onde elettromagnetiche che spazia da pochi milionesimi di nm (raggi gamma) a 10 milioni di metri (onde radio).

In questo processo di comprensione dei fenomeni elettromagnetici, risultano fondamentali i contributi teorici di Maxwell e i risultati sperimentali di Hertz che, come ricordato, hanno ricondotto l'ottica, l'elettricità e il magnetismo all'interno di un unico modello teorico, supportato da significative evidenze scientifiche, noto come campo elettromagnetico, cui è dedicato il capitolo undici (p. 175). L'autore sottolinea giustamente il ruolo fondamentale dell'introduzione del concetto di campo e ricorda che furono l'inglese Faraday ed il russo Lenz (in modo indipendente uno dall'altro) a evidenziare che, nel caso di produzione di una corrente elettrica come risultato della rotazione di una bobina di filo elettrico all'interno di un campo magnetico (creato da una calamita) [o viceversa], si sarebbe creata una corrente elettrica alternata. Un esempio noto a tutti di questo importantissimo fenomeno fisico è la dinamo della bicicletta. Occorre anche ricordare che questa idea non fu inizialmente accolta favorevolmente dalla comunità scientifica e Faraday, purtroppo, non visse tanto a lungo per vedere che le equazioni di

Maxwell gli avrebbero dato ragione. Le quattro equazioni di Maxwell, infatti, dimostrano, come già ricordato, che elettricità, magnetismo e luce sono tutte manifestazioni di un'unica entità: il campo elettromagnetico (p. 179).

Le formulazioni teoriche di Maxwell furono confermate, come già ricordato, da Hertz il quale aprì la strada all'utilizzo dei campi elettromagnetici come veicolo per spostare informazioni. Si hanno così il telegrafo senza fili e poi, nel 1901, la trasmissione di messaggi in alfabeto Morse fra la Cornovaglia e Terranova da parte di Guglielmo Marconi.

Tutto ciò non fece che confermare ulteriormente la natura ondulatoria della luce: tuttavia proprio alla fine dell'Ottocento alcuni fenomeni, legati all'interazione della luce con la materia, mal si adattavano ad una spiegazione convincente utilizzando la natura ondulatoria, incoraggiando invece a riprendere in esame l'ipotesi corpuscolare di Newton. A questo tema Frova dedica il dodicesimo capitolo, cui ha dato il significativo titolo *Transizioni elettroniche nell'atomo*. Tra i problemi che non trovavano una convincente spiegazione con il modello ondulatorio vi è quello delle antenne rispetto al quale l'autore si chiede: quali antenne potrebbero mai essere capaci di generare onde elettromagnetiche di frequenze pari a centinaia o migliaia di terahertz [mille miliardi di hertz], che implicherebbero oscillazioni di elettroni nel circuito dell'ordine del milione di miliardi al secondo? Tali antenne esistono in natura e sono gli atomi, dove le oscillazioni in gioco rappresentano, secondo la meccanica quantistica, il passaggio degli elettroni da uno stato di energia a un altro (p. 191).

Il modello interpretativo, come è facilmente intuibile, si complica notevolmente con l'introduzione della teoria dei quanti, che, prendendo le mosse dal modello semiclassico di Bohr (un elettrone può occupare solo certe orbite attorno al nucleo, caratterizzate da un certo valore di energia) afferma che un elettrone può passare da un'orbita ad una inferiore solo se cede una quantità di energia pari al dislivello di energia fra quello di partenza e quello di arrivo (sotto forma di «fotone» o quanto di energia); oppure da un'orbita inferiore ad una superiore se gli viene ceduto un quanto di energia pari al dislivello fra l'orbita di partenza (inferiore) a quella di arrivo (superiore). Grazie alla teoria dei quanti e solo ammettendo un comportamento anche corpuscolare della luce è possibile spiegare, ad esempio, il funzionamento della spettroscopia ottica (con cui si studiano sia le proprietà della materia esistente sulla Terra sia la composizione chimica delle stelle), dei led e dei laser, dell'ogloografia, dell'effetto fotoelettrico.

Fu nel 1927, durante un convegno di fisici teorici riuniti a Como che Bohr affermò «gli aspetti corpuscolare e ondulatorio di un fenomeno fisico non si manifestano mai simultaneamente, ma ogni esperimento che permetta di osservare l'uno impedisce di osservare l'altro» (p. 203).

L'autore nel tredicesimo capitolo (*La scoperta dei quanti di energia*) fa un'operazione didatticamente encimabile: riduce ai minimi termini la complessità concettuale della teoria dei quanti (e la conseguente meccanica quantistica) senza la cui comprensione il lettore non potrebbe cogliere il com-

pleto cambio di paradigma rappresentato dalla fisica moderna. La protagonista di questa sorprendente rivoluzione è proprio la luce e i tentativi fatti per spiegarne l'ambiguo comportamento: Frova mostra anche in questi difficili passaggi le grandi capacità didattiche, senza rinunciare tuttavia al rigore scientifico.

La luce è, nell'accezione comune, ciò con cui illuminiamo le nostre case, le nostre fabbriche, le nostre strade: il capitolo 14 è dedicato alle fonti di illuminazione nel corso dei secoli, mentre il capitolo 15 passa in rassegna le esperienze e le applicazioni odierne, quali ad esempio le fibre ottiche, l'uso del laser come bisturi ad alta precisione, telecomunicazioni su fascio luminoso, il cd-rom e il dvd.

Gli ultimi due capitoli ci proiettano invece in due dimensioni molto diverse: l'esplorazione dell'universo e il rapporto fra pittura e luce.

La luce delle galassie svela l'espansione dell'universo ed anche ciò che è successo nei milioni di anni che ci separano dal Big Bang. Esiste infatti una sorta di radiazione «fossile» collocata nell'ambito delle frequenze che chiamiamo microonde che ci permettono di avere informazioni sull'universo a pochi secondi dalla sua formazione. Questo campo di indagine si interseca con quello della relatività generale, che permette di superare i concetti di spazio e tempo assoluti introdotti da Newton. La presenza di corpi materiali (una stella ad esempio) determina l'incurvamento dello spazio-tempo e di conseguenza il piegamento delle traiettorie dei corpi in movimento, come se nei loro confronti agisse una forza che per secoli è stata

considerata l'attrazione gravitazionale. Recenti esperimenti hanno messo in evidenza che, contrariamente a quanto ritenuto finora, l'universo è piatto, ossia euclideo. L'autore a questo punto ci sorprende ponendo l'inaspettata domanda: perché di notte il cielo è nero? Occorre ricordare, spiega Frova, che la degradazione in frequenza (vale a dire la riduzione delle frequenze con conseguente aumento delle lunghezze d'onda) portando la radiazione dal visibile all'infrarosso e poi a microonde non avverrebbe se le stelle fossero ferme a distanza fissa da noi. Se le stelle fossero fisse avremmo un cielo splendente anche di notte: le stelle che vediamo di notte sono quelle che si spostano, rispetto la Terra, più lentamente.

Lo studio della radiazione proveniente dallo spazio, in soli quattrocento anni, ha determinato il passaggio dell'uomo da centro dell'universo a una minuscola particella del cosmo, in una posizione decentrata di una galassia che è solo una dei cento miliardi di sue simili che popolano l'universo (p. 267).

Non poteva mancare, in un saggio che ripercorre il viaggio della scienza per comprendere il fenomeno della luce, il rapporto fra luce e arte. Una sorta di appendice, arricchita da un bell'apparato iconografico, in cui l'autore non solo parla del rapporto fra la luce e l'opera d'arte ma anche di come la luce, attraverso opportuni strumenti, ci permetta, ad esempio, di vedere sotto la patina del colore per rivelare palinsesti, copie autentiche o falsi.

Il volume si chiude con un elenco degli scienziati che hanno vinto il Nobel per la fisica con ricerche nel campo della luce e con una ricca bibliografia che

raccoglie sia i riferimenti bibliografici indicati nel corso dell'esposizione sia altre letture consigliate. Molto utile per seguire la narrazione il ricco apparato iconografico con cui l'autore arricchisce le spiegazioni dei fenomeni legati alla luce, utili soprattutto ai non tecnici.

Un piccolo neo: manca un indice analitico. (*Ivan Grossi*)

***Viaggiare nello spazio: Non solo scienza ma anche economia e progresso*, di Marcello Coradini, Bologna, Il Mulino, 2017, pp. 146.**

Marcello Coradini è attualmente professore di sistemi spaziali alle Università di Genova e Trento e prima di questi incarichi ha a lungo lavorato in due dei maggiori centri mondiali in cui si progettano missioni spaziali: il Jet Propulsion Laboratory (JPL) a Pasadena e l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) a Parigi. Laver operato per tanti anni in tali organismi e in posizioni apicali, gli ha permesso non solo di conoscere nei dettagli tante missioni spaziali, ma anche di influenzarne i contenuti e le scelte. E di questo suo importante ruolo l'autore ne fa menzione in più occasioni parlando in prima persona, come ad esempio in molti passi del capitolo 4.

Nel corso di tutta la narrazione, ci viene mostrato come, oltre ai prevedibili problemi scientifici e tecnici da risolvere (e quasi sempre risolti), ce ne siano altri due importantissimi con cui fare i conti: il consenso dell'opinione pubblica e il reperimento delle ingenti risorse finanziarie necessarie. Due problemi in carico alla politica che possono condizionare fortemente gli obiettivi delle

missioni spaziali. Ad esempio, il grande interesse per lo spazio mostrato sia da J.F. Kennedy sia da N. Krusciov – che si tradusse in un ampio consenso anche popolare –, determinò quella che si potrebbe chiamare l'era d'oro dei voli spaziali, era che va dalla fine degli anni '50 alla fine degli anni '60 del secolo scorso. Altri presidenti, meno interessati alle cose spaziali, furono invece i responsabili della drastica riduzione del numero di missioni spaziali, conseguenza delle ridotte risorse finanziarie disponibili, come sta avvenendo in questi ultimi 30 anni.

La lettura del racconto dell'esplo-razione dello spazio inizia con la presa di coscienza di quanto sia sconfinato lo spazio in cui siamo immersi e soprattutto quanto distanti siano da noi non solo le altre stelle e le altre galassie, ma anche gli altri pianeti del sistema solare. Il pianeta più vicino, Marte, al quale Coradini ha dedicato un altro volume edito in questa stessa collana e di cui si è parlato nel numero 2/2016 di questa rivista, dista da noi 220 milioni di chilometri; per non parlare di Giove a 600 milioni di chilometri o Plutone a ben 7,5 miliardi di chilometri.

La drastica riduzione di fondi e le fantasie di supremazia di alcuni presi-denti hanno spinto progressivamente all'abbandono dei voli abitati a favore di quelli robotizzati. In *Viaggiare nello spazio*, l'autore mette ben in evidenza come la competizione fra USA e URSS abbia giocato un ruolo estremamente favorevole alla creazione delle condizioni migliori per portare l'uomo sulla Luna: questo risultato, tuttavia, non sarebbe stato possibile in così pochi anni se le due superpotenze non si fossero spartite