



REGIONE TOSCANA
Consiglio Regionale

PIANETA GALILEO

2011

A cura di Alberto Peruzzi

Si ringraziano:

il Comitato Scientifico 2011, gli Atenei di Firenze, Pisa e Siena, l'Ufficio Scolastico Regionale per la Toscana, le Province toscane, gli Enti locali e tutti i soggetti che hanno contribuito ad arricchire il programma di Pianeta Galileo.

Pianeta Galileo : 2011 / Regione Toscana, Consiglio regionale ; a cura di Alberto Peruzzi. – Firenze : Consiglio regionale della Toscana, 2012

I. Toscana. Consiglio regionale II. Peruzzi, Alberto

375.6

Scienze – Divulgazione e attività promozionali – Progetti della Regione Toscana – Pianeta Galileo – Atti di congressi

CIP (Catalogazione nella pubblicazione) a cura della Biblioteca del Consiglio regionale

Consiglio regionale della Toscana
Settore Rappresentanza e relazioni esterne

Grafica e impaginazione: Patrizio Suppa, Settore Comunicazione istituzionale, editoria e promozione dell'immagine

Stampato presso il Centro Stampa del Consiglio regionale della Toscana,
via Cavour, 4 - Firenze
Settembre 2012

ISBN 978-88-89365-10-6

SOMMARIO

Presentazione - <i>Alberto Monaci</i>	5
Introduzione - <i>Alberto Peruzzi</i>	7

PROSPEZIONI

ASTRONOMIA

Altri soli, altri sistemi planetari - <i>Francesco Palla</i>	17
L'Universo 'invisibile': l'osservazione del cielo con i telescopi spaziali di ultima generazione - <i>Carmelo Sgrò, Luca Baldini</i>	27

BIOLOGIA

Viaggio al centro della cellula - <i>Anna Maria Rossi</i>	45
--	----

LINGUISTICA

Rapporti tra lingue e matematica: Esperanto e oltre - <i>Cesco Reale</i>	53
---	----

STORIA DELLA SCIENZA

Francesco Redi, pioniere della medicina e della farmacologia sperimentale - <i>Walter Bernardi</i>	69
---	----

EPISTEMOLOGIA

Salvare i fenomeni. Considerazioni epistemologiche sul caso Galileo - <i>Paolo Parrini</i>	85
---	----

SCIENZA E LETTERATURA

Primo Levi e i mestieri degli altri - <i>Mimma Bresciani Califano</i>	105
--	-----

SCIENZA E FUMETTI

La scienza a fumetti di Jacovitti - <i>Marco Salucci</i>	119
L'atomismo nelle illustrazioni surreali di Jacovitti - <i>Andrea Sani</i>	137

ALIMENTAZIONE

I Disturbi del Comportamento Alimentare - <i>Laura Dalla Ragione, Maria Vicini, Alessandro Ciarrocchi</i>	157
--	-----

FONDAMENTI BIOLOGICI DEL LINGUAGGIO

Il linguaggio umano è una facoltà innata o un'abilità appresa? - <i>Anna Maria Rossi</i>	167
---	-----

ESPERIENZE DIDATTICHE

LA FONDAZIONE SCIENZA E TECNICA

- Strumenti scientifici: *object reading* e didattica informale** - *Silvana Barbacci, Paolo Brenni, Anna Giatti* 183

CONVEGNI

150 ANNI DI MATEMATICA E SCIENZE NELLA SCUOLA ITALIANA

- Introduzione** - *Umberto Cattabrin* 203
- La matematica nella scuola elementare italiana** - *Umberto Cattabrin* 205
- La storia dei programmi di matematica nella scuola media** - *Margherita D'Onofrio* 221
- La matematica nei licei** - *Ivan Casaglia* 237

INQUINAMENTO LUMINOSO. PROGETTI E PROSPETTIVE DI LAVORO: FACCIAMO RETE

- Introduzione** - *Anna Roselli* 265
- Progetto per una *Citizen Science*** - *Francesca Manenti* 267
- In che modo la Regione Toscana ha cercato di affrontare e risolvere il problema dell'inquinamento luminoso** - *Rita Montagni* 269
- Inquinamento luminoso: illuminotecnica eco-compatibile per esterni** - *Paolo Pescatori* 271
- Il ruolo del CAAT nella lotta all'inquinamento luminoso in Toscana** - *Alessandro Rosselli* 275
- Buiometria Partecipativa e CORDILIT: due esperienze di rete per la sensibilizzazione e la raccolta dati sull'inquinamento luminoso** - *Andrea Giacomelli, Francesco Giubbilini* 277

NEL CENTENARIO DELLA NASCITA DI GIULIO PRETI

- Presentazione** - *Paolo Parrini* 281
- Idealpositività** - *Alberto Peruzzi* 287

STORIA E FILOSOFIA DELLA MEDICINA

- Il disaccordo morale nella bioetica** - *Sergio Filippo Magni* 313

ARTE E COSMOLOGIA

- La visione scientifica e le immagini della ricerca** - *Federico Brunetti* 325

PREMIO GIULIO PRETI

- Motivazione per il conferimento del Premio Giulio Preti (2011) a Jean Petitot** 351
- Giulio Preti e la civiltà delle scienze** - *Jean Petitot* 355

PRESENTAZIONE

Le discussioni sui grandi temi scientifici che da tempo animano l'opinione pubblica, se da un lato testimoniano una mai sopita attenzione per l'argomento (la cui complessità è proporzionale al fascino che esercita per l'innata curiosità dell'uomo), dall'altro offrono un concreto segnale della richiesta di partecipazione e di coinvolgimento nelle decisioni che attengono allo sviluppo della società che proviene proprio direttamente da questa, in particolare delle giovani generazioni. La scienza, e più in generale il sapere scientifico, concorrono infatti ad alimentare nelle persone quel senso critico e quella assunzione di responsabilità che sembrano fortemente connotare la richiesta di partecipazione e di coinvolgimento della società civile, al di là delle opinioni espresse, nelle grandi decisioni pubbliche.

Questo fatto a mio parere testimonia che, benché si registrino ancora difficoltà in un accesso ampio (almeno quanto necessiterebbe il nostro sistema economico per poter crescere adeguatamente) alle lauree scientifiche, sono stati fatti comunque importanti progressi nel campo della comunicazione e della divulgazione del sapere scientifico ad un pubblico vasto di non addetti.

In questo processo di educazione scientifica, Pianeta Galileo ha svolto e svolge un ruolo prezioso e insostituibile. Esso, infatti, non si limita solo a trasferire conoscenza, ma offre alle giovani generazioni concrete possibilità di incontrarsi direttamente con chi "fa scienza". Con affermati scienziati, ma anche con giovani ricercatori delle Università e dei Centri di ricerca toscani, per sperimentare e confrontarsi direttamente con loro secondo un modello educativo "orizzontale", un modello in cui chi trasmette conoscenza si pone non solo in un rapporto collaborativo con chi impara, ma fa conoscere anche i valori e i principi del proprio mestiere.

Le giovani generazioni sono quindi i veri protagonisti di Pianeta Galileo, e il successo che dal 2004, anno di avvio, ha accompagnato questa manifestazione di anno in anno fino ad oggi, giunto alla ottava edizione, ci conforta e ci motiva a proseguire con sempre maggiore impegno.

ALBERTO MONACI
Presidente del Consiglio regionale della Toscana

INTRODUZIONE

ALBERTO PERUZZI

Università di Firenze, Coordinatore scientifico di Pianeta Galileo

Anche l'edizione 2011 di Pianeta Galileo ha fatto posto a una vasta gamma di argomenti relativi al 'pianeta' cui il nome di Galileo è stato emblematicamente attribuito: il pianeta-scienza. Quella del 2011 è stata l'ottava edizione e, come nelle precedenti, i molteplici temi sono stati affrontati da varie angolazioni, coerentemente con l'obiettivo della manifestazione, come definito nel 2004 e successivamente articolato: avvicinare i giovani allo spirito della ricerca scientifica e promuovere una consapevolezza critica del ruolo e del valore della scienza per la società civile. Essendo un obiettivo composito i cui distinti aspetti sono solitamente affidati a iniziative separate le une dalle altre, non sempre la sua identità – e unitarietà – è stata individuata. Le stesse parole dell'Ulisse dantesco adottate come motto per la prima edizione, *Fatti non foste per viver come bruti / ma per seguir vertute e canoscenza* suggerivano del resto una mera congiunzione tra quel che è interno al sapere e quel che, come la dimensione etica, è esterno, mentre il motto aggiuntivo *Il piacere di capire* suggeriva una dimensione complementare. Così, anche quando l'iniziativa è stata apprezzata in ragione di specifici contenuti di particolare interesse per l'attualità o in ragione della novità nel modo di proporli in uno o più eventi in programma, il nesso che progettualmente li univa agli altri eventi non era facile da cogliere. La serie di "atti" cui questo volume si aggiunge può essere un ausilio, a posteriori, per scorgere il tessuto che di anno in anno si è venuto concretando.

Lo scopo più facilmente riconoscibile in Pianeta Galileo è stato quello di un'iniziativa rivolta soprattutto ai diplomandi della scuola secondaria di secondo grado e finalizzata a presentare in forma 'divulgativa' una serie di temi riguardanti il passato, il presente e il futuro della scienza, nell'idea che servissero a integrare il percorso formativo e risultassero utili agli stessi insegnanti. Non c'è dubbio che il maggior numero delle 'lezioni-incontro' avesse proprio questa finalità, ma le richieste, in numero crescente di anno in anno, che sono pervenute da scuole di ogni ordine e grado affinché il programma ampliasse il suo orizzonte di pubblico, testimonia che l'esigenza individuata andava ben oltre un raccordo tra scuola e università il quale, invece di passare per lunghe trafilie burocratiche, si esprimeva nel mettere in contatto diretto il mondo della ricerca e il mondo dell'istruzione. Tuttavia, come si può altrettanto facilmente arguire dai programmi di tutte e otto le edizioni, se questo fosse stato *l'unico* scopo, circa la metà degli eventi che ciascun anno si sono svolti avrebbero dovuto essere cancellati.

In realtà, anche quando i temi trattati si sono rivelati utili agli effettivi curricoli sco-

lastici, la selezione dei temi è sempre stata motivata da un intento diverso, ovvero, quello di richiamare l'attenzione dei giovani (e dei loro docenti) su argomenti che offrono l'opportunità di ripensare i concetti-base e i metodi della scienza, spesso presentati in maniera sbrigativa e fuorviante nei manuali scolastici, in modo tale da farne emergere un *duplice* collegamento, *sia* con questioni generali circa la natura della scienza e i suoi impieghi pratici, *sia* con questioni molto specifiche, relative alle frontiere dell'attuale ricerca. La scommessa di Pianeta Galileo è stata proprio l'idea di far emergere questo *duplice* collegamento anche laddove non esplicitamente tematizzato, con l'intento di valorizzarne l'importanza nella didattica delle scienze, contribuendo così alla formazione e diffusione di una cultura scientifica.

Per appassionarsi alla ricerca occorre capire le ragioni per le quali essa si volge in una direzione piuttosto che in un'altra e per capire queste ragioni è utile, se non necessario, ripercorrere all'indietro il sentiero che ha portato a domande di un tipo piuttosto che un altro. Proprio quando queste domande non sembrano avere quell'immediata utilità che (comprensibilmente) ci aspettiamo dai progetti di ricerca, emergono questioni particolarmente significative, che ci aiutano a capire il modo in cui l'esperienza scientifica procede e i motivi del suo valore. È in questo senso che si spiega la presenza di numerosi eventi dedicati alla storia del pensiero scientifico e in particolare ad alcune figure di "scienziato", e non solo a quelle più celebrate, che oltre a fare indagini si sono preoccupate di intendere ciò che facevano e di collegarlo ad altre dimensioni della cultura.

Dunque, all'obiettivo di offrire un ausilio didattico e all'obiettivo di avvicinare alle ricerche attualmente in corso se n'è sempre affiancato un terzo: quello di favorire una consapevolezza storico-culturale che non sia ripiegamento sul passato a titolo di erudizione e, tanto meno, fonte di aneddotiche curiosità, bensì componente di una più ricca immagine del sapere, fotografato – per così dire – nel suo stato nascente e nella sua apertura alle arti, alla tecnica, alla letteratura e alla filosofia. Invece di ignorare il passato della scienza o di visitarlo come una galleria di nature morte, Pianeta Galileo ha continuamente cercato di farne apprezzare il senso di viva esplorazione dei rapporti che legano uomo e natura: un'avventura intellettuale in cui si cerca di dare soluzione a un problema dopo che ci si è sforzati di formularlo bene e, quando si è trovata una soluzione, si può sollevare un nuovo problema ...

Per richiamare un concetto più volte espresso nell'introdurre i precedenti volumi di atti (nella loro interezza consultabili, in formato digitale, alla pagina www.consiglio.regione.toscana.it/news-ed-eventi/pianeta-galileo/atti/) la Toscana è oggi universalmente nota come terra d'arte. Questo, i toscani lo sanno bene, se non altro perché vedono le frotte di turisti che contemplan estasiati cose che abbiamo troppa fretta per degnare d'uno sguardo. Forse è loro meno noto, e senza il 'forse' è meno noto ai giovanissimi, che la loro è stata, ed è, terra di scienza.

In *entrambi* i casi (arte e scienza), il ricordo del passato e la sua rivitalizzazione possono agire da leva per il futuro, suggerendo anche riflessioni che hanno un *feedback* formativo e aiutano a capire una cosa: il nostro presente è stato reso possibile da chi

in passato ha investito nella ricerca. La quantità di problemi che le attuali contingenze impongono di affrontare non dovrebbe, infatti, far dimenticare una cosa: se lo spirito inventivo che alimenta la scienza (e non solo essa, ovviamente) è una risorsa fondamentale per affrontare il futuro, allora questo spirito ha bisogno di essere incoraggiato e sostenuto, nella scuola e fuori dalla scuola. Proprio quando il presente ci pone di fronte a una situazione di “crisi”, occorre avere il coraggio di pensare al futuro. E pensare al futuro significa anche maggiori investimenti sulla qualità della formazione su scala nazionale. Ma i modi in cui intervenire possono essere vari e tra essi ci sono iniziative come questa, su scala regionale, per la crescita e la diffusione dello spirito di ricerca.

La stabile collaborazione che in tal senso, grazie al Consiglio regionale, si è realizzata in Pianeta Galileo fra i tre atenei della Toscana e l'Ufficio Scolastico Regionale è un segnale che fa ben sperare, perché attesta l'importanza che le istituzioni assegnano alla cultura scientifica nella formazione e – sia permesso aggiungere – nello sviluppo di un più partecipe senso di cittadinanza.

Difficile supporre che la simultanea presenza di questi diversi obiettivi fosse conseguibile in ciascun singolo evento o in una specifica tipologia di eventi proposti da Pianeta Galileo. Per limitarsi alle numerose ‘lezioni-incontro’ che nell'edizione 2011 hanno avuto luogo in tutte e dieci le province della Toscana, alcune di esse hanno avuto una finalità divulgativa, altre hanno richiamato l'attenzione su momenti, episodi, personaggi, della storia del pensiero scientifico, altre ancora sono state proposte per stimolare una riflessione sui molteplici legami che la scienza intrattiene con la filosofia, con le arti figurative, la musica e la letteratura, senza con ciò voler in alcun modo trascurare le differenze esistenti fra i molteplici tipi di linguaggio che convivono e talvolta confliggono apertamente sul piano dell'educazione, per quanto riguarda competenze e *forma mentis*, tra questi diversi ambiti.

Ci sono state occasioni che hanno visto esperti di diversa formazione, teorici e sperimentali, giovani studenti e professori con una lunga carriera alle spalle, specialisti e divulgatori, membri di associazioni scientifiche e rappresentanti delle istituzioni civili, confrontarsi su temi specifici, rilevanti per il presente o l'immediato futuro, facendo leva su eccellenze locali cui spesso i mezzi di comunicazione non prestano sufficiente attenzione, ma ci sono state anche occasioni in cui il confronto è stato su temi generali, che interessano la formazione di una coscienza civile e ambientale, la quale dà frutti sul lungo periodo, o su temi che aiutano a farsi un'idea dell'intreccio di fili fra cultura scientifica e cultura umanistica, fra la più “pura” indagine teorica e la più “elementare” capacità di far funzionare bene uno strumento, fra le domande che la società pone alla ricerca orientandone così lo sviluppo e le domande prive di un “ritorno” immediato. Al di là della tipologia e del tema, tutti gli eventi proposti erano volti a stimolare il pubblico, da un lato, a non restar prigioniero dei confini tra settori disciplinari entro i quali il sapere è solitamente organizzato nei *curricula* scolastici e accademici, e dall'altro a non accontentarsi di un'immagine generica delle questioni di confine.

Chi desideri consultare il programma del 2011, lo trova, suddiviso provincia per

provincia, sul sito del Consiglio regionale della Toscana, all'indirizzo: <www.consiglio.regione.toscana.it/news-ed-eventi/pianeta-galileo/>. Allo stesso indirizzo sono consultabili i programmi degli anni precedenti e, per avere un'idea di come le linee ispiratrici si sono snodate finora, è utile scorrere uno di seguito all'altro i programmi dal 2004 in poi. C'è chi, all'estero, ha fatto questo piccolo esercizio e ne ha tratto motivo per asserire che l'iniziativa del Consiglio regionale della Toscana rappresenta un "esempio" nel panorama europeo di azioni volte al raccordo tra ricerca e istruzione, senza peraltro che l'impegno in tal senso sia stato preceduto da pomposi annunci mediatici e amplificato dai mezzi di comunicazione con il risalto che di norma tocca ad altri tipi di iniziative culturali, più festivaliere, indubbiamente meritorie ma anche meno preoccupate di creare un ponte *diretto e stabile* fra cultura e istruzione. La scuola non è (non dovrebbe essere) un mondo a sé rispetto alla cultura: è invece il luogo in cui si gettano le basi del futuro e dunque meriterebbe di essere il luogo in cui l'impegno verso la qualità della cultura è massimo. Al riguardo, è da segnalare (una volta tanto, con piacere) una difficoltà più volte fatta presente alla segreteria di Pianeta Galileo: la difficoltà incontrata da molti di fronte all'idea che una conferenza di particolare interesse si svolgesse nella sede di una scuola. Una piccola morale viene anche dalla stupita reazione a) degli studenti, a veder arrivare nell'aula magna del loro istituto un pubblico di persone che non erano né studenti di un'altra classe né docenti di un'altra scuola, e b) del pubblico "generico", al vedere gli studenti di una scuola partecipare, in sede e orario non d'insegnamento, a dibattiti su scienza e fantascienza, strutture matematiche nella musica, risorse energetiche, e perfino a seminari sulla didattica delle scienze, ecc.

Della varietà dei temi, della molteplicità di prospettive nel trattarli e della forma "dialogica" di molti eventi, orientata a stimolare un'aperta discussione, sono testimonianza i volumi annuali di atti – e basta dare una pur minima occhiata ai programmi di Pianeta Galileo dal 2004 in poi per farsi un'idea dell'entità di quest'azione di stimolo. Tuttavia, un altrettanto minimo confronto fra programmi annuali e corrispondenti volumi di atti permette di cogliere il carattere rappresentativo, ma parziale, dei volumi che ciascun anno sono stati pubblicati. Un attento sguardo ai programmi 2004-2011 consente inoltre di comprendere ... un'incomprensione. Accanto alle numerose scuole della Toscana che hanno partecipato e che ogni anno sono cresciute di numero manifestando crescente interesse, ci sono state reazioni contrarie, accomunate dall'idea che i temi proposti da Pianeta Galileo non aderivano alle esigenze didattiche delle varie discipline scientifiche insegnate: o erano temi troppo generali, che mal si collocavano entro uno specifico curriculum, o erano troppo particolari (e difficili). Per fare un solo esempio, nel 2004 fu proposta una 'lezione-incontro' sull'intelligenza artificiale, che si prestò appunto a suscitare questo tipo di reazioni. A distanza di qualche anno, lo stesso tema, focalizzato su progetti di robotica, sulle idee pionieristiche di Turing o sull'architettura dei linguaggi di programmazione è stato molto richiesto. Il senso dell'iniziativa si lascia qui toccare con mano: non quello di assecondare giudizi legati a un sapere ripiegato su di sé e indifferente ai progressi della ricerca ma quello di suscitare una curiosità e

un interesse *che prima mancavano*, tanto negli studenti quanto nei loro insegnanti, nei confronti di aree di ricerca, concetti, teorie e metodi capaci di una ricaduta trasversale alle “materie” d’insegnamento.

Analogamente, il presente volume di atti offre parziale ma rappresentativa testimonianza dell’edizione 2011 di Pianeta Galileo. Pur conservando i caratteri generali fin qui ricordati, questa edizione ha indubbiamente privilegiato alcuni temi rispetto ad altri. Ciò è avvenuto per un motivo d’immediata individuazione. Il 2011 è stato, infatti, un anno di alcune ricorrenze che non potevano essere ignorate dal programma di Pianeta Galileo. Fra esse, due spiccano al di sopra delle altre.

La prima ricorrenza è stata quella dei 150 anni dall’unità d’Italia, in relazione alla quale numerosi eventi sono stati organizzati per far conoscere il contributo degli scienziati italiani e, in particolare, si è tenuto un seminario sui 150 anni di matematica e scienze nella scuola in Italia. I testi degli interventi tenuti nel corso del seminario sui cambiamenti intercorsi nell’impianto della didattica della matematica sono qui ospitati nella omonima sezione.

La seconda ricorrenza è stata il centenario della nascita di Giulio Preti (Pavia 1911 - Djerba 1972) il quale, oltre a essere stato uno dei maggiori filosofi italiani del Novecento, disegnò un’idea di “cultura democratica” in cui la diffusione della mentalità scientifica aveva una parte decisiva. A questa sua idea, d’altronde, Gigliola Paoletti Sbordoni e io ci siamo ispirati nell’ideare Pianeta Galileo ed è sempre nel nome di Preti che è stato istituito nel 2007 un premio internazionale (per le cui motivazioni, si veda il corrispondente volume di atti). Nel 2011 il Premio Preti è stato assegnato al matematico e filosofo francese Jean Petitot, la cui *lectio magistralis*, tenuta in occasione della cerimonia di assegnazione del premio, conclude questo stesso volume di atti.

In occasione del centenario della nascita di Preti si è svolto un convegno internazionale che ha avuto inizio a Firenze, all’interno di Pianeta Galileo, ed è proseguito poi a Pavia e a Milano. Gli atti di questo convegno saranno pubblicati a parte, mentre qui è ospitata la prolusione d’apertura tenuta da Paolo Parrini – che fu assistente di Preti e che nel 2008 è stato insignito del Premio Preti – e una relazione tenuta a chiusura del convegno.

Le due ricorrenze illustrano altrettanti aspetti di Pianeta Galileo: l’attenzione verso il percorso che, nel tempo, ha condotto al presente con cui ci troviamo a fare i conti (nel caso specifico, il percorso che ha condotto all’assetto attuale della didattica della matematica) e l’attenzione verso una consapevole riflessione critica, “meta-culturale”, sulla conoscenza scientifica e sul valore che le diamo, o non le diamo a sufficienza. Questi due aspetti, storico e critico, si ritrovano anche in altri contributi al volume mentre, rispetto a ciascuno dei precedenti volumi di atti, è meno cospicua nel presente volume la parte occupata da articoli nei quali s’intenda offrire una presentazione “divulgativa” di uno specifico argomento. La chiarezza espositiva e l’interesse dei contributi qui raccolti, riguardanti la biologia, l’astronomia, la costruzione dei telescopi di ultima generazione e gli aspetti matematici di una lingua come l’Esperanto, non hanno

però nulla da invidiare alle più numerose esposizioni divulgative presenti nei volumi di atti degli anni scorsi.

Da ultimo, mi sia consentito ringraziare almeno alcune tra le tante persone che hanno reso possibile la realizzazione di Pianeta Galileo 2011 e, conseguentemente, di quest'opera: Alberto Tesi, rettore dell'Università di Firenze per avermi delegato; Daniela Lastri dell'ufficio di presidenza del Consiglio regionale della Toscana per il sostegno dato all'iniziativa; Gino Cocchi per il costante e franco dialogo; i colleghi del comitato scientifico Marco Maria Massai (Università di Pisa) e Stefano Campi (Università di Siena) per il costruttivo confronto di idee, che quest'anno ha riguardato anche la selezione dei progetti di raccordo fra università e scuola finalizzati a valorizzare competenze e capacità innovative presenti sul territorio regionale; Daniela Succi e Alberto Moreni dell'Ufficio Scolastico Regionale (MIUR) per la collaborazione sul piano operativo; Cinzia Dolci per il contributo dato alla comunicazione; le segretarie Letizia Brogioni, Anna Giulia Fazzini ed Elisabetta Severi per la loro gentilezza e per la scrupolosa cura di ogni dettaglio organizzativo; il grafico Patrizio Suppa per la competenza con cui ha lavorato all'impostazione del volume e per la sublime pazienza con cui ha fatto fronte a continue richieste di modifica; Maddalena Mancini e Caterina Rocchi per i loro, come sempre preziosi, consigli in fase di editing, così come colleghi e amici che lavorano nella scuola e nei tre atenei della Toscana, per i suggerimenti che hanno dato e per gli strumenti che hanno messo a disposizione. Infine ringrazio tutti i relatori che in un breve lasso di tempo hanno fornito il testo del loro intervento, sopportando la saccente invadenza del curatore nell'ambito disciplinare di loro competenza.

Chi abbia avuto la tenacia di leggersi queste noiose pagine introduttive sarà ora ricompensato dalla ricchezza di stimoli che troverà nelle pagine che seguono, ma, prima, mi siano consentite ancora poche parole.

Nei pochi mesi trascorsi da quando l'edizione 2011 si è conclusa, due membri dell'iniziale comitato scientifico di Pianeta Galileo sono venuti a mancare: Franco Pacini e Paolo Rossi. Alla loro memoria intendo dedicare il presente volume.

PROSPEZIONI



Astronomia

ALTRI SOLI, ALTRI SISTEMI PLANETARI¹

FRANCESCO PALLA

INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

1. Introduzione

Sino a pochissimo tempo fa l'uomo ha potuto parlare del proprio sistema solare come l'unico esempio certo della presenza di pianeti in orbita intorno a una stella, nel nostro caso il Sole. Malgrado idee, ipotesi, teorie e modelli non siano mancati nel passato, oggi viviamo un'epoca particolarmente fortunata, in quanto, alla domanda: «Esistono altri sistemi planetari e altre terre al di fuori del nostro?», possiamo rispondere in maniera affermativa basandoci su osservazioni astronomiche. Da poco più di quindici anni la caccia a nuovi pianeti e sistemi planetari è diventata una delle attività più affascinanti e competitive dell'astronomia.

A oggi, 16 febbraio 2012, sono stati identificati 760 pianeti in più di 600 sistemi planetari. Ma questo numero è destinato a essere largamente superato nei prossimi mesi non appena verranno resi noti i risultati finali della missione *Kepler*, un satellite dedicato alla caccia dei transiti planetari in una zona della Via Lattea nella costellazione del Cigno.

Ormai è una certezza: i pianeti sono altrettanto comuni delle stelle e, probabilmente, nella nostra Galassia ce ne sono in numero addirittura superiore a quello delle stelle. E, siccome la Via Lattea non è che una tra le tantissime galassie che popolano l'Universo, possiamo estrapolare che questo pulluli di pianeti. Quanti di questi pianeti siano abitabili e possano ospitare o in passato abbiano ospitato la vita – in particolare, quella intelligente – è una questione ancora irrisolta, ma al centro delle ricerche presenti e future.

2. Dove cercare i pianeti extra-solari?

Prima di parlare dei pianeti, è necessario introdurre alcuni concetti di base sulle stelle. I pianeti sono il risultato dello stesso processo fisico che porta alla formazione di stelle: quindi, per cercarli in maniera ragionevole, bisogna conoscere le proprietà più rilevanti delle stelle. Innanzitutto, le stelle non sono tutte uguali. Già a occhio nudo ci accorgiamo che esse hanno colori leggermente diversi. A questi colori corrispondono temperature superficiali differenti: nel caso del Sole la temperatura fotosferica è di 5800 K, ma esistono stelle molto più calde (fino a 40000 K) e più fredde (2500-3000 K).

La grandezza fisica che determina tutte le proprietà stellari è la massa. Per comodità prendiamo come unità di misura quella del Sole. Rispetto a questa, alle stelle più calde

¹ Lezione tenuta a Firenze il 10 ottobre 2011, presso la Sala delle feste del Consiglio Regionale della Toscana, nell'ambito dell'edizione 2011 di Pianeta Galileo.

corrispondono masse 40-50 volte maggiori del Sole (la massa massima che una stella può avere rimanendo in equilibrio tra forza di gravità e energia nucleare è di circa 120 masse solari). All'altro estremo della scala, la massa minima perché una stella possa innescare le reazioni di bruciamento dell'idrogeno è di 0.08 masse solari – un valore determinato esattamente dalla fisica nucleare. Oggetti più piccoli possono esistere, sono chiamati *nane brune*, ma dopo la loro formazione sono destinati a un lento processo di contrazione gravitazionale, durante il quale la luminosità decresce progressivamente fino a spegnersi del tutto. Rispetto alla scala delle masse stellari, il Sole dunque è una stella media: né piccola, né grande.

Le osservazioni fatte nella Via Lattea e nelle altre galassie hanno evidenziato che le stelle più frequenti sono quelle più piccole e meno luminose, mentre quelle brillanti e molto massicce sono rarissime. Questo è un risultato opposto all'esperienza diretta dell'osservazione del cielo a occhio nudo dove sembra che le stelle più numerose siano quelle più brillanti. Ma basta mettere l'occhio a un telescopio che ci si accorge esattamente del contrario: proprio come accadde a Galileo quando orientò il suo cannocchiale verso le nebulose e costellazioni e si accorse che il numero delle stelle era infinitamente maggiore di quelle visibili a occhio nudo.

La legge con cui sono distribuite le masse stellari è mostrata in Figura 1.

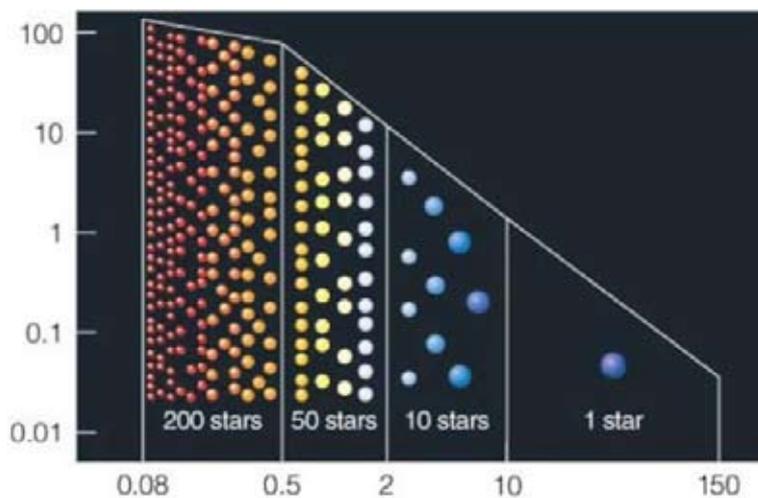


Figura 1. La distribuzione delle masse stellari. Il grafico mostra la variazione del numero osservato di stelle in funzione della massa stellare (in unità della massa del Sole). Le stelle più numerose sono quelle di massa piccola, mentre quelle massicce sono molto più rare.

Essa ha una forma particolare: è praticamente costante nell'intervallo tra 0.1 e 0.5 masse solari e poi decresce rapidamente all'aumentare della massa stellare. Al punto che la probabilità di trovare una stella dieci volte più massiccia del Sole è circa cinquecento volte minore. Come si vede dalla figura, il Sole non è una stella particolarmente tipica.

Un altro fatto importante è che la durata di vita non è la stessa per stelle di massa diversa. Quelle più piccole sono le più longeve (decine o centinaia di miliardi di anni), mentre le brillanti completano il ciclo nucleare in pochi milioni di anni. Il tempo di

vita di una stella dipende dalla rapidità con cui viene bruciato l'idrogeno (l'elemento più abbondante nell'universo) dalle reazioni nucleari. L'energia prodotta da una stella è proporzionale alla sua massa (attraverso la relazione di Einstein) $E \sim M$. La luminosità non è altro che la variazione dell'energia nell'unità di tempo e, empiricamente, aumenta molto rapidamente al variare della massa: $L \sim M^4$. Quindi, il tempo di vita è pari a $t = E/L \sim M^{-3}$, cioè diminuisce con l'inverso del cubo della massa. Per il Sole, la fase di bruciamento dell'idrogeno che caratterizza la permanenza nella fase detta di *sequenza principale* è di circa 10 miliardi di anni, mentre una stella quindici volte più massiccia esaurisce l'idrogeno in appena 15 milioni di anni. Stelle ancora più grandi vivono solo 2-3 milioni di anni prima di terminare l'evoluzione come *supernove*. Al contrario, una stella di massa pari a metà del Sole può continuare a emettere radiazione per circa 200 miliardi di anni e stelle più piccole ancora più a lungo.

Consideriamo ora i pianeti. Sappiamo che la loro formazione richiede tempi che variano notevolmente a seconda della massa: dalle decine di milioni di anni per i giganti gassosi come Giove, a circa 100 milioni di anni per i pianeti rocciosi di tipo terrestre. I giganti di tipo gioviano devono formarsi rapidamente per poter accumulare i gas di cui sono composti, dato che gli elementi leggeri come idrogeno ed elio scompaiono rapidamente dopo la nascita della nebulosa solare. Al contrario, rocce e metalli possono rimanere molto più a lungo e permettere la lenta formazione dei pianeti di tipo terrestre. Quindi, affinché pianeti rocciosi possano formarsi, è necessario che le stelle abbiano tempi di vita di centinaia di milioni di anni. Ma, se una stella vive troppo poco, come nel caso di quelle massicce, è improbabile che ci sia abbastanza tempo per la formazione di un sistema planetario stabile. Volendo perciò cercare i pianeti e i sistemi planetari attorno ad altre stelle, *non* si devono selezionare quelle brillanti. Paradossalmente, però, esse sono le più facili da osservare anche a grandi distanze, al contrario di quanto avviene per le stelle più piccole del Sole per le quali è necessario disporre di telescopi particolarmente potenti e di speciali tecniche di osservazione.

Infine, ricordiamo anche che la maggior parte delle stelle di tipo solare fa parte di sistemi doppi, tripli, multipli in cui le stelle orbitano una intorno all'altra. La domanda cruciale è dunque se queste condizioni particolari siano favorevoli o meno alla presenza di un sistema planetario. Se vogliamo avere un'idea precisa della frequenza totale dei pianeti extrasolari dobbiamo includere nel campione da osservare almeno i sistemi stellari doppi: un'ulteriore difficoltà per le tecniche osservative che devono poter distinguere gli effetti indotti dalla presenza di un possibile pianeta da quelli dovuti alla stella compagna.

3. Come trovare i pianeti extrasolari

Per scoprire i circa 700 pianeti noti sino ad oggi sono state sviluppate metodologie diverse. La più efficace è stata quella di vedere indirettamente la presenza di un pianeta in orbita attorno a una stella dalle perturbazioni prodotte dal pianeta stesso sul suo astro. Anche Giove produce un piccolo spostamento periodico nel movimento del Sole, ma

l'accelerazione indotta sulla stella è troppo piccola per la rilevazione con gli strumenti a disposizione. Se Giove, anziché trovarsi a circa 700 milioni di km di distanza dal Sole (pari a circa 4.5 UA, ove 1 UA = unità astronomica corrisponde alla distanza Terra-Sole ed è uguale a circa 150 milioni di km), fosse più vicino, la sua influenza risulterebbe molto maggiore e quindi misurabile.

Questo è quanto accaduto nel caso degli oltre seicento pianeti scoperti proprio grazie alla loro notevole dimensione/massa e alla minore distanza rispetto alla stella. In pratica, tutti i sistemi planetari scoperti sinora presentano questa caratteristica inattesa se confrontata con la tipologia del nostro sistema planetario in cui i pianeti interni sono quelli più piccoli (terrestri), mentre i grandi pianeti (gioviani) sono a enormi distanze dal Sole. In realtà, si pensava che una situazione con un pianeta gioviano alla distanza della Terra, o anche meno, non sarebbe potuto rimanere stabile per lungo tempo: le osservazioni hanno mostrato il contrario. La natura è molto più varia di quanto siamo portati a immaginare.

La tecnica utilizzata per l'osservazione degli effetti della presenza dei pianeti sui moti stellari si basa sulla misura spettroscopica dello spostamento alternato e periodico di alcune righe spettrali emesse dalla stella. Questi spostamenti verso il rosso e verso il blu sono legati all'effetto Doppler e possono corrispondere a variazioni della velocità radiale della stella di decine di metri al secondo nel caso di pianeti gioviani a distanze di qualche unità astronomica o di pochi metri al secondo per pianeti di tipo super-terrestre (3-5 volte il raggio della Terra) a distanze minori.

La velocità radiale, V_r , è legata allo spostamento spettrale dalla relazione $V_r/c = \Delta\lambda/\lambda$, dove c è la velocità della luce, λ è la lunghezza d'onda della radiazione emessa e $\Delta\lambda$ la differenza tra la lunghezza d'onda osservata e quella a riposo misurata in laboratorio. D'altro canto, la terza legge di Keplero stabilisce l'ampiezza della variazione della velocità radiale in funzione della massa della stella (M), del pianeta (m_p) e del periodo orbitale (P) secondo la relazione $V_r \cong (m_p \sin i)/M^{2/3} P^{1/3}$, dove i è l'angolo d'inclinazione del piano orbitale rispetto alla visuale. Quindi, la misura dello spostamento delle righe spettrali e la determinazione del periodo di tale spostamento, corrispondente al periodo orbitale del pianeta, consentono di avere un'indicazione diretta della prodotto della massa del pianeta per il seno dell'angolo d'inclinazione che, purtroppo, non è una grandezza misurabile. Questo metodo indiretto ma efficace consente di determinare solo un *limite inferiore* alla massa del pianeta. Per riuscire a conoscere la massa assoluta del pianeta, ci si deve trovare nella fortunata coincidenza in cui il piano dell'orbita del pianeta è perpendicolare al piano del cielo (nel qual caso, $\sin i = 1$).

Un metodo diretto di rivelazione della presenza di pianeti extrasolari è quello dei cosiddetti *transiti planetari*. Infatti, se il piano orbitale del sistema planetario cade lungo la nostra visuale, è possibile che uno o più pianeti possano passare davanti al disco stellare, provocando un'eclisse – cioè una rapida diminuzione della luminosità dell'astro che si ripete a ogni passaggio del pianeta. Nel nostro sistema solare possiamo assistere a questo fenomeno quando Mercurio o Venere transitano sul Sole: un tale evento avrà luogo il 6 giugno 2012 quando sarà Venere a 'oscurare' leggermente il Sole.

Il primo transito planetario osservato fu quello di Mercurio nel 1631 grazie all'astronomo francese Pierre Gassendi, un grande estimatore di Galileo dal quale aveva ricevuto un cannocchiale di ottima qualità. Questa tecnica dei transiti è la stessa usata dal satellite *Kepler* che ha permesso di scoprire pianeti molto più piccoli di quelli rivelati dalle perturbazioni periodiche dell'orbita stellare. È interessante notare che i transiti di pianeti terrestri producono un piccolo cambiamento nella luminosità stellare pari a circa 1/10000 del totale e della durata variabile tra 1 e 16 ore. Il vantaggio sta nel fatto che a ogni transito dello stesso pianeta devono essere uguali la variazione percentuale di luminosità e il tempo impiegato per attraversare il disco stellare. Ciò permette quindi di avere un segnale ripetibile con piccoli errori di misura.

L'approccio seguito dal satellite *Kepler* è di osservare per un lungo intervallo di tempo (circa 3.5 anni) un grande numero di stelle, più di 150000, e ottenere delle accurate curve di luce in cui variazioni dell'ordine indicato sopra sono facilmente rivelabili grazie alla sensibilità delle camere CCD installate sul telescopio. Con un così gran numero di stelle, anche un risultato negativo (ad esempio, non si rivelano pianeti di tipo terrestre) è molto interessante dal punto di vista statistico, mentre la rivelazione di un certo numero di pianeti di questo tipo indicherebbe che essi sono molto frequenti nella Via Lattea visto che il numero totale di stelle che la compone eccede i duecento miliardi.

In Figura 2 vengono mostrate alcune curve di luce prodotte da Kepler che rivelano la presenza di pianeti extrasolari i cui periodi orbitali (in giorni) sono indicati in basso. La diminuzione dell'intensità della luce stellare permette di ricavare immediatamente le dimensioni del pianeta occultante.

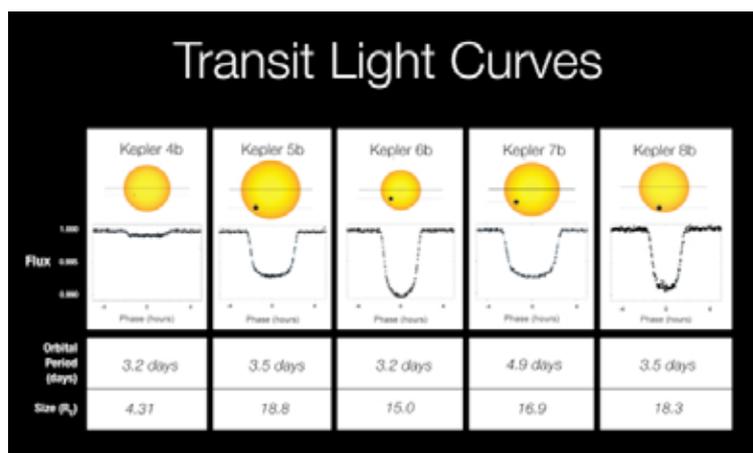


Figura 2. Alcuni esempi di curve di luce che rivelano la presenza di pianeti attorno a stelle di tipo solare. La massima variazione di flusso osservata è di circa un percento di quella stellare. I periodi orbitali variano tra 3 e 5 giorni, mentre i raggi planetari passano da 4 a 19 raggi terrestri. (Credito: NASA)

Ovviamente, la massa del pianeta resta incognita, a meno di non effettuare le osservazioni spettroscopiche precedentemente descritte: in questo modo le proprietà fonda-

mentali (massa e raggio) sono determinate con precisione. Da queste si può poi ricavare la densità che è una quantità essenziale per capire se si tratta di pianeti rocciosi (densi) o gassosi.

Di recente sono state sviluppate tecniche per ottenere immagini dirette, vere e proprie fotografie, della luce riflessa o emessa da alcuni pianeti extrasolari. I problemi da superare sono formidabili a causa dell'intrinseca debolezza della luce planetaria rispetto a quella stellare. Per esempio, la luce di Giove, se vista da fuori il sistema solare, è un miliardesimo di quella del Sole, mentre quella della Terra è dieci volte più debole di quella di Giove. Per eliminare la fortissima luce stellare si utilizzano due apparecchiature: un coronografo che blocca la luce diretta della stella e un sistema di ottica adattiva che elimina il disturbo introdotto dall'atmosfera e consente di avere un'immagine puntiforme della stella stessa e dell'eventuale pianeta. Inoltre, anziché osservare a lunghezze visuali, è preferibile utilizzare l'infrarosso dove viene emessa la maggior parte dell'energia dei pianeti freddi e dove è minore il contrasto con la stella.

La prima immagine di un pianeta è stata ottenuta nel 2004 da astronomi dello European Southern Observatory: si tratta di un pianeta di massa maggiore di quella di Giove in orbita intorno a una nana bruna, una quasi-stella di luminosità molto inferiore a quella di una stella normale. Successivamente, nel 2008, il telescopio spaziale Hubble ha prodotto la prima immagine di un pianeta intorno alla brillante stella Fomalhaut nella costellazione del Pesce Australe e, lo stesso giorno, è stato scoperto un sistema di tre pianeti intorno alla stella giovane HR 8799 (vedi Figura 3).

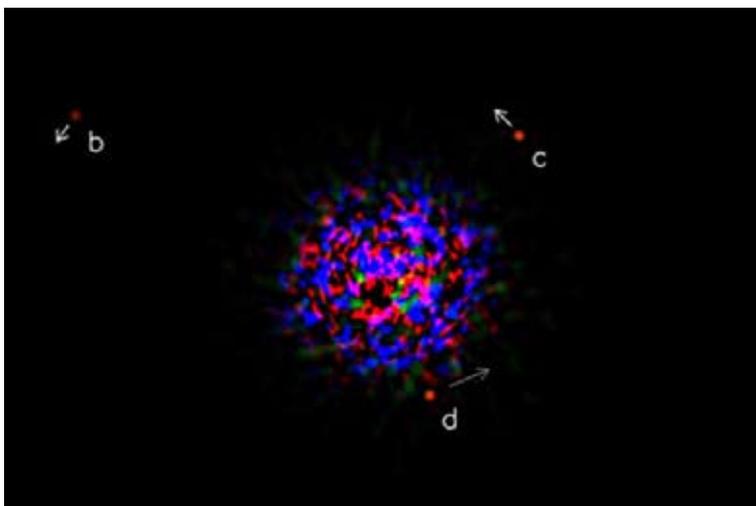


Figura 3. Il sistema planetario intorno a HR 8799, una stella poco più grande del Sole a una distanza di 130 anni luce. L'immagine è stata realizzata dal telescopio Keck di 10m alle Hawaii e mostra tre pianeti (b,c,d) in orbita intorno alla stella a distanze confrontabili con quella di Nettuno e oltre. La stella al centro è occultata con un coronografo per poter catturare la debole emissione dei pianeti. (Credito: Keck Telescope)

Attualmente sono ancora pochi i sistemi fotografati, ma non c'è dubbio che questa sia

la tecnica più promettente per il futuro, dato che con essa sarà possibile determinare i colori e gli spettri planetari e quindi dedurre la possibile presenza di segni di vita nelle atmosfere planetarie.

4. Censimenti planetari

A oggi sono stati identificati pianeti di dimensioni molto simili a quella della Terra, a distanze confrontabili dalla propria stella. Questo è un punto fondamentale per affrontare la domanda se si possa ipotizzare la presenza di forme di vita su questi pianeti. Affinché ciò avvenga, bisogna che l'acqua – elemento essenziale, ma non unico, per lo sviluppo della vita sulla Terra – sia in condizioni liquide. L'acqua liquida esiste a temperature comprese tra 273 K e 373 K, a meno che la pressione sia troppo bassa, nel qual caso sublima in vapor d'acqua gassoso. Il pianeta, dunque, si deve trovare all'interno della cosiddetta *fascia di abitabilità* che nel caso del nostro sistema solare si estende dall'orbita di Venere a quella di Marte (vedi Figura 4).

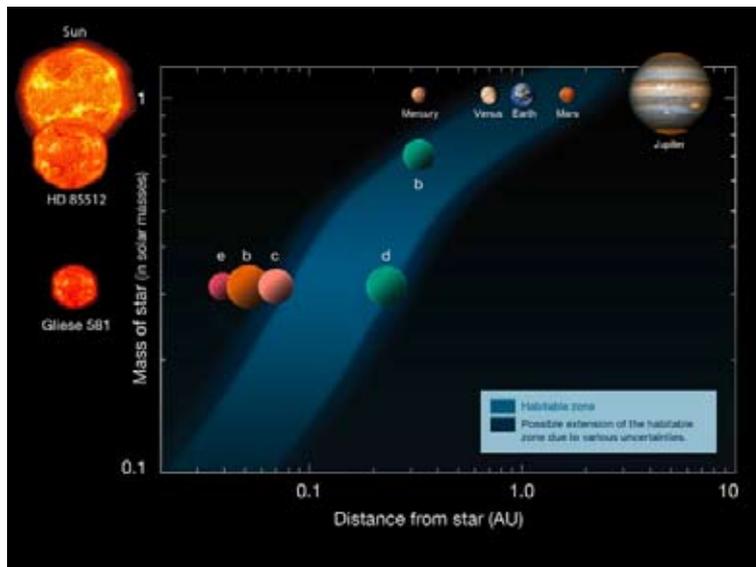


Figura 4. La fascia di abitabilità per stelle di massa diversa: dal Sole (in alto) a una stella nana rossa (Gliese 581) di sole 0.3 masse solari. La zona blu indica la regione in cui l'acqua si può trovare in fase liquida. La distanza della fascia di abitabilità dalla stella diminuisce al decrescere della luminosità. Sia HD 85512 che Gliese 581 hanno pianeti molto vicini o all'interno della fascia. (Credito: ESO)

I pianeti che si trovano all'interno di questa fascia sono in una condizione di equilibrio: né troppo freddi né troppo caldi. Questa condizione viene determinata dal bilancio tra la quantità di radiazione stellare assorbita e quella riemessa. La prima è proporzionale a L/D^2 , dove L è la luminosità della stella e D la distanza del pianeta. La radiazione emessa dal pianeta è quella di un corpo nero alla temperatura T e quindi varia come T^4 . Dunque, la distanza a cui un pianeta si trova alla temperatura T è proporzionale a $1/T^2$. Usando i valori minimi e massimi della temperatura dell'acqua liquida si trova facilmente il valore del raggio interno e esterno della fascia di abitabilità.

Il satellite Kepler ha individuato alcuni casi di pianeti extrasolari di tipo terrestre che soddisfano queste condizioni. Un caso molto interessante è quello di Kepler 22b illustrato in Figura 5.

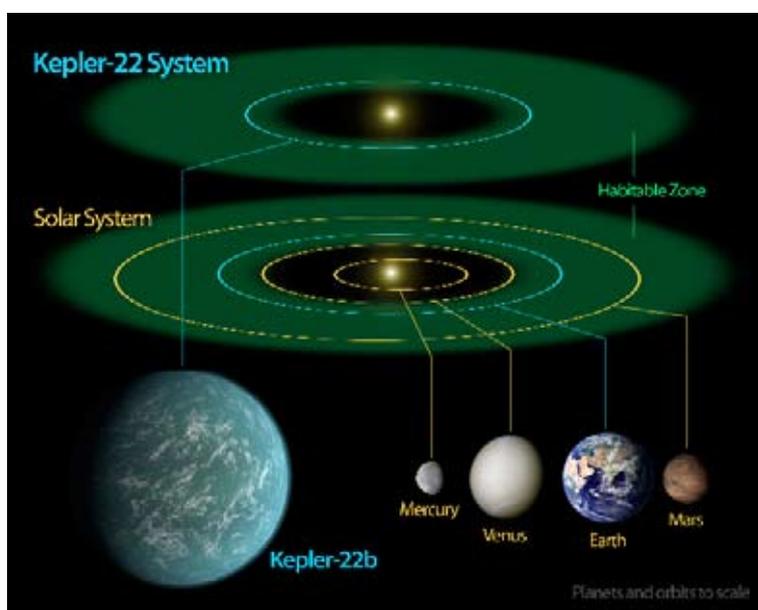


Figura 5. Il sistema extrasolare associato a Kepler 22, una stella di tipo solare a una distanza di 600 anni luce dal Sole. Il pianeta 22b è il primo di tipo terrestre scoperto all'interno della cosiddetta fascia di abitabilità. Il confronto con il nostro sistema solare mostra la presenza dei tre pianeti (Venere, Terra e Marte) che risiedono dentro la fascia determinata dal Sole. (Crediti: NASA/Ames/JPL-Caltech)

Il pianeta ha un raggio due volte e mezzo maggiore di quello della Terra e un periodo orbitale di 290 giorni attorno a una stella molto simile al Sole, anche se un po' più fredda. La temperatura media è stata stimata pari a 22 gradi centigradi, il che fa immaginare un clima piacevolmente primaverile. Il fatto che siano stati individuati pianeti con queste caratteristiche lascia ben sperare sulla possibilità che su alcuni (o molti!) di essi si sia sviluppata una forma di vita, magari intelligente. Ma questo ancora non lo possiamo dire con certezza dato che non disponiamo degli strumenti per le osservazioni spettroscopiche necessarie a trovare tracce di vita. Basterà aspettare un po' di anni e qualche altra missione spaziale perché anche questo mistero venga svelato.

È significativo che la presenza di sistema planetari sia stata confermata anche attorno a sistemi stellari binari! In effetti, la probabilità di trovare pianeti intorno a sistemi complessi è simile a quella per le stelle singole. Ciò non deve sorprendere troppo, considerando che, come detto all'inizio, la formazione delle stelle e dei pianeti è parte dello stesso processo fisico che si è ripetuto innumerevoli volte nella storia dell'universo passato... e anche di quello futuro.

A questa conclusione si è giunti anche grazie a uno studio statistico basato sul metodo delle microlenti gravitazionali. Utilizzando un telescopio dedicato a monitorare un numero enorme di stelle, circa 200 milioni, per un periodo di tempo superiore a dieci anni è stato possibile rivelare l'improvvisa e anomala amplificazione della luce stellare

dovuta al passaggio casuale di un'altra stella lungo la linea visuale. L'amplificazione è causata dal campo gravitazionale della stella o del pianeta di passaggio che agisce come una lente per la luce di fondo che viene focalizzata nella direzione della Terra. Tali allineamenti sono molto rari, ma, guardando un numero grande di stelle, la probabilità di osservare gli eventi aumenta in maniera sensibile.

Nel caso della campagna OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) sono stati registrati migliaia di eventi di microlenti, una piccola parte dei quali sono attribuibili a un pianeta piuttosto che a una stella. Il vantaggio di questa tecnica sta nel fatto che è possibile rivelare la presenza di pianeti di masse comprese tra quella della Terra e quella di Giove anche a distanze relativamente grandi dalla stella, da 0.5 UA a più di 10 UA, in un intervallo maggiore di quanto non sia possibile esplorare con i transiti o con le misure spettroscopiche della velocità radiale. Il risultato sorprendente è che, in media, una qualunque stella ha almeno un pianeta associato! E la frequenza di pianeti di massa piccola è maggiore di quella dei grandi pianeti: i pianeti come Giove sono relativamente rari mentre quelli terrestri sono dieci volte più frequenti.

Le sorprese nello studio dei pianeti extrasolari non sono ancora finite. Nel maggio del 2011 un gruppo di astronomi giapponesi e neozelandesi ha annunciato una scoperta davvero particolare. Nel corso di una *survey* delle zone centrali della Via Lattea sono stati rivelati per la prima volta dieci pianeti della massa di Giove in condizione di totale isolamento nello spazio interstellare, lontani cioè dal sistema stellare di appartenenza. L'origine di questi pianeti (detti *free floating planets*) è misteriosa, anche se è molto probabile che si tratti di oggetti espulsi dal sistema protoplanetario durante le convulse fasi dinamiche iniziali della formazione. È possibile che i pianeti si formino in maniera isolata a causa della frammentazione estrema delle nubi molecolari da cui si originano le stelle. Tuttavia, la probabilità di trovarne in numero così elevato (dieci anziché uno solo) è molto bassa e fa propendere a favore dell'interpretazione dinamica.

Da notare che la tecnica usata in questo studio è sensibile soltanto ai pianeti di grosse dimensioni, tipo Giove o Saturno, ma non è in grado di rivelare oggetti più piccoli di tipo terrestre. Tuttavia, le teorie sulla formazione planetaria suggeriscono che i pianeti di massa minore siano proprio quelli che subiscono più frequentemente fenomeni di eiezione dinamica. Sembrerebbe quindi che lo spazio interstellare possa essere popolato da un numero impressionante di pianeti isolati. Estrapolando i primi risultati si potrebbe anche ipotizzare che il loro numero sia confrontabile a quello dei pianeti che orbitano attorno a stelle. Col che si arriverebbe ad avere centinaia di miliardi di pianeti solitari soltanto nella nostra Galassia!

5. Per approfondire

Mentre la bibliografia in lingua inglese è ricchissima di testi in continua pubblicazione grazie alla rapida evoluzione del campo, quella in italiano è ben più ristretta. Diverso è il caso delle riviste divulgative in cui il tema della ricerca e della scoperta dei pianeti

extrasolari è costantemente presente. Una breve lista di testi facilmente reperibili è la seguente:

- [1] Davies, P., *Uno Strano Silenzio: siamo soli nell'universo?*, trad. di E. Filoramo, Codice, Torino 2012.
- [2] Guaita, C., *I Pianeti e la Vita. Ultime Scoperte*, Gruppo B, Milano 2009.
- [3] Jayawardhana, R., *Strange New Worlds: The search for Alien Planets*, Princeton University press, Princeton 2011.

Per chi è interessato a conoscere in dettaglio le proprietà dei pianeti extrasolari, si consiglia il sito The Extrasolar Planets Encyclopedia che viene costantemente aggiornato e di cui esiste anche la versione italiana: <http://exoplanet.eu/catalog.php>

Un sito interessante con approfondimenti e progetti di osservazione dei sistemi planetari extrasolari è curato dalla Unione Astrofili Italiani (UAI): <http://pianetiextrasolari.uai.it/>

L'UNIVERSO 'INVISIBILE': L'OSSERVAZIONE DEL CIELO CON I TELESCOPI SPAZIALI DI ULTIMA GENERAZIONE

CARMELO SGRÒ

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Pisa

LUCA BALDINI

Dipartimento di Fisica "Enrico Fermi", Università di Pisa

1. Introduzione

Osservare il cielo e ammirare le stelle è sempre stato un gesto naturale per l'uomo. Sin da tempi antichi abbiamo trovato ispirazione nelle stelle, contemplandone il fascino e cercando di capirne la natura. Abbiamo presto imparato a sfruttarne le proprietà per scopi pratici, come guidare i navigatori nel tenere la rotta lontano dalla costa. Abbiamo raggruppato oggetti vicini, formando costellazioni, e oggetti simili per classificarne le proprietà e cercare di distinguerne tipi diversi.

A poco a poco siamo giunti alla conclusione che le stelle non sono tutte uguali – anche se ci sembrano tali a occhio nudo – e che in cielo ci sono tanti oggetti luminosi che non sono identificabili con esse, ma che hanno proprietà molto diverse. Ci siamo resi conto che il nostro occhio non era sufficiente e che c'è molto di più di quello che si vede in una chiara notte stellata. Un passo avanti degno di nota è stato costruire strumenti sempre più raffinati. Siamo passati dal telescopio con due lenti e quello con specchi di grandi dimensioni fino ai grandi osservatori moderni. La luce che percepiamo con gli occhi è solo una piccola parte della luce che riceviamo. I telescopi tradizionali ci sono sembrati insufficienti e abbiamo costruito, di conseguenza, strumenti sensibili ad altri tipi di luce, come onde radio, luce infrarossa o ultravioletta, raggi X e raggi gamma (γ). Importante è stato lanciare in orbita satelliti artificiali con cui far volare telescopi al di sopra dell'atmosfera che filtra e assorbe gran parte della radiazione che arriva a noi.

Col passare del tempo siamo stati in grado di sviluppare tecnologie e capacità sempre superiori, che hanno consentito di migliorare le osservazioni e acquisire una conoscenza sempre più profonda degli oggetti celesti. Tutto questo processo continua ancora oggi, con lo scopo fondamentale di soddisfare la naturale, innata, curiosità dell'uomo verso la natura.

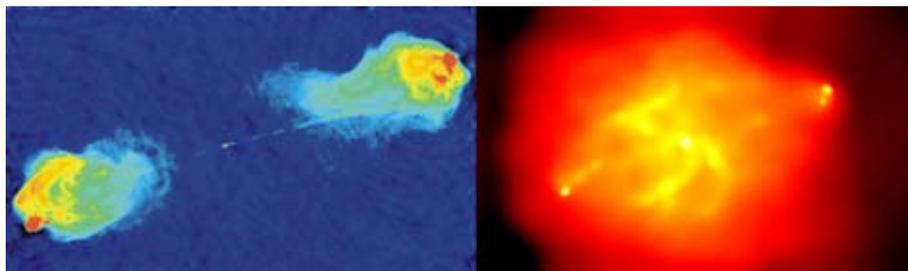


Figura 1. *Cygnus A*, a sinistra osservata tramite onde radio (VLA [1]), a destra tramite raggi X (Chandra [2]).

Nel corso di questo lavoro chiariremo meglio cosa è la luce, cosa significa compiere osservazioni con luce ‘non visibile’ e come si riesce a catturarla. Vedremo perché è necessario andare al di sopra dell’atmosfera e come funzionano questi telescopi spaziali. Infine ci concentreremo su un tipo di luce che siamo riusciti a sfruttare solo di recente: i raggi γ . Si capirà come lo sviluppo tecnologico ha avuto un ruolo chiave in questo campo.

Lo scopo del presente lavoro è quello di introdurre alla comprensione dei telescopi. Per questo motivo non entreremo nei dettagli di ogni strumento menzionato, nè potremo dare una descrizione di tutti gli osservatori in funzione. Cercheremo di fornire indicazioni e riferimenti in modo tale che un lettore interessato possa trovare facilmente spunti per approfondire la propria conoscenza.

2. La luce e le sue proprietà

Della luce abbiamo un concetto intuitivo, familiare a tutti, ma nel momento in cui ci chiediamo di cosa è fatta, le cose si complicano. Il motivo è che il comportamento della luce varia in base alle condizioni di osservazione e per tanto tempo, nei secoli passati, la sua natura è stata al centro di un acceso dibattito nella comunità scientifica. Solo durante il Novecento, con lo svilupparsi della meccanica quantistica, i fisici hanno ottenuto una risposta soddisfacente. Quello che ci interessa, per il momento, è avere un quadro generale delle proprietà della luce per capirne il comportamento in varie condizioni di osservazione.

Possiamo pensare alla luce come a un’onda che viaggia da una sorgente fino all’osservatore. Dal punto di vista matematico, un’onda è un oggetto abbastanza semplice, caratterizzato da pochi parametri ovvero l’ampiezza, la lunghezza d’onda (λ) e la velocità di propagazione. La frequenza (ν) di un’onda non è altro che il rapporto tra la velocità e la lunghezza d’onda. Per capire meglio questi concetti pensiamo a un esempio più familiare, anch’esso descritto da onde: il suono. La velocità di propagazione del suono dipende dal materiale in cui il suono viaggia: in aria è di 340 m/s. Fissato questo parametro, la lunghezza d’onda (o, equivalentemente, la frequenza) determina l’altezza del suono: a bassa frequenza sentiamo un suono grave, ad alta frequenza un suono acuto.

Ci sono differenze sostanziali tra la luce e il suono. La prima è che la luce non ha bisogno di un mezzo in cui muoversi, ma può viaggiare nel vuoto. Questo fenomeno è dovuto al fatto che il suono è legato al movimento degli atomi di un materiale, mentre la luce all’oscillazione del campo elettromagnetico. Per questo motivo, i fisici preferi-

scono chiamare la luce “radiazione elettromagnetica”. La seconda differenza importante è che la velocità di propagazione della luce nel vuoto è una costante fondamentale della fisica, chiamata convenzionalmente “ c ”, e vale 299.792 km/s.

La prova del comportamento ondulatorio della luce è connesso alla verifica sperimentale di fenomeni che sono caratteristici delle onde come diffrazione e interferenza. Questi fenomeni sono spiegabili tramite il principio di sovrapposizione: se due o più onde partono da sorgenti diverse, si può descrivere la radiazione in ogni punto dello spazio come la somma algebrica delle due onde. In realtà ci si è accorti come questo formalismo non sia l'unico modo di descrivere la luce: possiamo concepirla anche come composta da tanti piccoli pacchetti di energia, singoli quanti di radiazione elettromagnetica, che chiamiamo “fotoni” e si comportano come particelle elementari. A essi possiamo associare un'energia che è legata alla frequenza dell'onda tramite la formula $E = h\nu = hc/\lambda$, ove la costante di proporzionalità h è detta costante di Planck. L'idea che la luce possa avere un'energia quantizzata proporzionale alla frequenza è dovuta a Einstein e gli è valso il premio Nobel nel 1921, cfr. [3].

Ci proponiamo a questo punto di esplorare in maniera sistematica la luce in base alla sua frequenza. Ci domandiamo come si comportano onde di frequenza diversa, come vengono classificate e come possono essere utilizzate per esplorare il cielo.

L'insieme di tutti i valori possibili per le frequenze viene chiamato lo “spettro” della radiazione elettromagnetica (Figura 2).

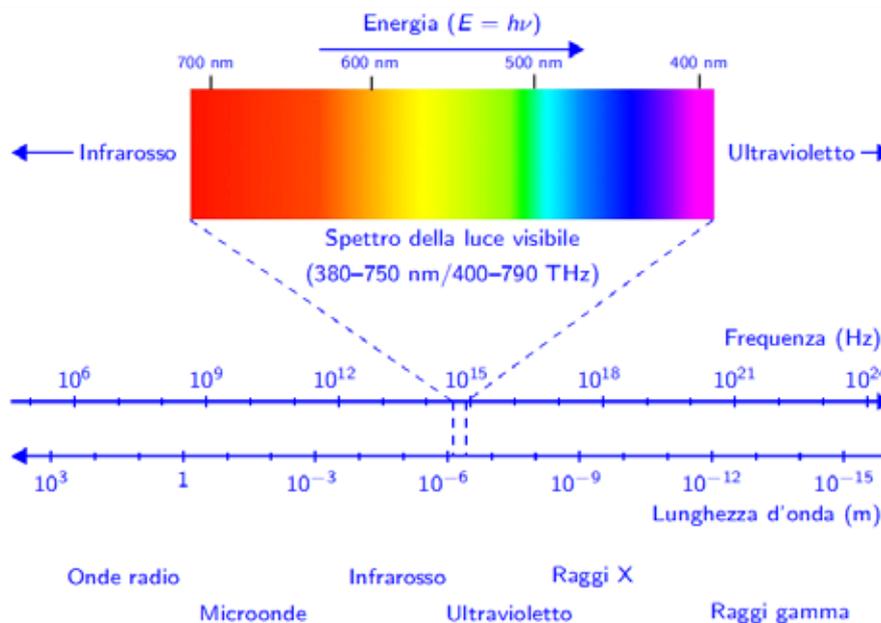


Figura 2. Rappresentazione dello spettro elettromagnetico. Le scale orizzontali indicano le frequenze e lunghezze d'onda corrispondenti alle bande descritte in basso. La banda della luce visibile è espansa per evidenziare la corrispondenza tra frequenza e colore della luce.

Siamo naturalmente abituati allo spettro visibile dall'occhio umano. Dal rosso al violetto, abbiamo familiarità con i vari colori dell'arcobaleno, in realtà a ogni suo colore è possibile associare in maniera univoca una frequenza (o un intervallo di frequenza) delle

onde elettromagnetiche. I colori, d'altra parte, non sono altro che il modo utilizzato dal nostro cervello per misurare e classificare le onde luminose tramite la loro frequenza.

È possibile ravvisare, di contro, onde di luce anche a lunghezze d'onda impossibili da vedere direttamente ad occhio nudo. In teoria non ci sono limiti allo spettro, ovvero possono esistere onde di lunghezza infinitamente piccola o infinitamente grande. Nella pratica i limiti sono legati dalla capacità della nostra tecnologia di osservare o produrre onde di lunghezza troppo piccola o troppo grande. Nonostante ciò, lo spettro della radiazione utile è estremamente vasto e si estende su oltre 20 ordini di grandezza. Per darne un'idea, le lunghezze d'onda vanno dalle decine o centinaia di km (onde radio VLF) fino a meno di un femtometro (10^{-15} m) dove il comportamento della luce è controllato dalla fisica quantistica, come vedremo nel § 4. La banda di luce 'visibile', ovvero quella a noi familiare, è soltanto una fettina molto sottile dello spettro nella sua zona centrale, da circa 760 nm (luce rossa) a circa 380 nm (luce violetta). Cominciamo adesso a esplorare lo spettro e a classificare i tipi di onde in base alla loro frequenza. Bisogna comunque considerare che il confine tra due classi (bande) diverse non è sempre netto ed è spesso legato a convenzioni [4]. Può perciò variare in base alle applicazioni.

Le onde a lunghezza relativamente alta sono le onde radio, delle quali abbiamo un concetto familiare in quanto sono parte della nostra vita quotidiana come mezzo per trasmettere informazioni. Le onde radio sono elettromagnetiche esattamente come la luce visibile, ma sono caratterizzate da lunghezze d'onda superiori al millimetro circa (ovvero frequenze inferiori a circa 300 GHz). Con il termine "onde radio" si intende in realtà un intervallo molto ampio di possibilità. Di conseguenza esistono varie convenzioni che, in base alle diverse applicazioni, classificano le onde radio in diverse bande [5]. Ad esempio, le trasmissioni televisive analogiche vengono effettuate su bande denominate VHF (Very High Frequency, frequenze da 30 a 300 MHz) e UHF (Ultra High Frequency, frequenze da 300 MHz a 3.0 GHz). Le radio FM invece trasmettono a frequenza tra 87.5 ed i 108 MHz. Alcuni sistemi di comunicazione, come quelli con i sottomarini, utilizzano frequenze ancora più basse, tra i 3 ed i 300 Hz.

Salendo a frequenze più elevate, tra circa 1 e 300 GHz, troviamo le microonde. Si tratta sempre di onde radio ma, per via delle loro caratteristiche peculiari, si tende a considerarle una categoria a parte. Le microonde hanno molteplici applicazioni nella moderna tecnologia. Molti sistemi di telecomunicazione sono basati su microonde: i telefoni cellulari GSM (0.9 e 1.8 GHz in Europa) o UMTS (1.9 o 2.1 GHz), il Wi-Fi (2.4 o 5 GHz, standard IEEE 802.11), le TV satellitari (4-8 GHz) per la trasmissione di dati con satelliti artificiali (che utilizzano vari sistemi da pochi GHz fino ad oltre 30 GHz) ecc. I forni a microonde che abbiamo in casa emettono onde a 2,45 GHz che scaldano le molecole (soprattutto d'acqua) nei cibi.

L'intervallo tra le microonde e la luce visibile è riempito dalla radiazione infrarossa – letteralmente: "sotto il rosso". Si tratta di radiazione di frequenza compresa tra circa 300 GHz e 430 THz, ovvero con una lunghezza d'onda tra 1 mm e circa 700 nm. Tra le sue applicazioni pratiche ci sono sistemi di comunicazione, come nei telecomandi

per televisori o tra computer portatili, telefoni cellulari e altri apparecchi elettronici. La radiazione infrarossa è spesso associata alla radiazione termica poiché quest'ultima è legata all'agitazione ("termica", appunto) delle molecole all'interno di un oggetto (radiazione di corpo nero) che è tipicamente emessa in questa banda. Per questo motivo, la radiazione infrarossa è utilizzata nelle videocamere termiche, ad esempio per evidenziare differenze di temperatura tra varie zone di un soggetto.

Per quanto riguarda la luce visibile, a frequenza tra 400 e 790 THz, l'esperienza comune è sufficiente a descrivere questo tipo di radiazione. Lo spettro della radiazione e la sua associazione con i colori sono mostrati in figura 2. È bene notare che non tutti i colori che siamo in grado di distinguere sono associati a una determinata frequenza dello spettro. Alcuni di essi, come il marrone o il rosa, sono ottenuti dalla sovrapposizione di varie lunghezze d'onda. Per questo motivo nei *display* a colori dei televisori o dei computer si utilizzano solo pochi colori (rosso, verde, blu secondo lo standard RGB) per comporre tutte le varie possibilità.

A frequenze appena superiori a quelle visibili troviamo l'ultravioletto o UV ("oltre il violetto", essendo questa la frequenza più elevata dello spettro visibile), con lunghezze d'onda tra i 400 e i 100 nm che corrispondono alle dimensioni tipiche di microorganismi come i virus. Anche questa banda viene convenzionalmente suddivisa in varie sottoclassi. Sentiamo spesso parlare di raggi UVA e UVB a proposito delle protezioni dai raggi solari: non sono altro che classificazioni in base alla lunghezza d'onda, rispettivamente negli intervalli 400-315 nm e 315-280 nm. Altre classificazioni, non legate all'effetto sulla salute umana, distinguono gli ultravioletti in vicini (*Near*, 400-300 nm), medi (*Middle*, 300-200 nm), lontani (*Far*, 200-121 nm). Vengono inoltre chiamati "*Vacuum*" UV quelli tra i 200 e i 10 nm, che vengono fortemente assorbiti dalle molecole di ossigeno presenti in aria e che quindi viaggiano senza problemi solo nel vuoto. Le applicazioni comuni dei raggi ultravioletti sono molteplici grazie alla capacità di produrli con apposite lampade o diodi e grazie alla capacità di numerosi materiali di assorbirli. Ad esempio, vengono utilizzati per la disinfezione di cibo, aria o acqua, dal momento che molti batteri e virus non sopravvivono all'esposizione con raggi UV intensi; vengono inoltre utilizzati per analisi scientifiche, per identificare i materiali in base alle loro proprietà di assorbimento/emissione. Anche le comuni lampare fluorescenti utilizzano luce ultravioletta, prodotta tramite l'eccitazione di un gas, che viene assorbita da un materiale fluorescente e trasformata in luce visibile.

A lunghezze d'onda sempre più corte troviamo i raggi X. In merito a essi è comodo utilizzare l'energia associata a una certa frequenza tramite la formula $E=h\nu=hc/\lambda$ ed in particolare un'unità di misura, l'elettronvolt eV, che corrisponde all'energia guadagnata da un elettrone che si muove attraverso una differenza di potenziale di 1 Volt. Per i raggi X, le lunghezze d'onda vanno da circa 10 a circa 0.01 nm e le energie corrispondenti vanno da circa 120 eV fino a circa 120 keV (kilo-eV, ossia 1000 elettronvolt). Di solito si classificano come "soffici" se la loro energia è inferiore a circa 10 keV, oppure "duri", al di sopra di tale valore. Le lunghezze d'onda di queste radiazioni sono confrontabili

con le grandezze tipiche degli atomi, e inferiori quindi alle distanze tra questi. I raggi X, perciò, interagiscono e vengono assorbiti solo quando ‘urtano’ i singoli atomi. La materia, nel loro cammino, rappresenta uno spazio prevalentemente vuoto con pochi ‘bersagli’ rarefatti (gli atomi, appunto) con cui scontrarsi. Questo è il motivo per cui è una radiazione molto penetrante capace di attraversare sottili strati di materiale senza essere assorbita.

Le applicazioni dei raggi X sfruttano soprattutto questa caratteristica, ad esempio per osservare l’interno di corpi come nella diagnostica medica o nei controlli di bagagli negli aeroporti, oppure per studiare come si dispongono gli atomi all’interno di un cristallo.

È opportuno notare che la radiazione con lunghezze d’onda inferiore a circa 100 nm ($E > 12$ eV) è ‘ionizzante’, ovvero è in grado di strappare via elettroni dagli atomi lasciando ioni carichi. Tali ioni possono essere molto reattivi chimicamente e cambiare la struttura chimica del materiale circostante. Per questo motivo, quando le reazioni coinvolgono tessuti viventi, la radiazione ionizzante può produrre danni biologici.

La radiazione con energia maggiore di quella dei raggi X è chiamata “radiazione gamma” (γ). È chiaro che non c’è limite superiore all’energia per questa banda; inoltre, il confine tra raggi X e gamma è piuttosto mal definito e dipende dal tipo di applicazioni. I raggi gamma si comportano in maniera simile ai raggi X. Con una lunghezza d’onda ancora più piccola, ‘vedono’ i singoli nuclei degli atomi quando attraversano la materia e sono ancora più penetranti: sono infatti in grado di rompere i nuclei generando reazioni complesse, governate dalla fisica quantistica. I raggi gamma sono spesso prodotti nel decadimento nucleare di elementi radioattivi, ma esistono anche altri modi di produrli, in maniera artificiale. Le loro applicazioni sono spesso di tipo diagnostico: ad esempio, i container per il trasporto delle merci vengono spesso ispezionati tramite raggi gamma che consentono di fotografarne il contenuto. Si utilizzano i raggi gamma anche in medicina nucleare, per studi diagnostici come la PET [6] o per il trattamento di determinate patologie.

Come spiegato in precedenza, non c’è un limite superiore alle energie possibili per la luce. L’intervallo di quelle accessibili è però limitato dalle nostre capacità tecnologiche. Vedremo, nel prossimo paragrafo, quali sono le tecnologie che utilizziamo per sfruttare tutta la radiazione nell’osservazione del cielo.

3. La rivelazione delle onde elettromagnetiche

Siamo appena venuti a conoscenza di quanto lo spettro della radiazione elettromagnetica sia ampio. Si è rivelato utile classificare la luce in bande secondo la sua frequenza e ci siamo resi conto di come la radiazione in bande diverse abbia proprietà molto diverse. In particolare si comporta in modo molto differente quando incontrano la materia: le onde radio generano segnali elettrici nei conduttori, la radiazione visibile viene assorbita o riflessa dalle superfici, i raggi X attraversano spessori sottili e interagiscono con i singoli atomi. Se si vuole quindi utilizzare tutto lo spettro per osservare il cielo,

dobbiamo costruire telescopi molto diversi, ognuno in grado di operare in una banda relativamente ridotta, e combinare le informazioni dei vari strumenti.

C'è ancora un'altra difficoltà da superare: l'atmosfera terrestre. Essa infatti assorbe e filtra la maggior parte della radiazione che arriva sulla Terra. È una protezione essenziale per gli esseri viventi, in quanto alcuni tipi di radiazione sono estremamente pericolosi per gli esseri viventi, ma è allo stesso tempo un limite enorme per l'esplorazione dell'Universo. Solo le onde radio e la luce visibile sono in grado di attraversare l'atmosfera senza subire grandi attenuazioni (Figura 3). Per tutte le altre bande è necessario spostare i telescopi al di sopra dell'atmosfera, su satelliti artificiali.

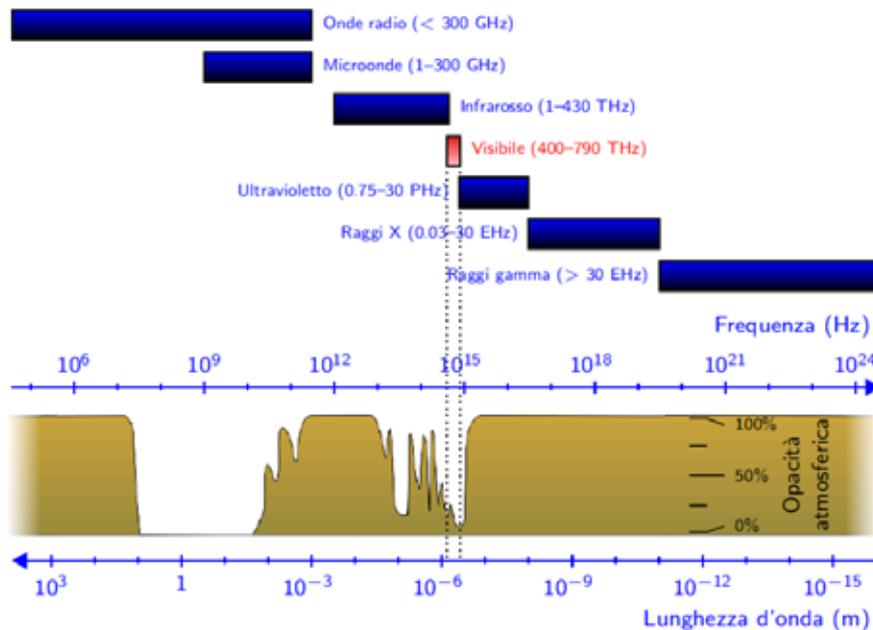


Figura 3. Rappresentazione dell'opacità dell'atmosfera terrestre in funzione dello spettro elettromagnetico.

Nell'osservazione del cielo utilizzando onde radio possiamo quindi posizionare i nostri telescopi a terra. Inoltre, rivelare onde radio è relativamente semplice in quanto si utilizza la tecnologia delle comuni antenne. L'astronomia radio è perciò quella che, dopo l'astronomia ottica, ha goduto di maggior sviluppo. Esistono molteplici radiotelescopi attualmente operativi, i quali sono in genere formati da una antenna parabolica ('disco') che raccoglie i segnali radio e li invia a un ricevitore. Possono operare singolarmente o combinando i segnali provenienti da diverse antenne. Il più grande radiotelescopio a singola antenna è quello di Arecibo, in Puerto Rico, che utilizza un disco di ben 305 metri di diametro costruito all'interno di un avvallamento naturale; è entrato in funzione nel 1963 e da allora raccoglie dati nella banda 50 MHz – 10 GHz. In Italia è in fase di completamento un grande radiotelescopio in Sardegna, a circa 35 Km da Cagliari, denominato SRT *Sardinia Radio Telescope*, [7]. Il suo specchio primario avrà un diametro di 64 metri e raccoglierà dati nella banda tra 0.3 e 100 GHz.

Insieme ai telescopi a terra, diverse missioni spaziali sono state concepite per osser-

vare il cielo tramite onde radio e in particolare tramite microonde. Il primo satellite dedicato è stato COBE (*Cosmic Background Explorer*) [8], lanciato nel 1989 con lo scopo di misurare la radiazione cosmica di fondo nelle microonde (o CMB, *Cosmic Microwave Background*). COBE ha scoperto che questa radiazione segue lo spettro di corpo nero con una temperatura di 2.73 kelvin e ha mostrato delle variazioni spaziali nella sua distribuzione che sono stati il principale argomento di studio delle successive missioni. La missione WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) [9] è stata lanciata nel 2001 proprio con questo scopo e ha raccolto dati fino al 2010 in 5 bande diverse nell'intervallo tra circa 20 e 100 GHz. Per schermare gli strumenti dalle emissioni di Sole, Terra e Luna, il satellite è stato posto in un'orbita molto particolare, intorno al punto di Lagrange L2 del sistema Terra-Sole ovvero a 1,5 milioni di km circa dalla Terra (~ 4 volte la distanza Terra-Luna).

Per osservare la radiazione infrarossa è invece necessario non solo spostarsi al di sopra dell'atmosfera, ma anche allontanarsi da ogni possibile oggetto 'caldo' che, emettendo radiazione infrarossa, andrebbe a confondere i deboli segnali dei corpi celesti. Tra questi oggetti c'è la Terra stessa. Per questo motivo lo *Spitzer Space Telescope* [10] è stato posto in un'orbita intorno al Sole che quindi segue la Terra nella sua orbita e a poco a poco si allontana da essa. Lanciato nel 2003, ha uno specchio primario di 85 cm di diametro che deve essere raffreddato a 5.5 kelvin per sopprimere la sua emissione termica.

Sui telescopi ottici non ci soffermeremo, dal momento che sono studiati e utilizzati da più di quattro secoli. Sebbene l'atmosfera sia trasparente nello spettro visibile, essa rappresenta comunque un problema in quanto la sua turbolenza deforma il fronte d'onda e distorce l'immagine. Le possibili soluzioni comprendono la scelta accurata del sito di osservazione, generalmente ad alta quota e con condizioni atmosferiche stabili, o l'utilizzo di ottiche adattive che modificano in maniera attiva la superficie dello specchio e correggono le distorsioni. Porre il telescopio in orbita è sempre una soluzione valida, ma estremamente costosa. L'esempio più famoso è il Telescopio Spaziale Hubble, messo in orbita nel 1990 e ancora attivo, grazie a ben 5 missioni di servizio che hanno sostituito i componenti guasti o deteriorati. Lo specchio primario di Hubble è di 2.4 metri, relativamente piccolo se consideriamo che i grandi osservatori a terra hanno specchi fino a 8-10 metri di diametro, ma, grazie alle sue elevate prestazioni, ha riscosso un enorme successo scientifico. Il telescopio Hubble è inoltre in grado di osservare la luce ultravioletta tra 115 e 320 nm di lunghezza d'onda, normalmente assorbita dall'atmosfera terrestre.

Per osservare frequenze maggiori, ovvero raggi X, sono richieste tecniche completamente diverse. Essendo ionizzanti, i raggi X vengono assorbiti dagli atomi che incontrano e non possono essere deviati da specchi o lenti come la luce visibile. Inoltre, è necessario portare gli strumenti al di sopra dell'atmosfera che assorbe tutta la radiazione ionizzante, anche a energie superiori ai raggi X, proveniente dal cosmo.

L'astronomia tramite raggi X si è quindi sviluppata di pari passo con la tecnolo-

gia spaziale. I primi strumenti sono stati semplici contatori di radiazione ionizzante lanciati con razzi, ma il grande passo avanti è stata l'invenzione di sistemi in grado di focalizzare i raggi X. Essi possono infatti essere deviati se incidono con piccoli angoli (minori di $\sim 2^\circ$) su superfici metalliche. Mettendo insieme vari fogli si riescono a focalizzare i raggi X nell'intervallo di energia tra 1 e circa 10 keV in maniera efficiente (Figura 4).

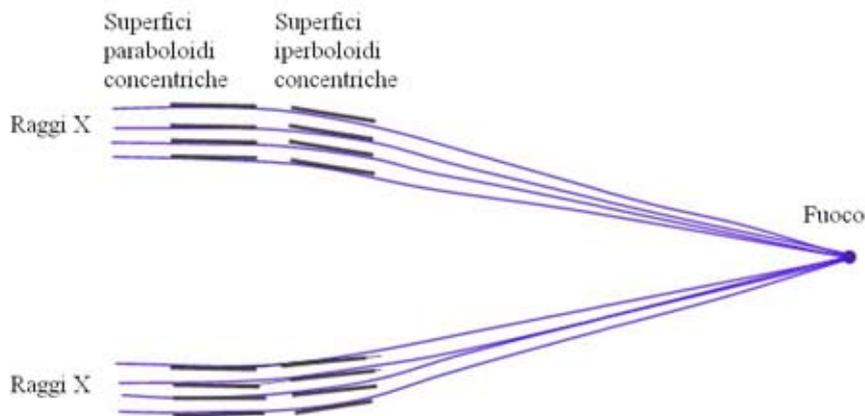


Figura 4. Schema di un'ottica per raggi X.

Le ottiche per raggi X consentono di ottenere risoluzioni angolari estremamente elevate fino a circa 1 secondo d'arco. L'esempio più famoso di telescopio per raggi X è sicuramente il telescopio spaziale Chandra [11], lanciato nel 1999 e ancora in funzione. Il suo specchio ha un diametro di 1.23 metri e una distanza focale di 10 metri circa. Si trova su un'orbita molto ellittica che, con un apogeo di 133000 km, gli consente di essere oltre le fasce di radiazione intorno alla Terra che ne disturberebbero gli strumenti. In questo modo, Chandra è in grado di compiere fino a 55 ore di osservazioni continue e ha una frazione di tempo utile per le ricerche molto maggiore di quella che avrebbe in un'orbita tipica di qualche centinaio di chilometri.

Le ottiche per raggi X perdono efficienza sopra i 10 keV, ma esistono tecnologie che permettono di estendere l'intervallo di energia utile a circa 80 keV e che verranno utilizzate nei prossimi telescopi. A energie superiori, dove non siamo in grado di focalizzare la radiazione, si usano tecniche diverse, come ad esempio dei collimatori che selezionano un angolo di vista molto piccolo in cui misurare l'intensità della radiazione. È possibile sfruttare altresì i processi completamente diversi come la 'produzione di coppia' (che vedremo nel prossimo paragrafo) tramite le tecnologie sviluppate per la fisica delle particelle fondamentali. Un esempio è il *Large Area Telescope* (LAT) a bordo dell'osservatorio spaziale Fermi [12], che è stato lanciato nel 2008 e fornisce dati nella banda tra 20 MeV (mega-eV, un milione di elettronvolt) e circa 300 GeV (giga-eV, un miliardo di elettronvolt). Insieme al LAT, l'osservatorio ha a bordo un secondo strumento chiamato *Gamma-ray Burst Monitor* (GBM) che invece opera nella banda tra 10 keV e 30 MeV circa ed è dedicato allo studio di particolari fenomeni astrofisici in cui

lampi di raggi gamma appaiono nel cielo all'improvviso e durano per pochi secondi o minuti.

La varietà di strumenti e di tecniche utilizzate oggi per esplorare il cielo si è dimostrata cruciale per scoprire sempre nuovi fenomeni che avvengono nell'Universo e per capire come sono fatti e come si comportano gli oggetti celesti, per poi classificarli in tipologie diverse. Per comprendere l'Universo bisogna guardarlo nel suo insieme, perché la radiazione luminosa che osserviamo porta informazioni diverse in base alla sua frequenza. Per fare qualche esempio, nelle microonde studiamo soprattutto la radiazione cosmica e l'origine dell'Universo, ma anche la distribuzione di materia nella galassia; nella radiazione visibile o ultravioletta riusciamo a distinguere bene la forma e l'estensione dei vari oggetti; la radiazione ad alta frequenza invece ci dà informazioni su quanta energia viene emessa e sui processi non termici che avvengono. Lo stesso corpo celeste può apparire il modo molto diverso a lunghezze d'onda diverse, come mostrato in Figura 5 per la nebulosa del Granchio.

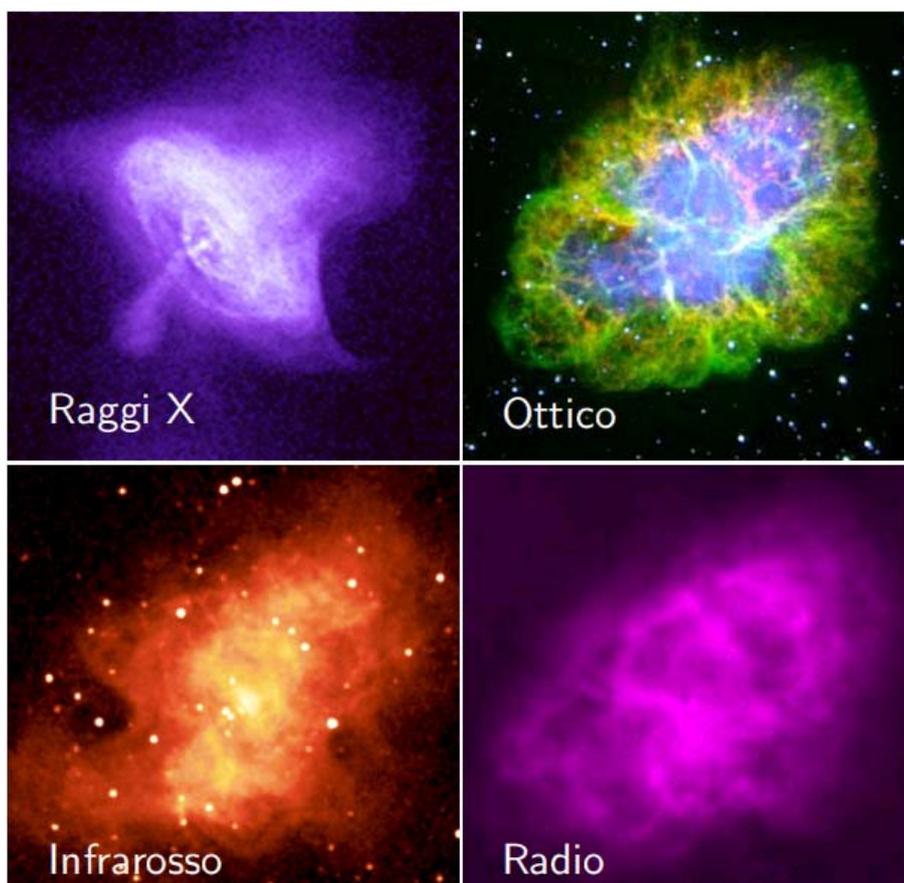


Figura 5. Nebulosa del Granchio osservata in quattro diverse bande della radiazione elettromagnetica.

4. Astronomia a raggi gamma: il *Large Area Telescope*

A partire dal Seicento, si è dibattuto a lungo sulla natura della luce, se si trattasse di un'onda o di una particella. Nei §§ 1-3 abbiamo utilizzato le onde per spiegare le

caratteristiche della luce e descriverne il comportamento. Ci siamo però resi conto che quando la lunghezza d'onda è confrontabile con la lunghezza caratteristica dei costituenti della materia, atomi e nuclei di atomi, la descrizione ondulatoria della luce non è più adeguata. Considerare un fascio luminoso come formato da tante particelle, i fotoni, fornisce una descrizione più accurata dei fenomeni che osserviamo. La fisica quantistica ci viene incontro e ci mostra come gli stessi fenomeni possono essere descritti utilizzando sia onde che particelle. In realtà la distinzione tra queste due 'nature' della luce non è netta, ma solo formale, ed entrambe possono essere utilizzate per comprendere i fenomeni che osserviamo.

Risulta naturale utilizzare i fotoni per capire perché i raggi X e γ siano in grado di attraversare alcuni materiali senza essere fermati: è come se, nel loro percorso, le particelle di luce vedessero un enorme spazio vuoto con atomi sparsi e ben separati tra loro. Le interazioni con gli atomi sono possibili solo quando i fotoni passano abbastanza vicino ai loro bersagli. La probabilità di interazione – quindi lo spessore che possono attraversare – è proporzionale al numero di possibili bersagli, ovvero alla densità del materiale.

Quando i fotoni incontrano la materia possono subire processi diversi in base alla loro energia e alle proprietà della materia che incontrano (densità, numero atomico, ...). Per i raggi X, il fenomeno dominante è l'effetto fotoelettrico: i fotoni sono assorbiti dagli atomi e ne strappano via elettroni. Per i raggi γ altri effetti diventano importanti, come l'effetto Compton e la produzione di coppia che diventa dominante ad energie superiori a qualche decina di MeV. In quest'ultimo caso, il fotone interagisce direttamente con il nucleo atomico e converte la sua energia in due particelle elementari cariche, un elettrone (e^-) e la sua antiparticella, il positrone (e^+). Questo è il meccanismo alla base dei telescopi per raggi gamma di alte energie come il LAT, che abbiamo incontrato nel § 3.

Vediamo ora come funziona il LAT più in dettaglio. Uno schema del suo funzionamento è mostrato in Figura 6. I fotoni incidenti convertono in coppie elettrone-positrone all'interno di un componente del telescopio, il tracciatore. Per facilitare la conversione vengono impiegati dei piani di materiale ad alta densità ed alto numero atomico – nel caso del LAT si è scelto il tungsteno. Tra i piani di conversione vengono inseriti dei rivelatori di particelle cariche che sono in grado di registrare il punto in cui l'elettrone (o il positrone) è passato. (È bene notare che le particelle cariche si comportano in modo molto diverso dai fotoni quando attraversano la materia. Le prime, infatti, perdono energia gradualmente ionizzando gli atomi intorno al loro percorso.)

Esistono molti tipi di rivelatori di particelle in grado di 'sentire' il campo elettrico degli ioni così prodotti e segnalare il punto di passaggio delle particelle. Nel LAT sono stati utilizzati rivelatori basati sul silicio cristallino, una tecnologia simile a quella dei componenti elettronici. Combinando l'informazione dei singoli rivelatori si può ricostruire il percorso delle particelle cariche e quindi la direzione di provenienza

del fotone. Per misurarne l'energia invece è necessario assorbire la coppia elettrone-positrone. A questo provvede un calorimetro posto al di sotto del tracciatore, formato da una serie di cristalli di ioduro di cesio. Tutto il telescopio è circondato da uno schermo di anticoincidenza che serve a discriminare i fotoni dai raggi cosmici. Questi ultimi sono particelle cariche (soprattutto protoni) naturalmente presenti in orbita e sono molto più abbondanti dei fotoni. Essi possono essere identificati ed isolati perché lasciano segnale nello schermo esterno, mentre i fotoni lo attraversano indisturbati.

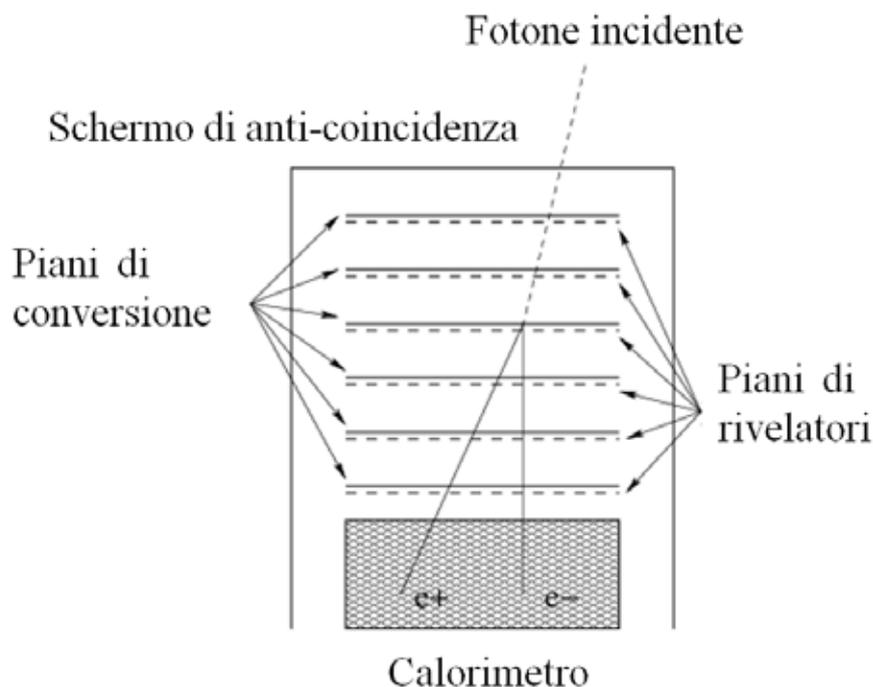


Figura 6. Schema di funzionamento del LAT.

Il *Large Area Telescope* è un progetto della NASA ed è stato concepito e costruito da un team internazionale formato da istituti di ricerca e università di USA, Italia, Francia, Giappone e Svezia. L'Italia ha avuto la grande responsabilità della costruzione del tracciatore, sotto la responsabilità dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). I componenti del tracciatore sono mostrati in Figura 7. Il mattone fondamentale è il singolo rivelatore di particelle, chiamato SSD (*Silicon Strip Detector*). Esso viene assemblato sulle due facce di un supporto meccanico composto da fibra di carbonio su una struttura di alluminio a nido d'ape. Sullo stesso supporto vengono montati i piani di tungsteno e le schede elettroniche di lettura dei rivelatori. Gli elementi così formati, detti "Tray", vengono impilati in una torre in modo da formare strati successivi di convertitori e rivelatori. L'intero strumento è formato da una griglia 4x4 di torri.



Figura 7. Componenti del tracciatore del LAT durante l'assemblaggio dei moduli. In alto a sinistra un singolo SSD, in alto a destra un Tray completo con i sensori visibili su un lato. In basso a sinistra un dettaglio di un Tray in cui è visibile la scheda elettronica di lettura. In basso a destra i Tray sono impilati nella torre e si stanno montando i cavi prima di chiudere i pannelli laterali.

L'integrazione finale di tutti i moduli e del satellite è stata fatta negli Stati Uniti. In figura 8 è mostrato il LAT con la griglia delle 16 torri ben visibile e il satellite completo poco prima del lancio, avvenuto l'11 giugno 2008 da Cape Canaveral in Florida, con un razzo Delta II. La sua orbita è quasi circolare a un'altitudine di circa 565 km, con 25.6° di inclinazione. A differenza di molti telescopi, il LAT ha un enorme campo di vista, pari a 2.4 sr, e funziona in modalità 'survey', ovvero punta sempre in direzione quasi opposta a quella della Terra e osserva tutto il cielo in 3 ore circa (2 orbite). La fase di presa dati è cominciata ufficialmente il 4 agosto 2008 e da allora continua senza interruzioni.

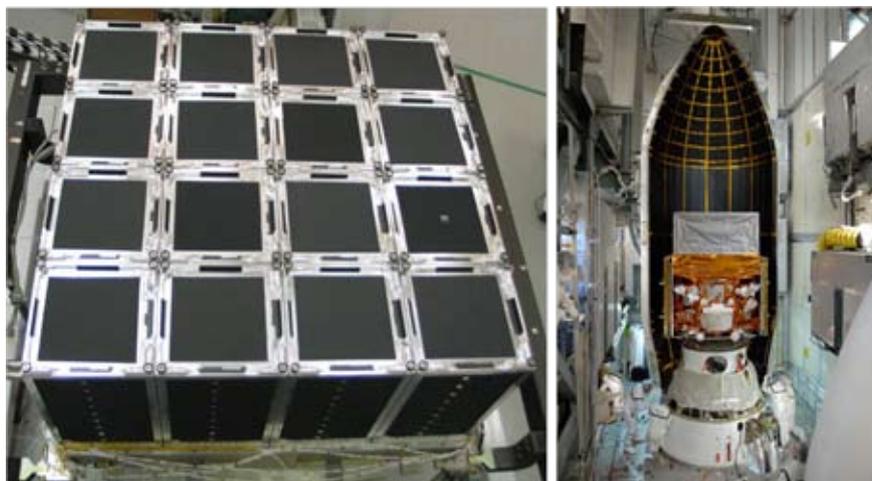


Figura 8. A sinistra il LAT durante la fase finale di integrazione, con le 16 torri del tracciatore chiaramente visibili. A destra il telescopio spaziale Fermi, con a bordo il LAT, integrato sul razzo poco prima del lancio.

I dati raccolti dal LAT sono pubblici, a disposizione dell'intera comunità scientifica, e accessibili tramite internet [13]. In questi anni il LAT ha contribuito a importanti scoperte scientifiche. A titolo di esempio, sono state catalogate più di 1800 sorgenti astrofisiche che emettono raggi γ , circa la metà delle quali sono nuclei galattici attivi in cui si ritiene che un buco nero supermassivo sia responsabile dell'emissione ad alta energia.

Una classe di sorgenti molto interessanti sono le Pulsar, ritenute stelle di neutroni in rotazione, la cui emissione γ è periodica ed è legata al periodo di rotazione della stella. Il LAT ha portato il numero di Pulsar gamma note da 7 a più di 100 consentendo uno studio sistematico delle loro proprietà. Infine, il LAT sta producendo mappe dettagliate dell'emissione gamma diffusa, ovvero non proveniente da singole sorgenti, ma dall'interazione di raggi cosmici nel materiale interstellare nella nostra Galassia. Una mappa di come appare il cielo ad altissime energie è mostrata in figura 9. Si notano facilmente alcune sorgenti puntiformi particolarmente intense, ma la caratteristica più evidente è l'emissione diffusa che ha la sua massima intensità sul piano galattico.

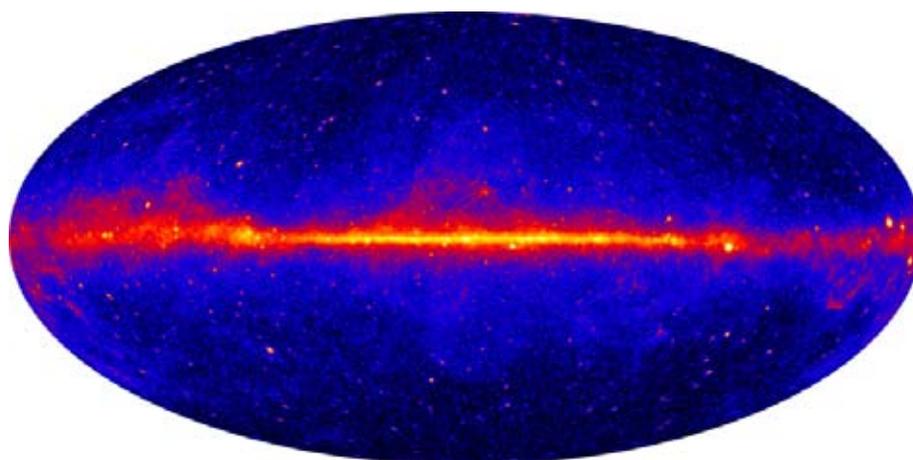


Figura 9. Mappa del cielo visto dal LAT dopo 3 anni di osservazioni (in coordinate galattiche). Si notano molto bene l'elevata luminosità della nostra Galassia (striscia centrale) ed alcune sorgenti puntiformi molto brillanti.

5. Conclusioni

Capire l'Universo è una delle più antiche aspirazioni dell'uomo. L'astronomia è forse la più antica tra le scienze naturali. Da quando i primi astronomi hanno semplicemente guardato gli astri con i loro occhi, si è fatta chiarezza su diversi fenomeni. Soprattutto abbiamo capito il metodo da usare e gli strumenti che dobbiamo sviluppare. Ci si è resi conto, in particolare, di quanto vasta sia la gamma di possibilità offerte dalla radiazione elettromagnetica. Oggi ci sono molti strumenti a disposizione per scrutare il cielo e il loro sviluppo è chiaramente legato alla tecnologia di cui disponiamo. Per migliorare la conoscenza è necessario disporre di strumenti più accurati e più precisi; sono necessarie quindi tecnologie sempre più avanzate e idee innovative su come costruirli e sfruttarli.

Lo strumento migliore che possediamo è sicuramente la passione e la curiosità delle giovani menti che si avvicinano a questa disciplina. Sono loro, infatti, che hanno il compito di sviluppare le prossime generazioni di strumenti, con i quali compiranno le future osservazioni e daranno un significato a quello che vedranno. Solo in questo modo, a poco a poco, otterremo le risposte che cerchiamo da sempre.

BIBLIO/SITOGRAFIA

- [1] http://images.nrao.edu/AGN/Radio_Galaxies/260
- [2] <http://apod.nasa.gov/apod/ap001110.html>
- [3] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1921/index.html
- [4] http://www.spacewx.com/pdf/SET_21348_2004.pdf
- [5] http://it.wikipedia.org/wiki/Onda_radio
- [6] http://it.wikipedia.org/wiki/Tomografia_a_emissione_di_positroni
- [7] <http://www.srt.inaf.it/>
- [8] Boggess, N. W., et al., The COBE mission. Its design and performance two years after launch, *Astrophysical Journal*, 397, 1992, pp. 420-429.
- [9] <http://map.gsfc.nasa.gov/>
- [10] <http://www.spitzer.caltech.edu/>
- [11] <http://chandra.harvard.edu>
- [12] <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>
- [13] Fermi Science Support Center (FSSC): <http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/>

Biologia

VIAGGIO AL CENTRO DELLA CELLULA¹

ANNA MARIA ROSSI

Dipartimento di Biologia, Università di Pisa, Unità di Genetica

Per tutti gli organismi viventi la cellula rappresenta l'unità fondamentale, tanto che in molti casi può costituire da sola un organismo autonomo. La membrana della cellula regola principalmente gli scambi con l'esterno e all'interno di essa troviamo il citoplasma, contenente un insieme di organelli che contribuiscono in vario modo allo svolgimento delle funzioni proprie della cellula. Al centro il nucleo: è qui che si trova il materiale ereditario ed è qui che viene custodita l'informazione genetica, trasmessa da una generazione all'altra di organismi unicellulari, come di quelli multicellulari. È questa la meta del viaggio che ci accingiamo a fare e che è stato reso possibile dallo sviluppo di dispositivi tecnologici molto sofisticati, tali da ottenere immagini ingrandite di oggetti 'microscopici' come le cellule, ma anche di strutture più piccole delle dimensioni di pochi nanometri (nm) come le macromolecole cellulari.²

Tranne rare eccezioni, ogni cellula è dotata di materiale ereditario, nella maggior parte dei casi uguale a quello di tutte le cellule dell'organismo, a partire dalla prima cellula che gli ha dato origine.³ Fin dal primo momento e per tutto l'arco della vita di un organismo, il patrimonio genetico ha un'importanza fondamentale. In particolare, nel DNA sono contenute, in forma codificata, le istruzioni per la sintesi dei principali componenti cellulari – RNA e proteine – che provvedono a organizzare e coordinare una grande varietà di processi fondamentali per la vita della cellula e per realizzare le caratteristiche specifiche di ciascun tipo cellulare sia dell'individuo sia della specie cui esso appartiene.⁴

La decodificazione dell'informazione contenuta nel patrimonio genetico inizia ge-

1 Lezione tenuta a Fucecchio (Pr. di Firenze) l'8 novembre 2011, presso l'ISIS A. Checchi, e a Pisa il 21 novembre 2011, presso l'Istituto Santoni Gambacorti, nell'ambito dell'edizione 2011 di *Pianeta Galileo*.

2 I primi strumenti che potremmo definire come antenati dei microscopi di tipo ottico vennero prodotti intorno alla fine del XVI secolo. Le cellule furono descritte da Robert Hooke già nel 1665, ma solo verso il 1830 – dopo il perfezionamento delle lenti, in particolare la correzione dell'aberrazione cromatica – fu possibile descrivere la struttura interna delle cellule al microscopio. Oggi esistono strumenti molto sofisticati, che hanno un potere di risoluzione migliaia di volte superiore.

3 Fu Rudolf Virchow nel 1858 a concludere che ogni cellula nasce da un'altra cellula preesistente: «*Omnis cellula e cellula*».

4 Con l'aumentare del numero, le cellule di un organismo in genere si differenziano per forma, grandezza, rapporti e funzioni specializzate, fino alla costituzione di tessuti e organi.

neralmente con un processo di trascrizione in cui viene prodotta una copia parziale del DNA in una molecola di RNA, la quale può svolgere diverse funzioni, tra le quali quella di andare incontro a un processo di traduzione, cioè di conversione in una sequenza di amminoacidi che andranno a costituire una proteina. In ciascun momento della vita cellulare – a seconda delle necessità e di specifici segnali intra e intercellulari – ciascun tratto di DNA può essere inattivo oppure trascritto in un RNA (ed eventualmente tradotto in una proteina).

Le caratteristiche di un organismo (fenotipo) dipendono dalle caratteristiche delle sue cellule, le quali dipendono dall'insieme delle molecole che le costituiscono e che a loro volta sono il risultato delle complesse interazioni dinamiche del patrimonio genetico (genotipo) con miriadi di fattori endogeni ed esogeni. Questo implica che non c'è un solo modo in cui l'informazione contenuta nel patrimonio genetico si può realizzare... anzi si può dire che ci sono infiniti 'universi paralleli' possibili. Ogni cellula può utilizzare lo stesso patrimonio genetico in modi e tempi diversi, in relazione a molti fattori anche esterni all'organismo, e ciascuna cellula ha una sua identità biochimica propria, diversa da quella delle altre cellule dell'organismo e capace di cambiare da un istante al successivo.

Il patrimonio genetico contenuto nel nucleo cellulare svolge due funzioni distinte:

- trasmissione dell'informazione alle generazioni successive;
- attuazione dell'informazione in esso contenuta in forma codificata.

1. Trasmissione dell'informazione contenuta nel patrimonio genetico alle successive generazioni cellulari

Questa funzione viene assolta ciclicamente dalla cellula ogni volta che si prepara a duplicarsi. Durante il ciclo cellulare, nel nucleo avviene una replicazione molto accurata del materiale genetico che deve poi essere ripartito in modo molto preciso e controllato tra le due cellule figlie generate dalla divisione cellulare nel processo detto "mitosi". Delle diverse fasi che la cellula attraversa durante la divisione mitotica abbiamo numerose immagini ottenute con il microscopio ottico già a partire dal 1882. Queste immagini ci permettono di ricostruire le diverse fasi del processo, le quali, per la loro delicatezza, richiedono una precisa organizzazione spaziale del materiale genetico, che generalmente si presenta suddiviso in un certo numero di cromosomi formati da complessi di proteine e DNA in stretto contatto fisico.⁵

Per esempio, nella cellula umana ci sono 46 cromosomi e l'intera sequenza del DNA è costituita da 3 miliardi di nucleotidi (o coppie di basi azotate), che sono i costituenti primari della molecola. Se si distendesse l'intero patrimonio genetico di una cellula si avrebbe un filo del diametro di 2nm e della lunghezza di 2m. Tutto questo DNA deve essere organizzato all'interno di un nucleo che ha un diametro di 10-20 micron. Per

⁵ Nel 1892 August Weismann avanzò l'ipotesi che l'informazione genetica fosse conservata nei cromosomi.

dare un'idea, sarebbe come voler fare entrare 20 km di filo, sottile come quello di una ragnatela (Φ 20 micron), in un pallone da calcio (Φ 20 cm).

2. Le nostre cellule hanno una tale quantità di DNA che messa tutta insieme coprirebbe la distanza da qui al Sole e ritorno. Come è impacchettato tutto questo DNA in un minuscolo nucleo?

Come, in vista di un viaggio, si prepara il bagaglio e, più lo si sistema in modo preciso e ordinato, maggiore è la probabilità di poter ritrovare quel che ci serve senza dover tirare fuori tutto alla rinfusa, così il patrimonio genetico deve essere ben organizzato e compattato per poter essere ripartito correttamente tra le cellule figlie.

La nota struttura a doppia elica del DNA rappresenta solo il primo livello di un'architettura molecolare con numerosi livelli gerarchici interdipendenti. Il secondo livello è quello del nucleosoma: il DNA fa due avvolgimenti intorno a un ottamero di proteine istoniche che costituiscono il nocciolo del nucleosoma (10 nm) e il complesso viene stabilizzato dall'istone H1. Questa molecola fa da ponte tra due nucleosomi consecutivi e promuove il riavvolgimento della cromatina in un solenoide che va a formare il livello gerarchico successivo: la fibra di 30 nm. Queste fibre si ripiegano a formare delle anse che si ancorano saldamente a un'impalcatura (*scaffold*) proteica raggiungendo un maggior grado di condensazione. Nel cromosoma al massimo grado di spiralizzazione il DNA è compattato oltre 10.000 volte rispetto alla doppia elica iniziale.

Queste strutture molecolari si possono osservare al microscopio elettronico a trasmissione e a scansione, i quali hanno messo in evidenza i diversi gradi di compattazione del cromosoma: il complesso DNA-proteine può essere sottoposto all'azione di enzimi che digeriscono le proteine e le rimuovono progressivamente. Se il processo è portato fino in fondo, il DNA sarà liberato del tutto dalle strutture proteiche che lo ricoprono [6].

3. Attuazione dell'informazione contenuta nel patrimonio genetico in forma codificata

Molto più recente, rispetto alle immagini al microscopio ottico, che permettono di ricostruire le fasi della divisione mitotica, e di quelle al microscopio elettronico, che permettono di vedere i vari stadi di impacchettamento del DNA nei cromosomi, è la delineazione di una mappa del contenuto del nucleo in interfase, cioè nello stato in cui il patrimonio genetico non è al massimo di compattazione per essere ripartito tra le cellule figlie, ma nel pieno della sua attività di attuazione dell'informazione in esso contenuta.

Sono stati utilizzati metodi innovativi, come la microscopia a fluorescenza, in cui si usano tecnologie basate sull'ibridazione *in situ* tra acidi nucleici (DNA-DNA oppure RNA-DNA) e sull'immunofluorescenza con anticorpi monoclonali prodotti per specifici epitopi di proteine e altri componenti nucleari. Una sonda specifica diretta verso un componente di interesse nel campione da analizzare – per esempio il DNA nel nucleo –

viene marcata, cioè, coniugata, con una molecola fluorescente detta fluoroforo. Questa molecola, eccitata con un fascio di luce a una specifica lunghezza d'onda, emette a lunghezze d'onda maggiori (quindi di colore diverso dalla luce assorbita). L'osservazione del campione al microscopio a fluorescenza rileverà la posizione del componente di interesse in base alla posizione della sonda fluorescente che lo ha intercettato [5].

Grazie a queste metodologie è stata ampiamente rivista la funzione della cromatina, dapprima considerata fondamentale solo per l'impacchettamento del materiale genetico per la divisione cellulare. Oggi si considera in realtà che la cromatina svolga anche importanti funzioni di controllo dell'attività dei geni. La tradizionale divisione tra eucromatina (ben colorata) ed eterocromatina (meno uniformemente colorata) tracciata dai citologi del secolo scorso ha lasciato spazio a un concetto di struttura dinamica che si apre per rendere il DNA accessibile quando dev'essere trascritto e si richiude quando questo non è più necessario.

La condensazione della cromatina è quindi un fenomeno reversibile legato all'attivazione o alla repressione dell'attività di trascrizione dei geni. Il rimodellamento della cromatina dev'essere rapido e capace di rispondere a segnali di attivazione: i legami tra il DNA e le proteine istoniche devono essere allentati e la doppia elica deve srotolarsi per dare accesso al macchinario della trascrizione. I grossi complessi di trascrizione sono strutture assemblate e scomposte in modo molto specifico per ciascun tipo cellulare e contengono numerosi fattori proteici e altri componenti necessari al processo (fattori di trascrizione, RNA-polimerasi e ribonucleotidi).

Con le nuove tecnologie si è potuto accertare che ciascun cromosoma occupa nel nucleo interfascico un suo specifico "territorio", in cui la fibra di cromatina 'aperta' forma delle anse, come petali di margherita, intorno a centri stabilizzati da specifici complessi proteici detti "isolatori". Queste strutture sono ancorate alla periferia nucleare del proprio territorio dall'interazione con la lamina nucleare, anch'essa di natura proteica. Non si tratta in alcun modo di configurazioni statiche, non solo nel senso che la fibra di cromatina cambia continuamente stato di condensazione e di attività – cioè può essere aperta o chiusa – ma che può anche essere riposizionata nell'ambito del proprio territorio [1, 3].

I territori di cromosomi limitrofi sono parzialmente sovrapposti e le zone di sovrapposizione sono sede di un'intensa attività di scorrimento e di trascrizione del materiale genetico. Queste zone sono state denominate *transcription factory* (impianti di trascrizione): quando un gene deve essere trascritto, la corrispondente porzione del cromosoma si sposta verso una specifica area di trascrizione e quando deve essere silenziato se ne allontana. Nella stessa area è possibile trascrivere contemporaneamente circa 6-8 geni. In ciascuna *transcription factory* si raggruppano specifici complessi che creano 'ambienti' di trascrizione selettivi per gruppi di geni coordinati in risposta a specifici segnali di attivazione. In immagini ottenute con il microscopio confocale a scansione laser si può vedere come la trascrizione avvenga in diverse migliaia di *transcription factory* disperse nel nucleo.

La disposizione spaziale del genoma nel nucleo è quindi un fattore che ne regola l'attività, a seconda del tipo cellulare, per cui da una cellula all'altra e da uno stato all'altro della stessa cellula cambiano l'insieme di geni attivati o repressi e le posizioni reciproche delle regioni cromosomiche passanti dalle *transcription factory* alla periferia del nucleo e viceversa. Nel tempo cambiano quindi anche le interazioni spaziali tra i cromosomi che occupano territori adiacenti.

Il gruppo di Sandra Goetze e dei suoi collaboratori ha usato una tecnica di ibridazione *in situ* a 3D per marcare con due traccianti fluorescenti le regioni di cromatina del solo cromosoma 1 in otto cellule della stessa coltura *in vitro*. Le regioni di cromatina aperta (attiva) erano marcate in verde e quelle di cromatina addensata (inattiva) in rosso. Essi hanno potuto osservare che i due tipi di cromatina cambiano forma e dimensioni da cellula a cellula, ma rimangono sempre confinate in un unico territorio [2].

Con metodi analoghi è stato possibile mappare anche le regioni in cui avvengono altri processi, come quelli riguardanti la replicazione del DNA o la riparazione del materiale genetico danneggiato – che pure sono compartimentalizzati come la trascrizione – per cui possiamo parlare di *replication factory* o di *repair factory*, rispettivamente di impianti di replicazione o di riparazione. La natura di tali impianti è anche molto dinamica: questi si assemblano intorno a un sito di inizio, persistono alcuni minuti, si scompongono e si riformano immediatamente a un sito adiacente, assicurando che la replicazione o la riparazione proceda in modo ordinato [4, 7, 8].

Anche la maturazione dell'RNA trascritto avviene in specifiche aree critiche dove vengono concentrati i componenti cellulari necessari per questo processo, il quale precede la fase di traduzione dell'RNA messaggero che avviene al di fuori del nucleo.

In conclusione possiamo dire che la cromatina nelle sue forme più o meno condensate:

- assicura l'organizzazione spaziale del DNA nel nucleo e la corretta segregazione dei cromosomi durante la divisione cellulare;
- controlla l'accessibilità del DNA per la replicazione, la riparazione e lo stato di attività o di inattività dei geni.

BIBLIO/SITOGRAFIA

- [1] Chakalova, L., Debrand, E., Mitchell, J. A., Osborne, C. S., Fraser, P., Replication and transcription: Shaping the landscape of the genome, *Nature Reviews Genetics*, 6, 2005, pp. 669-677.
- [2] Goetze, S., Mateos-Langerak, J., Van Driel, R. Three-dimensional genome organization in interphase and its relation to genome function, *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 18, 2007, pp. 707-14.
- [3] Lanctôt, C., Cheutin, T., Cremer, M., Cavalli, G., Cremer, T., Dynamic genome architecture in the nuclear space: Regulation of gene expression in three dimensions, *Nature Reviews Genetics*, 8, 2007, pp. 104-115.
- [4] Misteli, T., Beyond the sequence: Cellular organization of genome function, *Cell*, 128(4), 2007, pp. 787-800.
- [5] Vorsanova, S. G., Yurov, Y. B., Iourov, I. Y., Human interphase chromosomes: A review of available molecular cytogenetic technologies, *Molecular Cytogenetics*, 3, 2010, pp. 1-15.
- [6] http://www.accessexcellence.org/RC/VL/GG/ecb/chromatin_packing.php
- [7] <http://www.cellnucleus.com>
- [8] <http://www.chromatin.us/chrom.html>

Linguistica

RAPPORTI TRA LINGUE E MATEMATICA: ESPERANTO E OLTRE

Parte 1. Biiettività fonematica

CESCO REALE

Associazione Mondiale di Esperanto, rappresentante ONU

Festival di Giochi Matematici (www.tuttoenumero.it)

1 Introduzione

Questo articolo è la trascrizione e l'ampliamento dell'omonima conferenza tenuta nel 2011 nell'ambito di *Pianeta Galileo*, progetto promosso dal Consiglio Regionale della Toscana. Lo scopo è quello di mostrare come si possano individuare vari strumenti matematici applicabili allo studio delle lingue che regolano la loro struttura.

Nella conferenza sono stati analizzati i seguenti elementi: biiettività fonematica, biiettività morfologica, associatività e commutatività semantica, opposto e complemento logico, intersezione di insiemi fonetici e semantici nella scrittura cinese, le lingue logiche, linguaggio e metalinguaggio, paradosso 'del barbiere', frasi bisenso, scomposizione semantica in fattori primi, la *Characteristica Universalis* di Leibniz, l'Esperanto come sistema formale (morfemi-assiomi e parole-teoremi), sistemi numerici.

In questo articolo si analizzerà solo il primo tema, espandendolo con analisi che sarebbero troppo lunghe per una conferenza.

2 Biiettività fonematica

Nella parola "gialli" si pronuncia più debolmente la prima o la seconda "i"? A questa domanda il pubblico risponde in genere in maniera eterogenea. Dopo aver fatto ascoltare varie volte una registrazione della parola, c'è chi propende per la prima lettera, chi per la seconda, chi per la parità. L'audio è accompagnato dalla visione di un grafico: il segnale temporale che rappresenta l'onda acustica (Figura 1).

A questo punto si fa ascoltare una registrazione della parola temporalmente invertita, anch'essa accompagnata dal grafico corrispondente (Figura 1). La maggior parte delle persone nota facilmente che in questa seconda registrazione si sente una sola "i", quella all'inizio della parola. Aggiungiamo la trascrizione fonetica: [i l l a ʒ d], ecco i fonemi che ascoltiamo.

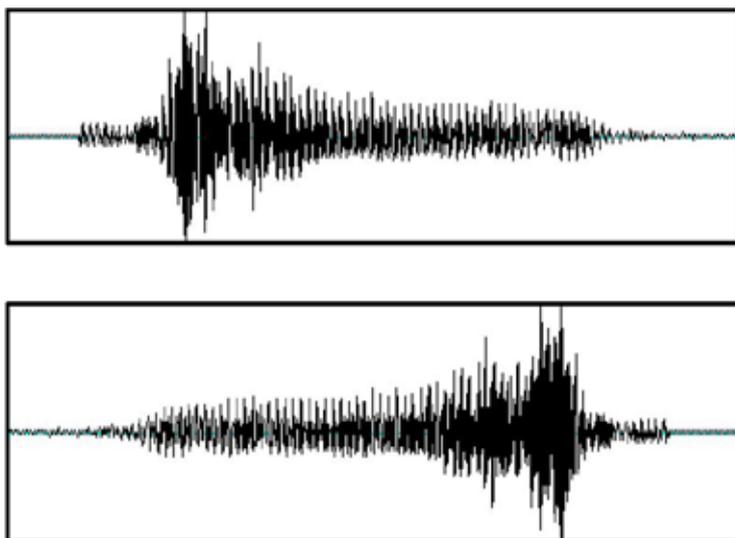


Figura 1.

(Ad essere precisi, il suono della [d] finale è quasi inudibile, per renderlo udibile faccio ascoltare una seconda registrazione in cui ho fatto precedere alla parola “gialli” una breve vocale [ə], registrazione che poi ho invertito temporalmente.) Se però invertiamo temporalmente i foni, essi restano gli stessi pur cambiando l’ordine: quindi in realtà solo una “i” viene pronunciata! Questa è la seconda “i” della parola “gialli”. La prima invece è solo un simbolo grafico per indicare che la “g” non è da pronunciare come oclusiva velare /g/ (come in “galli”), ma come affricata postalveolare /dʒ/.

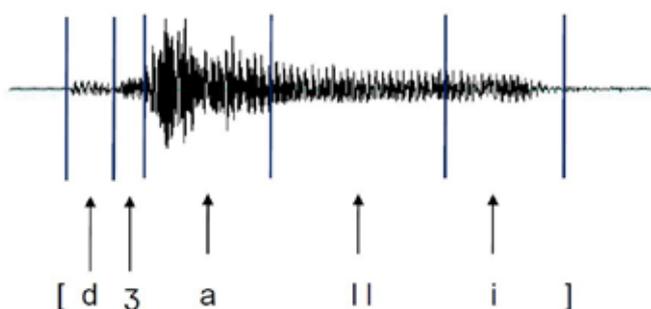


Figura 2.

È, in effetti, credenza comune tra gli italofofoni che la lingua italiana si legga così come si scrive. Indubbiamente, la trasparenza fonemica dell’Italiano è superiore a quella di molte altre lingue quali Inglese, Francese, Olandese. Ciò non vuol dire che questa corrispondenza tra lettere e fonemi sia perfettamente biunivoca (biunivoca).

Vediamone un esempio:



Figura 3.

2.1 Relazione lettere-fonemi

Proviamo allora ad analizzare la relazione esistente in italiano tra lettere e fonemi: definiamo un dominio L (lettere) e un codominio F (fonemi). La relazione diretta $G: L \rightarrow F$ corrisponde alla lettura, mentre la relazione inversa G^{-1} corrisponde alla scrittura. Ci rendiamo conto che non c'è iniettività né in un senso (lettere \rightarrow fonemi) né nell'altro (fonemi \rightarrow lettere). G quindi non è una funzione in quanto esistono elementi del dominio che hanno più di un'immagine (ad esempio, la "c"). Essa è dunque una multifunzione. Inoltre è non iniettiva in quanto esistono elementi del codominio i quali hanno più di una controimmagine (ad esempio, /k/). Notiamo inoltre che, per definire tale relazione G su tutto il dominio, dobbiamo includere nel codominio il fonema nullo //, immagine della H, oltre che in alcuni casi della I, come abbiamo appena visto.

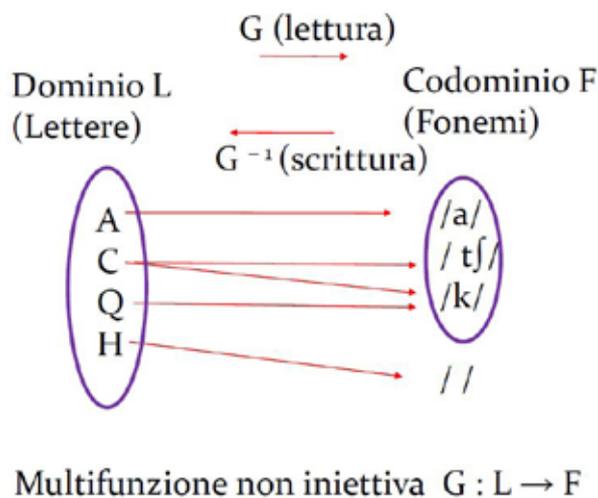


Figura 4.

Il fatto che in entrambi i sensi non ci sia iniettività – e quindi che G non sia una funzione – è una caratteristica scomoda non solo in matematica, ma anche in linguistica. Infatti, restando per ora nell'ambito della fonetica, è molto più facile imparare una lingua se la sua pronuncia è regolare, in particolare se la sua lettura è univocamente definita (funzione) e ancor più se è biettiva.

L'Italiano, nonostante la sua fonetica sia regolata da una multifunzione non iniettiva, è comunque (complessivamente) abbastanza regolare. Altre lingue sono sicuramente meno regolari. Facciamo due esempi tra le lingue a noi più note: Francese e Inglese.

- Francese. Fermo restando che ogni lettera (tranne Z) può essere pronunciata con un valore fonetico che ha anche in italiano, una parola come CHOIX è ben lontana da /koiks/ ma si pronuncia /ʃwa/. Questa è anzi una parola regolare, in quanto in francese molto spesso CH \mapsto /ʃ/, OI \mapsto /wa/, X finale \mapsto /. Ma esistono poi moltissime eccezioni alle regole, per cui possiamo trovare CH \mapsto /k/, X finale \mapsto /s/, o ancora A o L mute (SAOUL \mapsto /su/), F muta (CEUFS \mapsto /ø/), ecc.;
- Inglese. Esso è ancora più irregolare. Facciamo solo qualche esempio di parole che hanno pronunce particolarmente sorprendenti, anche per chi conosce bene la lingua: GAOL \mapsto /dʒeɪl/, GREENWICH \mapsto /'ɡrɛnɪtʃ /, CORPS \mapsto /kɔː/, HICCOUGH \mapsto /'hɪkʌp/, HALFPENNYWORTH \mapsto /'heɪpəθ/.

Possiamo chiederci se esistano lingue foneticamente regolari, cioè regolate da una funzione biiettiva tra lettere e fonemi. Ebbene sì: ad esempio, il Serbo-croato, il Coreano e il Finlandese sono sistemi fonetici perfettamente o quasi perfettamente biiettivi. L'Esperanto è perfettamente biiettivo: 28 lettere, 28 fonemi, a ogni lettera corrisponde un solo fonema e a ogni fonema una sola lettera.

Nel caso dell'Esperanto, tutta la sua grammatica è stata pianificata per essere facile, logica e regolare. Ma anche nei casi precedenti, se oggi troviamo regolarità è perché in determinati momenti storici è stato fatto un lavoro di pianificazione, regolarizzazione e sistematizzazione per ottenere una trasparenza fonematica.

2.2 Indice di biiettività fonematica

Abbiamo parlato di sistemi fonetici più o meno regolari, trasparenti e biiettivi. È però possibile misurare questo parametro? Proponiamo qui degli indici di regolarità della pronuncia.

Cominciamo dall'indice di biiettività lettere-fonemi per l'Italiano. Definiamo, come sopra, un dominio L delle lettere e un codominio F dei fonemi. L contiene le 21 lettere dell'alfabeto italiano. In generale, è bene lasciare fuori le lettere che compaiono solo nei prestiti, per non falsare l'indice. È chiaro che, se considerassimo anche tutte le pronunce strane che hanno molti prestiti in italiano, la regolarità si abbasserebbe molto, modificando sensibilmente la nostra misura. In F possiamo chiederci se inserire uniti o separati i fonemi in corso di neutralizzazione, come /s/ e /z/. Si è optato per la separazione. Inoltre – come detto – dobbiamo inserire in F il fonema nullo / / per poter definire la relazione su tutto il dominio. Totale: 31 fonemi (7 vocali, 21 consonanti, 2 semiconsonanti, 1 fonema nullo).

Possiamo costruire una matrice M in cui a ogni colonna corrisponde una lettera $\lambda \in L$ e a ogni riga un fonema $\varphi \in F$. A ogni elemento $M(\lambda, \varphi)$ della matrice M attribuiremo il valore 1 se la lettera λ può rappresentare (o concorrere a rappresentare) il fonema φ . Altrimenti gli attribuiremo il valore 0.

In alcuni casi λ rappresenta una sequenza di fonemi (che chiameremo “plurifonema”) contenente φ (esempio in Spagnolo: $X \mapsto /ks/$); in altri casi λ appartiene a una sequenza di lettere (che chiameremo “plurigramma”) e quindi concorre a rappresentare il fonema φ (es. in Italiano: G in $GN \mapsto /ŋ/$) o un plurifonema contenente φ (es. in Francese: $OI \mapsto /wa/$). In tutti questi casi $M(\lambda, \varphi) = 1$. Come detto, la relazione diretta $G: L \longrightarrow F$ è la lettura, la relazione inversa $G^{-1}: F \longrightarrow L$ è la scrittura.

Ora consideriamo il seguente gioco: Ada estrae una parola a caso da un testo con trascrizione fonetica, ne estrae a caso l’ i -esima lettera λ e la dice a Ugo, il quale non conosce né il numero i , né la parola, ma ha sotto gli occhi la matrice M . Ugo deve dire un fonema che sia immagine di λ e fa un punto se il fonema proposto è rappresentato in quella parola da λ . Se nella parola c’è un’altra lettera uguale a λ ciò non verrà considerato. Se, ad esempio, la lettera sorteggiata è la prima della parola CACI, Ugo fa un punto solo se dice /k/, ma non se dice /tʃ/. Definiamo $p(\lambda)$ la probabilità di attribuire correttamente a λ il fonema che λ effettivamente rappresenta in quel caso.

Per il momento consideriamo equiprobabili i possibili fonemi $\varphi = G(\lambda^*)$ associabili al λ^* scelto, cioè tali per cui $M(\lambda^*, \varphi) = 1$. Sotto questa ipotesi, $p(\lambda)$ è il reciproco del numero di tali fonemi. Ad esempio la lettera G in italiano può essere associata a 4 fonemi: /g/, /dʒ/, /ŋ/, /ʎ/. Quindi $p(G) = 1/4$.

Definiamo I_{RL} “indice di regolarità in lettura” (ovvero, I_{IS} “indice di iniettività in scrittura”) come la media aritmetica di tutte le $p(\lambda)$ calcolate per le varie lettere nel dominio L .

Possiamo ripetere lo stesso ragionamento scambiando lettere e fonemi e considerando la relazione di scrittura $G^{-1}: F \longrightarrow L$. Dato un fonema φ scelto a caso in una parola scelta a caso, definiamo $p(\varphi)$ la probabilità di attribuire correttamente a φ la lettera da cui φ è effettivamente rappresentato in quel caso. Per il momento consideriamo equiprobabili le possibili lettere $\lambda = G^{-1}(\varphi^*)$ associabili al φ^* scelto, cioè tali per cui $M(\lambda, \varphi^*) = 1$. Sotto questa ipotesi, $p(\varphi)$ è il reciproco del numero di tali lettere. Ad esempio, il fonema /k/ in Italiano può essere rappresentato da 2 lettere: C oppure Q . Quindi $p(/k/) = 1/2$. Definiamo I_{RS} “indice di regolarità in scrittura” (ovvero I_{IL} “indice di iniettività in lettura”) come la media aritmetica di tutte le $p(\varphi)$ calcolate per i vari fonemi in F (codominio di G e dominio di G^{-1}). L’“indice di biattività” I_B è definito come la media aritmetica di I_{RL} e I_{RS} .

Riportiamo di seguito i valori calcolati per Francese, Italiano, Spagnolo ed Esperanto e le matrici relative:

	Francese	Italiano	Spagnolo	Esperanto
I_{RL}	44.3%	72.6%	86.7%	100%
I_{RS}	57.2%	91.9%	81.2%	100%
I_B	50.8%	82.3%	83.9%	100%

Figura 5.

Matrice della relazione lettere-fonemi per il francese

Fransais	A	Æ	B	C	Ç	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	œ	P	Q	R	S	T	U	V	X	Y	Z	p(φ)						
/a/	1					1					1					1									1				5	0.2			
/æ/	1																												1	1			
/ɑ/	1						1						1	1															4	0.25			
/b/			1																										1	1			
/k/				1													1							1					3	0.333			
/j/					1					1																			2	0.5			
/d/						1																							1	1			
/e/	1	1					1				1					1									1				6	0.167			
/ɛ/	1						1				1													1					4	0.25			
/é/							1				1		1	1											1				5	0.2			
/œ/	1						1				1																		3	0.333			
/ø/							1									1													2	0.5			
/œl/							1									1													2	0.5			
/ʀ/								1		1							1												3	0.333			
/g/									1															1					2	0.5			
/l/	1					1	1	1		1	1					1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0.077				
/ʎ/											1														1				2	0.5			
/j/											1	1													1				3	0.333			
/ʒ/								1																					1	1			
/ʋ/												1																	1	1			
/m/														1															1	1			
/n/															1														1	1			
/ɲ/									1						1														2	0.5			
/o/	1															1								1					3	0.333			
/ɔ/	1															1							1						3	0.333			
/ɔ̃/													1	1	1														3	0.333			
/p/																	1												1	1			
/b/																		1											1	1			
/s/				1	1														1	1				1					5	0.2			
/z/																				1	1						1	1	3	0.333			
/ʀ/																													1	1			
/u/															1														2	0.5			
/y/																								1					1	1			
/w/												1			1											1			3	0.333			
/y/																							1						1	1			
/y/																							1						1	1			
/y/																							1						1	1			
/œl/													1	1									1						3	0.333			
																															0.443	I _{RS}	
	9	1	1	3	1	2	9	2	3	3	8	3	5	6	6	3	3	1	1	3	3	7	1	5	8	2							
p(λ)	0.111		1							0.333		0.111		0.5		0.333				0.333								0.5					
																															0.572		0.508
																														I _{RL}		I _B	

Figura 6.

Matrice della relazione lettere-fonemi per l'italiano

Italia no	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z			p(ϕ)		
/a/	1																							1	1	
/b/		1																							1	1
/k/			1												1										2	0.5
/tʃ/			1																						1	1
/d/				1																					1	1
/e/					1																				1	1
/ɛ/					1																				1	1
/f/						1																			1	1
/g/							1																		1	1
/dʒ/							1																		1	1
/ɲ/							1				1													2	0.5	
/ʎ/							1			1														2	0.5	
/l/								1	1															2	0.5	
/i/									1																1	1
/j/									1																1	1
/ʎ/										1															1	1
/m/											1														1	1
/n/												1													1	1
/o/													1												1	1
/ɔ/													1												1	1
/p/														1											1	1
/tʃ/																1									1	1
/s/																	1								1	1
/z/																	1								1	1
/ʃ/			1															1						2	0.5	
/ʎ/																			1						1	1
/u/																				1					1	1
/w/																					1				1	1
/v/																						1			1	1
/tʃs/																									1	1
/dz/																									1	1
	1	1	3	1	2	1	4	1	3	2	1	2	2	1	1	1	3	1	2	1	2					
p(λ)	1	1	0.333	1	0.5	1	0.25	1	0.333	0.5	1	0.5	0.5	1	1	1	0.333	1	0.5	1	0.5					
																								0.812		
																								0.839		

Figura 7.

Matrice della relazione lettere-fonemi per l'esperanto

Esperanto	A	B	C	Ĉ	D	E	F	G	Ĝ	H	Ĥ	I	J	Ĵ	K	L	M	N	O	P	R	S	Ŝ	T	U	Ŭ	V	Z			p(φ)							
/a/	1																														1	1						
/b/		1																														1	1					
/ts/			1																													1	1					
/tʃ/				1																													1	1				
/d/					1																												1	1				
/e/						1																											1	1				
/f/							1																										1	1				
/g/								1																										1	1			
/dʒ/									1																									1	1			
/h/										1																								1	1			
/x/											1																							1	1			
/i/												1																						1	1			
/j/													1																					1	1			
/ʒ/														1																				1	1			
/k/															1																			1	1			
/l/																1																		1	1			
/m/																	1																	1	1			
/n/																		1																1	1			
/o/																			1															1	1			
/p/																				1														1	1			
/r/																					1													1	1			
/s/																						1												1	1			
/ʃ/																							1											1	1			
/t/																								1										1	1			
/u/																									1									1	1			
/w/																										1								1	1			
/v/																											1							1	1			
/z/																												1						1	1	1		
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
p(λ)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		^I RS		
																																					1	1
																																					^I RL	^I B

Figura 9.

2.3 Altri indici di regolarità della pronuncia

A questo punto possiamo estendere lo stesso procedimento ad altri casi. Innanzitutto possiamo variare dominio e/o codominio. Finora abbiamo considerato la relazione lettere-fonemi (indici fonematici), ma potremmo studiare la relazione *lettere-foni* (indici fonetici), ad esempio per misurare quanto sono frequenti le variazioni allofoniche in una lingua. I valori degli indici fonetici non possono essere maggiori di quelli dei rispettivi indici fonematici. L'alfabeto fonetico internazionale è pensato per essere perfettamente biiettivo rispetto alla relazione *grafemi-foni*.

Potremmo inoltre studiare la relazione *plurigrammi-plurifonemi* – come definita nel § 2.2, ove i plurigrammi sono sequenze di lettere e i plurifonemi sono sequenze di fonemi – e considerare i relativi indici, che chiameremo “plurifonematici”. Questo consente di gestire meglio casi come il Francese $OI \mapsto /wa/$ e di codificare nella matrice le regole di pronuncia che si riferiscono a gruppi di lettere. I valori degli indici plurifonematici tenderanno quindi a essere maggiori di quelli degli indici fonetici, a patto di scegliere opportunamente dominio e codominio. Presentiamo di seguito una matrice plurigrammi-plurifonemi per il Francese: I_{RL} è aumentato da 57.2% a 69.3%, I_{RS} da 44.3% a 80.2%, I_B da 50.8% a 74.8%.

lettera λ vediamo a che fonema (o fonemi) φ essa è associata e incrementiamo di 1 l'elemento $M(\lambda, \varphi)$, ottenendo una rappresentazione di frequenza. Detta N la somma finale di tutti i valori della matrice, la $p(\lambda)$ diventa:

$$(1) \quad p(\lambda) = \text{MAX}_{\varphi} \frac{M(\lambda, \varphi)}{N}$$

Infatti, per Ugo la migliore strategia è puntare sempre sul fonema con massima probabilità tra quelli associabili alla lettera scelta.

Detta N_L la cardinalità di L (il numero di lettere) e N_F la cardinalità di F (il numero di fonemi), la probabilità di presentazione della lettera λ è:

$$(2) \quad q(\lambda) = \sum_{\varphi=1}^{N_F} \frac{M(\lambda, \varphi)}{N}$$

e I_{RL} diventa la media delle $p(\lambda)$ pesate rispetto alle rispettive probabilità di presentazione $q(\lambda)$:

$$(3) \quad I_{RL} = \sum_{\lambda=1}^{N_L} p(\lambda) q(\lambda)$$

Analogamente:

$$(4) \quad p(\varphi) = \text{MAX}_{\lambda} \frac{M(\lambda, \varphi)}{N} \quad q(\varphi) = \sum_{\lambda=1}^{N_L} \frac{M(\lambda, \varphi)}{N} \quad I_{RS} = \sum_{\varphi=1}^{N_F} p(\varphi) q(\varphi)$$

I_B resta uguale alla media aritmetica di I_{RL} e I_{RS} . Chiameremo questi nuovi indici "a posteriori", per distinguerli dai precedenti che chiameremo "a priori".

3. Conclusioni

Gli indici proposti offrono dei modi per misurare il concetto di *regolarità* della pronuncia nei significati esposti e permettono quindi di comparare lingue diverse mediante questo parametro. Ciò permette di capire quantitativamente perché sistemi fonetici che sono stati parzialmente o totalmente pianificati/sistematizzati sono più logici, regolari e facili da apprendere rispetto ad altri. L'Esperanto ne è un esempio; e il suo indice di biattività fonematica è massimo, cioè 1 (100%).

Nel seguito della conferenza sono stati applicati procedimenti simili per studiare la morfologia e la semantica, mostrando che anche in questi ambiti la pianificazione può migliorare la regolarità e la facilità di apprendimento.

BIBLIO/SITOGRAFIA

Eco, U., *La ricerca della lingua perfetta*, Laterza, Roma-Bari 1993.

Migliorini, B., *Manuale di Esperanto*, Paolet, San Vito al Tagliamento 1922.

Canepari, L., *Introduzione alla fonetica*, Einaudi, Torino 1979.

Minnaja, C., Lingvistikaj aplikoj de iuj matematikaj teknikoj, in *Miscellanea Interlingvistica*, a cura di I. Szerdahelyi, Tankonykiadó, Budapest 1980, pp. 161-169.

Dodero, N., Baroncini, P., Manfredi, R., *Lineamenti di matematica. Modulo B. Relazioni. Funzioni. Calcolo letterale. Per i Licei*, Ghisetti e Corvi, Lecce 2000.

http://it.wikipedia.org/wiki/Lingua_esperanto

Studi sulla facilità e propedeuticità dell'Esperanto:

<http://easiestlanguage.info/LanguageLearningResearch.html>

Video introduttivo alla lingua e al mondo esperantista, in 6 capitoli:

<http://www.youtube.com/watch?v=ApF7fWXpQYQ&feature=related>

Storia della scienza

FRANCESCO REDI, PIONIERE DELLA MEDICINA E DELLA FARMACOLOGIA SPERIMENTALE

WALTER BERNARDI

Facoltà di Lettere e Filosofia di Arezzo, Università di Siena

1. Pietro Andrea Mattioli e i primi esperimenti di farmacologia

Qualche anno fa, per sottolineare il carattere eccezionalmente pervasivo assunto dalla scienza contemporanea, Edoardo Boncinelli ha scritto che la ricerca sta vivendo un momento di così straordinaria accelerazione che si potrebbe pensare che al giorno d'oggi siano all'opera contemporaneamente, in diverse parti del mondo, «tre Aristotele, due Platone, quattro Galileo, cinque Pascal e una manciata di Malpighi e di Spallanzani» [3]. Considerando le grandi conquiste che, nel giro di pochi anni, sono state realizzate da tanti ricercatori nel campo della genetica, della bio-medicina e della farmacologia, forse alla lista si potrebbe aggiungere anche il nome di Francesco Redi, se non fosse che, rispetto agli altri, il medico e naturalista aretino è «più noto che conosciuto, più citato che studiato» e non gode ancora, nonostante molte indagini recenti, della fama che meriterebbe.¹

Negli studi di storia della medicina si afferma generalmente che il primo scienziato a mettere in atto uno studio clinico controllato a scopo terapeutico con impiego di volontari sia stato, nel 1747, il chirurgo della marina inglese James Lind, il quale aveva dato alle stampe nel 1753 un saggio intitolato *A treatise of the scurvy*, destinato a rimanere a lungo dimenticato. Lind aveva scelto un campione di dodici malati di scorbuto, li aveva divisi a due a due in sei coppie per testare sei diverse terapie, giungendo alla conclusione che il rimedio più efficace per curare la malattia cronica dei marinai era il succo di agrumi [4, p. 156]. La cosa che sorprende di più è che questa affermazione, ripresa dalla letteratura di lingua inglese, sia rilanciata da studiosi italiani, i quali non conoscono evidentemente che quasi un secolo prima era stato proprio Redi a mettere a punto, in modo formalmente corretto, un procedimento di questo tipo.

Com'è noto, il ricorso a vivisezioni umane, praticate su condannati a morte o schiavi musulmani, non erano state infrequenti nell'Italia del Cinquecento. Lo stesso valeva per sperimentazioni che prevedevano l'assunzione coatta di veleni da parte ancora una volta di criminali che si erano macchiati di delitti efferati, sia per verificarne le modalità

¹ [15, p. 5]. Tra i tanti contributi che ho dedicato a Redi, prima e dopo la ricorrenza nel 1997 del terzo centenario della sua morte, mi sia consentito ricordare, oltre al sito internet <http://www.francescoredi.it/>, [2].

di azione sia per testare la validità di eventuali rimedi. Un illuminante esperimento di questo tipo, con due cavie umane utilizzate per un embrionale esperimento di ricerca e parallelo esperimento di controllo, si trova registrato nei Discorsi di Pietro Andrea Mattioli.

Il celebre botanico senese, insuperato commentatore di Dioscoride e fondatore della farmacopea moderna, raccontava di aver veduto personalmente l'effetto che faceva il «veleno crudelissimo del napello», una delle piante più tossiche che crescono sulle Alpi, «in ammazzare gli uomini» a Roma «al tempo di Clemente VII Pontefice Romano», cioè durante un soggiorno che aveva preceduto il sacco della città del 1527. Anche se non era mosso da intenzioni propriamente cristiane, né tantomeno intenzionato a promuovere lo sviluppo della scienza, il Papa aveva deciso di «vedere l'esperienza d'un certo olio, composto contra i veleni», e aveva impartito ordini perentori. Le cavie immolate sull'altare dell'esperienza erano stati «due corsi assassini, i quali dovevano essere impiccati»; il primo, che aveva mangiato una robusta dose di aconito «in un marzapane», era stato deciso che «fosse unto dell'olio» miracoloso; l'altro, che ne aveva preso «meno», era stato invece abbandonato alla natura, lasciandolo «morire senza rimedio alcuno» per «vedere l'effetto del veleno». Il risultato aveva dato ragione alla perizia di «Fra Gregorio Caravita bolognese» che, oltre a essere stato il maestro di Mattioli a Perugia, aveva messo a punto l'antidoto, perché «in termine di poche ore» la seconda vittima «se ne morì miseramente, con tutti quei crudelissimi accidenti che Avicenna scrive fare il napello»; mentre il primo prigioniero, che aveva goduto della prodigiosa unzione dell'olio, aveva subito anche lui gli effetti tossici del veleno, ma era riuscito a salvare la pelle e nel termine di «tre giorni» stava meglio di prima. Non è dato sapere, né era affare dello scienziato specificarlo, quale fosse stata la sua sorte successiva [10, p. 612; cfr. 5, p. 127].

2. Francesco Redi, scienziato e cortigiano

Pochi scienziati moderni sono riusciti a svolgere, in modo così organico e continuo come Francesco Redi, il doppio ruolo di scienziato e di cortigiano. Membro delle accademie della Crusca e del Cimento, archiatra dei Granduchi di Toscana Ferdinando II e Cosimo III e responsabile della spezieria medicea, Redi incarnò più di chiunque altro, anche dello stesso Galileo, la figura dello scienziato cortigiano, visto che nella corte di Palazzo Pitti passò praticamente tutta la vita, dal 1660 fino alla morte nel 1697 [1].

Anche fisicamente, le indagini di anatomia comparata, di fisiologia, di tossicologia e di farmacologia sperimentale di Redi si svolgevano a corte, ne seguivano i rituali, i ritmi di vita e perfino gli spostamenti tra le sedi di Firenze, Pisa e Livorno. Sfruttando le prerogative del proprio ruolo, lo scienziato aveva accesso a una quantità di materiale sperimentale che nessun ricercatore privato del tempo poteva sognare. Grazie alle attrezzature e al personale della spezieria granducale disponeva di un'enorme quantità di serpenti e di scorpioni dai quali prelevare il veleno necessario per le proprie ricerche. Nelle cucine di corte c'era un'incredibile abbondanza di selvaggina, catturata nel corso

delle caccie granducali per i boschi della Toscana. Al Granduca venivano inoltre regalati in continuazione da parte dei pescatori livornesi pesci di ogni genere, mentre il serraglio e i giardini di Firenze erano rinomati in tutta Europa per la presenza di animali esotici e curiosità naturalistiche provenienti dai paesi d'oltremare, che, dopo la morte, venivano consegnati a Redi perché ne facesse non solo l'anatomia ma anche il disegno grazie ai numerosi pittori di corte.

Lo scienziato aretino aveva dunque i suoi buoni motivi per rallegrarsi, finché era vissuto Ferdinando II, del fatto che il suo mecenate non avesse lasciato mancare «nulla alle [sue] voglie, con una generosità indicibile», e di rimpiangere poi, quando nel 1670 il Granduca era morto, di aver perduto «molto più di quello che il mondo» poteva «immaginarsi» [13, vol. VI, p. 281; VII, p. 213]. Una conclusione alla quale era arrivato anche il suo grande amico e confidente livornese, lo «speziale» Diacinto Cestoni, il quale non aveva dubbi sul fatto che «tutto quello che il Redi operò (o la maggior parte)», lo aveva realizzato «a tavolino con la gran borsa del Gran Duca Ferdinando de' Medici» [6, vol. I, p. 94].

Nonostante i privilegi di cui poteva godere lo scienziato di corte, non era tutto rose e fiori a Palazzo Pitti. I doveri della carica e gli obblighi del cerimoniale imponevano all'archiatra granducale una serie di incombenze che non si conciliavano affatto con la sua passione per la scienza. In primo luogo era indispensabile arrivare a corte tutte le mattine in tempo utile per «assistere al levar del Serenissimo Granduca» [13, vol. VIII, p. 10]. Se poi qualcuno di casa Medici era ammalato, Redi non poteva lasciare la reggia nemmeno un istante, «né di giorno né di notte», e spesso non tornava a casa per settimane.² «Io sono ancora qui a Palazzo» – scriveva alla cognata Anna – «e son già più di cinquanta giorni che non sono tornato né poco né punto a casa, né meno per un momento di ora».³

3. Anatomista devoto e ... spietato

Al pari di quasi tutti gli anatomisti del Cinquecento e del Seicento, anche Redi non aveva difficoltà a riconoscere all'anatomia, almeno nelle sue prese di posizione pub-

2 Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, Nuovi Acquisti 891, IV, 2, lettera alla Granduchessa Vittoria della Rovere del 18 marzo 1664.

3 [14, p. 280]. Le lamentele dei medici di corte di non avere tempo libero a sufficienza per dedicarsi alla ricerca scientifica costituiscono un topos letterario che si ritrova, pressoché con gli stessi accenti, in contesti storici e sociali anche molto distanti tra di loro. Il grande filosofo e medico ebreo Mosè Maimonide, che durante il medioevo aveva svolto al Cairo la funzione di medico del sultano, scriveva a un amico che questo compito era «molto impegnativo»; non solo vedeva il sovrano «ogni giorno, già di prima mattina», ma – aggiungeva – «quando lui, o uno dei suoi figli, o una delle sue concubine si ammala, sono come prigioniero, passo quasi tutto il giorno a corte» [8, p. 156]. Qualche secolo dopo, quando esercitava ancora a Gorizia prima di trasferirsi a Praga come medico personale dell'imperatore Ferdinando I d'Asburgo, anche Mattioli confidava di non essere «signore di tanto tempo, che a pena possa alle volte soccorrere alli bisogni del corpo mio». Lettera a Ulisse Aldrovandi del 21 novembre 1553 [7, p. 77].

bliche, un ruolo funzionale rispetto alla religione, perché il corpo umano, in quanto microcosmo di meraviglie strutturali perfettamente adeguate, rappresentava la più perfetta dimostrazione della creazione divina del mondo e del carattere provvidenziale delle forme viventi. Come aveva sottolineato un altro grande amico di Redi, il padre gesuita Paolo Segneri, l'anatomista non poteva, per forma mentis e pratica di ricerca, fare professione di agnosticismo, o peggio di ateismo. Non si trattava solo di un fatto storico indiscutibile, dato che, ribadiva il religioso, non era «fin'ora avvenuto mai che un uomo insigne nella professione anatomica sia ateista»; questo principio gli era stato ribadito di persona proprio dallo scienziato aretino.

Scrivendo Segneri:

Questo è il sentimento comune di tutti i professori di tale scienza, uno de' quali ha detto a me non trovarne per sé medesimo verun'altra, la quale più di questa lo innalzi a Dio.⁴

Non lavorando in modo professionale in un ospedale o in una università, Redi non disponeva di un teatro anatomico e non aveva impegni che lo obbligassero a fare dimostrazioni a scopo didattico. E se pure qualche volta ammetteva qualche amico o visitatore ad assistere alle sue sperimentazioni, normalmente anatomizzava per interesse personale allo scopo di indagare i misteri dell'organizzazione vivente. Solo di rado, in genere per scopi terapeutici ma senza troppa convinzione, lo scienziato aveva trovato tempo e voglia per fare autopsie di cadaveri umani. Ecco quello che scriveva a Cestoni il 9 dicembre 1684:

È morta la Marchesa Corsi vecchia: io gli ho trovato il fiele tutto impietrito e nel canale biliario, che dalla vescica del fiele va agl'intestini, vi ho trovato un turbine, cioè un nicchio di questa grandezza, vero nicchio di quegli che si trovano in mare, e di figura, e di sostanza, e della medesima durezza. Or valla a indovinar tu [13, vol. IV, p. 380].

Oltre ai serpenti, oggetto della prima pubblicazione scientifica di Redi, le Osservazioni intorno alle vipere del 1664, caddero in gran quantità vittime del suo coltello anatomico le tradizionali prede delle caccie granducali: caprioli, cervi, cinghiali, daini, donnole, faine, ghiri, istrici, lepri, lontre, martore, orsi, puzzole, ricci, scoiattoli, tassi, volpi, zibetti. E tra gli uccelli: aironi, aquile, cicogne, cigni, civette, colombacci, cornacchie,

⁴ [16, p. 55]. La conferma che il riferimento di Segneri riguardava proprio Redi ci è data da Alessandro Pascoli, il quale, per difendersi dall'accusa di aver sostenuto la pericolosa teoria cartesiana dell'automatismo animale, confermava anche lui, in un saggio intitolato *Sofilo senza maschera* pubblicato nel 1711, che l'anatomia, in particolare l'anatomia microscopica, costituiva la miglior prova dell'esistenza di Dio. E citando proprio l'insegnamento che aveva ricevuto da Redi all'ospedale di Santa Maria Nuova di Firenze, aggiungeva:

Questo non solo è mio sentimento, fu sentimento di tutti i buoni professori di simile professione. Fu sentimento del gran Francesco Redi, mio buon maestro, di cui fa onorata menzione lo stesso Padre Segneri, nel nobile suo trattato che porta in fronte, a dovere, il titolo d'Incredulo senza scusa [12, p. 224].

corvi, cuculi, folaghe, gabbiani, gazze, germani, gru, gufi, oche, pellicani, pernici, quaglie, tortore. Non potevano poi mancare pesci e molluschi pescati in Arno e nel mar Tirreno: acciughe, anguille, barbi, calamari, delfini, foche, granchi, lucci, murene, ostriche, pescecani, pescispada, polipi, seppie, tartarughe, tonni e torpedini. Un posto del tutto particolare occupavano poi gli animali esotici di origine extra-europea che si trovavano nel serraglio del giardino di Boboli, come cammelli, gazzelle, leoni, leopardi, linci, pavoni, serpenti, scimmie, scorpioni, struzzi, tigri; anche se nel repertorio anatomico rediano non mancavano cavie di ben più facile reperibilità come asini, bruchi, cani, cavalli, conigli, gatti, lombrichi, lucertole, lumache, maiali, mosche, passeri, pecore, piccioni, pipistrelli, porcellini d'India, ramarrì, rane, rondini, salamandre, talpe, topi, vacche, e perfino qualche banalissima gallina.

Redi riteneva perfettamente legittimo, come tutti gli scienziati dell'epoca influenzati dalla filosofia meccanicista cartesiana, effettuare zootomie su animali vivi, considerati alla stregua di semplici 'macchine' prive di sensibilità, e alcune delle sue esperienze erano davvero crudeli.⁵ Incurante dei dolori che infliggeva ad altri esseri viventi, Redi non si peritava di far morire di fame le cavie semplicemente per misurare il loro grado di resistenza al digiuno; nello stesso tempo non perdeva l'occasione per fare questo curioso commento, lui che, da medico di scuola ippocratica, raccomandava sempre ai propri pazienti una dieta rigorosa:

Non è immaginabile quanto si trovino belle le viscere degli animali fatti morir di fame; il che dovrebbe servire per insegnamento, che la dieta ben regolata è la più sicura medicina per rimettere in sesto le viscere degli uomini, e per istasare gl'intrigatissimi canali e andirivieni de' loro corpi [13, vol. III, p. 292].

4. Per una riforma della medicina in senso naturale

Medico e figlio di un medico apprezzato negli ambienti della nobiltà fiorentina, archiatra e direttore della spezieria granducale, Redi aveva elaborato nel corso della sua lunga carriera un sistema organico di medicina che, per la sua forte carica polemica nei con-

5 Il Ms. Redi 30 della Biblioteca Marucelliana di Firenze, intitolato Osservazioni sui mammiferi, raccoglie numerosi protocolli di anatomie di animali nei quali sono descritte con grande vivacità scene di vivisezioni particolarmente crudeli. Il più delle volte la sorte peggiore toccava, chissà perché, ai ricci. Ecco, a titolo di esempio, la trascrizione di alcune pagine che Redi vergava di propria mano sui manoscritti. «Questo riccio, legato con uno spago e stretto forte per una gamba, cominciò subito a gridare e stridere fortissimo, ed anco durò un pezzo a stridere. Ma quando io lo tagliava e gli apriva il ventre e le viscere non fiatò mai» (6 giugno 1683). «Questo riccio lo sparai vivo per vedere se veramente nelle sue viscere era calore di sorte alcuna. [...] Lo sparai, e subito gli cavai il cuore separato da tutti i vasi sanguigni, e messolo sulla tavola durò esso cuore molti minuti a muoversi e palpitar» (14 giugno 1683).

Quando l'ebbi legato per le quattro gambe, e che lo fermai sopra una tavola, cominciò a stridere ad alta voce e stridendo durò un ottavo di ora e poscia si chetò. La sua voce era ah, ah, ah, ah, ah. [...] Questo riccio, nello spararlo, non fece come gli altri degli altri fogli che non gridarono mai. Ma questo subito cominciò a gridare e a stridere, conforme avea fatto quando lo legai: e durò a stridere finché non fu aperto il torace (4 giugno 1685).

fronti della tradizione antica e rinascimentale, aveva finito per assumere i tratti di una vera e propria scuola: la cosiddetta “scuola toscana”. Forte dell’appoggio del Granduca e del proprio ruolo istituzionale, il medico aretino aveva messo in atto un vero e proprio progetto di riforma del sistema sanitario e ospedaliero toscano. Come avrebbe testimoniato Cestoni, ormai dopo la morte dell’amico, solo Redi «avrebbe potuto fare una riforma così grande», che aveva avuto effetti duraturi su tutti gli strati della società, visto che interveniva a modificare in profondità usi e comportamenti dei medici, dei farmacisti e dei malati. L’aveva iniziata, scriveva Cestoni:

Nella Spezieria del Gran Duca, e poi nelle spezierie delli ospedali di Fiorenza, di Pistoia, di Pisa, e di Livorno, con ordine che consumassero quelli che vi erano, ma che non si facesse più composizioni di elettuari, di pillole, di polveri, di siropi composti, d’unzioni, di pittime ec., e li medici ebbero ordine di non ordinar più quelle cose [6, vol. I, pp. 88-9].

La medicina rediana si fondava sul principio che tutte le disfunzioni organiche erano determinate dai “ribollimenti” dei fluidi del corpo, in particolare della linfa, del sangue e del ‘succo nervoso’. Era infatti proprio lo squilibrio prodotto dalla predominanza di particelle acide, salmastre e alcaline nel normale decorso degli umori che provocava le malattie, a causa del potere corrosivo e fermentante che esse esercitavano sui vasi, sugli organi e sulle normali funzioni vitali.

Partendo da questa impostazione tipicamente umoralistica, con forti agganci nella tradizione ippocratica, Redi assegnava alla medicina un compito sussidiario rispetto alle risorse terapeutiche messe in campo dalla natura, che rimaneva la «sola ed unica medicatrice di tutti i nostri mali». «Non sono i medici, non sono i medicinali che guariscano le malattie e le scacciano dai corpi umani», scriveva, «ella è la sola natura, e la buona regola del vivere». Per questo il medico aretino si era fatto interprete, tanto nell’attività privata che nella stesura dei consulti, di una riforma in senso naturale del repertorio terapeutico tradizionale, che raccomandava uno stile di vita sobrio, basato sulla dieta e la prescrizione di rimedi semplici, per lo più di provenienza vegetale. Non a caso, Redi si era sempre mostrato diffidente tanto nei confronti del sofisticato armamentario farmacologico galenico e rinascimentale, quanto nei confronti dei nuovi rimedi della ‘medicina chimica’ paracelsiana. Sconsigliava come «dannosissimo» l’uso del mercurio, mentre l’antimonio lo prescriveva «radissimo», e propugnava un ritorno all’antico, a quella «innocenza della medicina» che era stata inquinata dalla «birba» degli uomini [13, vol. V, pp. 120-21].

Redi giudicava come «ciurmeria senza effetto» – cioè un vero e proprio imbroglio – «tutte le quint’essenze, tutt’i sali, e tutti gli estratti diuretici e sudorifici de’ chimici, siccome ancora tutti gli altri medicinali specifici, e a questo fine proposti da’ galenisti». Anche «quei tanti sciropi, pillole, elettuari, ed altri galenici composti», così diffusi nella medicina del Seicento, non incontravano le simpatie del medico del Granduca, che li reputava inventati «non per altro, che per ingrassare l’ingordigia degli speziali».

Per la cura di ogni malattia bastava, a suo avviso:

con ogni gentilezza temperare, modificare, addolcire, innacquare le particelle saline, nitrose, vitriolate, sulfuree, acri, mordaci che si trovano in tutte quante le sorti di fluidi che corrono e ricorrono per canali grandi e minutissimi del corpo.

Per raggiungere questi risultati Redi prescriveva ai propri pazienti tre cose, in particolare: dieta, purganti e clisteri, oltre ovviamente al salasso nei casi più gravi. Fedele al motto che «dieta e serviziale guariscono da ogni male», e obbedendo a una moda e a una pratica sociale diffusa in ogni strato sociale dell'epoca, egli consigliava fino a tre clisteri al giorno, perché era certamente «miglior partito stuzzicar la stalla che la cucina». Purché, aggiungeva, essi fossero «semplicissimi», privi degli inverosimili ingredienti bolliti che imponevano molti medici del tempo.

Quei diacattoliconi, quei diafiniconi, quelle benedette lassative, quei lattuari di iera, che come sacri sogliono dal volgo essere fitti ne' clisteri – raccomandava con particolare enfasi Redi –, si debbono fuggire come veleno e come una peste, sì come ancora tutti quegli altri olii di ruta, camomilla e d'aneto [14, pp. 107-11].

5. Sperimentazioni farmacologiche rigorosamente controllate

Nonostante la prevenzione nei confronti di una medicina interventista, Redi non aveva potuto fare a meno, anche in considerazione delle proprie ambizioni di carriera e delle aspettative della clientela, di occuparsi di farmacologia sperimentale. La sua sfera di interesse erano stati fin dall'inizio, in linea con le indicazioni terapeutiche umoralistiche, i rimedi utili per favorire il funzionamento dell'apparato intestinale. Già nel 1649 infatti, pochi anni dopo aver conseguito la laurea a Pisa, si era messo «in ruzzo per questa sorta di esperienze per trovare se le cose solutive stillate movevano il corpo». Poi nel 1660, quando aveva fatto il suo ingresso a Palazzo Pitti come medico di corte, seguendo un ordine espresso del Principe Leopoldo, fratello del Granduca Ferdinando II e fondatore dell'accademia del Cimento, aveva iniziato una ricerca sistematica sui cosiddetti «sali fattizi». Il progetto rientrava nelle attività della spezieria granducale ed era finalizzato alla preparazione di un «medicamento lenitivo», cioè un purgante che, «in poca quantità, senza cattivo odore e sapore», potesse essere somministrato «alle persone delicate», come nobili e cortigiani, che erano riluttanti a «medicarsi al modo antico» e che, invece di «pigliare una medicina», preferivano «vivere con molti mesi di male prima che di venire a tale risoluzione».⁶

Tre anni dopo, nel 1663, Redi dava alle stampe una breve memoria sull'argomento, intitolata Osservazioni intorno a' sali fattizi, nella quale spiegava fin nei dettagli più minuti i diversi aspetti della ricerca che aveva sviluppato. La procedura consisteva nel

6 Biblioteca Mediceo Laurenziana di Firenze, Memorie de' sali che si sono prima provati in poca quantità e poi dati con dose proporzionata cominciato alla villa Imperiale di comando di S.A.S. li 19 Maggio 1660, Ms. Laur. Rediano 199, c. 1r.

bruciare erbe, frutta, legni e perfino carni di vipera, ricavarne la cenere, che mescolata ad acqua pura dava “il ranno”. Questo, a sua volta, veniva filtrato e messo a svaporare a bagnomaria fino a ottenere la concentrazione desiderata dei sali. Dopo essere stati purificati, i sali si fissavano al fondo alle pareti del recipiente e mostravano differenti conformazioni e cristallizzazioni, che conservavano sempre anche se venivano più volte sciolti in acqua e ricristallizzati. La spiegazione del fenomeno fornita da Redi era che, a differenza dei sali volatili essenziali che preesistevano nelle piante e si liberavano naturalmente, i sali fissi lisciviali ottenuti per incenerimento delle sostanze non conservavano più i costituenti originari. Di conseguenza non avevano nessuna specifica virtù terapeutica, come dimostrava il fatto che funzionavano tutti allo stesso modo come lassativi. In altre parole, la «possanza» o «facoltà solutiva» era «d’uguale ugualissima energia in tutti i sali» [13, vol. IV, pp. 281- 282, 289- 290].

La novità della ricerca era rappresentata non tanto dai risultati applicativi (praticamente nulli), quanto dagli aspetti procedurali e metodologici perché, per la prima volta nella storia della medicina, Redi aveva messo in atto esperimenti di verifica dell’efficacia dei medicinali su volontari che si erano sottoposti a un vero e proprio trial clinico, seppure in forma appena abbozzata. Non si era trattato, come nel caso di Mattioli, di un’unica esperienza condotta in modo episodico e coatto su condannati a morte, bensì di una ricerca programmata e finanziata dal potere politico, che proprio per questo utilizzava un campione di soggetti consenziente e soprattutto molto più ampio. Le difficoltà non erano comunque mancate, perché all’inizio non era stato facile trovare molte persone disponibili, nonostante la promessa di generose ricompense da parte del Granduca, dato che si trattava di una novità assoluta e nell’ambiente serpeggiava la paura di incorrere in spiacevoli conseguenze per la salute. Per andare avanti, si era pensato di fare ricorso al numeroso apparato degli inservienti di corte, semplici “venturieri” che lavoravano alla giornata nelle cucine e nei servizi di Palazzo Pitti, tra i quali ne erano stati individuati alcuni che avevano deciso di correre il rischio in cambio di un’adeguata retribuzione. Scorrendo i protocolli manoscritti di Redi si può assistere a questa scenetta davvero gustosa:

Non si mancò di cominciare a praticare la volontà di S.A. Serenissima in alcuni venturieri di bassa fortuna che seguitano la corte, se ne trovò qualcheduno e, promesso di soddisfare a quanto gli veniva imposto, si indussero al luogo a dove era preparato quello dovevano pigliare, e perché gli pareva arduo pigliar tal materia, si mettevono il bicchiere della roba alla bocca e dicono: non voglio ancora morire.⁷

6. Il paese di cuccagna

A Firenze, a corte e nella spezieria granducale, l’attenzione per le novità riguardanti le ricerche di farmacologia era rimasta molto forte nel corso degli anni sessanta. E

7 Ibid.

Redi aveva dovuto intervenire nuovamente sull'argomento con una lettera indirizzata al Granduca Ferdinando II quando, nella primavera-estate 1664, era arrivata a Palazzo Pitti la notizia che un non meglio identificato «chimico tedesco» aveva messo a punto «medicamenti sudorifici e diuretici» di cui si esagerava la «decantata efficacia» [13, vol. VI, pp. 234-35].

Sollecitato «premurosamente» dal Granduca a fornire una dettagliata relazione, Redi si affrettava a comunicare al suo grande mecenate che, sulla base delle «molte e molte esperienze» eseguite, aveva potuto appurare che i medicamenti non avevano rivelato «effetto alcuno manifesto di muovere il sudore e l'urine». Rispetto alla ricerca iniziata nel 1660 e documentata nel Ms. 199 della Biblioteca Mediceo Laureanziana di Firenze, questa volta le procedure sperimentali avevano seguito un percorso più rigoroso, con l'impiego di gruppi di controllo e soprattutto la messa in opera, per garantire l'obiettività dei dati, di efficaci misure di vigilanza sui comportamenti dei volontari che avevano partecipato a una nuova versione, più strutturata e in qualche modo addirittura certificata, di trial clinico.

Redi aveva infatti ripetuto «più volte» le esperienze in «quindici uomini sani e in dodici febbricitanti», e «in altrettante persone sane ed ammalate» aveva fatto quelle «de' sudorifici»; inoltre, quando aveva «fatto le prove ne' sani», si era preoccupato di tenerli «serrati nelle stanze assegnate a questo fine». Infine, per assicurare veridicità al proprio resoconto, lo scienziato aveva chiamato a testimoniare un collega affidabile e particolarmente accreditato a corte, «il Sig. Dottor Tiberio Gaci», il quale si era sempre «trovato presente a tutte le prove»; ed era stato proprio «a sua richiesta» che «alcune volte» Redi aveva «raddoppiata la dose de' medicamenti prescritta dal chimico tedesco», ma «sempre in vano, e senza veder effetto veruno». Il protocollo terminava con un elogio del mecenatismo mediceo, perché era stato solo grazie alla «somma ed impareggiabile generosità» del Granduca e alla «larghezza delle danarose remunerazioni» che i volontari si erano sottoposti di buon grado alle prove; al punto che, commentava Redi con garbata ironia, «tutti questi poveri uomini giornalmente m'importunano col dimandarmi se vi sieno nuove esperienze da fare, nell'esercizio delle quali par loro di essere in una vera cuccagna». Evidentemente, a questo punto, tutti si erano resi conto che assumere diuretici e lassativi non presentava nessun rischio, e quindi il problema era semmai quello di selezionare i volontari che si affollavano davanti al laboratorio dello scienziato di corte [13, vol. VI, pp. 235-36].

7. Tra passato e presente

Nel secolo e mezzo intercorso tra le sporadiche osservazioni romane di Mattioli sugli effetti tossici del «napello» e gli esperimenti fiorentini di Redi sui «medicamenti sudoriferi e diuretici» molte conquiste erano state realizzate nell'ambito della scienza moderna e grandi mutamenti si erano verificati sulla scena culturale europea. La rivoluzione scientifica si era dispiegata in tutti i suoi aspetti grazie alle nuove teorie astronomiche, fisiche e biologiche di Copernico e di Galileo, di Descartes e di Newton, di Harvey e

di Malpighi; ma soprattutto era stato definito nei suoi aspetti più innovativi il metodo sperimentale e si erano imposti strumenti rivoluzionari come il telescopio e il microscopio, che avevano radicalmente trasformato il modo di fare ricerca scientifica.

Mattioli aveva cercato di mantenere nelle sue indagini di botanica un problematico e nient'affatto scontato equilibrio tra rispetto dei classici ed esperienza personale, tra tradizione e innovazione, e non aveva potuto andare oltre, pur con tutti i suoi meriti, un risultato di sostanziale compromesso. Aveva integrato le descrizioni delle piante di Dioscoride con esperienze e osservazioni personali, effettuate attraverso un'imponente e variegata attività di arborizzazione svolta in tutta Europa. L'autorità degli antichi non era più per lui intoccabile, ma si rendeva sempre più necessaria un'attenta e paziente verifica delle loro affermazioni. Lo dimostra, anche graficamente, la sproporzione esistente nei Discorsi tra la traduzione del testo di Dioscoride e il commento e le ulteriori osservazioni che il medico senese aggiungeva di suo. Ma c'era anche dell'altro. Nel Prologo dell'opera Mattioli definiva l'esperienza «vero testimonio di tutte le cose», e ricordava che nessun naturalista «si può far perito per via di libri» ma deve ricorrere in ogni occasione all'osservazione personale. Per concludere poi che, se si voleva essere «buon semplicista», era «veramente» indispensabile «vedere le piante vive con l'occhio non solamente in un tempo dell'anno solo, ma in varii et diversi» [10, pp. 145-46, 163].

Consapevole degli «infiniti errori tanto degli antichi quanto de' moderni scrittori», Mattioli chiariva che la sua intenzione non era meramente critica ma ispirata dalla fiducia nel progresso della scienza. «Sappia ingenuamente ogni candido lettore» – scriveva con grande cautela – «che contra questi non ho mai scritto io per avvilitare e biasimare le fatiche e le facultà loro, degne veramente di lodi immortali, ma solamente per dire la verità in beneficio della vita de gli huomini». Proprio per questo egli poneva l'accento, come prova di onestà intellettuale, sul riconoscimento dei limiti e delle incertezze della sua stessa ricerca, che non poteva che prendere le mosse da una verifica attenta ma benevola delle conquiste, oltre che degli errori del passato. Questa impostazione appariva a Mattioli confortata dal fatto che tutti gli antichi filosofi e naturalisti, a partire da Aristotele per finire a Dioscoride, «non solamente non si vergognavano d'essere corretti con verità nelle cose, ma s'allegavano d'essersi sciolti dagli errori». E aggiungeva ancora, destreggiandosi abilmente tra presente e passato, che «non si dovranno dolere alcuni dei moderni d'esser stati da me avvertiti et corretti in qualche cosa», perché era del tutto «lecito che anchor essi soggiacciano (come anchor io non ricuso) alla medesima censura» [10, pp. 18, 50].

8. La battaglia per l'autonomia della scienza

A differenza di Mattioli, Redi aveva rotto con decisione ogni legame con il passato e deciso di credere solo e soltanto a quello che aveva osservato e verificato «con gli occhi propri». E se anche nella Firenze di metà Seicento non mancava certo chi faceva ricerca solo «al tavolino», sulla base di informazioni ricavate da autorità più o meno antiche e

recenti, un «filosofo sperimentatore» che rivendicava con orgoglio di essere stato «uno de' primi fondatori della famosa Toscana Accademia del Cimento», come si proclamava lui, doveva necessariamente confrontarsi con il 'libro della natura' e non poteva «afferma[r] con certezza se non quando con gli occhi propri, dopo molte prove e riprove» aveva personalmente «osservato». Per realizzare questo ideale epistemologico, basato sul principio della "certezza" oggettiva, non bastava la semplice procedura dell'esperienza, seppure "iterata e reiterata" secondo il celebre motto del Cimento. Occorreva dispiegare uno sguardo anatomico illuminato che sondasse in tutti i più riposti recessi della natura, e perseguire un vigile confronto tra osservazione a occhio nudo e osservazione microscopica, ma senza trascurare la manipolazione diretta dei reperti. In termini rediani, confrontarsi con la realtà, in particolare quella della vita organizzata, toccando «con mano» e guardando «con gli occhi».⁸

Oltre a fare l'apologia del procedimento sperimentale, non di rado Redi si compiaceva di ostentare una curiosa forma di 'edonismo epistemologico' per tutte le forme di visualizzazione e manipolazione degli oggetti naturali, che non a caso ha sempre attirato l'attenzione di quegli interpreti che tentano di trasferire le motivazioni psicanalitiche all'indagine storiografica. Giocando abilmente sui registri dei piaceri dell'occhio e di quelli del palato, il naturalista aretino si divertiva ad atteggiarsi nei panni del moderno filosofo che aveva sempre cercato, con «ogni possibile pena ed ogni sollecitudine», la «soddisfa[zione] » dei propri «occhi corporali», e arrivava perfino a vantarsi (identificando la conoscenza delle cose con il loro possesso attraverso la forma primordiale della loro ingestione e digestione) della sua «insaziabile ghiottornìa» – lui che era magrissimo e di poco appetito – di volere in ogni occasione «osservare i fatti della natura» [13, vol. VII, p. 184].

Se era visibilmente soddisfatto dell'immagine che si era conquistato sul campo di scienziato «il più incredulo del mondo», Redi si premurava di precisare, ben sapendo quanto fosse pericoloso questo atteggiamento nel mondo della Controriforma, che questa scelta epistemologica egli la metteva in pratica solo «nelle cose naturali», non certo nelle questioni di fede. Convinto com'era, dopo la condanna di Galileo del 1633, che «i santi e profondi misteri di nostra fede» non «cammina[va]no di pari con le naturali cose», Redi aveva impostato una radicale distinzione di metodo nell'ambito

8 [13, vol. III, p. 261, vol. V, pp. 148, 241]. L'apologia dell'occhio e della mano costituisce un topos dell'epistemologia rediana che si ritrova costante lungo tutto l'arco della sua carriera, nell'epistolario così come nelle opere a stampa. «Ogni giorno più mi vado confermando nel mio proposito di non voler dar fede nelle cose naturali se non a quello che con gli occhi miei propri io vedo», aveva scritto nel 1664 nelle Osservazioni intorno alle vipere [13, vol. IV, p. 149]. «E qui piacciavi di ricordarvi ch'io mi restringo sempre a quel che ho veduto con gli occhi miei propri, e che fuor di questo non nego mai e non affermo che che sia», aveva ribadito nel 1668 nelle Esperienze intorno alla generazione degl'insetti [15, p. 190]. Per confermare nel 1684, ormai alla fine della sua esperienza scientifica, nelle Osservazioni intorno agli animali viventi che si trovano negli animali viventi: «Non posso con certezza scrivere ed affermare se non quello che da me medesimo ho veduto ed osservato» [13, vol. III, p. 116].

della religione e della scienza. Per il medico aretino le sue due professioni fede, quella di cattolico e di scienziato, restavano distinte e separate. La fede dei suoi padri non gli impediva di essere scienziato rigoroso e intransigente nella difesa dell'autonomia della ricerca da qualsiasi ingerenza della metafisica e della teologia. Le questioni di fede si dovevano a suo avviso credere «a chius'occhi», anzi «credute a chius'occhi» risultavano più comprensibili, mentre gli argomenti scientifici richiedevano di essere risolti con il metodo sperimentale, cioè con una procedura che consisteva nel credere solo a quello che si era osservato «con gli occhi propri» [15, pp. 90, 128, 190].

Come scienziato, Redi si faceva un vanto di ridicolizzare i «maestr[i] in iscrittura peripatetica» – cioè i tradizionalisti ancora ben rappresentati presso la corte granducale –, i quali preferivano mettere «le mani avanti a gli occhi» piuttosto che piegarsi al tribunale dell'esperienza. Ma come cristiano ostentava di pensarla allo stesso modo del suo amato Dante e, di fronte ai «secreti del Ciel», si rassegnava ad ammettere che «sol colui vede, che serra gli occhi e crede». Questo non gli impediva però, quando qualcuno gli ricordava «bruscamente» – con intenzioni censorie nemmeno troppo velate – qualche passo della Sacra Scrittura che, com'era avvenuto per la questione copernicana sembrava suffragare l'antica teoria della generazione spontanea della vita, di criticare le interpretazioni letterali della Bibbia e di riaffermare la supremazia delle dimostrazioni scientifiche sulle pretese dei teologi. Con questo atto di grande coraggio epistemologico, che tradiva tentazioni eterodosse mascherate per tutta la vita da un ostentato conformismo, Redi consegnava al futuro una lezione di grande modernità che gli ha consentito di essere giustamente annoverato negli annali di storia della scienza come uno dei padri fondatori della biologia e della farmacologia sperimentale [15, pp. 10-11, 91,100].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bernardi, W., Tra 'città' e 'corte'. Promozione sociale e vocazione scientifica nella Toscana del Seicento: Gregorio e Francesco Redi, *Medicina & Storia. Rivista di Storia della Medicina e della Sanità*, IV, 8, 2004 IV, pp. 7-34; V, 9, 2005, pp. 61-88.
- [2] Bernardi, W., *Il paggio e l'anatomista. Scienza, sangue e sesso alla corte del Granduca di Toscana*, Le Lettere, Firenze 2008.
- [3] Boncinelli, E., L'uomo ha meno geni del rospo, ma li usa meglio, *Corriere della Sera*, 22 ottobre 2004.
- [4] Campaner, R., Cavanna, A., Generalizzazioni scientifiche e trial clinici, in [11], pp. 165-201.
- [5] Camporesi, P., *Le officine dei sensi*, Garzanti, Milano 1985.
- [6] Cestoni, G., *Epistolario ad Antonio Vallisneri*, a cura di S. Baglioni, Reale Accademia d'Italia, Roma 1940-1941.
- [7] Chiaramonte, R., Tozzi, S., Un medico umanista fra dottrina e pratica, in [9], pp. 61-81
- [8] Cosmacini, G., *L'arte lunga. Storia della medicina dall'antichità a oggi*, Laterza, Roma-Bari 1997.
- [9] Ferri, S., *Pietro Andrea Mattioli. La vita e le opere con l'identificazione delle piante*, Quattroemme, Perugia 1997.
- [10] Mattioli, P. A., *I Discorsi ne' sei libri di Pedacio Dioscoride Anazarbeo della materia medicinale*, Pezzana, Venezia 1744.
- [11] Pagnini, A., *Filosofia della medicina*, Carocci, Roma 2010.
- [12] Pascoli, A., *Opere scelte*, a cura di C. Vinti, M. Bastianelli, A. Allegra, EFFE Fabrizio Fabbri Editore, Perugia 2007.
- [13] Redi, F., *Opere*, Dalla Società Tipografica de' Classici Italiani, Milano 1809-1811.
- [14] Redi, F., *Consulti medici*, a cura di C. Doni, Centro Editoriale Toscano, Firenze 1985
- [15] Redi, F., *Esperienze intorno alla generazione degli insetti*, introduzione e cura di W. Bernardi, Giunti, Firenze 1996.
- [16] Segneri, P., *L'incredulo senza scusa, dove si dimostra che non può non conoscere quale sia la vera religione chi vuol conoscerla*, Nella stamperia di S.A.S., Firenze 1690.

Epistemologia

SALVARE I FENOMENI.

CONSIDERAZIONI EPISTEMOLOGICHE SUL CASO GALILEO¹

PAOLO PARRINI

Università di Firenze

1. Osservazioni introduttive

Qual è, da un punto di vista epistemologico, il significato del celebre ‘caso Galileo’ e, più precisamente, qual è il valore delle famose ‘scuse’ rivolte dalla Chiesa al grande scienziato toscano?

Di primo acchito, la situazione appare chiara: noi oggi riteniamo che Galileo abbia avuto ragione a sostenere quello che ha sostenuto (in particolare, l’ipotesi copernicana) e che la Chiesa abbia avuto torto nel condannarlo sulla base di credenze che vengono in genere considerate non più difendibili (in particolare, l’ipotesi tolemaica). Premetto subito che qui non intendo discutere se il passaggio dal geocentrismo all’eliocentrismo (o all’eliostaticismo) vada giudicato giusto o sbagliato *alla luce di una concezione assolutista della verità*, ossia di una concezione per la quale si tratterebbe di stabilire se a essere *vera in senso appunto assoluto* sia l’ipotesi tolemaica oppure quella copernicana. Né intendo discutere se le ragioni probatorie che ci fanno attualmente considerare più accettabile il sistema di Copernico siano tali da andare al di là di ogni ragionevole dubbio. E tanto meno, infine, voglio entrare nel merito delle effettive motivazioni e delle reali modalità della condanna di allora.

Su quest’ultimo aspetto del caso Galileo – quello prettamente storico – si è parlato molto e in modo, a mio parere, poco limpido; anzi, in qualche caso, persino opportunisticamente ‘conciliatorio’.² Da un lato si è guardato alle scuse della Chiesa come a un passo compiuto al fine di ripristinare un corretto rapporto tra scienza e fede, e dunque tra la ricerca scientifica e gli insegnamenti della religione; il che sembra sottintendere che proprio il modo di concepire e di praticare tale rapporto fosse stato in gioco nel celebre processo. Dall’altro lato, sono state anche avanzate ricostruzioni fortemente ‘revisioniste’ di esso. Si è teso infatti a ricondurre la vicenda a scontri interni alla Chiesa e a far dipendere la condanna più che da questioni fisico-astronomiche, da problemi teologici e quindi da

1 Lezione tenuta a Montevarchi il 19 ottobre 2011, presso il Liceo Scientifico Varchi, nell’ambito dell’edizione 2011 di *Pianeta Galileo*.

2 Ambigua e discutibile mi sembra, in particolare, la posizione di quegli storici della scienza che paiono voler escludere dai compiti della ricerca storica il tentativo di giungere a un accertamento relativamente oggettivo di come sono andate le cose e delle varie responsabilità.

argomenti di stretta pertinenza ecclesiastica. In alcuni casi una simile linea interpretativa è stata perseguita contestando persino l'autenticità di documenti di vitale rilevanza.

Naturalmente, se anche fosse così, le odierne scuse a Galileo costituirebbero pur sempre un evento di importanza storica fondamentale. Esse segnerebbero infatti, da parte delle autorità ecclesiastiche romane il riconoscimento (si spera definitivo) che non è accettabile processare e condannare chicchessia (in termini di condanne secolari) a causa delle opinioni che professa (comprese quelle religiose), qualunque sia la pena comminata (dal rogo alla sospensione dall'insegnamento). Ma un simile riconoscimento non avrebbe ovviamente alcun peso rispetto alla prima questione, ossia a quella che per secoli, a torto o a ragione, è stata collegata al caso di Galileo: la questione, come appunto dicevo, del rapporto fra scienza e fede – e del resto ancora in anni recenti alcune dichiarazioni di prelati di spicco, primo fra tutti il Cardinale Josef Ratzinger divenuto poi Papa Benedetto XVI, sembrano dare per scontato che, in qualche forma, quel collegamento vi sia stato e vi sia.

Nel seguito, dunque, lascerò da parte il problema storico con tutta la sua magmaticità e muoverò dall'idea che, almeno in una certa misura, il gran rumore che si è fatto intorno a questa vicenda dipenda dal valore conoscitivo ormai riconosciuto all'indagine scientifica; ossia a una forma di cultura che è giunta ad accettare dottrine le quali, come l'ipotesi copernicana, erano state a suo tempo respinte dalla Chiesa in quanto contrarie ai dettami della fede. Ciò significa, come appunto dicevo all'inizio, porre in primo piano una dimensione del caso Galileo – la dimensione epistemologica – che non mi pare abbia ricevuto finora tutta l'attenzione che merita. Sarà possibile così anche vedere se, ed eventualmente in quale ottica e misura, la revisione oggi compiuta dalla Chiesa tenga conto degli sviluppi epistemologici messi in moto dalla rivoluzione scientifica, la quale, iniziata in età moderna, ha prodotto trasformazioni sempre più vaste e radicali nei secoli successivi fino agli anni che stiamo vivendo.

Sempre in via preliminare, sento di dover precisare che, pur essendo convintamente laico, non amo certi pronunciamenti facili e sbrigativi sulla religione che mi paiono superficiali e spesso inutilmente irrispettosi. Senza giungere a trasformarsi in 'atei devoti', alcuni 'miscredenti' dovrebbero considerare (come diceva un vecchio e poco amabile professore) che la religione non è uno di quei 'mali' che si possono curare con l'aspirina! Non sono, dunque, né un 'ateo giulivo' né un 'laicista' – come oggi si usa dispregiativamente dire (ma forse, osserverei, non vi sarebbero 'laicisti' da una parte se non vi fossero 'cattolici' dall'altra). Nondimeno tenterò di mostrare come le modalità del mutamento della Chiesa nei confronti di Galileo siano tali da far insorgere molte perplessità sulla natura e l'effettiva portata del mutamento stesso.

2. Il Cardinale Ratzinger, Ernst Bloch, Paul K. Feyerabend e Carl Friedrich von Weizsäcker

Cominciamo dal celebre discorso del 15 febbraio 1990, tenuto all'Università "La Sapienza" di Roma, nel quale l'allora Cardinale Ratzinger è tornato sul caso Galileo. In

esso egli ha chiamato in causa, tra gli altri, il filosofo Ernst Bloch, l'epistemologo Paul K. Feyerabend e il fisico (con forti interessi filosofici) Carl Friedrich von Weizsäcker. Si tratta di citazioni assai significative su cui vale la pena di soffermarsi.³

Ecco la prima di esse, quella tratta da Bloch il quale viene definito da Ratzinger un 'marxista romantico' [cfr. 6, p. 77]:

Una volta data per certa la relatività del movimento, un antico sistema di riferimento umano e cristiano non ha alcun diritto di interferire nei calcoli astronomici e nella loro semplificazione eliocentrica; tuttavia, esso ha il diritto di restare fedele al proprio metodo di preservare la terra in relazione alla dignità umana e di ordinare il mondo intorno a quanto accadrà e a quanto è accaduto nel mondo [cit. in 6, p. 77].

Per apprezzare il peso dell'opinione espressa da Bloch, si consideri che perfino un 'apostolo' della teoria della relatività nonché un epistemologo di indubbie convinzioni laiche come il neopositivista Hans Reichenbach, in un volumetto del 1927 sul «mutamento della nostra immagine del mondo» da Copernico a Einstein, aveva affermato che «dal punto di vista del nostro sapere odierno» la giustificazione data da Copernico della sua nuova dottrina appariva «estremamente insufficiente» [7, p. 9] e che la critica di Ernst Mach alla nozione newtoniana di moto assoluto rendeva privo di senso «parlare di una differenza fra Copernico e Tolomeo in termini di verità» [7, p. 67].⁴

3 Insieme ad altri interventi il discorso di Roma è confluito nel volume di J. Ratzinger *Wendezeit für Europa?* uscito in lingua originale nel 1991 e in traduzione italiana nel 1992 [6]. Delle parole di C. F. von Weizsäcker non viene indicata la fonte; invece per quelle di E. Bloch e di P. K. Feyerabend si rinvia, rispettivamente a: E. Bloch, *Das Prinzip Hoffnung*, Frankfurt/Main, 1959, p. 920, e P. Feyerabend, *Wider den Methodenzwang*, Frankfurt/Main, 1976, 1983, p. 206. Sebbene di entrambe queste opere esistano traduzioni italiane, ho preferito riportare i brani interessati nella traduzione contenuta nel volume di J. Ratzinger qui sopra citato [v. 6, pp. 77-78 e nn. 8 e 10].

4 Reichenbach intende tener conto degli sviluppi della fisica successivi a Newton in maniera più articolata di quanto non faccia Bloch, e la sua posizione finisce quindi per essere maggiormente complessa e sfumata. Per Reichenbach, una volta compreso con Mach che insieme alla nozione di moto va relativizzata anche quella di forza, le concezioni tolemaica e copernicana sono da considerare due «descrizioni parimenti giustificate» [7, p. 67]. Dal che consegue che non si può attribuire «un significato assoluto» [7, p. 67] ad alcuna di esse pur riconoscendo il ruolo che entrambe hanno avuto nello sviluppo storico da cui è nata la relatività. Secondo Reichenbach, infatti:

è stato il superamento della concezione tolemaica del mondo con quella copernicana a fondare la nuova meccanica e alla fine, tramite quest'ultima, a fornire gli strumenti per rendersi conto dell'unilateralità della concezione copernicana stessa [7, p. 67 s.].

Oltre a ciò, illustrando la rivoluzione prodotta da Einstein in campo geometrico con il sovvertimento dell'euclideismo, egli osserva:

Così anche questo capitolo delle nostre riflessioni si conclude con una svolta di tipo copernicano. Come la relatività del moto aveva giustificato una svolta simile, in quanto con essa si era superato il passaggio da immagine tolemaica a immagine copernicana del mondo e se ne era compiuto uno ulteriore sintetizzando quelle due immagini in una terza e più ampia concezio-

La seconda citazione è da Paul K. Feyerabend, il filosofo della scienza che ha teorizzato l'anarchismo metodologico compendiandolo nel motto 'dadaista': *anything goes* ("tutto va bene"). Su tale base, a proposito del processo a Galileo, egli ha formulato il seguente giudizio:

La Chiesa dell'epoca di Galileo si attenne alla ragione più che lo stesso Galileo, e prese in considerazione anche le conseguenze etiche e sociali della dottrina galileiana. La sua sentenza contro Galileo fu razionale e giusta, e solo per motivi di opportunità politica se ne può legittimare la revisione [cit. in 6, p. 78].

Per comprendere l'uso che il futuro pontefice fa di questa valutazione, occorrerà ricordare che Feyerabend è uno dei cosiddetti "nuovi filosofi della scienza", ossia uno di coloro dai quali sono provenute le critiche più forti ai due indirizzi di pensiero che, nei decenni precedenti alla revisione del caso Galileo, meglio avevano difeso le ragioni della scienza moderna in quanto fondata sui principi della razionalità e dell'esperienza. Mi riferisco ovviamente alla filosofia di Karl R. Popper e all'empirismo logico, del quale il già menzionato Reichenbach è stato uno degli esponenti maggiori.

Infine, alle citazioni precedenti che mescolano fra loro considerazioni epistemologiche, etiche, antropologiche e sociali Ratzinger accosta un breve giudizio del fisico Carl Friedrich von Weizsäcker nel quale si indicano in modo drammatico e moralmente inquietante le possibili implicazioni tecnologico-applicative degli sviluppi scientifici. Il futuro papa ricorda infatti che per von Weizsäcker vi sarebbe una "via direttissima" che conduce da Galileo alla bomba atomica [6, p. 78].

Si potrebbe pensare che con le citazioni appena ricordate Ratzinger abbia inteso riabilitare l'intervento della Chiesa o giustificare, almeno in parte, l'atteggiamento tenuto a suo tempo da essa nei confronti del copernicanesimo, di Galileo e della scienza moderna. Invece no! L'aspetto interessante di questo discorso sta proprio nel fatto che il futuro Benedetto XVI cita i tre autori non per difendere quel comportamento passato appoggiandosi, per così dire, sulla loro autorità, ma, tutt'al contrario, per tacciare in qualche modo le loro tesi di estremismo antiscientifico e per contrapporre a esse la posizione più ragionevole, saggia e direi quasi 'illuminata' adottata dalla Chiesa nel momento in cui ha deciso di rivedere il proprio giudizio. Dice Ratzinger:

ne, così la rottura con la geometria euclidea significa di nuovo una scossa non meno forte dei fondamenti in apparenza più sicuri del nostro sapere e un trapasso a un sapere di tipo più alto, che appare inconcepibile a chiunque ne venga a conoscenza per la prima volta. Ma come l'immagine copernicana del mondo ricevè alla fine generale riconoscimento e divenne patrimonio comune di tutte le persone colte, così avverrà anche per la teoria della relatività; fra cent'anni non si comprenderà più nemmeno perché all'inizio vi siano state tante opposizioni alla nuova dottrina e la si riterrà ovvia. «Alla verità non è dato che un breve trionfo fra i due lunghi periodi in cui è condannata come paradosso o disprezzata come banale» dice Schopenhauer. Noi, cui è concesso vivere nel momento del trionfo, possiamo rallegrarci di aver assistito da contemporanei alla scoperta copernicana dei giorni nostri [7, p. 102 s.].

Sarebbe assurdo costruire sulla base di queste affermazioni [di Bloch, di Feyerabend e di von Weizsäcker] una *frettolosa* apologetica. *La fede non cresce a partire dal risentimento e dal rifiuto della razionalità, ma dalla sua fondamentale affermazione e dalla sua iscrizione in una ragionevolezza più grande.* Qui ho voluto ricordare un caso sintomatico che evidenzia fino a che punto il *dubbio della modernità su se stessa* abbia attinto oggi la scienza e la tecnica [6, p. 78 s., corsivo aggiunto].

3. La concezione di Duhem: *Salvare i fenomeni*

Non è mia intenzione soffermarmi sulle idee scientifico-epistemologiche che Ratzinger ha utilizzato per mostrare a quali punti sia arrivato il dubbio della modernità su se stessa. Come ho già detto, a me preme giungere a una valutazione epistemologica di ciò che è avvenuto nella Chiesa con e dopo le scuse a Galileo, nell'ipotesi (implicitamente confermata dalle parole appena citate del futuro papa) che nella vicenda abbiano giocato un ruolo sia l'adesione galileiana al sistema copernicano sia, di conseguenza, la questione del rapporto tra scienza e fede. A questo scopo, però, è necessario chiarire anzitutto quale sia il contesto epistemologico che può aver ispirato l'impostazione data da Ratzinger al problema. Per delinearlo, prenderò le mosse dall'analisi del conflitto fra la Chiesa e la nascente scienza moderna tracciato all'inizio del Novecento dal grande scienziato, epistemologo e storico della scienza Pierre Duhem. Le sue valutazioni, infatti, al di là della complessiva correttezza storica che oggi può essere loro attribuita, hanno il merito di mettere a fuoco il vero e proprio nucleo teorico della questione.⁵

Nel 1908 il cattolicissimo Duhem pubblicò presso l'editore Hermann di Parigi un volumetto che raccoglieva alcuni articoli apparsi nello stesso anno negli *Annales de Philosophie Chrétienne* e lo intitolò ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ [*Salvare i fenomeni*]. *Essai Sur la Notion de Théorie physique de Platon a Galilée* [v. 2]. Il libro esce dunque tra le due edizioni dell'opera epistemologica maggiore di Duhem, *La Théorie physique son objet – sa structure* [v. 1], pubblicate rispettivamente nel 1906 e nel 1914, e anche, al tempo stesso, tra le sue prime opere a carattere storico (come *L'Evolution de la mécanique* del 1903) e l'inizio (1913) della monumentale 'narrazione' in più volumi dal titolo *Le Système du monde*. La tesi da cui Duhem prende le mosse e di cui fa la storia per mettere a punto la sua interpretazione/valutazione del caso Galileo riguarda il rapporto fra teoria ed esperienza; anzi, più precisamente, il rapporto fra metodo scientifico e verità delle ipotesi e delle teorie che con quel metodo si vogliono stabilire. E si badi che essa vale anche per un metodo scientifico caratterizzato in termini di "sensata esperienza" e certe o "necessarie dimostrazioni" come quello galileiano [3, vol. I, p. 527].

Compongono la tesi di Duhem – garantita dalla logica deduttiva – due distinte

⁵ Nel complesso mi pare che, rispetto a molti lavori storiografici recenti, la ricostruzione storica di Duhem non possa più essere considerata né del tutto soddisfacente né del tutto insoddisfacente (soprattutto per quanto riguarda l'aspetto epistemologico della vicenda). Nel seguito, comunque, mi manterrò fedele al mio intento e mi asterrò da ogni tipo di valutazione storica.

affermazioni.⁶ La prima è della massima generalità e si connette a un principio fondamentale della deduzione logica il quale sta alla base del rapporto stesso tra teoria e osservazione empirica. La seconda, invece, è più specifica e riguarda soprattutto la peculiare relazione fra teoria ed esperienza che è venuta realizzandosi con la sperimentazione scientifica organizzata e pianificata in laboratorio. Essa concerne infatti la struttura logica del controllo sperimentale.

La *prima* affermazione – quella di carattere più generale – è nota fin dall'antichità e fonda l'atteggiamento degli astronomi seguaci di Tolomeo tanto in età classica quanto in epoca medioevale. La si può formulare come segue: nelle inferenze logicamente corrette, la verità dell'antecedente implica la verità del conseguente, ma la verità del conseguente non implica la verità dell'antecedente. In altri termini, la verità implica sempre e solo la verità (<Se tutti gli uomini sono mortali e tutti i Greci sono uomini, allora tutti i Greci sono mortali>), ma la verità può derivare sia da premesse vere sia da premesse false (<Se tutti gli uomini sono angeli e tutti gli angeli sono mortali, allora tutti gli uomini sono mortali>).

Cosa significa ciò a livello di scienza empirica? Significa che anche nel caso che una teoria (o un'ipotesi) si accordi con tutte le osservazioni empiriche disponibili, da tale accordo non è possibile inferire la verità della teoria (o dell'ipotesi) considerata. Per esempio: anche nel caso che l'ipotesi tolemaica oppure quella copernicana si accordassero pienamente con tutte le effemeridi al momento note, da questo non si potrebbe inferirne la verità. Fare una simile inferenza significherebbe commettere la fallacia di affermare il conseguente. Come avrebbe detto in seguito Popper, dal punto di vista strettamente logico-deduttivo le ipotesi e le teorie possono essere falsificate, ma non verificate. E si noti che Duhem non manca di registrare la connessione tra questo principio logico e il principio fisico di causalità. Egli scrive, infatti, che come «da premesse false si può ottenere una conclusione vera», così «differenti cause possono produrre effetti identici» [2, p. 107]. Per esempio, l'inferenza causale <Se piove allora la strada è bagnata> è certamente valida, ma non per questo sarebbe valido il ragionamento che inferisse l'evento pioggia dal fatto che la strada sia bagnata, perché la strada potrebbe essere bagnata anche in ragione di eventi diversi da una precipitazione atmosferica (per esempio, per lo scoppio di una condotta d'acqua). È in gioco qui la differenza fra condizione necessaria e condizione sufficiente. Perché si possa inferire da un evento-causa un evento-effetto, basta che il primo evento sia condizione sufficiente del secondo; ma perché si possa inferire un evento a partire da un evento-effetto bisogna che il primo sia tra le condizioni necessarie del secondo.

L'altra affermazione che compone la tesi di Duhem stabilisce che, quando ad essere

6 Nella filosofia della scienza e nell'epistemologia degli ultimi decenni, che tra l'altro ha visto un'ampia discussione sull'empirismo costruttivo di Bas C. van Fraassen, si introducono in alcuni contesti sottili distinzioni fra le nozioni di 'fenomeno', 'apparenza' e 'adeguatezza empirica'. Il mio intervento si muove a un livello di generalità tale da poter prescindere da simili sottigliezze, per altri scopi invece pertinenti e utili.

considerate sono delle ipotesi singolarmente prese, non solo non si può parlare di una loro verifica, ma neppure di una loro falsificazione. Criticando la dottrina baconiana degli *experimenta crucis*, realizzata al meglio nella pratica di laboratorio, Duhem sostiene una concezione *olistica* del controllo sperimentale: non è possibile sottoporre a controllo empirico un'ipotesi H singolarmente presa, ma solo un'ipotesi H in congiunzione con una o più ipotesi ausiliarie A. Da ciò consegue che se la congiunzione di due componenti teoriche <H&A> implica conseguenze osservative O non conformi ai dati di esperienza (abbiamo cioè <non-O> anziché O), da <non-O> si può sì passare ad affermare la falsità della congiunzione in oggetto, ma non la falsità di H o di A singolarmente prese. Infatti, il non verificarsi della previsione sperimentale O dedotta dalla congiunzione <H&A> potrebbe dipendere sia da H, sia da A, sia da H e A unitamente prese.

Le due affermazioni appena illustrate vengono talvolta compendiate in un principio epistemologico generale noto come *principio di sottodeterminazione empirica* delle ipotesi e delle teorie. Ipotesi e teorie sono empiricamente sottodeterminate nel senso che, dato un qualunque insieme finito di reperti osservativi, per quanto ampio e ampliabile esso sia, è sempre logicamente possibile costruire più di un'ipotesi e/o di una teoria compatibile con quell'insieme. Può darsi che non in tutti i casi si abbia ingegnosità sufficiente per escogitare di fatto ipotesi e teorie alternative. Dal punto di vista logico, però, i dati empirici di per sé non hanno mai la forza di dimostrare la verità delle ipotesi e delle teorie da cui possono essere derivati, a meno che non si riesca a provare che l'ipotesi o la teoria considerata è l'*unica* ipotesi o l'*unica* teoria capace di spiegare i fenomeni, ossia capace di consentire una deduzione logica delle descrizioni di essi. Per Duhem, però, una dimostrazione del genere, possibile in logica e in matematica, non è invece possibile nelle scienze empirico-sperimentali. In tali scienze, infatti, il numero delle ipotesi rivali è potenzialmente infinito e dunque non può mai essere esaurito attraverso un numero finito di vagli osservativi.

Secondo Duhem, questo risultato dell'analisi logico-metodologica starebbe a mostrare che nello scontro sull'eliocentrismo erano gli esponenti dell'ortodossia ecclesiastica, in particolare il Cardinale Bellarmino e Papa Urbano VIII (al secolo Maffeo Barberini), ad essere dalla parte della ragione, e non Galileo, Keplero e gli altri seguaci di Copernico. Il perché è presto detto.

Sempre a parere di Duhem, tanto l'antichità (Tolomeo compreso) quanto il medioevo hanno avuto una buona consapevolezza dell'incapacità logica, da parte dell'esperienza, di garantire la verità delle ipotesi e delle teorie. E questa consapevolezza si accompagna alla convinzione che la verità sulle cose della natura sia sì appannaggio della fisica, ma non della fisica come la concepiamo oggi, bensì di una Fisica con la F maiuscola, intesa cioè come una scienza che, secondo l'insegnamento dei filosofi e in particolare di Aristotele, discende e dipende dalla Metafisica. Le ipotesi astronomiche possono dunque aspirare alla verità solo se, oltre a risultare aderenti ai fenomeni, sono giustificate da un'indagine razionale la quale, attraverso la mediazione della fisica con

la F maiuscola, le faccia derivare da una metafisica a sua volta razionalmente fondata (e, in epoca cristiana, pure consona ai principi della fede). Perché si possa parlare in senso proprio di *spiegazione* dei fenomeni empirici, non basta quindi che i principi utilizzati siano empiricamente adeguati, ossia tali da salvare i fenomeni; essi devono anche essere veri. Solo un'astronomia che non si limiti a salvare le apparenze, ma che si radichi, al tempo stesso, in una visione ontologica metafisicamente (e religiosamente) garantita può avere l'ultima parola in fatto di spiegazione *vera* dei fenomeni osservati. Se il secondo requisito non risulta soddisfatto, le ipotesi astronomiche dovranno essere viste non già come tentativi di conseguire la verità, ma più modestamente come uno strumento – anzi, il miglior strumento possibile dal punto di vista della semplicità e della convenienza pragmatica – per *salvare i fenomeni*, sia quelli al momento conosciuti, sia (almeno così si spera) quelli futuri non ancora noti.

Con alterne e complicate vicende, passando per modifiche e riformulazioni (sulle quali non è qui il caso di soffermarsi), tale convinzione di fondo giunge fino a Copernico, anche se – nota Duhem – quest'ultimo predica bene e razzola male. Da un lato, infatti, dichiara che in astronomia si tratta solo di salvare le apparenze, dall'altro però suggerisce che tali apparenze vadano salvate «per mezzo di ipotesi conformi ai principi della fisica» [2, p. 86], tradendo in tal modo la propria volontà di «provare la verità della sua ipotesi» nonché la convinzione «di esservi riuscito» [2, p. 88]. Copernico sembra non rendersi pienamente conto della «necessità», per ottenere una simile prova, di dimostrare – come aveva stabilito Agostino Nifo – non soltanto che quella ipotesi è «sufficiente a salvare i fenomeni», ma anche «che questi fenomeni non potrebbero essere salvati se la si abbandona o la si modifica» [2, p. 88].

Di fatto, comunque, il suo *De revolutionibus orbium coelestium* comparirà nel 1543 con una Prefazione anonima – che in seguito Keplero rivelerà essere stata scritta da Andrea Osiander [v. 2, p. 93 s.] – nella quale si sostiene che non è necessario che le ipotesi su cui l'eliocentrismo si basa «siano vere e neppure verosimili; basta solo questo: che il calcolo al quale esse conducono si accordi con le osservazioni» [2, p. 91 s.]. Ed infatti la concezione copernicana verrà discussa rispetto agli insegnamenti religiosi con lo stesso spirito con il quale nell'antichità classica le ipotesi astronomiche venivano discusse rispetto agli insegnamenti metafisico-fisici di Aristotele: e cioè guardando se potevano far progredire l'astronomia non in quanto vere, ma in quanto quelle che salvavano al meglio i fenomeni [v. 2, p. 112 ss., 119].

Secondo Duhem, questa «opinione sembra essere stata generalmente accolta dagli astronomi e dai teologi [...] fino al momento della riforma gregoriana del calendario» [2, p. 119]. I guai comincerebbero allorché «durante il mezzo secolo che va dalla riforma del calendario alla condanna di Galileo» essa venne «relegata nell'oblio ed anche violentemente combattuta in nome di un *generale realismo*» il quale pretendeva di «trovare nelle ipotesi astronomiche delle affermazioni sulla natura delle cose», esigendo quindi che esse si accordassero «con le dottrine della fisica [con la F maiuscola] e con i testi della Scrittura» [2, p. 119]. Uno degli esempi più chiari di tale mutamento di

prospettiva è offerto dalla posizione del gesuita Cristoforo Clavio, riassumibile nelle quattro proposizioni che seguono:

Le ipotesi astronomiche devono salvare i fenomeni il più esattamente e il più agevolmente possibile, ma ciò non è sufficiente per accoglierle; prima di accoglierle non si pretenderà che esse siano vere, ma si può esigere che esse siano probabili; affinché siano probabili bisognerà che non siano incompatibili con i principi della fisica; bisogna inoltre che esse non siano in contraddizione con gli insegnamenti della Chiesa e con i testi della Sacra Scrittura. In tal modo vengono imposte a tutte le ipotesi astronomiche, che vorranno entrare nella scienza, due condizioni di accettabilità: non dovranno essere false in filosofia, non dovranno essere erronee nella fede, né, a maggior ragione, *formaliter haereticae* [2, p. 122 s.].

In questo medesimo spirito anche il protestante Tycho Brahe criticherà tanto Tolomeo quanto Copernico e cercherà di formulare un sistema suo proprio il quale non solo salvasse i fenomeni, ma mantenesse il geocentrismo e si accordasse così «con i principi della filosofia aristotelica» e con «i testi della Scrittura» [2, p.124]. Infatti, il sistema ticonico intende esprimere non «delle finzioni», bensì «delle realtà» [2, p.124]. Gli stessi criteri – commenta Duhem – verranno adottati nel 1633 dall’Inquisizione quando questa sottoporrà a giudizio le due ipotesi fondamentali del sistema di Copernico proibendone l’insegnamento in quanto «*ambedue falsae in philosophia*» e una, «*ad minus, erronea in fide*» [2, p. 123].

4. La posizione di Galileo e di Keplero. Il giudizio di Duhem

A questo punto Duhem si pone una domanda: se quello sopra delineato aveva costituito per tanto tempo il quadro epistemologico di riferimento, perché Galileo invece di andare allo scontro con la Chiesa e rischiare la condanna non accetta di professare le proprie idee *ex suppositione*, come gli suggerivano il cardinale Bellarmino e il Papa Urbano VIII? Tra l’altro – vorrei aggiungere – tale strada poteva risultargli non troppo difficile avendo egli assunto in precedenza posizioni epistemologiche per certi versi oscillanti, o comunque improntate a motivi ispiratori in tensione fra loro. Da una parte, infatti, Galileo sembra aver nutrito un atteggiamento realista. Egli era stato deciso nell’affermare:

1. che il «grandissimo libro» della natura è scritto «in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche» [3, vol. I, p. 631 s.];
2. che bisogna distinguere tra qualità secondarie e qualità primarie delle cose (i loro «primi e reali accidenti» [3, vol. I, p. 778]);
3. che attraverso «la sensata esperienza» e «le necessarie dimostrazioni» [3, vol. I, p. 527] è possibile stabilire, appunto, le caratteristiche proprie degli oggetti a partire dagli effetti che essi esercitano su di noi.

Dall’altra parte, però, egli si era anche espresso in difesa di un atteggiamento antirealista e antimetafisico. Per lui la scienza della natura non ha niente a che vedere con

la ricerca dell'essenza dei fenomeni naturali, siano essi vicini o lontani. Come Galileo dice, per esempio, nello scritto sulle macchie solari:

Perché, o noi vogliamo speculando tentar di penetrar l'essenza vera ed intrinseca delle sostanze naturali; o noi vogliamo contentarci di venir in notizia d'alcune loro affezioni. Il tentar l'essenza, l'ho per impresa non meno impossibile e per fatica non men vana nelle prossime sostanze elementari che nelle remotissime e celesti [3, vol. I, p. 374].

E allora, perché non conformarsi a una tesi simile anche nel caso dell'astronomia? Perché non avanzare il sistema copernicano come un'ipotesi, una supposizione o una teoria che semplicemente salva i fenomeni meglio della concezione tolemaica e dunque a prescindere dalla sua verità? Secondo Duhem, questo perché va ricercato in idee che avevano cominciato a diffondersi in anni precedenti alla presa di posizione galileiana e che già avevano trovato espressione in Keplero. Benché le leggi della logica deduttiva mostrino in modo inequivocabile che conclusioni vere possono discendere sia da premesse vere sia da premesse false, a Keplero le ipotesi di Copernico apparivano dotate di una forza tale che non gli sembrava possibile che le loro conseguenze potessero essere vere pur essendo falsa la premessa (l'ipotesi eliocentrica) da cui erano deducibili [v. 2, p. 128]. Egli dunque aveva respinto la posizione di Osiander e, pensando al detto che i mentitori hanno bisogno di buona memoria, aveva affermato con decisione che qualcosa di analogo vale anche in campo scientifico per le

ipotesi false che casualmente avessero condotto a una conclusione giusta. Via via che vengono applicate a casi diversi non potrebbero mantenere sempre la stessa capacità di fornire conclusioni vere, ma [al pari dei mentitori] finirebbero per tradirsi [cit. in 2, p. 129]

svelando così la loro falsità.⁷ Secondo Keplero:

l'equivalenza di due ipotesi distinte non può [...] essere che un'equivalenza parziale; se certe conclusioni possono essere ugualmente dedotte da due ipotesi inconciliabili, ciò non avviene in virtù delle differenze tra queste due ipotesi, ma in virtù di ciò che vi è di comune tra di esse [2, p. 130].

In forza di questa critica, egli aveva messo «in pratica il realismo di cui» aveva «posto i principi» [2, p. 130] e si era pronunciato espressamente per un'interpretazione appunto realista delle ipotesi scientifiche in generale e del sistema copernicano in particolare [v. 2, p. 131 s.]

È proprio tale tendenza realista a influire – secondo Duhem – sul modo in cui Galileo difende i risultati del suo lavoro scientifico allorché mira ad una teoria capace

7 Nel secolo scorso Federigo Enriques impiegherà un argomento simile per prendere le distanze dal convenzionalismo di Poincaré, e sempre in nome di una difesa del realismo [v. 4, in particolare pp. 76, 83]. L'analogia tra costruzione di una teoria e costruzione di una bugia, e quindi tra il modo di procedere degli scienziati e quello dei bugiardi avrà un largo seguito nella filosofia della scienza a cavallo tra Ottocento e Novecento e verrà ripresa anche da Giuseppe Prezzolini e Giovanni Vailati [v., per esempio, 9, pp. 293 s. – devo la segnalazione di queste pagine di Vailati a Massimo Mugnai].

di unificare fisica terrestre e fisica celeste. In questo modo, però, egli finisce per dichiarare vere o verosimili tesi che invece erano da condannarsi secondo i criteri fissati da Clavio, essendo esse incompatibili con i principi, ritenuti veri, della «sana fisica» e della «Scrittura divinamente ispirata» [2, p. 133]. Per questo, prosegue Duhem, la «condanna inflitta dal Santo Uffizio» va considerata «la conseguenza dello scontro che si era prodotto tra *i due realismi*» – quello della scienza e quello della fede – [v. 2, p. 134; corsivo aggiunto], ma l'urto sarebbe stato evitabile se, mantenendo sul terreno dell'astronomia il dibattito pro o contro i sistemi in competizione, si fosse dato ascolto ai «saggi precetti» di Posidonio, Tolomeo, Proclo e Simplicio. In quegli anni, però, questi precetti, sebbene fossero tornati a farsi sentire nell'invito rivolto a Galileo dal Cardinal Bellarmino e da Papa Urbano VIII, erano stati per lo più dimenticati [v. 2, p. 134].

Galileo, così, si era convinto che le apparenze avessero mostrato la falsità dell'ipotesi tolemaica circa la fissità della terra, mentre l'ipotesi copernicana si accordava con tutte quelle note [v. 2, pp. 135-138]. Di conseguenza, aderendo implicitamente all'idea baconiana dell'*experimentum crucis* (nel caso di due ipotesi rivali, se le osservazioni empiriche mostrano la falsità di una con ciò stesso verificano l'altra o la confermano in alto grado), egli ritenne di poter affermare che il sistema di Copernico non soltanto salvava i fenomeni, ma aveva anche la virtù di essere o vero o assai probabilmente vero. Ma, come abbiamo già visto, una simile concezione del rapporto teoria/esperienza è insostenibile e quindi la pretesa di Galileo non aveva fondamento. Dice infatti Duhem:

Questo modo di concepire il metodo sperimentale [quello di Galileo] era destinato ad avere grande diffusione perché era molto semplice, ma era del tutto sbagliato perché troppo semplicistico. Se i fenomeni non sono più salvati con il sistema di Tolomeo, esso dovrà essere riconosciuto come falso. Da ciò non risulta in alcun modo che il sistema di Copernico sia vero, perché il sistema di Copernico non è puramente e semplicemente in contraddizione con il sistema di Tolomeo. Se le ipotesi di Copernico riescono a salvare tutte le apparenze conosciute, se ne può concludere che queste ipotesi possono essere vere, ma non si può concluderne che esse sono certamente vere; per legittimare questa conclusione bisognerebbe provare prima che nessun altro insieme di ipotesi potrebbe essere immaginato in modo da salvare altrettanto bene le apparenze. Questa dimostrazione, comunque, non è mai stata data. Anche al tempo di Galileo tutte le osservazioni che si potevano invocare in favore del sistema di Copernico non erano forse salvabili altrettanto bene dal sistema di Tycho Brahe? [2, p. 137 s.].

Neppure i richiami di papa Urbano VIII, basati sulla «verità» che «le conferme dell'esperienza, per quanto numerose e precise si possa supporle non sarebbero mai in grado di trasformare un'ipotesi in certezza» [2, p. 139], riuscirono a scalfire la «fiducia esagerata» di Galileo «sull'importanza del metodo sperimentale e sul valore delle ipotesi astrono-

miche» [2, p. 139].⁸ E così il pontefice (sentendosi forse anche un po' canzonato) «in risposta al realismo impenitente di Galileo diede libero corso al realismo intransigente degli aristotelici del Santo Uffizio. La condanna del 1633 venne a confermare la sentenza del 1616» [2, p. 140].

La conclusione di Duhem è dunque che «la logica era dalla parte di Osiander, di Bellarmino e di Urbano VIII e non dalla parte di Keplero e di Galileo» [2, p. 142]. E ciò sebbene egli riconosca che:

coloro che assegnavano al metodo sperimentale un'errata rilevanza ed un valore esagerato hanno lavorato al perfezionamento di questo metodo assai di più e meglio di quelli che ne avevano dato, inizialmente, una valutazione più precisa e più esattamente calibrata [2, p. 142].

Se i sostenitori del sistema copernicano – spiega Duhem – si intestardirono contro ciò che la stessa logica imponeva è perché essi, a differenza dei loro avversari, avevano intuito una grande verità che ancora non erano in grado di vedere con chiarezza, ma che di lì a non molto si sarebbe tradotta nel superamento della contrapposizione ontologica fra una fisica celeste e una fisica sublunare o terrestre [v. 2, p. 143 s.]. Essi «credevano di rinnovare Aristotele, ma in realtà preparavano Newton»:

con buona pace di Keplero e di Galileo, noi oggi crediamo, con Osiander e Bellarmino, che le ipotesi della fisica non sono che artifici matematici destinati a salvare i fenomeni; ma grazie a Keplero e a Galileo domandiamo ad esse di salvare contemporaneamente tutti i fenomeni dell'universo inanimato [2, p. 146].

5. Conclusione: il dilemma pascaliano di Duhem e l'autonomia del discorso scientifico

L'analisi teorico-metodologica compiuta da Duhem e la sua ricostruzione storica del rapporto fra la Chiesa e gli esordi della scienza moderna mette capo così a una giustificazione dell'atteggiamento ecclesiastico contro le pretese di verità avanzate per il copernicanesimo sia da Keplero sia da Galileo. Siccome, a suo dire, una scienza empirico-sperimentale che recida ogni legame con la ricerca metafisica (e religiosa) può aspirare solo a elaborare ipotesi e teorie empiricamente adeguate, quella scienza non può pretendere di offrire spiegazioni dei fenomeni che siano *vere*. Galileo ebbe quindi torto ad ostinarsi ad asserire la verità delle proprie idee scientifiche anziché limitarsi a formularle come semplici supposizioni in grado di salvare i fenomeni. E ciò sembra chiudere la questione, almeno per Duhem.

8 È su questa questione che si innesta, a livello teorico, l'argomento dell'onnipotenza divina avanzato dal pontefice e discusso anche nella conclusione del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632) sotto il nome di “mirabile e veramente angelica dottrina” [3, vol. II, p. 552]. Secondo tale argomento, Dio può produrre i fenomeni naturali, compresi quelli celesti, in innumerevoli modi privi di contraddizione. Così Egli avrebbe potuto fare le cose in maniera che tutto apparisse conforme al copernicanesimo pur essendo vera una teoria diversa da esso. Pertanto è errato indagare i fenomeni della natura partendo dal presupposto che delle apparenze si dia un unico modello esplicativo [v. 2, p. 138 s.].

In realtà, però, l'aspetto strettamente logico-deduttivo su cui Duhem con tanta efficacia richiama l'attenzione non esaurisce tutti gli aspetti del problema di cui ci stiamo occupando. E va ascritto a merito della sua onestà intellettuale, della sua lucidità argomentativa e della sua straordinaria erudizione storica l'aver egli stesso indicato un altro elemento che complica notevolmente il quadro, pur non scalfendo il risultato secondo cui l'esperienza non può condurre a una dimostrazione logica della verità delle ipotesi e delle teorie utilizzate per darne conto.

Questo ulteriore elemento è della massima importanza per valutare prese di posizione come quelle del Cardinale Ratzinger riportate all'inizio e può essere così espresso: la considerazione del processo evolutivo del sapere scientifico – processo del quale Duhem era profondo conoscitore – conduce, in qualche modo inevitabilmente, ad un rafforzamento delle propensioni realiste proprie sia del senso comune sia dello stesso atteggiamento spontaneo, irriflesso, degli scienziati. A suo parere, infatti, tale considerazione porta a scorgere nel processo di formazione e trasformazione delle teorie uno sviluppo verso quella che Duhem chiama una “*classificazione naturale*”. Neanche Duhem sembra del tutto immune da quella che potremmo chiamare la ‘tentazione di Galileo’. Leggiamo infatti nella *Théorie physique*:

È impossibile seguire il percorso di una delle grandi teorie della fisica, vederla svolgere maestosamente e con regolarità le sue deduzioni a partire dalle ipotesi iniziali; vedere che le sue conseguenze rappresentano, fin nei minimi dettagli, una quantità di leggi sperimentali, senza essere sedotti dalla bellezza di una tale costruzione, senza sentire fin nel profondo che una simile creazione dello spirito umano è veramente un'opera d'arte. [...] Così la teoria fisica non ci dà mai la spiegazione delle leggi sperimentali, non ci rivela in nessun caso le realtà che si nascondono dietro le apparenze sensibili. Ma più si perfeziona, più avvertiamo che l'ordine logico nel quale essa dispone le leggi sperimentali è il riflesso di un assetto ontologico; più dubitiamo che i rapporti che stabilisce tra i dati dell'osservazione corrispondono a rapporti tra le cose, più scopriamo che essa tende ad essere una classificazione naturale [1, pp. 29, 31 s.]

Questo quasi commosso riconoscimento, unito all'analisi compiuta sulla struttura logica del controllo empirico, conduce Duhem ad assumere una posizione problematica e tormentata per quanto riguarda il valore conoscitivo delle teorie scientifiche. Egli formula tale posizione facendo riferimento a un pensiero di Pascal e per questo a me piace chiamarla ‘il dilemma pascaliano di Duhem’. Si legge infatti sempre nella sua opera metodologico-epistemologica maggiore:

[L] analisi dei metodi attraverso i quali si costruiscono le teorie fisiche prova, con grande evidenza, che esse non sono in grado di spiegare le leggi sperimentali; d'altra parte, un atto di fede, che questa analisi è incapace di giustificare e impotente a reprimere, assicura che quelle teorie non sono un sistema puramente artificiale, ma piuttosto una classificazione naturale. Si può, a questo proposito, citare un profondo pensiero di Pascal: “C'è in noi un'impotenza di dimostrare che non può essere vinta da tutto il dogmatismo.

C'è in noi un'idea della verità che non può essere vinta da tutto il pirronismo"
[1, p. 32].

Nel non breve periodo che ci separa ormai da quest'opera, la sensazione di cui Duhem parla è stata decisamente rafforzata dai grandiosi sviluppi scientifici del XX secolo. Certo, neppure questi sviluppi si sono dimostrati tali da permettere il salto logico dalla verità della conclusione alla verità delle premesse (ci mancherebbe!), o da riuscire a 'bollare' come conclusivamente falsificate le ipotesi via via messe da parte; pur tuttavia quegli sviluppi hanno assai contribuito ad esaltare l'autonomia della scienza rispetto ad altre forme di sapere (o di preteso sapere) che la volevano subordinata alla metafisica e/o alla religione. E così a me pare che oggi, per discutere di questioni come il caso Galileo e il rapporto fra la Chiesa e la scienza moderna, sia assai utile e forse necessario avere ben chiare le due alternative a cui il dilemma pascaliano, tanto ben individuato da Duhem, ci pone di fronte.

Un'alternativa è quella di farsi forti della logica deduttiva, ossia del principio che la verità della conclusione non garantisce la verità delle premesse, per scegliere il primo corno del dilemma e negare dunque alle teorie scientifiche ogni e qualsiasi genuino valore conoscitivo. Questa è una strada percorribile, è stata percorsa in passato in modi più o meno raffinati ed eleganti,⁹ e viene percorsa ancor'oggi: basti pensare a quante forme di pragmatismo, di strumentalismo e di empirismo costruttivo (per esempio quello di Bas van Fraassen) seguitano ad occupare la scena. Se questa è la strada che si prende, non si vede perché chiedere scusa a Galileo e per giunta con tanto clamore mediatico visto che egli avrebbe avuto torto a difendere la verità di ipotesi che in realtà, stante i principi della logica deduttiva, potevano essere affermate solo *ex suppositione*. Assunto tale punto di vista, proprio come concludeva Duhem in *Salvare i fenomeni*, la Chiesa avrebbe avuto ragione e Galileo no.

L'altra alternativa consiste invece nello scegliere il secondo corno del dilemma e dire così che le ipotesi e le teorie scientifiche sono tentativi di cogliere la verità e che, di conseguenza, cercano di giungere a delle autentiche spiegazioni dei fenomeni naturali. Pure questa strada, che assegna al sapere scientifico un valore conoscitivo, può essere percorsa, è stata percorsa in passato e viene ancor'oggi percorsa in diversi modi. Si pensi, da un lato, alle varie forme di realismo metafisico che, da Popper in poi, hanno tentato di ridurre lo scarto logico fra dati empirici e teorie che li riguardano (deduttivismo popperiano, *no miracle argument*, realismo come *best explanation* dei successi predittivi della scienza, abduktivismo), e, dall'altro lato, ai diversi generi di realismo empirico, scientifico e non metafisico come per esempio quello che può essere derivato

9 Un modo molto poco raffinato è quello rappresentato dalla dottrina crociana degli pseudoconcetti. Con ciò non credo di lanciarmi in alcuna 'invettiva' contro Croce come ha stizzosamente osservato un collega a corto di argomenti. Prendo solo atto di un fatto storico che i 'devoti' di Croce non paiono in grado di scalfire: ossia la maniera approssimata, superficiale e confusa con cui questi ha 'orecchiato' le critiche che filosofi-scienziati quali Mach, Poincaré e Duhem avevano rivolto a concezioni della scienza e del metodo scientifico ingenuamente realiste, positiviste e induttiviste [v. 4, pp. 57-76].

dalla concezione kantiana del conoscere come sintesi o unificazione concettuale del molteplice sensibile, ossia del materiale empirico dato. Ora, a giudicare dalle parole sopra citate, sembrerebbe proprio che, nel prendere posizione sul caso Galileo, Ratzinger adotti questa seconda alternativa, ovvero l'alternativa del realismo. Egli, cioè, non pare intenzionato a tutelare la fede a prezzo di negare o di sminuire il valore conoscitivo dell'impresa scientifica (valore conoscitivo che è da lui inteso, presumibilmente, più in senso realistico-metafisico che non in senso realistico-empirico e kantiano).

Mi pare tuttavia che il porsi sulla via del realismo, comunque questo realismo venga declinato, renda problematiche alcune affermazioni che esponenti della gerarchia ecclesiastica continuano a fare quando trattano i rapporti fra scienza e fede. Infatti, si può riconoscere valore conoscitivo alla ricerca scientifica solo riconoscendo tale valore anche ai metodi seguiti dalle scienze per produrre e selezionare le ipotesi e le teorie; metodi che, con il passare del tempo, si sono accresciuti di numero e notevolmente affinati rispetto a quelli utilizzati da Keplero e da Galileo (basti pensare a come si è sviluppata la metodologia delle scienze induttive mediante il ricorso, oltre che alle regole legate alla semplicità, familiarità e comprensività delle ipotesi, ai principi dell'induzione e del calcolo probabilistico di tipo bayesiano). Ma ciò rende obbiettivamente difficile il rapporto con la fede. Come escludere di principio o a priori che sorgano dei conflitti tra i dettami religiosi e i principi metodologici e i criteri che *autonomamente* la scienza è giunta a darsi, nel corso del suo sviluppo, per scegliere le teorie vere, o più verosimili, rispetto a quelle false o meno verosimili? Seguendo i propri metodi, la scienza non potrebbe di nuovo avanzare ipotesi e teorie non compatibili, o non del tutto compatibili, con le esigenze della fede?

Ritorniamo con la mente ai passi di Ratzinger citati sopra: come si deve intendere quella "ragionevolezza più grande" entro cui dovrebbe iscriversi la razionalità scientifica? Possiamo supporre che essa sia qualcosa di più ampio della razionalità di tipo logico-formale e criteriale. Quest'ultima, che in inglese viene talvolta chiamata *logicality*, include sotto di sé solo gli aspetti del discorso scientifico che utilizzano procedure di calcolo logico-matematiche e un insieme perfettamente delimitato ed esplicitamente formulabile di definizioni e principi teorici. Proprio la *logicality* è quella razionalità in base alla quale è logicamente fallace inferire la verità delle ipotesi e delle teorie delle scienze empiriche a partire dalla loro adeguatezza osservativa. Ma anche l'epistemologia attuale sa ormai che essa è, per così dire, una razionalità ristretta. Non comprende, infatti, sotto di sé quella razionalità che, fin dai tempi di Keplero, si è venuta consolidando e affinando in sintonia con lo sviluppo delle conoscenze scientifiche e che – come oggi si usa sottolineare – non appare neppure codificabile in un complesso di norme esplicite, date una volta per tutte, in quanto rimanda più alla facoltà del giudizio che

alla capacità di calcolare e di applicare certi principi in modo più o meno meccanico.¹⁰ Non per niente l'indagine epistemologica più recente ha seguito Thomas S. Kuhn nel sostenere che questa nozione di razionalità scientifica più ampia della *logicality* (ma includente la *logicality*), va considerata un concetto a tessitura aperta.¹¹

Ma la "ragionevolezza più grande" che per Ratzinger sembra essere quella in cui si inscrivono tanto la fede¹² quanto l'accettazione (non il rifiuto!) della razionalità coincide o non coincide con questo concetto più vasto di razionalità scientifica? E se non coincide, una seconda questione sorge immediatamente: come si può garantire l'armonizzazione della prima con la seconda, ossia della "ragionevolezza più grande" di cui parla il futuro Papa con quella che, attraverso un lungo processo storico, si è venuta costituendo come razionalità scientifica in senso lato? Sembra assai difficile escludere a priori che non possano darsi altri contrasti tra queste diverse espressioni della mente umana.

È noto che, alcuni anni dopo il discorso di Ratzinger, la Chiesa ha sottolineato, con la lettera enciclica di Giovanni Paolo II, *Fides et ratio* (1998), che la fede deve essere sostenuta dalla ragione e che la ragione deve essere illuminata dalla fede. Più precisamente, il papa ha detto suggestivamente che «La fede e la ragione sono come le due ali con le quali lo spirito umano s'innalza verso la contemplazione della verità» [10, p. 1421]. Si può certo tentare di esorcizzare il pericolo di un contrasto tra loro sostenendo che siccome tanto la fede quanto la ragione procedono da Dio, esse non possono contraddirsi. Ma in che modo, al di là del crederlo per fede, è possibile *provare* tale impossibilità? E se non è possibile provarla, o comunque se non si riesce a produrre una prova convincente e ampiamente persuasiva, come escludere che il contrasto che già si è presentato con Galileo (almeno secondo l'interpretazione che fa da cornice alla trattazione di Duhem e alle parole di Ratzinger) possa presentarsi di nuovo e che, per ragioni di fede, non si torni a giudicare una teoria scientifica con criteri non strettamente scientifici, ossia con criteri diversi da quelli che autonomamente si sono affermati sul terreno della scienza?

Per rendersi conto che questa non è una possibilità remota o del tutto peregrina, basta pensare al caso dell'evoluzionismo darwiniano. Si può ben comprendere come la teoria di Darwin ponga di nuovo dei problemi all'insegnamento della Chiesa. E in effetti si sono continuamente registrate, sul terreno religioso, delle resistenze ad essa. Consideriamo, per esempio, ciò che ne ha detto nel 2005 un esponente di Santa Romana Chiesa, il cardinale di Vienna Christoph Schönborn:

10 Per gli esperti sarà facile riconoscere in ciò che sto dicendo sulla razionalità una certa affinità con tesi avanzate da Kant nella *Critica del giudizio* (o *della facoltà di giudicare*) e quindi con la distinzione tra giudizio determinante e giudizio riflettente.

11 Su questo e sull'ampliamento della nozione di razionalità, v. per esempio [5, pp. 218-220].

12 Nel libro *Svolta per l'Europa?*, Ratzinger fa seguire le pagine sul caso Galileo citate all'inizio da un paragrafo intitolato *Credere è ragionevole*. Qui egli si propone di mostrare che proprio nella situazione odierna di aperto e diffuso risentimento contro la razionalità della tecnica [...] è importante evidenziare l'essenziale ragionevolezza della fede ([6, pp. 83-85; la citazione è tratta da p. 83, corsivo aggiunto]).

l'evoluzione nel senso di una comune discendenza può essere vera, ma l'evoluzione nel senso neo-darwinista – intesa cioè come un processo di variazione casuale, senza una guida e senza un piano – non lo è. Un sistema di pensiero che neghi o tenti di confutare la palmare evidenza di un disegno biologico è ideologia, non è scienza [8].

Sono parole difficili da accettare per almeno due ragioni. La prima, che ora non ci riguarda, è che a molti scienziati e filosofi l'idea che la teoria neo-darwinista dell'evoluzione come base per una costruzione o 'spiegazione' di tipo scientifico sia messa peggio della teoria del disegno divino appare ben poco digeribile. La seconda, che invece ci riguarda eccome, è che sarà pure di «palmare evidenza» – come pretende il cardinale Schönborn – che una concezione la quale neghi un disegno divino possa essere solo di natura ideologica e non scientifica; in fondo, ai tempi di Galileo si credeva di palmare evidenza che fosse il sole a muoversi e non la terra così come a lungo, prima della teoria einsteiniana della relatività generale, si è ritenuto di palmare evidenza il carattere euclideo dello spazio fisico.¹³ Il punto è, però, che la maggior parte della comunità scientifica, grazie alle proprie tecniche di prova e di discussione razionale, è giunta a riconoscere nel darwinismo la migliore teoria oggi disponibile per *spiegare* molti fenomeni, non semplicemente per salvarli. Si vorrebbe forse mettere da parte la teoria evolucionistica – anche se ormai non più processare e condannare i suoi sostenitori – con l'argomento che, per quanto essa sia ben sostenuta, le prove empirico-razionali a suo favore non sono tali da implicarne logicamente la verità?¹⁴ Oppure la Chiesa si deciderà a mostrare di aver appreso davvero qualcosa dal caso Galileo?

13 V. sopra la n. 4. Naturalmente si potrebbe ampliare la casistica citando il rapporto fra meccanica quantistica, da una parte, e principio causale e logica classica dall'altra. [Aggiunta in bozze - Con una comunicazione personale, l'amico Gereon Wolters, che ha criticamente discusso le tesi del Cardinale Schönborn, mi ha segnalato che quest'ultimo nel 2009, in una relazione all'Accademia Nazionale Austriaca delle Scienze che non ho potuto per ora procurarmi, ha significativamente modificato la propria posizione]

14 Caso mai tornando a corredare tale affermazione con il ricorso alla "mirabile e veramente angelica dottrina" già presa in considerazione da Galileo? V. sopra, n. 8. Anche in questo caso, cioè, si potrebbe sostenere che Dio avrebbe potuto fare le cose in maniera che tutto apparisse conforme all'evoluzionismo darwiniano pur essendo vera una teoria diversa da esso.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Duhem, P., *La Théorie physique: son objet, sa structure* (1904-1906, 1914), trad. it. *La teoria fisica: il suo oggetto e la sua struttura*, il Mulino, Bologna 1978.
- [2] Duhem, P., *ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ. Essai Sur la Notion de Théorie physique de Platon a Galilée* (1908), trad. it. *Salvare i fenomeni. Saggio sulla nozione di teoria fisica da Platone a Galileo*, Borla, Roma 1986.
- [3] Galilei, G., *Opere*, 2 voll. a cura di F. Brunetti, Utet, Torino 1964.
- [4] Parrini, P., *Filosofia e scienza nell'Italia del Novecento. Figure, correnti, battaglie*, Guerini e Associati, Milano 2004.
- [5] Parrini, P., *Il valore della verità*, Guerini e Associati, Milano 2011.
- [6] Ratzinger, J., *Wendezeit für Europa?* (1991), trad. it. *Svolta per l'Europa? Chiesa e modernità nell'Europa dei rivolgimenti*, Edizioni Paoline, Cinisello Balsamo (MI) 1992.
- [7] Reichenbach, H., *Da Copernico a Einstein. Il mutamento della nostra immagine del mondo*, Laterza, Roma-Bari 1991.
- [8] Schönborn, C., Finding Design in Nature, *The New York Times*, 7 Luglio 2005, (<http://www.nytimes.com/2005/07/07/opinion/07schonborn.html>).
- [9] Vailati, G., *Scritti filosofici*, a cura di G. Lanaro, La Nuova Italia, Firenze 1972, (ristampa anastatica 1980).
- [10] Wojtyła, K. (Papa Giovanni Paolo II), *Fides et ratio*, in Giovanni Paolo II, *Tutte le encicliche*, Paoline Editoriale libri, Milano 2005, pp. 1419-1571.

Scienza e letteratura

PRIMO LEVI E I MESTIERI DEGLI ALTRI

MIMMA BRESCIANI CALIFANO

California State University, Firenze

Se si sta in gruppo serrato, come fanno d'inverno le api e le pecore, ci sono vantaggi: ci si difende meglio dal freddo e dalle aggressioni. Però chi sta al margine del gruppo, o addirittura è isolato, ha altri vantaggi, può andarsene quando vuole e vede meglio il paesaggio. Il mio destino, aiutato dalle mie scelte, mi ha tenuto lontano dagli assembramenti [5, p. V].

In un racconto nitido e scarno di un vagabondaggio compiuto da “dilettante curioso” sotto forma di “incursione nei mestieri altrui”, ci è dato di cogliere i legami trasversali tra scienza e cultura umanistica che hanno animato il mondo di Levi, le sue radici culturali.

Le scienze naturali, la zoologia e l'astronomia, i classici antichi e moderni, la linguistica, il mondo del lavoro, i problemi del mondo contemporaneo in cui il chimico-scrittore si avventura, ci mostrano l'allenamento mentale in cui si tiene Levi, il suo gusto per la discussione, la sua flessibilità intellettuale che non teme la contraddizione.

Nella raccolta di scritti, pubblicati in buona parte su «La Stampa», e poi messi insieme per Einaudi nel 1985 con il titolo *L'altrui mestiere*, Levi parte dalla descrizione accurata e minuta della sua casa, quella in cui è nato e in cui ha sempre vissuto. Il suo, ci racconta, è «un caso estremo di sedentarietà, paragonabile a quello di certi molluschi, ad esempio le patelle, che, dopo un breve stadio larvale in cui nuotano liberamente, si fissano ad uno scoglio, secernono un guscio e non si muovono più per tutta la vita».

La sua casa è «disadorna e funzionale, inespressiva e solida [...] Non ha ambizioni, è una macchina per abitare, possiede quasi tutto ciò che è essenziale per vivere, e quasi nulla di quanto è superfluo» [5, pp. 3-4].

Prima ancora di rivelarci se stesso, più avanti, attraverso le sue scelte, le sue riflessioni, i suoi interessi, le sue letture di lettore instancabile, la descrizione nella quale ci conduce per mano all'interno del suo appartamento nello snodo dei diversi luoghi in cui si svolge giorno per giorno la sua vita, le caratteristiche stesse della sua abitazione, sembrano riflettere il suo carattere sobrio e asciutto, schivo e rivolto all'essenziale.

Chimico per scelta, scrittore per necessità, sarà inizialmente un testimone della storia. Avvertirà urgente e immediato il bisogno di comunicare, raccontare agli altri, perché sappiano, perché non dimentichino, l'orrore del lager al quale è scampato. (*Se questo è un uomo*, 1956 [1] e *La tregua*, 1963 [2]).

Diventerà in seguito scrittore a tutto tondo a partire da *Il sistema periodico* (1975,

[3]) e dopo la pubblicazione e il successo de *La chiave a stella* (1978, [4]), il suo capolavoro. A questo punto abbandonerà definitivamente il suo lavoro di chimico nella fabbrica di vernici e si dedicherà interamente al suo nuovo mestiere di scrittore.

Chi vive di scrittura, raccomanda Levi, deve necessariamente fare “invasioni di campo” nei mestieri altrui. Interessarsi al mestiere degli altri, scrittori e non, comporta l’acquisizione di una vasta esperienza intellettuale di cui uno scrittore non può fare a meno.

Il mestiere dello scrittore è quello di comunicare, comunicare conoscenza, che deriva dalla propria esperienza fatta di contatti con il mondo esterno, di relazioni con le cose e con gli uomini, e anche con il mondo di carta dove si raccolgono i risultati della ricerca e delle esperienze altrui.

Il vizio della carta stampata e il desiderio di raccontare il mondo intorno a noi nell’ottica di una grande modestia (quella tipica di un uomo dalla mentalità scientifica, che sa di procedere per approssimazioni, consapevole degli errori che sperimentalmente possono rivelarsi, al fine di scoprire e raccontare sempre nuove cose, per accrescere la propria e l’altrui conoscenza) è un fatto di tale portata nella vita di Levi che nell’avvicinarci a lui rappresenta una premessa imprescindibile, un dato da sottolineare.

Il racconto iniziale del testo che ora prendiamo in esame, *L'altrui mestiere* è, come s’è detto, la descrizione della casa, l’analisi ordinata e l’osservazione minuta dell’ambiente intorno a lui, il luogo in cui è nato e ha vissuto senza soluzione di continuità. Il racconto è tipico di una mentalità scientifica, legata a una ripetitività rassicurante che si consolida nel tempo e offre garanzia di sicurezza.

La sua fissa dimora si offre come luogo tranquillo e sicuro per le sue letture, i suoi ‘viaggi’, quelli di un sedentario, e per ciò stesso sempre possibili. In questi scritti il mondo della natura si ricollega continuamente al mondo della storia. Cultura scientifica e cultura letteraria si vanno intersecando e producono bellissimi risultati perché la letteratura è tutto fuorché un mondo chiuso.

Mi auguro, che questi miei scritti, – si legge nell’introduzione – entro i loro modesti limiti d’impegno e di mole, facciano vedere che fra le “due culture” non c’è incompatibilità: c’è invece, a volte, quando esiste la volontà buona, un mutuo trascinarsi [5, p. VI].

Costante è il desiderio di “raggiungere l’umanità” con la sua scrittura, di comunicare i suoi entusiasmi, i suoi interessi, le sue “scoperte”, i suoi pensieri: «Stiamo vivendo un’epoca piena di problemi e di pericoli, ma non noiosa» [5, p. VI], annota nel finale della sua introduzione .

Ma allo stesso tempo, e proprio in questi anni, il pessimismo cresce. Si sente “ferito a morte” per la crescente consapevolezza tragica dei destini dell’uomo. Di un uomo che va rimettendo in discussione «con i più raffinati sofismi, i crimini e i misfatti su cui marcia sereno e soddisfatto».

L’offuscarsi del *logos* sta prevalendo, la violenza e il sesso si impongono, si sta con-

sumando «il cedimento e la debolezza di fronte alle nuove suggestioni». Con rinnovata sofferenza riaffiora in questi anni il testimone della violenza perpetrata ai danni dell'umanità. Levi ritorna al tema iniziale della sua scrittura, all'orrore del lager nazista, con l'intento questa volta di studiarne i meccanismi, di scoprire le leggi che lo governano, perché si sta rendendo conto che questa violenza, sotto altre forme, potrebbe ripetersi. *L'altrui mestiere* vede la luce nel 1985. Un anno dopo, nel 1986, pubblica *I sommersi e i salvati*.

Ne *Il pugno di Renzo*, uno scritto che fa parte della raccolta, nel riferirsi ai *Promessi sposi*, Levi sottolinea la straordinaria capacità di scrittura del Manzoni: «Le pagine splendide, sicure, ricche di una sapienza umana forte e triste che ti arricchisce e che senti valida per tutti i tempi». E in particolare ci ricorda il passo in cui è adombrato

il più grande dei dubbi che affliggono gli animi religiosi, il problema dei problemi, il perché del male. È l'enigma su cui si tormentano Giobbe e Ivan Karamazov, e la macchia più nera sulla Germania di Hitler: perché gli innocenti? Perché i bambini? Perché la Provvidenza si ferma davanti alla malvagità umana e al dolore del mondo? [5, p. 76].

Ma sul mestiere dello scrittore e su i suoi autori preferiti continuiamo più avanti.

Partiamo invece ora dal mestiere del chimico. Che è il suo, lo è stato, e non è mai stato rinnegato. Al contrario, lo ha sempre considerato una premessa indispensabile e preziosa per la sua scrittura che ne è uscita potenziata.

Scrivere significa comunicare, e per comunicare pensieri, idee, nozioni, bisogna fare chiarezza. E per fare chiarezza, insiste Levi, è necessario innanzitutto dare il senso giusto alla costruzione linguistica, che deve essere ordinata perché abbia un senso. Questa chiarezza è fondamentale. E certo questa dote rappresenta una buona eredità del suo primo mestiere:

[...] La scrittura serve a comunicare, a trasmettere informazioni o sentimenti da mente a mente, da luogo a luogo e da tempo a tempo, [...]. Sta allo scrittore farsi capire da chi desidera capirlo: è il suo mestiere, scrivere è un servizio pubblico, e il lettore volenteroso non deve andare deluso. [...] Il mio lettore 'perfetto' non è un dotto, ma neppure uno sprovveduto; legge non per obbligo né per passatempo né per fare bella figura in società, ma perché è curioso di molte cose, vuole scegliere fra esse [...]. Noi vivi non siamo soli, non dobbiamo scrivere come se fossimo soli. Abbiamo una responsabilità, finché viviamo: dobbiamo rispondere di quanto scriviamo, parola per parola e far sì che ogni parola vada a segno. Del resto parlare al prossimo in una lingua che egli non può capire può essere malvezzo di alcuni rivoluzionari, ma non è affatto uno strumento rivoluzionario: è invece un antico artificio repressivo, noto a tutte le chiese, vizio tipico della nostra classe politica, fondamento di tutti gli imperi coloniali (Dello scrivere oscuro) [5, pp. 50-54].

Alla "lingua dei chimici" Levi dedica spazio e particolare attenzione. Mette poi in evidenza il fatto che il mestiere del chimico è molto recente rispetto alle altre attività ama-

ne e, nell'infinito panorama dei gerghi specialistici, ha dovuto adattarsi alla necessità di poter indicare e descrivere in modo preciso

più di un milione di oggetti distinti, poiché tanti sono (e crescono ogni anno) i composti chimici rinvenuti in natura o costruiti per sintesi. Ora, la chimica non è nata intera come Minerva, bensì faticosamente, attraverso le prove e gli errori pazienti ma ciechi di tre generazioni di chimici che parlavano lingue diverse e che spesso comunicavano fra loro solo per lettera, perciò la chimica del secolo scorso si è andata consolidando attraverso una terribile confusione di linguaggi i cui resti persistono nella chimica di oggi [5, p.121].

Ci porta anche esempi, ci spiega come sono nati i nomi, ad esempio quello dell'adrenalina, che isolata dalle capsule surrenali, prende il nome da "*ad renes*", vicino ai reni. Si dilunga poi sulla storia del nome benzina. E così via, avanti.

Quando ero chimico in servizio effettivo [...] non avrei mai pensato che, dopo il distacco dal mio vecchio mestiere avrei potuto provarne nostalgia. Invece, avviene nei momenti vuoti, quando il congegno umano gira in folle, come un motore al minimo: avviene, grazie al singolare potere filtrante della memoria, che lascia sopravvivere i ricordi lieti e soffoca lentamente gli altri. [...]. Ma adesso il mio mestiere è un altro, è un mestiere di parole, scelte, pesate, commesse a incastro con pazienza e cautela [5, p.127].

Dallo scrittore Aldous Huxley Levi ci confessa di essere fortemente attratto, di cedere spesso a questa tentazione, ma sempre a favore delle sue prime opere, quelle del periodo 1920-1940. In seguito Huxley, dopo la guerra, quando diventa pacifista, sociologo, studioso delle religioni, di metapsichica, e dei farmaci psicotropi, perde di interesse. Colpito profondamente dalla tragedia della guerra Huxley è preoccupato dei destini dell'umanità. Continua a scrivere, ma con i suoi scritti "non raggiunge l'umanità stessa". Invece i suoi precedenti romanzi, dove non avviene quasi nulla, sono ricchi di discussioni e di intelligenza, sono "romanzi di idee" "ricchi di un nutrimento vitale". Qui i personaggi, ci riferisce Levi, sono colti e spiritosi, rappresentano la parte più evoluta e meno ingenua dell'umanità: comunicano, dibattono, stimolano il pensiero e l'intelligenza. In Levi è sempre vivo il bisogno di nutrire la mente, è determinante la necessità dello scambio di idee, fonti di ricchezza e di pensiero rinnovato.

Nel romanzo *Punto contro punto* ci è dato trovare, scrive Levi:

ancor oggi, e forse oggi più distintamente di allora, l'Europa di cui siamo figli, per il bene e per il male: l'Europa che allora era il mondo, inventrice e tutrice di tutte le idee e di tutte le esperienze, e insieme cinica, stanca, debole davanti alle nuove suggestioni dell'irrazionale e dell'inconscio [5, p.].

A un altro scrittore, Rabelais, "monaco, medico, filologo, viaggiatore ed umanista" per il quale prova una tale profonda ammirazione, tanto da considerarlo suo maestro, e alla sua opera, "colossale e unica", Levi dedica un'attenzione molto speciale. *Gargantua e Pantagruelle*, forse il libro più divertente e intelligente di tutti i tempi, «nasce dall'amore di Rabelais per la vita e dai suoi ozi colti»; «cresce e prolifera con assoluta mancanza di piano

per quasi vent'anni e per più di mille pagine, accumulando le invenzioni più strabilianti in piena libertà fantastica, per metà robusta buffonata epico-popolare, per metà intriso della vigorosa e vigile consapevolezza morale di un grande spirito del Rinascimento» [5, p.15]. Così Levi ci presenta i due giganti Gargantua e Pantagruelle, padre e figlio: «non sono soltanto montagne di carne, assurdi bevitori e mangiatori [...] sono a un tempo principi illuminati e filosofi gioiosi». [5, p. 16]. E, nel celebrare con grande entusiasmo quest'opera, Levi sottolinea un aspetto fondamentale del suo pensiero: «amare gli uomini vuol dire amarli quali sono, corpo ed anima, *tripes et boyaux*». [5, p.17].

Panurgo, uno straordinario eroe a rovescio di questo romanzo, personaggio inquieto e curioso, non risolve le sue contraddizioni, ma le accetta gaiamente. Quest'uomo, scrive Levi, che «entra in scena chiedendo pane in tutte le lingue, viventi ed estinte», «ciurmadore, pirata», «clerc», volta a volta «uccellatore e zimbello», pieno di coraggio «salvo che nei pericoli», «affamato squattrinato e dissoluto» non rappresenta la perfezione. Rappresenta l'umanità. Una umanità «viva in quanto cerca, pecca, gode e conosce». Panurgo, è un personaggio straordinario, felicemente compiuto nella sua completezza, fatta di mente e corpo. Levi ne è entusiasta, perché con i suoi difetti e i suoi pregi Panurgo rappresenta l'uomo qual è, «Panurgo siamo noi, è l'Uomo» [5, p. 17].

La commedia e la tragedia sono due rappresentazioni antitetiche della natura umana. Nella prima vengono rappresentati i difetti, nella seconda gli uomini sono molto grandi e nobili. Per Levi è importante trovare una via di mezzo nel rappresentarli, e per farlo l'umorismo può venirci in aiuto, l'umorismo che nasce dalla conoscenza dell'uomo, della sua condizione, dall'accettazione dei suoi limiti.

La risata ci permette infatti di prendere le distanze e ci dà la giusta misura delle cose, ci aiuta a mantenere il nostro senso delle proporzioni, ci permette di ricordare che siamo uomini, ci permette di riconoscere i nostri limiti. Se possiamo ridere vuol dire che siamo in grado di riconoscere e accettare gli uomini, vederli per come sono. Ridere e far ridere è la qualità più alta che l'uomo possiede. Il riso è una lama tagliente che recide ciò che è superfluo, ritrasfigura e restituisce giusta misura alle cose, abbiamo letto in un inedito di Virginia Woolf sulla risata, apparso recentemente sul «Sole 24 ore», l'inserito domenicale dedicato alla cultura. Ed è proprio questo che Levi apprezza in Rabelais: la sua capacità di gioia che si trasfonde nelle sue creature: «Questa smisurata e lussureggiante epica della carne soddisfatta raggiunge inaspettatamente il cielo per un'altra via: poiché l'uomo che sente gioia è come quello che sente amore, è buono [...] » [5, p.]

E qui non posso trattenermi dal ricordare un film proiettato qualche anno fa, *Il pranzo di Babette*, un capolavoro assoluto.

La «salvazione del riso», così si esprime Levi, nasce dunque dalla capacità di comprendere e di accettare l'uomo per quello che è. Il mestiere dello scrittore, allora, può essere molto importante a tal fine, perché ci può fornire una lettura razionale di tutto ciò che nell'uomo ragione non è.

Non gode altrettanto interesse il mestiere dello psicologo in un passo in cui Levi ci racconta una sua esperienza personale durante la quale si è molto divertito. In occasio-

ne di una domanda di assunzione in una grande industria da lui fatta, riceve l'invito a sottoporsi ad alcuni esami. Subisce una visita medica sbrigativa e «un interrogatorio anamnestico distratto; il tutto mi ricordava sgradevolmente la cerimonia, in verità assai più brutale, che pochi anni prima aveva segnato il mio ingresso in Lager: come se un estraneo ti guardasse dentro per vedere che cosa contieni e quanto vali, come si fa con una scatola o con un sacco» [5, p. 211].

Si passa poi, durante l'esame, alle immagini: gli viene richiesto di disegnarne. Gliene sottopongono altre da interpretare e infine gli viene consegnato un libretto con tantissime domande, «alcune stupide», altre «straordinariamente indiscrete». Il racconto prosegue in un crescendo di comicità divertita per chiudersi con la scoperta che i veri candidati erano gli esaminatori stessi, psicologi in prova al loro esordio.

Un altro input di curiosità Levi lo prova per il mestiere dello zoologo, l'esperto di uccelli e mammiferi, al quale, ignaro di insetti, Levi vorrebbe raccontare che esistono «centinaia di migliaia di specie animali, fra loro diversissime» che si sono costruite una corazza sfruttando un derivato di glucosio e di ammoniaca. E quando questi animaletti crescono e «non stanno più nella pelle», nella loro corazza inestensibile, la eliminano e se ne costruiscono una nuova e più grossa. Agli esperti di mammiferi e di uccelli, si potrebbe ancora raccontare che questi animaletti, nella loro breve vita

si trasformano assumendo forme più diverse fra loro che una lepre da un luccio; che corrono, volano, saltano e nuotano, e si sono saputi adattare a quasi tutti gli ambienti del pianeta; che in un cervello che pesa una frazione di milligrammo essi sanno immagazzinare le arti del tessitore, del ceramista, del minatore, dell'assassino per veleno, del trappolatore, della nutrice; che si possono cibare di qualsiasi sostanza organica, viva o morta, ivi comprese quelle sintetizzate dall'uomo; che alcuni di essi vivono in società estremamente complesse, e praticano la conservazione dei cibi, il controllo delle nascite, la schiavitù, le alleanze, le guerre, l'agricoltura e l'allevamento del bestiame; ebbene questo improbabile zoologo si rifiuterebbe di credere. Direbbe che il modello-insetto viene dalla fantascienza [5, pp. 132-133].

E le farfalle? si chiede Levi. Nel mondo degli insetti le farfalle occupano un posto privilegiato. Perché? Perché sono belle le farfalle?

Non certo per il piacere dell'uomo, come pretendevano gli avversari di Darwin: esistevano farfalle almeno cento milioni di anni prima dell'uomo. Io penso che il nostro stesso concetto di bellezza, necessariamente relativo e culturale, si sia modellato nei secoli su di loro, come sulle stelle, sulle montagne e sul mare. Ne abbiamo una riprova se consideriamo quanto avviene quando esaminiamo al microscopio il capo di una farfalla: per la maggior parte degli osservatori, all'ammirazione subentra l'orrore o il ribrezzo [5, p.133].

Gli occhi sono molto grandi e senza pupille, ha antenne a forma di corna, la bocca è mostruosa.

E sempre a proposito di “mostri” Levi passa a raccontarci dei ragni e della paura che suscitano. Molte sono le spiegazioni della paura. Quanto alla sua personale fobia,

essa ha un atto di nascita. È l'incisione di Gustavo Doré che illustra Aracne nel canto XII del *Purgatorio*, con cui sono venuto a collisione da bambino. La fanciulla che aveva osato sfidare Minerva nell'arte del tessere è punita con una trasfigurazione immonda: nel disegno è “già mezza ragna”, ed è genialmente rappresentata stravolta, [...] dalla schiena le sono spuntate sei zampe nodose, pelose, dolorose: sei, che con le braccia umane che si torcono disperate fanno otto [5, p. 140].

Siamo al tema della paura che viene ripreso più avanti, in altri passi, ulteriori divagazioni sul tema.

Quasi tutti abbiamo paura delle forfecchie: intendo dire delle forbicine, di quegli insetti bruni dal corpo appiattito ed allungato il cui addome termina in una pinza dall'aspetto minaccioso. [...] Non fanno male a nessuno: la pinza non è velenosa, anzi, non pinza affatto (è un organo che facilita l'accoppiamento); e non è vero, ma viene tenacemente insegnato da generazione a generazione, che, se uno non sta attento, gli si infilano nelle orecchie [5, p. 238].

Si spiega così il nome di queste bestioline che in inglese è *earwig* e in tedesco *Ohrwurm*, insetto o verme dell'orecchio.

Anche la paura dei pipistrelli è falsamente motivata: si avventano nei capelli e le loro unghie a uncino non ci permettono di staccarli, si racconta. E invece «i pipistrelli nostrani sono inermi e innocui, temono l'uomo, non gli si avvicinano mai né si lasciano avvicinare». Ma noi non arretriamo davanti alla mancanza di ogni conferma sperimentale e immaginiamo il diavolo, quando ha le ali, con le ali di pipistrello, mentre le fate hanno ali di farfalla e gli angeli ali di cigno.

E l'orrore per i topi? Si chiede. Anch'essi furtivi e notturni, come i pipistrelli. A noi, animali diurni, fanno sempre un po' paura quelli notturni. Winston, il protagonista del romanzo di Orwell, *1984*, quando l'aguzzino minaccia di avvicinarli un topo al viso, è la volta che cede al torturatore. «Non credo che per interpretare queste ed altre paure si debba scomodare la psicoanalisi, che è in mano ai dilettanti [...]» [5, p. 239]. Si tratta di superstizioni ataviche, spiega Levi, di paure che si tramandano, perché in tutte le culture ci sono pericoli, veri o presunti o esagerati, che vengono trasmessi dai genitori ai figli per generazioni e generazioni. E la paura dei serpenti? Si potrebbe obiettare. Si giustifica perché ce ne sono dal morso mortale, «con buona pace degli ecologi oltranzisti che postulano una natura amica e mite a tutti i costi. [...] Il serpente in carne ed ossa, come tutti gli animali, non è soggetto di morale: non è buono né cattivo, divora ed è divorato» [5, p.241].

E conclude:

Forse, di queste false paure a mezza via fra la realtà, la recita e il gioco, paure dei topi, dei ranuncoli, dei ragni, abbiamo un profondo bisogno. Sono un modo di accodarci alla tradizione, di confermarci figli della cultura in cui

siamo cresciuti; o forse ci aiutano a relegare nell'ombra altre paure più vicine e più vaste [5, p.242].

E invece, aggiunge:

Causa maggioritaria di disagio è, o dovrebbe essere, la paura nucleare. Sotto questo aspetto, la situazione è nuova nella storia umana: non era mai successo, neanche alla lontana, che un singolo atto di volontà, un singolo gesto, potesse portare alla distruzione istantanea del genere umano, ed alla scomparsa probabile, in qualche settimana di ogni forma di vita sulla Terra [5, p.243].

A questo proposito vi rimando alle pagine finali de *La coscienza di Zeno*, il capolavoro di Svevo, e alla forza profetica in esse contenuta. A proposito ancora della paura e in particolare del disagio che viene in buona parte dall'estrema inconoscibilità del nostro avvenire, spesso ci siamo affidati nel passato alla "verità confezionata dei profeti". Oggi il mestiere dei profeti è caduto abbastanza in disuso:

Abbiamo avuto l'Eden, il Catai, l'Eldorado; in tempo fascista abbiamo scelto a modello (anche qui, non senza ragione) le grandi democrazie; poi, a seconda del momento e delle nostre tendenze, l'Unione Sovietica, la Cina, Cuba, il Vietnam, la Svezia. Erano di preferenza paesi lontani, perché un modello, per definizione, dev'essere perfetto; e, poiché nessun paese reale è perfetto, conviene scegliersi modelli mal noti, remoti, che si possano impunemente idealizzare senza il timore di un conflitto con la realtà. Comunque, ci eravamo fabbricata una meta: la nostra bussola puntava in una direzione definita [5, p.246].

Spesso poi, insieme ai modelli abbiamo idealizzato anche uomini. «Adesso il delirio della delega pare finito, ad Ovest e anche a Est: non ci sono più le Isole Felici né i capi carismatici [...]» scrive Levi nel 1986. Da allora però sono passati 25 anni, diciamo noi, il tempo di una intera nuova generazione, e sembra che il vaccino non abbia funzionato perché uomini incapaci o immemori, poco consapevoli e poco propensi a leggere, discutere, saperne di più, in buona o mala fede, ancora e sempre preferiscono la delega, e ancora si commettono gli stessi errori. È più comodo, più facile, ancora oggi, fare nostra una verità confezionata. È una scelta che viene dalla pigrizia, che alleggerisce la fatica di una crescita di coscienza critica, e perciò ancora e sempre ne scontiamo il fallimento.

Il nostro futuro non è scritto, non è certo: ci siamo svegliati da un lungo sonno, ed abbiamo visto che la condizione umana è incompatibile con la certezza. [...]. Il domani dobbiamo costruircelo noi, alla cieca, a tentoni; costruirlo dalle radici, senza cedere alla tentazione di ricomporre i cocci degli idoli frantumati, e senza costruircene di nuovi [5, p. 246-247].

Questi i pensieri di Levi a proposito del mestiere del profeta, nel passo della raccolta che va sotto il titolo *Eclissi dei profeti*. Testimonianza a un tempo di ottimismo e pessimismo, di consapevolezza del rischio e del pericolo sempre presente, sempre incombente, ma anche di coraggio e di speranza che nascono dalla necessità di credere in un

mondo di uomini più responsabili. Il pessimismo che accompagna Levi in questi anni è il riflesso di questa consapevolezza amara: di una storia lineare che si interseca di continuo con una storia circolare. Si va avanti, certo, ma si producono battute d'arresto, e ingorghi pesanti.

Ma ancora e sempre con Levi, bisogna ricordare che l'uomo è quello che è: Panurgo, lontano da ogni idealizzazione, ne è un esempio, una perfetta costruzione.

La funzione della scrittura è dunque quella di stimolare la conoscenza, di rendere gli uomini più consapevoli, più tolleranti, più maturi, e anche più responsabili. «Caro Signore, spero che Lei mi perdonerà se alla Sua lettera del... rispondo pubblicamente, beninteso omettendo il Suo nome [...]» [5 p.234]. Questo l'inizio della risposta di Levi a un giovane ventisettenne che desidera cambiare lavoro, vorrebbe scrivere, e gli chiede di conoscere i segreti del mestiere di scrittore.

Non esistono regole generali ed è bene tenersi caro il suo impiego, sia pure modesto, raccomanda Levi:

Se veramente Lei ha sangue di scrittore, il tempo per scrivere lo troverà comunque, Le crescerà intorno; e del resto, il Suo lavoro quotidiano, per quanto noioso, non potrà non fornirLe materie prime preziose per il Suo scrivere serale o domenicale, a partire dai contatti umani, a partire dalla noia stessa. La noia è noiosa per definizione, ma un discorso sulla noia può essere un esercizio vitale, ed appassionante per il lettore [...] [5, p.235].

Guardarsi sempre intorno allora, osservare, mettere in relazione, riflettere, annotare. Non è forse avvenuto questo nel passaggio dal chimico allo scrittore felicemente registrato ne *Il sistema periodico*? Il lavoro dunque, il proprio lavoro fatto bene, e non solo il lavoro chiudendosi dentro.

In una lunga intervista per il «The New York Times Book Review» (12 October 1986, traduzione comparsa su «La Stampa», 26 e 27 novembre 1986, sotto il titolo: *L'uomo salvato dal suo mestiere*) a Philip Roth che la conduce, Levi risponde:

[...] sono ben consapevole che dopo il Lager il lavoro, anzi i miei due lavori (la chimica e lo scrivere) hanno avuto, e tuttora hanno, un'importanza fondamentale nella mia vita. Sono convinto che l'uomo normale è biologicamente costruito per un'attività diretta a un fine, e che l'ozio, o il lavoro senza scopo (come l'Arbeit di Auschwitz) provoca sofferenza e atrofia. Nel mio caso e in quello del mio alter-ego Faussone, il Lavoro si identifica con il *problem solving*, il risolvere i problemi [7, p.]

Insomma, se uno veramente lo vuole, il tempo per scrivere se lo trova, continua Levi nella lettera di risposta. Lo stesso nostro lavoro quotidiano, per quanto noioso, può essere una fonte preziosa, a partire dai contatti umani. Resta però di fondamentale importanza la chiarezza e la razionalità nel trasferire i propri pensieri sulla pagina scritta, se si intende davvero comunicare con il lettore. E conclude: «Dimenticavo di dirLe che, per scrivere, bisogna avere qualcosa da scrivere». [5, p. 237].

Passiamo ora al legno e a chi lo lavora.

Chi ha avuto occasione di maneggiare il legno, per mestiere, per arte o per divertimento, sa che è un materiale straordinario, male uguagliato anche dalle più moderne materie plastiche. Ha due grandi segreti: è poroso e quindi leggero e ha proprietà molto diverse lungo la fibra o contro la fibra; basta pensare al diverso effetto che provoca un colpo di scure dato in testa al ceppo o al suo traverso [5, p.164].

Il mestiere del “falegname” risale a parecchi millenni fa. Il legno è stato il materiale per costruzione, la “materia”, la materia per eccellenza, al punto che in alcune lingue c’era un solo modo di indicare il legno e la materia, e una stessa parola veniva usata. I nostri antenati hanno imparato a lavorare il legno prima ancora di imparare a lavorare il bronzo, ci ricorda Levi. Eppure, accanto alle loro ossa, fa notare, si trova oro, argento, bronzo, selci e conchiglie, ma il legno mai. Il legno è una sostanza organica e dunque solo apparentemente è stabile. In verità il legno ha «una debolezza chimica intrinseca». Il legno si ossida facilmente, «è desideroso di ossidarsi, cioè di distruggersi». L’ossigeno dell’aria è il suo nemico, lo rende instabile.

I contorni di questa instabilità fragile, che i chimici chiamano metastabilità, sono ampi. Vi stanno comprese [...] quasi tutte le sostanze organiche, sia naturali sia di sintesi; ed altre sostanze ancora, tutte quelle che vediamo mutare stato a un tratto, inaspettatamente: un cielo sereno, ma segretamente saturo di vapore, che si annuvola di colpo; un’acqua tranquilla che, al di sotto dello zero, congela in pochi istanti se vi si getta un sassolino. Ma è grande la tentazione di dilatare quei contorni ancora di più, fino a inglobarvi i nostri comportamenti sociali, le nostre tensioni, l’intera umanità d’oggi, condannata e abituata a vivere in un mondo in cui tutto sembra stabile e non è, in cui spaventose energie (non parlo solo degli arsenali nucleari) dormono di un sonno leggero [5, p.167].

Sono questi ancora una volta i legami trasversali tra scienza e storia che abbiamo segnalato sin dall’inizio, sempre presenti nel pensiero e nella scrittura di Levi, e che stanno a indicare la sua sorprendente capacità di non perdere mai di vista la possibilità, o meglio la necessità, di estrapolare da una particolare nozione scientifica una riflessione e una costruzione culturale che riguarda l’intera collettività in cui l’uomo e i suoi problemi meritano una costante attenzione.

Attraverso l’esame del testo, *L’altrui mestiere*, ci siamo mossi ‘in giro con Levi’ per conoscere il lavoro degli altri, il valore e il significato delle proprie e delle altrui esperienze; quelle che si raccolgono nelle azioni e nei pensieri di persone che si confrontano in un rapporto sempre attivo con il mondo esterno e producono conoscenza; quelle che portano ai risultati della ricerca scientifica e umanistica affidati alla pagina scritta.

È stato qui sottolineato il rifiuto da parte del chimico-scrittore della separazione fra le due culture e l’importanza della scrittura come costruzione linguistica che deve tendere alla chiarezza e alla razionalità di fronte a una realtà che si presenta caotica e complessa.

Abbiamo anche messo in evidenza l’insistenza con la quale Levi raccomanda la

necessità di non chiudersi nel proprio lavoro, di allargare i propri orizzonti culturali, di continuare a pensare e a riflettere su quanto avviene intorno a noi, per compiere scelte responsabili e autonome ai fini di una società più giusta e ordinata, al di là di ogni pericolosa delega e lontano da qualsiasi ricorso a un modello idealizzato.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Levi, P., *Se questo è un uomo*, Einaudi, Torino 1956.
- [2] Levi, P., *La tregua*, Einaudi, Torino 1963.
- [3] Levi, P., *Il sistema periodico*, Einaudi, Torino 1975.
- [4] Levi, P., *La chiave a stella*, Einaudi, Torino 1978.
- [5] Levi, P., *L'altrui mestiere*, Einaudi, Torino 1985.
- [6] Levi, P., *I sommersi e i salvati*, Einaudi, Torino 1986.
- [7] Levi, P., *Conversazioni e interviste 1963-1987*, a cura di M. Belpoliti, Einaudi, Torino 1997.

Scienza e fumetti

LA SCIENZA A FUMETTI DI JACOVITTI¹

MARCO SALUCCI

Liceo Gramsci Firenze, Società Filosofica Italiana

1. La bombacomica

Nella storia da cui è tratta la vignetta seguente Jacovitti immagina che uno scienziato abbia inventato una bomba in grado di far scoppiare la pace invece che la guerra perché induce il buon umore in tutti coloro che ne sono colpiti: la bombacomica. L'esplosivo utilizzato nella costruzione della bombacomica è il riso, o meglio gli atomi di riso. Giocando sull'ambiguità della parola "riso", Jacovitti rappresenta gli atomi di riso come facce sorridenti; è per tale proprietà che la bombacomica può suscitare riso e buonumore in chi ne rimane vittima. L'inventore della bombacomica è rappresentato da Jacovitti come il classico scienziato pazzo che, tanto per fugare ogni dubbio al riguardo, indossa un annaffiatoio come cappello. A rigore, però, le teorie dello scienziato jacovittiano hanno più a che fare con la magia che con la scienza.



Figura 1. [11, p. 134] ©jacovitti www.jacovitti.it.

Le osservazioni che vorrei fare prendendo spunto da questa vignetta jacovittiana riguardano proprio la differenza fra l'approccio scientifico e quello pre-scientifico allo studio della natura, cioè la differenza fra la scienza e la magia. L'idea che mi interessa nella vignetta è che, analizzando il riso, si trova che esso è composto di atomi di riso – sia come vegetale sia come espressione di sentimenti! Ciò significa che su scala microscopica l'oggetto ha le stesse qualità che ha su scala macroscopica. È come se dicessimo che l'atomo dell'oro è giallo e lucente come il lingotto. Noi sappiamo invece che a livello microscopico l'atomo dell'oro si caratterizza per il numero atomico 79, laddove, per

¹ Lezione tenuta a Firenze il 18 ottobre 2011, presso la Sala delle feste del Consiglio regionale della Toscana, nell'ambito dell'edizione 2011 di *Pianeta Galileo*.

esempio, il platino ha numero atomico 78 e il mercurio 80. Ma l'atomo dell'oro non è né giallo né lucente. Pensare che gli oggetti conservino a livello microscopico le stesse qualità che manifestano a livello macroscopico è tipico dell'approccio magico e pre-scientifico alla natura.²

La scienza moderna è nata all'incirca fra la metà del XVI secolo e la seconda metà del XVIII, se si prendono come termini estremi il 1543, data della pubblicazione dell'opera di Copernico, *De revolutionibus orbium coelestium*, e il 1687 data della pubblicazione del capolavoro di Newton, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. La scienza è caratterizzata, si dice, dal *metodo sperimentale*. Ciò è corretto, ma non deve indurre a sottovalutare un secondo carattere altrettanto, se non più, importante: l'uso della matematica per lo studio della natura. Poiché la matematica ha a che fare con quantità, diremo allora che la scienza, mediante l'impiego della matematica, ha un approccio quantitativo alla natura. Galileo Galilei è stato il primo a utilizzare un approccio del genere; perfino Cartesio, l'inventore della geometria analitica che consiste nell'applicazione dell'algebra alla geometria, non aveva avuto l'intuizione di applicare la matematica anche alla fisica.

Nel cercare di fornire una descrizione quantitativa della realtà, la scienza moderna si differenzia radicalmente da ogni forma di sapere delle epoche precedenti. La scienza antica, medievale e rinascimentale era infatti legata alla ricerca di qualità. Questo tipo di ricerca, precedente a quello della scienza moderna, era tipico della magia la quale cercava nella natura qualità come il calore o il colore, la pesantezza o la leggerezza, attribuendole all'essenza oggettiva delle cose. Qualche passo dal *De occulta philosophia* del mago Cornelio Agrippa può servire a illustrare l'atteggiamento della magia naturale.

Dicono che una pietra morsicata da un cane rabbioso abbia il potere di discordia, se messa in una bevanda. La lingua d'un cane, messa nella calce e attaccata al pollice con l'erba dello stesso nome, ossia la cinglossa, impedisce ai cani d'abbaiare [U]na pozione di cervello d'orso bevuto nel cranio dell'orso rende feroce come un orso e chi l'abbia trangugiata si crede tramutato in tale animale e opera come questo [L]'unghia del cavallo o del mulo fa fuggire i topi e quella del piede sinistro del mulo anche le mosche. [L]a gazza ciarliera annunzia gli ospiti o significa compagnia. [L]e api sono di buon augurio ai sovrani e indicano l'obbedienza dei sudditi. Le mosche significano molestia e impudenza, perché per quanto le si scaccino ritornano sempre [1, pp. 69-71, 81, 92].

Come si vede, Agrippa ritiene che le cose siano in se stesse proprio ciò che sembrano essere a noi: per esempio, ciò che sentiamo caldo è realmente tale, il calore è considerato dunque una reale proprietà dell'oggetto e non una nostra sensazione. La stessa cosa vale anche per altre proprietà di cui Agrippa tratta in pagine prossime a quelle da cui è estratto il brano precedente, come l'umido e il colore nero. La scienza ha invece

² Le osservazioni che seguono riutilizzano in parte e rielaborano i miei: [17], per le questioni di storia della scienza; [19] per i problemi del metodo scientifico e [18] per il tema del progresso.

introdotto e sempre più allargato la distanza fra come il mondo sembra a noi e come in realtà è: il calore è l'energia cinetica media, il colore è una radiazione elettromagnetica e così via. La magia attribuisce alla natura qualità che invece esistono solo nel soggetto percipiente. La mentalità magica si presenta in ciò come una forma di pensiero infantile: ha una caratteristica componente antropocentrica e antropomorfica: agli esseri e agli eventi naturali vengono attribuiti caratteri umani e non solo nel senso che il caldo e il freddo, per esempio, sono considerate proprietà reali degli oggetti ma anche nel senso in cui gli esseri e gli eventi naturali sono ritenuti portatori di un significato preciso per l'uomo (la gazza, le api, le mosche "significano che..."). Tale antropomorfismo, tra l'altro, è presupposto indispensabile della possibilità che il mago possa comandare alla natura parlandole, cioè pronunciando formule magiche.

Nella scienza moderna tutto cambia: la natura si può descrivere solo in termini quantitativi o matematici, come si legge in un famoso passo de *Il Saggiatore* di Galileo Galilei:

La filosofia è iscritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto [7, p. 232].

Ed è proprio perché la scienza ha a che fare con quantità misurabili che tutte le qualità non traducibili nel linguaggio della matematica e della geometria sono confinate all'interazione fra il soggetto che conosce e l'oggetto conosciuto. Scrive ancora Galilei:

Per tanto io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme ch'ella è terminata e figurata di questa o di quella figura, ch'ella in relazione ad altre è grande o piccola, ch'ella è in questo o in quel luogo, in questo o quel tempo, ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poche o molte, ne per veruna immaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla mente di doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata: anzi, se i sensi non ci fossero scorta, forse il discorso o l'immaginazione per se stessa v'arriverebbe giammai. Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori etc., per la parte del soggetto nel quale ci par che riseggano, non sieno altro che puri nomi, ma tengano solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sì che rimosso l'animale, sieno levate annichilate tutte queste qualità; tuttavolta però che noi, sì come gli abbiamo imposti nomi particolari e differenti da quelli de' gli altri primi reali accidenti, volessimo credere ch'essi ancora fossero veramente e realmente da quelle diverse [*ibidem*].

Introducendo una distinzione terminologica e concettuale che percorrerà tutta la storia del pensiero moderno e contemporaneo e che si trova, non a caso, anche nel chimico

Boyle, Galileo distingue le *qualità primarie* (forma, movimento, posizione ecc.), possedute dai corpi indipendentemente dal fatto che qualcuno li osservi, dalle *qualità secondarie* (colori, odori, sapori ecc.), esistenti solo perché l'oggetto osservato determina qualche effetto negli organi di senso del soggetto che osserva. Un albero che cade in una foresta disabitata non fa rumore: genera onde nell'aria, sì, ma non c'è nessun orecchio che trasformi queste onde in suono.

Da quanto detto si potrebbe credere che l'atteggiamento magico sia ormai solo un ricordo del passato. Purtroppo non è così, considerando la diffusione delle televendite di amuleti e pozioni magiche, il successo di trasmissioni televisive dedicate al 'mistero' o l'interesse per l'astrologia e gli oroscopi. Tanto più alto è il tasso di analfabetismo scientifico, tanto più diffuse sono le credenze magiche.

2. Metafore

Non è possibile parlare della scienza senza accennare a qualche aspetto del metodo che la caratterizza. Anche per questo scopo facciamoci guidare dalla fantasia di Jacovitti.

In una storia di fantascienza il personaggio Microciccio deve affrontare una serie di nemici fra i quali le truppe dei Gorgoni. Nella vignetta riprodotta qui sotto Microciccio sta appunto per affrontare due Gorgoni quando viene fermato dal suo amico che lo informa del tradimento dei due Gorgoni. La reazione aggressiva di Microciccio alla vista dei due Gorgoni è giustificata dall'aver affrontato numerosi altri Gorgoni ostili. L'esperienza passata ha indotto Microciccio a credere che tutti i Gorgoni siano ostili. Egli ha cioè utilizzato un processo induttivo: dall'osservazione di un certo numero di Gorgoni ostili ha indotto che: 'tutti i Gorgoni sono ostili'. Tale induzione è però falsa, poiché i due Gorgoni della vignetta non sono ostili.



Figura 2. [10, p. 58] ©jacovitti, www.jacovitti.it.

L'induzione è un'inferenza che parte dall'osservazione di un certo carattere in un numero finito di elementi di un insieme e giunge ad affermare che tale carattere appartiene a tutti gli elementi dell'insieme, anche a quelli non osservati. Ma nulla garantisce che i casi futuri o comunque non osservati abbiano lo stesso carattere dei casi osservati: il fatto che tutti i Gorgoni fin qui osservati siano nemici non garantisce che anche quelli

non osservati lo siano; il fatto che tutti i corpi finora osservati cadano con accelerazione g non garantisce che in futuro ciò si verifichi ancora. In termini appena più tecnici, la verità di premesse particolari non garantisce la verità di conclusioni universali.

Come il filosofo David Hume osservò nel XVII secolo, non serve a nulla replicare che le leggi della natura non mutano poiché anche questa tesi si fonda sull'induzione. Più in generale non si può giustificare l'induzione appellandosi al fatto che finora l'esperienza ha mostrato che gli argomenti induttivi funzionano: questa è a sua volta un'induzione.

Un possibile modo di affrontare il problema dell'induzione può essere quello di considerare la conclusione di un'inferenza induttiva come probabilmente vera invece che certa. Ma, senza entrare nella distinzione fra probabilità oggettiva o soggettiva, si può ancora osservare che l'affermazione, per esempio, che "l'evento A si verificherà nel 90% dei casi" è anch'essa un'affermazione basata su un numero limitato di osservazioni. Il problema della giustificazione dell'induzione si ripresenta pertanto inalterato: che cosa infatti ci autorizza a dire che anche nel futuro – o più in generale nei casi non osservati – un certo evento si verificherà con la stessa probabilità con cui si è verificato nel passato?

Anche in considerazione di tali problemi Karl Raimund Popper ha impostato il problema dell'induzione in un modo molto diverso da quanto era avvenuto prima. Prendendo atto del fatto che ogni tentativo di giustificare l'induzione fondato su esperienze osservate è destinato al fallimento, Popper propone di assumere un punto di vista diverso da quello che aspira alla verifica di un'ipotesi: se è vero che nessun insieme per quanto numeroso di osservazioni potrà giustificare una affermazione generale, è anche vero che basta una sola osservazione per falsificarla. Mentre non posso essere certo della verità dell'enunciato: "tutti i corvi sono neri" fondandomi sull'osservazione di un numero n grande a piacere di corvi neri, sarò però certo che "tutti i corvi sono neri" è falsa se ho osservato anche un solo corvo bianco. Secondo Popper deve essere la falsificazione e non la verifica, quindi, a costituire il criterio che guida il lavoro dello scienziato.

Ma io ammetterò certamente come empirico, o scientifico, soltanto un sistema che possa essere *controllato* dall'esperienza. Queste considerazioni suggeriscono che, come criterio di demarcazione, non si deve prendere la *verificabilità*, ma la *falsificabilità* di un sistema. In altre parole: da un sistema scientifico non esigerò che sia capace di essere scelto, in senso positivo, una volta per tutte; ma esigerò che la sua forma logica sia tale che possa essere messo in evidenza, per mezzo di controlli empirici, in senso negativo: *un sistema empirico deve poter essere confutato dall'esperienza* [14, p. 22].

Il premio Nobel per la fisica Richard Feynman ha una volta sintetizzato per i suoi studenti in modo molto efficace e con lo spirito che gli era consueto il modo con cui gli scienziati arrivano a formulare una nuova legge:

Per prima cosa tiriamo a indovinare; poi calcoliamo le conseguenze della nostra intuizione per vedere quali circostanze si verificherebbero se la legge che abbiamo

immaginato fosse giusta; quindi confrontiamo i risultati dei nostri calcoli con la natura, con gli esperimenti, con l'esperienza, con i dati osservativi. Se non è in accordo con gli esperimenti la legge è sbagliata. Ma se è in accordo con gli esperimenti? È giusta? No: semplicemente non si è potuto dimostrare che è sbagliata. È sempre possibile che in futuro qualche esperimento dimostri che è sbagliata. Quindi una teoria è temporaneamente giusta; non possiamo essere certi se una teoria è giusta, ma possiamo essere certi se è sbagliata. [documento filmato, tra. it. mia]

È evidente che Feynman condivide il punto di vista di Popper secondo il quale le teorie scientifiche sarebbero congetture utilizzabili finché qualcuno non ne dimostra la falsità.

L'insieme di procedure con le quali si cerca di mettere alla prova e di falsificare un'ipotesi costituisce il cosiddetto contesto della giustificazione. Ovviamente, ciò implica che già si disponga di un'ipotesi da sottoporre a controllo. Come si è dunque giunti a formulare una tale ipotesi? Come funziona, cioè, quello che si chiama contesto della scoperta? Ebbene, il processo creativo da cui si origina un'ipotesi o una teoria non sempre cade sotto il nostro controllo cosciente. Questa caratteristica riecheggia anche nell'uso di certe espressioni linguistiche come quando diciamo, per esempio, "ho avuto un'idea" o "mi è venuta in mente un'idea", quasi che l'idea avesse vita autonoma e indipendente. Si tratta di una percezione transculturale ben rappresentata da metafore visive come una lampadina che si accende sulla testa del personaggio dei fumetti di turno o la fiammella sulla testa del Buddha che ne significa lo stato di illuminazione. D'altra parte, la stessa etimologia della parola greca "idea", che significa all'incirca "ciò che è stato visto", denuncia il fatto che le idee spesso si impongono da sole.

Il lavoro dello scienziato consiste nel produrre teorie e nel metterle alla prova. Lo stadio iniziale, l'atto del concepire o dell'inventare una teoria, non mi sembra richiedere un'analisi logica né esserne suscettibile. La questione: come accada che a un uomo venga in mente un'idea nuova - un tema musicale, un conflitto drammatico o una teoria scientifica - può rivestire un grande interesse per la psicologia empirica, ma è irrilevante per l'analisi logica della conoscenza scientifica [...] [14, pp. 9-10].

Nel 1865 il chimico tedesco Friedrich August Kekulé stava lavorando alla formula di struttura del benzene. Era noto che una molecola di benzene era composta da sei atomi di carbonio e da sei atomi di idrogeno, ma non era chiaro come fossero disposti nello spazio. Si narra che durante una pausa dal suo lavoro, Kekulé si addormentasse in poltrona davanti al caminetto acceso e sognasse un serpente che danzava nelle fiamme fino ad assumere la forma di un anello. Improvvisamente Kekulé si svegliò perché si era accorto di aver trovato – letteralmente aveva 'visto' – la soluzione del suo problema: la molecola del benzene aveva la forma di un esagono.

La morale contenuta nella storia di Kekulé è che il modo in cui avvengono le scoperte è incontrollabile, apparentemente casuale, spontaneo. Impossibile individuare una procedura per arrivare con certezza alla soluzione di un problema: se avessimo

una tale procedura non esisterebbero più problemi. Avremmo la cura per il cancro, per esempio. Ora, siccome non è detto che tutte le idee che ci vengono in sogno o in veglia siano buone occorre sottoporle a controllo. Un volta che le abbiamo avute dobbiamo verificare se funzionano: è per questo che Kekulé una volta sveglio si mise alla scrivania a scrivere formule e a disegnare esagoni.

Si può dire che il modo con cui Kekulé è pervenuto alla formula del benzene è metaforico: nella sua mente si era formata una metafora visiva, quella del serpente, che stava per la forma della molecola del benzene. La metafora può in effetti essere un modo con cui si originano idee nuove. Da molti anni la metafora non è più solo un oggetto di studio solo per chi si occupa di linguistica o di letteratura ma anche per epistemologi e psicologi. La metafora accosta termini che appartengono a domini semantici diversi e dunque può gettare luce su un dominio meno noto utilizzando termini di un dominio più conosciuto. In questo senso la metafora può avere un valore euristico, può cioè costituire un motore per la scoperta [3].

La creazione di metafore è ovviamente un campo in cui un autore di ricco di fantasia come Jacovitti può sbizzarrirsi. Moltissime sono infatti le metafore linguistiche e visive che si trovano nelle storie e nei disegni di Jacovitti. Si potrebbe anzi tentarne persino una classificazione raggruppandole in categorie determinate. Anche ad un esame superficiale e casuale della sua produzione ne ho trovate alcune sulle dimensioni in cui il dominio sorgente è il corpo e il dominio bersaglio le grandezze. Per esempio: un grande occhio dietro una finestra è metafora della “grande vista” che si gode da un albergo sul mare; un signore chiede da bere “appena un dito” e da una bottiglia esce letteralmente un dito; ad un signore con una bocca enorme viene offerto un “boccone” di pietanza. Si trovano poi metafore sugli stati della persona, nelle quali il dominio sorgente sono i movimenti nello spazio e il dominio bersaglio gli stati psicofisici. In una vignetta Jacovitti disegna due fidanzati che hanno le teste a forma di ruote collegate da una cinghia di trasmissione e lui dice a lei che gli fa “girare” la testa; un’altra un oculista dice a un paziente il quale indossa gli occhiali sui pantaloni che gli è “calata” la vista; un medico dice a un paziente che levita sopra il letto che gli sembra “sollevato”. Se ne potrebbero ricordare altre, ma per continuare il nostro percorso sulla scienza ci serviremo a breve dalla metafora visiva di una vignetta seguente in cui Jacovitti rappresenta l’avanzamento del progresso come un uomo che cammina e sta per cadere dentro un tombino aperto [fig. 4].

3. Il progresso secondo Jacovitti

Fra tutti gli spunti che si possono reperire nelle storie di Jacovitti per parlare di scienza quelli senza dubbio più frequenti riguardano il tema del progresso. Jacovitti si è occupato in modo sistematico e a più riprese della questione delle conseguenze che la scienza ha nella vita dell’uomo, tanto che al tema del progresso ha dedicato addirittura tre edizioni del *Diariovitt* (quelle degli anni scolastici 1970/71, 1972/73 e 1976/77).

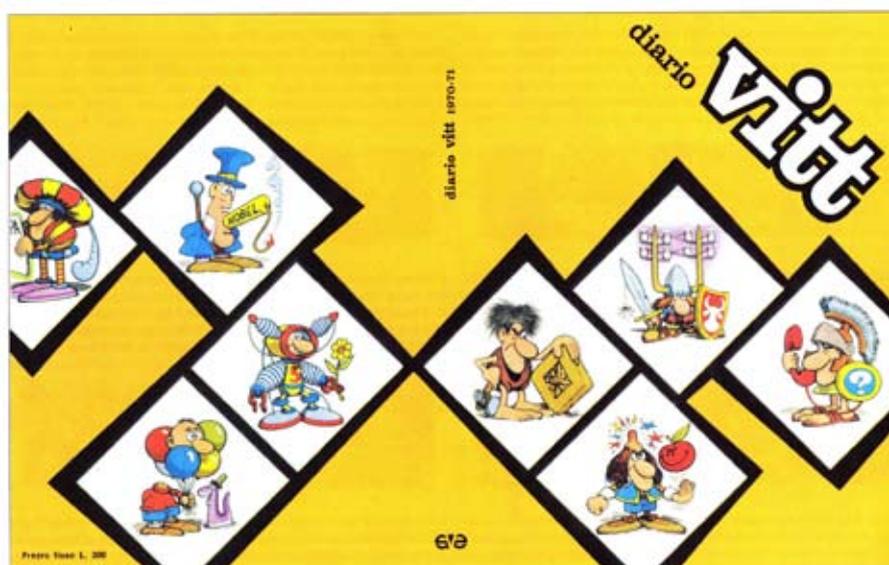


Figura 3. [9 p. 98] ©jacovitti, www.jacovitti.it.

Evidentemente il nostro umorista era affascinato dal tema del progresso, ma direi che era più propenso a sottolinearne gli aspetti negativi, come è ben illustrato dalla vignetta seguente:

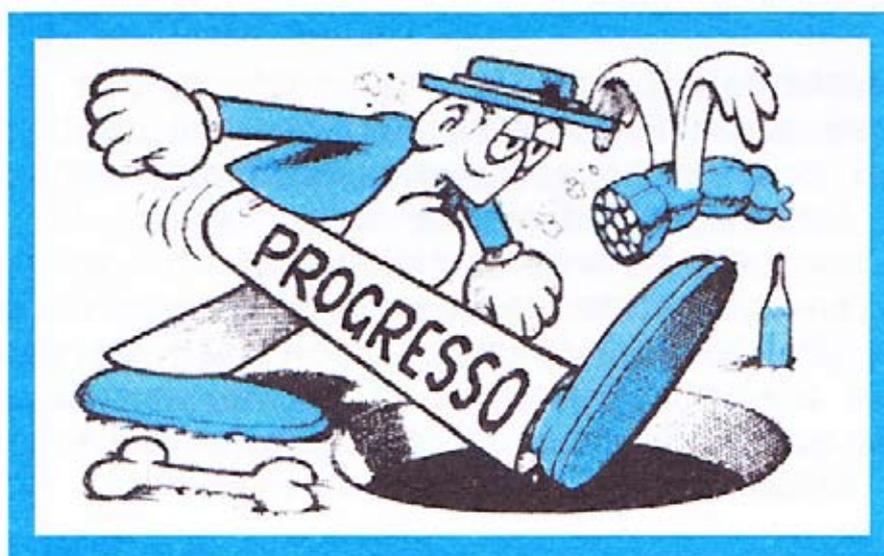


Figura 4. [9, p. 153] ©jacovitti, www.jacovitti.it.

Jacovitti rappresenta il procedere del progresso come un signore che sta per cadere in un tombino mentre – si noti – il testo a cui è associata la vignetta in questione è di tutt'altro tenore, poiché descrive un futuro in cui la scienza avrà risolto il problema della fame nel mondo. Una nota pessimista, o quantomeno non acriticamente ottimista, accompagna molte delle vignette in cui Jacovitti tratta il tema del progresso. Poiché gli effetti del progresso scientifico e tecnologico sono presenti nella nostra stessa vita

quotidiana ed hanno anzi contribuito al miglioramento della vita dell'uomo sul pianeta Terra, come si può giustificare un'opinione critica come quella della vignetta precedente? Ripercorriamo dunque sinteticamente la storia dell'idea di progresso.

Su un totale di circa cinquanta secoli di storia dell'uomo solo gli ultimi due o tre hanno visto lo sviluppo della scienza e della tecnica. Dall'inizio della prima *rivoluzione industriale*, nel XVIII sec., le condizioni delle società umane (occidentali) sono mutate più di quanto non lo siano state nei cinque millenni precedenti. Se si fanno le stesse considerazioni avendo però come riferimento l'intera storia della Terra, invece che solo quella dell'uomo, il significato e la portata della nascita e dello sviluppo della scienza e della tecnica risaltano con ancora maggiore evidenza.

Se la Terra si fosse formata a mezzanotte, l'intera storia dell'uomo sarebbe concentrata nei due secondi precedenti la mezzanotte successiva. Gli ultimi due secoli di storia della società industriale e tecnologica, corrispondono a circa 8 centesimi di secondo. Con gli attuali ritmi e modi di sviluppo, secondo alcune stime, fra circa un secolo il clima potrebbe mutare in misura tale da non consentire più la vita umana in certe zone del pianeta. Nella metafora che stiamo utilizzando, un secolo corrisponde a 4 centesimi di secondo che, aggiunti a quelli che rappresentano i due secoli di società industriale già passati, fanno un totale di 12 centesimi di secondo. Così ne ricaviamo che mentre la Terra ha impiegato quasi un'intera giornata di 24 ore (precisamente 24 ore meno 12 centesimi di secondo) per raggiungere condizioni tali da consentire lo sviluppo della civiltà umana, l'uomo ha impiegato solo 12 centesimi di secondo per cominciare a distruggerle.

Queste considerazioni servono per visualizzare quale sia l'impatto che la tecnologia contemporanea ha sull'ambiente: i suoi effetti sono paragonabili a quelli delle forze naturali che hanno plasmato il pianeta nel corso di quattro miliardi e mezzo di anni. È ovvio però che tale potere può avere conseguenze sia positive che negative.

Il dominio sulla natura che la scienza e la tecnica hanno consegnato all'umanità negli ultimi due secoli è una novità assoluta, poiché l'uomo è stato per tutti i millenni precedenti soltanto in balia delle forze naturali. Grazie alla scienza e alla tecnica l'umanità ha cominciato a emanciparsi dalla carestia (limitatamente alle società industrializzate), da molte malattie (la vita media durante, l'impero romano, per esempio, era di circa trent'anni), dalla fatica (l'energia disponibile prima della rivoluzione industriale era soprattutto quella muscolare): in una parola l'uomo delle società industrializzate vive meglio e più a lungo delle generazioni precedenti e di quelle contemporanee che vivono nei paesi non industrializzati. D'altra parte, tali miglioramenti hanno anche determinato un sensibile deterioramento dell'ambiente e una riduzione delle sue risorse. Il fatto, poi, che solo una minoranza dell'umanità goda dei benefici della società tecnologica comporta un'alternativa drammatica: da un lato non è giusto né possibile che la maggioranza della popolazione mondiale resti esclusa dallo sviluppo, ma dall'altro, partecipandone accresce in modo proporzionale il problema dell'inquinamento e dell'esaurimento delle risorse. Si pensi

che soltanto gli Stati Uniti, con una popolazione pari al 5,7% di quella mondiale, consumano il 40% delle risorse naturali mondiali e producono il 50% dell'inquinamento mondiale.

Perché un progresso tanto significativo è avvenuto solo negli ultimi due o tre secoli mentre per millenni l'umanità ha avuto sostanzialmente una medesima e scarsamente efficace tecnologia? Intanto occorre osservare che per millenni la schiavitù, mettendo a disposizione grandi quantità di lavoro gratuito, non ha certo favorito il bisogno di inventare nuove tecnologie. In secondo luogo occorre tenere presente l'atteggiamento che gli antichi nutrivano nei confronti del lavoro manuale che, appunto, era riservato agli schiavi. Ma soprattutto è un fatto che la tecnica sia in diretto rapporto con la scienza. Pertanto si può affermare che gli antichi non avevano una tecnica efficace soprattutto perché non avevano una scienza che fornisse una descrizione adeguata della natura. La tecnica, in quanto è la capacità di intervenire con efficacia sulla natura, presuppone una conoscenza il più possibile esatta di come funziona la natura stessa come, fra i primi moderni, comprese il filosofo inglese Francis Bacon: alla natura «si può comandare solo ubbidendole» scriveva, cioè conoscendone le leggi. La scienza e la potenza umana coincidono, perché l'ignoranza della causa preclude l'effetto, e alla natura si comanda solo ubbidendole [2, aforisma 3].

Come si è accennato, la tecnica poteva svilupparsi solo se veniva superato anche il disprezzo verso il lavoro manuale. Ha scritto a tal proposito lo storico delle idee Paolo Rossi:

la difesa delle arti meccaniche dall'accusa di indegnità, e il rifiuto di far coincidere l'orizzonte della cultura con quello delle arti liberali e le operazioni pratiche con il lavoro servile implicava in realtà l'abbandono di una millenaria immagine della scienza, implicava la fine di una distinzione di essenza tra il conoscere e il fare. [15, pp.13-16].

Gli antichi e i moderni hanno avuto atteggiamenti molto diversi nei confronti del sapere pratico e di quello teorico. Del primo può essere esemplificativa un'affermazione di Tolomeo – astronomo del I sec. d.C. – il quale proclamava che «quando indago sulle infinite spire ruotanti delle stelle i miei piedi non posano più su questa terra ma accanto a Giove stesso mi sazio di ambrosia, il cibo degli dèi» –, del secondo una frase di Pasteur – uno dei fondatori della microbiologia – secondo la quale l'uomo di scienza è al «colmo della gioia quando i risultati dei suoi studi trovano immediate applicazioni pratiche».

Come è noto, uno di prodotti più significativi e influenti della rivalutazione del sapere pratico è l'*Enciclopedia o Dizionario ragionato delle scienze, delle arti e dei mestieri* che, non a caso, organizza i contenuti del sapere in ordine alfabetico e dunque li pone tutti sullo stesso piano quanto a prestigio sociale e a valore conoscitivo. In una voce redatta da Denis Diderot per tale opera si legge una delle prime condanne del disprezzo per il lavoro manuale:

Esaminando i prodotti delle arti, gli uomini si avvidero che alcuni di essi erano frutto dell'attività intellettuale più che di quella manuale, mentre altri erano dovuti più all'attività manuale che a quella intellettuale. Tale è, almeno in parte, la cagione della più alta dignità concessa a certe arti rispetto a certe altre, e della distinzione tra arti liberali e arti meccaniche; la quale, pur essendo ben fondata, ha prodotto pessimi effetti, avvilendo uomini stimabilissimi e utilissimi, e rafforzando in noi non so quale naturale pigrizia, che troppo ci inclinava, già di per sé, a ritenere che una costante e continua manipolazione di esperimenti e oggetti singoli, sensibili e materiali, fosse lesiva della dignità dello spirito umano; che praticare e persino studiare le arti meccaniche significasse abbassarsi a cose la cui ricerca è laboriosa, la meditazione ignobile, l'esposizione difficile, il commercio disonorevole, il numero inesauribile, il valore minimo [...]. Tale pregiudizio mirava a riempire le città di ragionatori orgogliosi e di contemplativi superflui, e le campagne di tirannelli oziosi, pigri e altezzosi. Non pensarono certo così Bacone, uno dei primi geni di Inghilterra; Colbert, uno dei più grandi ministri Francia; insomma le buone teste e i saggi d'ogni epoca. Bacone considerava la descrizione delle arti meccaniche come la branca capitale della vera filosofia, e si guardò bene dal disprezzarne la pratica. Colbert considerava l'industria dei popoli e la creazione delle manifatture come la più sicura fonte di ricchezza d'un regno. [...] Se ponete su uno dei piatti della bilancia l'utilità reale delle scienze più sublimi e delle arti più onorate, e sull'altro quella delle arti meccaniche, vedrete che le valutazioni dell'una e dell'altra non sono state fatte secondo criteri che tenessero conto dei rispettivi meriti; giacché gli uomini intenti a farci credere che siamo felici hanno sempre ottenuto molte più lodi di quelli intenti a far sì che lo fossimo davvero. Bizzarria dei nostri giudizi! Esigiamo che ci si dedichi a occupazioni volte all'utile, e disprezziamo gli uomini utili [6, pp.162-164].

Il primo pensatore moderno a comprendere l'importanza del rapporto fra scienza e tecnica – il già ricordato Francis Bacon – non è stato solo uno dei primi a promuovere una concezione della scienza finalizzata alle applicazioni tecniche ma, coerentemente, ha anche sostenuto che il progresso della scienza è l'unico vero artefice del progresso umano in generale. Nasce così un'idea destinata ad avere un grande successo almeno fino ai primi anni del XX secolo. Secondo tale punto di vista, le condizioni materiali di vita dell'umanità sono destinate immancabilmente a migliorare con il progredire del sapere scientifico e dunque della tecnologia. Di più: le condizioni di vita dell'umanità sono destinate a migliorare se l'organizzazione sociale e politica delle nazioni si ispira alla scienza.

Nella sua opera *Nuova Atlantide* lo stesso Bacon aveva descritto uno Stato utopistico governato da scienziati. Comincia insomma a prender forma quella nozione di progresso come miglioramento inarrestabile determinato dal sapere scientifico che (eccezione fatta per i pensatori controcorrente che si trovano in ogni epoca, nella fattispecie si pensi a Schopenhauer, Nietzsche o Leopardi) ha dominato almeno tre secoli – dal Settecento al Novecento – non solo nelle *élite* culturali e intellettuali ma anche

nell'opinione comune delle società occidentali. Illuminismo settecentesco e positivismo ottocentesco non sono solo correnti di pensiero filosofiche ma mentalità, modi di vedere il mondo al quale hanno aderito intere generazioni di uomini e donne delle epoche moderna e contemporanea.

La lettura di alcuni passi può servire a documentare e a chiarire come il nodo concettuale scienza-tecnica-progresso sia presente sostanzialmente invariato in tutta l'era moderna. Per il XVIII, epoca della ragione e della rivoluzione industriale, basti un brano di Jean Antoine Condorcet, il primo filosofo moderno della storia:

Questo è lo scopo dell'opera che ho intrapreso, il cui risultato sarà di mostrare, sia attraverso fatti che attraverso argomentazioni, che la natura non ha posto alcun limite al perfezionamento delle facoltà umane; che la perfettibilità dell'uomo è realmente indefinita; che i progressi di questa perfettibilità, ormai indipendenti da ogni potenza che volesse arrestarli, non hanno altro limite che la durata del globo sulla quale la natura ci ha gettato. Senza dubbio, questi progressi potranno seguire un cammino più o meno rapido, ma esso dovrà essere continuo e mai retrogrado fintantoché la terra occuperà il medesimo posto nel sistema dell'universo e le leggi generali di questo sistema non produrranno né uno sconvolgimento radicale né mutamenti tali da non permettere più alla specie umana di conservarvi, e di spiegarvi le proprie facoltà, di trovarvi le medesime risorse [5, p. 48].

Si noti l'espressione: «fintantoché [...] le leggi generali di questo sistema non produrranno né uno sconvolgimento radicale né mutamenti tali da non permettere più alla specie umana di conservarvi». Parole che suonano profetiche dal momento che oggi la questione ecologica consiste proprio nel fatto che cominciano a verificarsi quei «mutamenti» che potrebbero «non permettere più alla specie umana di conservarsi», anche se tali mutamenti non sono dovuti al sistema stesso della natura ma proprio alla tecnologia umana.

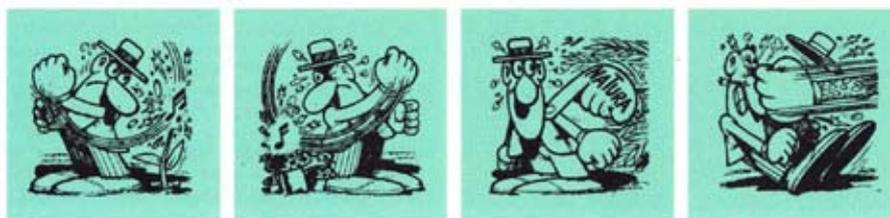


Figura 5. [9, p. 125] ©jacovitti, www.jacovitti.it.

L'idea che il benessere dell'umanità dipenda dallo sviluppo della scienza e della tecnica e che il progresso umano debba quindi essere affidato alla scienza continua ed anzi viene esaltata dal positivismo ottocentesco, come si capisce dalle parole del suo fondatore e vate, il francese Auguste Comte, il quale, riecheggiando in modo inequivocabile il pensiero di Bacon, scrisse:

[...] la scienza è la vera base razionale dell'azione dell'uomo sulla natura; [...]; solo la conoscenza delle leggi dei fenomeni, il cui risultato costante è di farceli prevedere, può evidentemente condurci nella vita attiva a modificarli a nostro vantaggio [...] Insomma, scienza donde previsione; previsione, donde azione: tale è la formula semplicissima che esprime in modo esatto la relazione generale tra la scienza e l'arte [la tecnica], prendendo questi due termini nella loro accezione totale [4, p. 51].

Il maestro di Comte, il socialista utopista Henri de Saint-Simon, aveva avuto espressioni anche più esplicite e polemiche contro il potere costituito.

La prosperità della Francia non può essere determinata se non per effetto e come risultato del progresso delle scienze, delle belle arti e delle arti e mestieri: ora, i principi, i grandi ufficiali della corona, i vescovi, i marescialli di Francia, i prefetti e i proprietari oziosi non lavorano affatto per il progresso delle scienze; non vi contribuiscono, anzi, non possono non nuocervi, perché si sforzano di prostrarre il predominio esercitato fino ad oggi dalle teorie [metafisiche] sulle conoscenze positive [...], nuocciono perché impiegano i loro mezzi pecuniari in modo non direttamente utile per le scienze [20, p. 82].

Parole che suonano critiche anche verso i poteri costituiti di oggi, se negano all'istruzione, alla ricerca scientifica e tecnologica, gli investimenti necessari.

4. Tecnica e regresso

L'incondizionata e acritica fiducia nel fatto che il progresso scientifico e tecnologico non possano che migliorare la vita dell'umanità è stata radicalmente rivista nel corso Novecento, in particolare a seguito dell'esperienza delle due guerre mondiali, le prime guerre tecnologiche. Posta al servizio della guerra, la scienza ha inventato ordigni dalle potenzialità distruttive prima inimmaginabili. Carri armati, mitragliatrici, aerei, sottomarini, gas tossici furono i primi ritrovati di una tecnologia militare che ebbe il suo apice nel 1945 con lo sgancio delle bombe termonucleari su Hiroshima e Nagasaki. Cominciò allora a emergere la consapevolezza che la scienza e la tecnica non hanno di per sé un valore positivo o negativo ma che esso dipende dall'uso che ne viene fatto. La vignetta sulla bombacomica da cui abbiamo cominciato è tratta da una storia pubblicata da Jacovitti nel 1948, solo tre anni dopo Hiroshima e Nagasaki. Il filosofo britannico Bertrand Russell, che è stato non solo uno dei massimi protagonisti della ricerca filosofica, matematica e logica del XX secolo ma anche profondamente impegnato in battaglie civili a favore della pace, della tolleranza e della libertà, è intervenuto più volte sull'argomento:

Da quando gli uomini cominciarono a pensare, le forze della natura li hanno oppressi; terremoti, inondazioni, pestilenze, e carestie li hanno riempiti di terrore. Finalmente grazie alla scienza l'umanità sta scoprendo come evitare molto della sofferenza che tali eventi hanno finora causato. Lo stato d'animo con cui l'uomo moderno dovrebbe far fronte all'universo, mi sembra debba essere di tranquilla fiducia in se stesso. L'universo come è

conosciuto dalla scienza non è in se stesso né amico né nemico dell'uomo, ma si può far sì che agisca come un amico se lo si avvicina con attitudine di paziente investigatore. Quando si tratta dell'universo l'unica cosa necessaria è la conoscenza. L'uomo, solo fra le cose viventi, si è mostrato capace della conoscenza necessaria a dargli una certa padronanza del proprio ambiente. I pericoli per l'uomo nel futuro, o almeno in qualunque futuro prevedibile, verranno non dalla natura ma dall'uomo stesso. Userà e gli saggiamente del suo potere? O volgerà l'energia dalla lotta contro la natura in lotte contro il suo prossimo? [16, p. 348]

Dunque, il colpo decisivo all'idea plurisecolare che lo sviluppo tecnologico e scientifico sia necessariamente di per sé positivo e che, sotto le sue ali, il cammino dell'umanità sia destinato al miglioramento e al conseguimento della felicità, è stato inferto dalla dall'uso militare dell'energia nucleare. Con la fine della Seconda Guerra Mondiale comincia l'era della guerra fredda, l'era di un equilibrio internazionale e di una pace fondata sul terrore che una nuova guerra combattuta con armi nucleari non avrebbe potuto avere vincitori. Nel 1955 – in piena Guerra Fredda – un gruppo di scienziati e di intellettuali, fra i quali Albert Einstein e Bertrand Russell, sottoscrissero un manifesto in cui si denunciavano i rischi di una eventuale nuova guerra.

Nella tragica situazione che si pone all'umanità, pensiamo che gli scienziati dovrebbero riunirsi per valutare i pericoli che sono sorti come risultato dello sviluppo delle armi di distruzione di massa, e discutere una deliberazione nello spirito del documento allegato. In quest'occasione noi non parliamo come membri di questa o quella nazione, continente o fede, ma come esseri umani, membri della specie Uomo, della quale è in dubbio la continuità dell'esistenza [...]. Dobbiamo imparare a pensare in un modo nuovo. Dobbiamo imparare a chiederci non quali passi possono essere fatti per dare la vittoria militare al gruppo che preferiamo, perché tali passi non esistono più; la domanda che dobbiamo porci è: quali passi debbono essere fatti per evitare una contesa militare la cui conclusione sarebbe disastrosa per tutte le parti? [...]. Abbiamo di fronte a noi, se lo scegliamo, un progresso continuo in felicità, conoscenza e saggezza. Sceglieremo invece la morte, perché non possiamo dimenticare i nostri litigi? Ci appelliamo da esseri umani agli esseri umani: ricordate la vostra umanità e dimenticate il resto [...]. Invitiamo questo Congresso, e attraverso di esso gli scienziati di tutto il mondo e il grande pubblico, a sottoscrivere la seguente deliberazione: "In previsione del fatto che in qualsiasi futura guerra mondiale verranno sicuramente impiegate le armi nucleari, [...] esortiamo i governi del mondo a rendersi conto, e a riconoscere pubblicamente, che i loro scopi non possono essere favoriti da una guerra mondiale, e, di conseguenza, li esortiamo a trovare mezzi pacifici per la sistemazione di tutti gli argomenti di contesa tra loro."³

3 Il cosiddetto Manifesto Russell-Einstein è reperibile all'indirizzo: http://www.consiglio.regione.toscana.it/news%2Dded%2Deventi/pianeta%2Dgalileo/atti/2009/15_lenci.pdf. È firmato da: Max Born, Percy W. Bridgman, Albert Einstein, Leon Infeld, J.F. Joliot-Curie, H.J. Muller, Linus Pauling, Cecil F. Powell, J. Rotblat, Bertrand Russell, Hideki Yukawa.



Figura 6. [10, p. 23] ©jacovitti, www.jacovitti.it.

La questione del nucleare pose in modo ineludibile agli scienziati il problema del loro impegno civile. Il coordinatore del progetto Manhattan, Oppenheimer, disse che la fisica aveva conosciuto il peccato. Nella vignetta precedente Jacovitti immagina che gli scienziati che non vogliono far cadere le loro invenzioni nelle mani di “birbanti” siano costretti a lasciare la Terra. Il tema della responsabilità dello scienziato, se, cioè, egli possa disinteressarsi dell’uso che può essere fatto delle sue scoperte, fu posto con decisione da uno dei padri fondatori della fisica contemporanea: Werner Heisenberg.

L’enorme successo di questa combinazione di scienza e di tecnica [...] ha cambiato in modo fondamentale le condizioni di vita sulla nostra terra; e, sia che lo si approvi o no, sia che lo si consideri un progresso o un pericolo, ci si deve rendere conto che esso è andato molto al di là delle possibilità di controllo ad opera di forze umane [...].

La fisica moderna appartiene alle parti più recenti di questo sviluppo ed il suo risultato disgraziatamente più visibile, l’invenzione degli ordigni nucleari, ha mostrato l’essenza di questo sviluppo nella più chiara luce possibile. Da una parte, essa ha dimostrato chiarissimamente che i cambiamenti causati dalla combinazione di scienza e di tecnica non possono essere considerati solo dal punto di vista ottimistico; e almeno in parte essa ha giustificato le opinioni di coloro che avevano sempre ammonito contro i pericoli d’un mutamento così radicale delle nostre condizioni naturali di vita [...].

L’invenzione degli ordigni nucleari ha anche sollevato problemi completamente nuovi per la scienza e gli scienziati. L’influenza politica della scienza è divenuta

molto più forte di quel che fosse prima della seconda guerra mondiale, il che ha gravato lo scienziato, specialmente il fisico atomico, di una responsabilità raddoppiata. Egli può o prendere parte attiva all'amministrazione del paese tenendo presente quale sia l'importanza della scienza per la comunità di cui fa parte, ed egli dovrà allora probabilmente affrontare la responsabilità di decisioni di enorme importanza che vanno ben oltre il piccolo cerchio di ricerche e di lavoro universitario cui era abituato. Oppure egli può volontariamente trarsi indietro da qualsiasi partecipazione alle decisioni politiche, e allora sarà ancora responsabile delle cattive decisioni che egli avrebbe forse potuto impedire se non avesse preferito la vita tranquilla dello scienziato [8, pp. 219-224].

La questione dell'energia nucleare non pone solo il problema del suo impiego a fini militari ma anche civili, come ci ricorda la seguente vignetta di Jacovitti che illustra una didascalia sulle conseguenze nefaste dell'inquinamento da scorie radioattive. L'aumento del prezzo, la disponibilità non illimitata e l'inquinamento relativi all'impiego del petrolio tentano ricercatori e governi a sviluppare centrali energetiche che utilizzino una tecnologia di sfruttamento del nucleare. Ma il problema dello smaltimento delle scorie e più ancora quello della sicurezza degli impianti che periodicamente viene riproposto da gravi incidenti – come quelli di Three Mile Island (USA, 28 marzo 1979), Chernobyl (URSS, 26 aprile 1986) e Fukushima (Giappone, 11 marzo 2011) – costituiscono forti obiezioni allo sviluppo di una politica energetica fondata sul nucleare.



Figura 7. [9, p. 154] ©jacovitti, www.jacovitti.it.

4. Conclusione

Di fronte ai disastri, reali o presunti, della tecnologia qualcuno può cedere alla tentazione di abbandonare scienza e tecnica magari vagheggiando il ritorno a un mondo magico del tipo che abbiamo ricordato all'inizio di questo intervento. Ma chi sottolinea i guai della tecnologia non è però quasi mai disposto a rinunciare alla medicina moder-

na quando sta male. Mi sembra allora che non si possa concludere meglio di quanto possono fare le parole del premio Nobel per l'immunologia Peter Medawar:

Non ci soffermiamo sui misfatti della tecnologia e consideriamo come scontati i suoi benefici. Siamo costernati per l'inquinamento atmosferico, ma non rallegriamo in modo proporzionale per la virtuale sparizione della poliomielite, per fare un esempio [...] C'è una tendenza, anzi una perversa predilezione ad ammettere che il saccheggio operato talvolta dalla tecnologia sia un processo inevitabile e irrinunciabile, la grande macchina che schiaccia la natura. Non c'è nulla del genere. Il deterioramento dell'ambiente prodotto dalla tecnologia è un problema tecnologico, per il quale la tecnologia ha trovato, sta trovando e continuerà a trovare soluzioni. C'è un motivo per cui scienza e tecnologia possono essere chiamate a rendere conto quando inventano nuovi strumenti di guerra: ma è il colmo della follia condannare l'arma invece del delitto. Potrei anche esprimermi così: nel dirigere le nostre cose siamo stati troppo spesso cattivi artigiani, e come tutti i cattivi artigiani e diamo la colpa ai nostri strumenti.

Sono completamente favorevole a un atteggiamento di critica severa verso le innovazioni tecnologiche; dovremmo analizzare a fondo tutti i tentativi di migliorare la nostra condizione e per essere sicuri che in realtà non la peggioriamo. Ma c'è tutta la differenza di questo mondo fra una critica informata e seria e il languido scoraggiamento che non offre rimedi per gli abusi che deploriamo [13, p. 126].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Agrippa, C., *De Occulta Philosophia*, I Dioscuri, Milano 1988, vol 1.
- [2] Bacon, F., *Nuovo Organo*, in *Opere filosofiche*, Laterza, Bari 1965.
- [3] Boyd, R., Kuhn T., *La metafora nella scienza*, Feltrinelli, Milano 1983.
- [4] Comte, A., *Corso di filosofia positiva*, Utet, Torino 1967.
- [5] Condorcet, J-A. C., *I progressi dello spirito umano*, Editori Riuniti, Roma 1974.
- [6] D'Alembert-Diderot, *La filosofia dell'Encyclopédie*, Laterza, Bari 1966.
- [7] Galilei, G., *Il Saggiatore*, in *Opere*, Utet, Torino 1965 vol. 6.
- [8] Heisenberg, W., *Fisica e filosofia*, Il Saggiatore, Milano 1961.
- [9] Jacovitti, B., illustrazioni per i diari vitt, ristampate in G. Fofi, *Gli anni d'oro del diario vitt*, Stampa Alternativa, Viterbo 2006.
- [10] Jacovitti, B., *Microciccio spaccavento*, 1965, ristampato in B. Jacovitti, *Fantastorie*, Stampa Alternativa, Viterbo 2005.
- [11] Jacovitti, B., *Pippo e la bombacomica*, 1948, ristampato in B. Jacovitti, *Fantastorie*, Stampa Alternativa, Viterbo 2005.
- [12] Lenci, F., Verso un mondo libero da armi nucleari?, *Atti di Pianeta Galileo 2009*, Consiglio regionale della Toscana, Firenze 2010, pp. 204-209.
- [13] Medawar, P., *Difesa della scienza*, Armando, Milano 1978.
- [14] Popper, K.R., *La logica della scoperta scientifica*, Einaudi, Torino 1970.
- [15] Rossi, P., *La nascita della scienza moderna in Europa*, Laterza, Bari 1997.
- [16] Russell, B., *Sintesi filosofica*, La Nuova Italia, Firenze 1973.
- [17] Salucci, M., *Rivoluzione scientifica e filosofia*, in M. Imbimbo, L. Parasporo, M. Salucci, *Viaggio nella filosofia*, Palumbo, Palermo, 2008, vol. 2, pp. 31-55.
- [18] Salucci, M., *Scienza e tecnica*, in M. Imbimbo, L. Parasporo, M. Salucci, *Viaggio nella filosofia*, Palumbo, Palermo, 2008, vol. 2, pp. 513-542.
- [19] Salucci, M., A proposito del metodo scientifico... leggendo fumetti, in *Atti di Pianeta Galileo 2009*, Consiglio regionale della Toscana, Firenze 2010, pp.257-278.
- [20] Saint-Simon, H., Parabola di Saint-Simon, in *Il socialismo prima di Marx*, a cura di G. M. Bravo, Editori Riuniti, Roma 1973, pp 82-87 [ed. orig. del saggio: 1819].

L'ATOMISMO NELLE ILLUSTRAZIONI SURREALI DI JACOVITTI¹

ANDREA SANI

Società Filosofica Italiana e Liceo Classico Galileo Firenze

1. Franco Benito Jacovitti

Franco Benito Jacovitti (1923-1997) è il più grande autore italiano di fumetti umoristici del Novecento. *Pippo, Pertica e Palla* e *Jak Mandolino* (pubblicati sul settimanale cattolico «Il Vittorioso»), *Tom Ficcanaso* (apparso sul «Giorno dei Ragazzi», supplemento del quotidiano «Il Giorno»), *Zorry Kid* (pubblicato sul «Corriere dei Piccoli»), *Gionni Peppe* (diffuso su «Linus») sono solo alcuni dei moltissimi personaggi a fumetti creati dall'inesauribile penna del *cartoonist* di Termoli che si firmava disegnando una lisca di pesce, derivata – come sostiene l'autore – dal nomignolo che gli amici gli avevano affibbiato da giovane a causa della sua particolare magrezza. Jacovitti ha spaziato un po' in tutti i generi dei *comics*: dalle avventure metropolitane alla fantascienza, al western, alle *gangster stories*. La sua creazione più famosa è comunque *Cocco Bill* (nato sul «Giorno dei Ragazzi» nel 1957), l'infallibile cow-boy che preferisce la camomilla al whisky, e le cui avventure hanno anticipato il western all'italiana di Sergio Leone.

Jacovitti ha accompagnato gli adolescenti anche a scuola, attraverso le annate di un celeberrimo diario scolastico, il *Diario Vitt*, a cui l'autore ha collaborato dal 1950 fino al 1979-80. Soprattutto negli anni Cinquanta e Sessanta, il *Diario Vitt* era praticamente l'unico diario scolastico nelle cartelle degli studenti. Ogni edizione del *Diario* affrontava un tema particolare, generalmente legato all'attualità (*Personaggi famosi; Scienza e tecnica*, ecc.). Ai testi, illustrati dalle immagini del disegnatore di Termoli, lavoravano anche famose firme del giornalismo, come Indro Montanelli (nel 1966-67) o Sergio Zavoli (nel 1967-68), cfr. [5].

Jacovitti è stato anche un grande illustratore di libri: bellissime sono le sue due versioni del *Pinocchio* di Carlo Collodi, edite dalla Casa Editrice La Scuola nel 1945 e dall'A.V.E. nel 1964 (ma esiste anche una terza versione, a fumetti, pubblicata nel 1946-47 sul «Vittorioso»). Tra i volumi arricchiti dalle sue illustrazioni, si segnala persino un manuale di chimica per le scuole medie superiori. Si tratta del testo di Giuseppe Valitutti, Antonio Gentile e Vittorio Gerosa, intitolato *Introduzione alla chimica* edito da Masson (1980), [10], un manuale rigorosissimo e didatticamente efficace, ma che ostenta già in copertina l'immagine di uno scienziato jacovittesco

¹ Il presente testo è una rielaborazione della lezione tenuta a Firenze il 18 ottobre del 2011, presso la Sala delle Feste del Consiglio Regionale, nell'ambito dell'edizione 2011 di *Pianeta Galileo*.

che osserva con la lente di ingrandimento un atomo (con tanto di gambe), che lo guarda di traverso. La singolare iniziativa attesta la popolarità goduta nel 1980 da Jacovitti anche se, proprio nello stesso anno, cessano le pubblicazioni del *Diario Vitt*.

Le non molte illustrazioni di Jacovitti contenute nel testo di chimica, in bianco e nero, sono assai esilaranti (come c'era da aspettarsi) e al giorno d'oggi risultano praticamente sconosciute ai più. Anche se di dimensioni un po' più grandi, le immagini possono ricordare le vignette a piè di pagina del *Diario Vitt*, che talvolta, in passato, hanno già assunto un contenuto scientifico (per esempio nel volumetto dell'anno scolastico 1970-71, dedicato al progresso e alla tecnologia).

Per apprezzare adeguatamente i disegni di Jacovitti dedicati alla chimica, è però necessario aprire una breve parentesi sulle singolari caratteristiche dell'umorismo grafico jacovittesco.

2. Surrealismo a fumetti

Quello di Jacovitti è un raro caso di *surrealismo a fumetti*: molte delle sue vignette fondono realtà e sogno, rasentando un umoristico delirio. Anche il nostro autore, come i pittori surrealisti, si abbandona al libero gioco della fantasia, creando immagini incongrue e situazioni contraddittorie. Il chiaro sforzo di esprimere un mondo di sogno, spiega la mostruosità di certe trovate di Jacovitti: baffi che si tramutano in pesci, gambe umane trasformate in zampe di gallina, salami che camminano.

Se devo disegnare per esempio un cavallo – spiega Jacovitti in una vecchia intervista – accade che mi domandi: è proprio obbligatorio mettergli la coda? Però la coda ci vuole e allora finisco per affibbiarla al cavaliere o a qualcun altro vicino. Nello stesso modo, se devo disegnare un uomo con una gamba di legno, mi viene spontaneo collocargli accanto un tavolo con una gamba umana. Di questo passo potrei andare avanti: se esistono cavalli a dondolo, perché non posso fare un messicano a dondolo? E se, a un certo momento, c'è un fuggi fuggi generale, perché non far scappare anche un salame munito di gambe e braccia? [2, pp. 38-40].

Un'altra caratteristica delle storie di Jacovitti – evidente anche a chi sfoglia in modo distratto i suoi albi a fumetti – è il gusto per le scene affollate (*l'horror vacui*) e la moltiplicazione nelle vignette degli oggetti autonomi, senza una precisa relazione con il testo o con lo sviluppo della storia, come i famosi salami, le ossa, i piedi, i vermi con il cappello, i pesci, le api ciccone, i pettini sdentati, i rocchetti, i dadi volanti, i lapis, le dita emergenti dal suolo, le puntine da disegno, i fiaschi, le farfalle col baschetto, i ragni pelosi, ecc.

Disegno un salame con i piedi – ha dichiarato Jacovitti in un'altra intervista – ma anche un pesce con le ali, che vola. Mi piace l'assurdo, perché io stesso sono una persona assurda; decontestualizzare un oggetto o un animale ha un senso all'interno del mio lavoro... pensa, pesci che invece di guizzare in acqua volano sopra le persone, pesci volanti: l'idea mi piace... Dalì faceva la stessa cosa, sospendeva oggetti nel vuoto, o li deformava: pensa agli orologi stesi come fossero lenzuola [7, pp. 22-23].

Altrove, Jacovitti ha spiegato più nel dettaglio l'origine dei suoi oggetti riempitivi, vedi [1]. Per sua stessa ammissione, il grande *cartoonist* creava le sue storie di getto, senza una trama prestabilita; cosicché, dopo aver realizzato una vignetta, per non stare con la matita in bocca ad aspettare l'ispirazione, disegnava un salame, dei vermi, un pesce volante o qualcosa del genere; insomma, la prima cosa che gli veniva in mente.

Secondo l'interpretazione psicoanalitica delle storie jacovittesche che ha proposto Alberto Perrini, il tentativo di Jacovitti di rappresentare con il disegno le sue libere associazioni mentali farebbe trasparire nelle immagini di Cocco Bill & C. anche dei simboli di natura libidica, se non addirittura i segni di tutte le fasi dello sviluppo della personalità:

da quella orale (le bocche all'improvviso gremite di zanne ferine), a quella anale (i frequenti vasi da notte), dal complesso di castrazione (i mezzi salami affettati), alla difesa di questo complesso (il vermiciattolo mascherato, vale a dire l'inoffensivo 'bigolino' infantile), alle fantasie persecutorie di distruzione e di morte (le ossa umane spolpate che sporgono dal terreno) [8, p. 7].

Il sovraffollamento delle vignette di Jacovitti può comunque suscitare un senso di eccessiva pienezza e quasi di 'soffocamento'. Nei disegni jacovitteschi c'è surrealismo, ma ci sono anche confusione (una gran quantità di oggetti alla rinfusa) e tendenze grafiche di tipo decisamente anarchico. Per questo, il nostro autore è forse il più qualificato per rappresentare graficamente l'"entropia", e cioè la tendenza al disordine che caratterizza la natura, stando almeno al Secondo Principio della termodinamica che, nella formulazione di Boltzmann, recita: «Ogni sistema fisico isolato tende a trasformarsi in modo che aumenti la propria entropia, cioè il disordine delle sue componenti». Tant'è vero che la vignetta di Jacovitti più efficace, pubblicata nell'*Introduzione alla chimica*, è proprio quella che raffigura l'entropia (fig. 1), proposta come una donna arrabbiata che tira calci, arrovancia barattoli di vernice di colori diversi che si mescolano irreversibilmente fra loro e fa cadere i libri da uno scaffale, in un'immagine in cui compaiono quasi tutti i caotici oggetti riempitivi jacovitteschi: la lisca di pesce, il salame, l'osso spolpato, il pettine, la tazzina, il rocchetto, il dado, la vite, il pesce volante e, per l'occasione, un calzino spaiato. Nel caos generale della vignetta, spuntano anche alcune copie dello stesso manuale che Jacovitti sta illustrando, chiamato, però, anziché *Introduzione alla chimica*, "Chimica caporale inorganica" (degradata a "caporale" da Chimica "generale"), "Chimica comica" e "Chimica così e cosà". Uno degli autori del manuale, Giuseppe Valitutti, in una copia del libro diventa il "Prof. Valemolti", in un'altra il "Prof. Valepochi" e in una terza il "Prof Valetanti".



Figura 1. L'entropia secondo Jacovitti © Jacovitti - www.jacovitti.it.

3. Jacovitti e Bergson

Circa gli spunti che spingono il lettore a ridere delle innumerevoli trovate jacovittecche, è sempre lo stesso Jacovitti a fornirci delle ulteriori indicazioni nel suo *Diario Vitt* 74/75 [4]. Questo vecchio diario ci offre, su testi di Isa Mogherini, una sintesi dell'opera *Il Riso. Saggio sul significato del comico* (*Le rire. Essai sur la signification du comique*, 1900) del filosofo francese Henri Bergson [9], dedicato allo studio della comicità, e che Jacovitti illustra puntualmente, svelando nello stesso tempo i meccanismi del suo particolare umorismo.

Secondo Bergson, il riso è legato esclusivamente a ciò che è umano. In particolare, a giudizio del filosofo francese, ridiamo quando l'uomo perde la sua umanità per diventare un semplice meccanismo, un pupazzo o una marionetta. Non a caso, dunque, Jacovitti accentua l'aspetto pupazzettistico dei suoi personaggi e stravolge in modo grottesco la loro fisionomia, disegnando per esempio enormi nasoni, che sembrano quasi estranei al volto dei loro proprietari.

Il riso ha per Bergson anche un aspetto sociale, dato che con esso la società punisce ogni nostra distrazione o rigidità. La risata è un lieve castigo che non ha comunque la durezza della sanzione penale, perché nel comportamento che fa ridere non c'è una grave violazione delle norme sociali, ma solo una deficienza di adattamento alla vita.

Tuttavia, coloro che sono oggetto di ilarità percepiscono questo fatto come un'umiliazione penosa, che sarebbe meglio evitare a ogni costo.

Bergson osserva che l'uomo, oltre a essere l'unico animale che ride, è anche il solo animale che faccia ridere. Infatti, se a volte ridiamo degli animali, ciò accade soltanto quando nel loro comportamento ravvisiamo una nostra goffa imitazione. In tal caso, qualunque animale può diventare comico, perfino la terribile tigre e il maestoso leone: basta mettergli un cappello in testa e un paio di occhiali sul naso, come fa, appunto, Jacovitti nelle sue divertenti illustrazioni a commento del testo [4, pp. 40-41]. Ma nessun animale, lasciato in pace nel suo ambiente, ha mai fatto ridere nessuno. Gli animali non ridono e non provocano il riso: sono assolutamente seri.

Oltre agli animali, anche gli oggetti qualche volta fanno ridere, ma sempre se ricordano l'uomo. Jacovitti, per illustrare questo concetto, a pagina 42 del *Diario Vitt* trasforma il vano di una porta in un'enorme bocca umana spalancata che ride, con tanto di denti e lingua. E nella pagina successiva, confermando il suo tipico stile surrealista, disegna il 'muso' di un'automobile come se fosse un volto arrabbiato che digrigna i denti per protesta di fronte a un vigile intento a notificare una multa. Jacovitti applica questa tecnica umoristica anche nelle illustrazioni dell'*Introduzione alla chimica*, dove umanizza gli elettroni e i protoni, disegnandoli dotati di occhi e con tanto di cappello.

È stato scritto che il surrealismo di Jacovitti è

un invito permanente a non sopravvalutare la realtà materiale, a non considerarla 'seria', ma a superarla con sempre nuove interpretazioni, siano pure l'ironia e la beffa, ma comunque a esserne insoddisfatti e a capire che bisogna cercare al di là (con la fantasia, con l'umorismo, con la fede...). Un invito a 'vedere oltre', con occhi nuovi e mente aperta, con il gusto del sorriso o con il graffio della satira. E comunque a non accontentarsi della piattezza e della standardizzazione [11, p. 383].

Il bizzarro registro comico di Jacovitti abitua il lettore a fare nuove ipotesi su ciò che ci circonda, a concepire possibilità diverse da quelle abituali e stimola il pensiero divergente, ossia il pensiero creativo, alternativo e originale.

Una simile 'poetica' surrealista che altera e stravolge la realtà fisica non poteva non condurre prima o poi Jacovitti a descrivere anche l'incredibile mondo sub-atomico, in cui un elettrone, come afferma il fisico danese Niels Bohr, è interpretabile paradossalmente *sia* come particella *sia* come onda.

4. L'atomismo classico

A questo punto, possediamo tutte le coordinate per 'leggere' le illustrazioni di Jacovitti contenute nell'*Introduzione alla chimica*. Le immagini jacovittesche ci consentiranno anche di compiere un *excursus* su alcuni concetti fondamentali della chimica e dell'atomismo.

«L'idea che la materia fosse formata da particelle piccolissime non è nuova – scrivono all'inizio del loro manuale di chimica Valitutti, Gentile e Gerosa. – già i Greci, 2500 anni fa – ne parlarono (Democrito)» [10, p. 22]. I tre autori non approfondisco-

no questa prospettiva storica e così anche Jacovitti non disegna delle vignette su tale argomento. Tuttavia, per comprendere le origini dell'atomismo, è necessario un breve accenno alle concezioni del filosofo Democrito.

L'atomismo classico è una forma di spiegazione del mondo di stampo materialista e meccanicista, cioè che spiega la realtà ricorrendo a due soli principi: la materia e il movimento dei corpi. Nell'antichità il fondatore della scuola atomista è Leucippo, del quale sappiamo assai poco. Conosciamo invece le teorie del suo discepolo Democrito di Abdera, nella Tracia, contemporaneo di Socrate e di Platone [vedi 3].

Democrito muove dalla constatazione che la realtà che ci circonda è costituita da corpi. Ora, caratteristica fondamentale dei corpi è l'estensione, cioè la spazialità. L'estensione, a sua volta, implica divisibilità, e, non essendo possibile una divisione all'infinito, bisogna ammettere l'esistenza di particelle non ulteriormente divisibili, dette "atomi". La parola greca *átomos* – usata come aggettivo – significa appunto "indivisibile", perché è composta dalla lettera "a" privativa = "senza", e dalla radice di *tèmnein* = "tagliare". Democrito, dunque, respinge la tesi del filosofo Anassagora, secondo la quale la materia sarebbe divisibile infinitamente. A giudizio di Democrito, se la materia non fosse composta da particelle ultime indivisibili, si sbriciolerebbe e non avrebbe fondamento. Aristotele, che ricostruisce il ragionamento degli atomisti nel *De generatione et corruptione*, precisa che secondo questi filosofi, qualora fosse possibile una divisione della materia all'infinito, il corpo dovrebbe ridursi a una "sorta di segatura". È vero che gli atomi, per quanto piccolissimi, occupano spazio, e quindi, teoricamente, potrebbero essere divisi in due. Tuttavia, di fatto, sono indivisibili perché sono duri, cioè perfettamente compatti e non porosi. L'indivisibilità degli atomi è dunque spiegata da una ragione fisica e non matematica: è spiegata, cioè, dalla loro estrema compattezza.

Oltre agli atomi, Democrito ammette anche l'esistenza del vuoto, ossia di uno spazio in cui gli atomi si aggregano e si disaggregano urtandosi fra loro. Il vuoto è ammesso per giustificare il movimento: infatti, ove tutto è pieno, non è possibile il passaggio per un corpo da un punto all'altro. Quindi, a fondamento del tutto, per Democrito ci sono gli atomi, il movimento e il vuoto.

Quali sono le caratteristiche degli atomi democritei? Gli atomi, innanzi tutto, come si è già detto, sono indivisibili: dividere un corpo significa *separare* gli atomi che lo compongono, e non *spezzarli*. Per esempio, quando tagliamo una mela con un coltello, la lama s'infila tra i vuoti esistenti fra particella e particella, e non divide in due gli atomi. Inoltre gli atomi sono pieni, cioè impenetrabili, e anche indistruttibili e immutabili. Ciò si traduce nella legge fisica secondo cui *nihil de nihil, nihil in nihilum* ("nulla si crea e nulla si distrugge"): la morte di un corpo non è un annientamento degli atomi, ma una loro separazione. Gli atomi, infine, sono qualitativamente tutti uguali, cioè sono fatti tutti della stessa sostanza (cioè di spazio pieno).

Gli atomi differiscono fra loro soltanto per aspetti quantitativi (aritmetico-geometrici), e più precisamente per quattro caratteristiche: due intrinseche a ciascun atomo (forma e grandezza), e due derivanti dalle relazioni in cui gli atomi si trovano tra loro

(ordine e posizione). Gli atomi, secondo il paragone di Aristotele (*Metafisica*, 1, 4, 985 b), sono simili alle lettere dell'alfabeto, e quindi si diversificano per forma, come, per esempio, la lettera A differisce dalla lettera N; per grandezza, perché ci sono atomi di varia misura, grandi e piccoli; per ordine, come la combinazione AN differisce dalla combinazione NA, e, infine, per posizione, come Z differisce da N. Il diverso ordine e la diversa posizione degli atomi determinano i diversi mutamenti delle cose, così come, variando la combinazione delle lettere dell'alfabeto, si ottengono diverse parole, diverse proposizioni e diversi periodi.

È di Democrito anche la teoria, destinata ad avere grande fortuna nella filosofia moderna, secondo la quale le qualità degli oggetti si dividono in soggettive e oggettive. Le qualità soggettive sono quelle che non appartengono alle cose stesse, ma dipendono dal soggetto senziente e possono essere diverse da soggetto a soggetto. Tali qualità sono il freddo, il caldo, il liscio, il ruvido, i colori, i sapori e gli odori, che vengono provocati da particolari figure o combinazioni di atomi. Le qualità oggettive, invece, sono quelle che esistono di per se stesse, negli oggetti esterni, ovvero negli atomi, e non mutano con il mutare dei soggetti, e sono quindi uguali per tutti gli uomini. Tali qualità sono la forma, la grandezza, il movimento, la velocità, il peso, l'ordine, la posizione, ecc. Si tratta, come si vede, di proprietà quantitative, misurabili oggettivamente.

Gli atomi sono in continuo movimento, che però non è causato, secondo Democrito, da una forza estranea. A suo giudizio, il movimento è un dato di fatto degli atomi, una loro caratteristica spontanea che non richiede una causa che lo provochi. Gli atomi si muovono liberamente nel vuoto in tutte le direzioni possibili e, per il loro casuale incontrarsi e scontrarsi nello spazio, si generano infiniti mondi.

Questi capisaldi dell'atomismo di Democrito sono ripresi nelle altre forme di atomismo, come in quella di Epicuro, divulgata poi dal poeta latino Tito Lucrezio Caro nel suo poema *De rerum natura*. Epicuro introduce la caduta degli atomi in linea retta dall'alto verso il basso nel vuoto, e spiega tale movimento con il loro peso. Come attesta Lucrezio, quando spontaneamente, e cioè senza causa, gli atomi deviano dalla traiettoria rettilinea, in virtù del cosiddetto *clinamen*, le particelle si incontrano e producono le cose per aggregazione.

Nel Medioevo l'atomismo si eclissa perché prevale la concezione aristotelica, che nega l'esistenza degli atomi democritei e interpreta la natura in senso finalistico e non meccanicistico. Con l'Umanesimo un nuovo interesse spinge gli studiosi a recuperare i testi antichi. In particolare, nel 1417, l'umanista Poggio Bracciolini scopre in un monastero un manoscritto dell'opera completa di Lucrezio. La riscoperta di Lucrezio e di Epicuro riporta l'atomismo nella filosofia, con l'opera di Giordano Bruno, e nella scienza, con gli scritti di Galileo Galilei. Nel XVII secolo, il più coerente difensore dell'atomismo è Pierre Gassendi, che cerca di conciliare l'atomismo con la teologia. È infatti Dio, secondo Gassendi, ad aver creato gli atomi e ad aver conferito loro la *vis motrix*.

5. L'atomismo moderno

La prima teoria atomica della materia, basata su dati sperimentali, è invece opera dell'inglese John Dalton, all'inizio dell'800, in ambito chimico. Dalton arriva a ipotizzare l'esistenza degli atomi nel 1808, collegandola alla "legge delle proporzioni multiple", una delle leggi ponderali a cui obbediscono le trasformazioni chimiche. Per una sintesi divulgativa sull'atomismo moderno, si veda [6].

Tale legge esprime il fatto che quando una sostanza (per esempio il carbonio) si combina con quantità diverse di un'altra sostanza (per esempio con l'ossigeno) per formare due o più composti, se assumiamo come costante la quantità di peso della prima sostanza, le diverse quantità della seconda sostanza stanno fra loro in rapporti espressi da numeri interi e piccoli e mai da numeri frazionari, come se fossero, quindi, delle parti indivisibili. Ma le parti indivisibili non sono altro che atomi. La legge di Dalton trova dunque giustificazione solo se si ammette che la materia non sia continua, ma sia costituita da particelle elementari indivisibili. Per esempio, 1 g di carbonio reagisce con 1,33 g di ossigeno in una prima reazione, e con 2,66 g di ossigeno (cioè il doppio di prima) in una seconda reazione. Ciò si spiega con il fatto che il rapporto fra le due quantità di ossigeno corrisponde al rapporto fra diversi numeri di atomi, che si legano interi gli uni agli altri e non per frazioni di atomi.

L'ipotesi atomista suscita subito vivaci opposizioni perché appare come il ritorno di una vecchia dottrina metafisica, quindi come uno sconfinamento della scienza nella metafisica. Ma essa, in realtà, è un'ipotesi suffragata da un fatto ben accertato. E più che un'ipotesi, la nozione stessa di atomo si conferma come una realtà quando, nel 1811, la teoria del torinese Amedeo Avogadro permette di stabilire il peso degli atomi relativamente all'atomo dell'idrogeno, assunto come unità (essendo l'elemento più leggero): il che dà agli atomi una realtà fisica perché misurabile.

Oggi la Comunità scientifica ha scelto come campione di riferimento per determinare il peso relativo (o massa relativa) di un elemento l'isotopo più comune del carbonio, denotato come carbonio-12. Stabilire il peso relativo di un elemento significa confrontare la sua massa con quella del carbonio-12 su una bilancia immaginaria.

Jacovitti visualizza tale bilancia – addirittura personificandola umoristicamente, secondo le modalità "bergsoniane" della sua comicità – nella vignetta di p. 43 dell'*Introduzione alla chimica*, dove il confronto è tra l'atomo di carbonio e quello di uranio, l'elemento più pesante, rappresentato da Jacovitti come un atomo umanizzato e particolarmente 'ciccione'.

A dire il vero, però, l'unità scelta per calcolare la massa relativa non è l'intero isotopo del carbonio, ma è la sua dodicesima parte. Per esempio, dire che l'elio ha massa atomica di 4 unità, significa dire che la massa atomica dell'elio è pari a 4 volte 1/12 della massa atomica del carbonio-12.

Com'è naturale, gli atomi, a causa delle loro ridottissime dimensioni e masse, non possono essere pesati singolarmente. Pertanto, per effettuare i calcoli desiderati, si è

deciso di prenderne in considerazione un insieme sufficientemente numeroso, cioè tale da poter essere misurato. Analogamente, anche nella vita di tutti i giorni, per contare le uova, anziché considerare un uovo alla volta, se ne prende in considerazione “una dozzina”; per contare i fogli se ne prende in considerazione “una risma”, cioè 500 fogli, ecc. Ma, di quanti atomi è conveniente parlare per l’ammontare delle sostanze: una dozzina di atomi? un migliaio? un bilione?

I chimici hanno inventato una nuova unità per esprimere la quantità di atomi di una sostanza, che si chiama “mole”. Una mole contiene un numero grandissimo di atomi, il cosiddetto “numero di Avogadro”: $6,023 \times 10^{23}$. Questa cifra, in realtà, corrisponde al numero degli atomi contenuti in 12 grammi di carbonio-12. Per avere un’idea dell’enormità del numero di Avogadro basti pensare che, se si riuscisse a mettere su un piatto della bilancia un numero di Avogadro di pallini di piombo, per raggiungere l’equilibrio sull’altro piatto dovremmo porre il globo terrestre.

In una vignetta a p. 47 del manuale, Jacovitti mette in evidenza la quantità stratosferica di cifre che caratterizza il numero di Avogadro, sottolineando il fatto che tale numero non potrebbe essere certo registrato nell’elenco del telefono! In un’altra, invece, a p. 46, un personaggio scruta in un sacco contenente le cifre di questo numero ed esclama: «Uuuuh... quanti zeri!!! ».

6. I modelli atomici di Thomson e Rutherford

La nozione di atomo subisce una trasformazione radicale a partire dalla seconda metà dell’Ottocento con lo studio dei fenomeni dei gas rarefatti e delle emanazioni radioattive. L’atomo, indivisibile per la chimica, non è più indivisibile per la fisica. Verso il 1904 il fisico britannico Joseph John Thompson escogita il primo modello di atomo, immaginando che esso sia costituito da una piccola palla elettrizzata positivamente che racchiuda nel suo interno un certo numero di elettroni con carica elettrica negativa, senza una disposizione spaziale definita, come l’uvetta all’interno del panettone (il sistema è infatti chiamato in inglese *plum pudding*). L’elettricità negativa degli elettroni forma, con l’elettricità positiva dell’atomo, un insieme neutro.

Ma alcune esperienze successive del neozelandese Ernest Rutherford mostrano che la materia è assai meno compatta di come farebbe supporre il modello atomico di Thompson. Perciò Rutherford, verso il 1911, immagina la struttura dell’atomo come un sistema solare in miniatura, costituito da un nucleo centrale (paragonabile al Sole) che contiene particelle elettrizzate positivamente, i protoni, e da vari elettroni ruotanti intorno ad esso (paragonabili ai pianeti). Poiché due corpi carichi di elettricità contraria si attraggono, gli elettroni sono attratti dal nucleo esattamente come i pianeti sono attratti dal Sole e costretti a ruotare attorno a esso. Rispetto ai pianeti, che si muovono intorno al Sole con relativa lentezza (si fa per dire: la Terra possiede una velocità di rivoluzione di 30 km. al secondo!), gli elettroni orbitano intorno al nucleo dell’atomo con un’enorme velocità, compiendo circa centomila bilioni di rivoluzioni al secondo!

L'atomo più semplice è quello dell'idrogeno, che ha nel nucleo un solo protone, attorno a cui ruota un elettrone; l'atomo dell'idrogeno è dunque paragonabile al sistema costituito dalla Terra con il suo satellite Luna, come risulta dalla già segnalata vignetta jacovittesca (fig. 2). L'immagine può però trarre in inganno, giacché l'elettrone sembra, nel disegno di Jacovitti (ma anche nelle figure presenti in altri manuali di chimica), grande quanto il protone. In realtà, nell'atomo dell'idrogeno l'elettrone ha una massa circa duemila volte più piccola di quella del nucleo.



Figura 2. Versione jacovittesca del modello di Rutherford dell'atomo di idrogeno
© Jacovitti - www.jacovitti.it.

Rutherford – premio Nobel per la chimica nel 1909 – dimostra che l'atomo è “vuoto” e che la parte carica positivamente occupa una minima porzione del volume totale. Se il nucleo fosse un puntino del diametro di un millimetro, gli elettroni sarebbero distanti dal nucleo circa cento metri. Inoltre Rutherford, per giustificare l'eccessiva densità nel nucleo, ipotizza che, insieme ai protoni, esso debba contenere anche delle particelle neutre. Venti anni dopo infatti, nel 1932, James Chadwick, un suo studente, scopre tali particelle, i neutroni, e per questo motivo, anche lui è insignito del premio Nobel. L'atomo non è quindi, come pensava Democrito, indivisibile, perché è costituito da particelle più piccole.

7. I quanti di Planck

Il modello di Rutherford lascia però irrisolto il grave problema del rapporto con un importante principio dell'elettrodinamica classica, secondo cui una particella carica in movimento perde continuamente energia, emanando radiazione elettromagnetica. In accordo con tale principio, anche gli elettroni, in quanto cariche elettriche in movimento, ruotando attorno al nucleo, dovrebbero gradualmente perdere energia per muoversi lungo orbite sempre più piccole, fino a cadere sul nucleo atomico. Ciò comporterebbe l'annientamento dell'atomo, e quindi la distruzione della materia, cosa ovviamente inammissibile. Poiché la caduta degli elettroni nell'atomo non si verifica, se ne deve dunque concludere che le leggi dell'elettrodinamica classica non sono adatte alla descrizione dei fenomeni atomici. La soluzione del problema viene trovata nel 1913 dal fisico danese Niels Bohr, il quale tiene presente la scoperta dei quanti effettuata dal fisico tedesco Max Planck.

Prima di Planck – e ancora alla fine dell'Ottocento – gli scienziati pensavano che la materia costitutiva del mondo visibile (o macroscopico) fosse composta da particelle (corpuscoli) semplici e discontinue; al contrario invece intendevano l'energia (elettricità o radiazioni, per esempio) come un'onda, un flusso continuo. Così se la materia era concepita come una quantità fisica composta da piccole porzioni (particelle) non ulteriormente divisibili, l'energia, invece, era identificata con una quantità divisibile indefinitamente. Agli inizi del Novecento, però, gli studi di Planck sul mondo microscopico trasformano radicalmente i concetti di materia ed energia propri della fisica meccanicistica moderna e arrivano alla conclusione che anche l'energia è costituita da corpuscoli. Nel 1900, Planck scopre che l'energia delle radiazioni elettromagnetiche non è continua, ma si può trasmettere o assorbire solo per quantità discrete dette “quanti”. Più in particolare, l'energia viene emessa solo per multipli interi di una certa quantità pari al prodotto tra la frequenza ν della radiazione e una certa costante h , detta “la costante di Planck”. La quantità $h\nu$ è appunto chiamata “quanto di energia” e la costante h “quanto di azione”.

Nel 1905 Albert Einstein, nel suo scritto *Un punto di vista euristico relativo alla generazione e alla trasformazione della luce*, applica le teorie di Planck ai fenomeni luminosi e sostiene che i fenomeni di generazione e di trasformazione della luce non si possono spiegare sulla base della teoria ondulatoria: l'energia luminosa, infatti, si distribuisce nello spazio non in modo continuo (a onde), ma in modo discontinuo (in “quanti”). I quanti di luce, detti anche “fotoni” (dal greco φῶς, gen. φωτός, che significa luce) dal fisico americano Artur Holly Compton, sono quantità discrete (o “pacchetti”) di energia che viaggiano nello spazio. Per i suoi studi sull'effetto fotoelettrico, che lo portano a ipotizzare un'energia quantizzata, Einstein riceve il premio Nobel per la fisica nel 1921.

Utilizzando il suo solito registro surreale, Jacovitti sdrammatizza i concetti più difficili della chimica e disegna a modo suo, oltre agli elettroni, ai protoni e ai neutroni anche il fotone e il “fotino”, sua personale scoperta chimica, rappresentato nei panni di una particella ‘più giovane’ del fotone, come al solito antropomorfa e con tanto di berretto da ragazzino, per far ridere gli studenti del libro di Valitutti, Gentile e Gerosa tra una formula e l'altra (fig. 3).



Figura 3. Il fotone e il “fotino”, personale scoperta chimica di Jacovitti © Jacovitti - www.jacovitti.it.

Fra parentesi, ricordiamo che gli atomi sono già stati visualizzati fumettisticamente alla fine degli anni Cinquanta dal 'Disney Italiano' Romano Scarpa nel personaggio di Atomino Bip Bip, protagonista di alcune storie di *Mickey Mouse* a partire da *Topolino e la Dimensione Delta* [12].

8. L'atomo di Bohr

Una seconda applicazione di eccezionale rilievo della teoria dei quanti di Planck è compiuta appunto dal fisico danese Niels Bohr. Nel suo studio del 1913, *Sulla costituzione di atomi e molecole*, egli indaga la struttura degli atomi. Il punto di partenza da cui Bohr prende le mosse – come scrive lui stesso – è che «l'elettrodinamica classica non è applicabile alla descrizione del comportamento dei sistemi atomici». Bohr suggerisce che gli elettroni ruotanti intorno al nucleo abbiano a disposizione delle orbite fisse, corrispondenti a quantità definite di energia, chiamate “orbite stazionarie”. Gli elettroni, insomma, occupano regioni dello spazio corrispondenti a livelli energetici quantizzati. L'energia rappresentata da ciascuna orbita risulta pari a uno, o due, o tre quanti e così via. L'anzidetto abbandono dell'elettrodinamica classica implica che, nel percorrere un'orbita stazionaria, l'elettrone non irraggi energia, cosicché possa permanere nell'orbita considerata senza avvicinarsi al nucleo atomico. Quando, però, per effetto di una scarica elettrica o per riscaldamento, gli elettroni di un atomo assumono quanti di energia, essi passano a uno stato “eccitato”: ciò produce un salto degli elettroni dalle loro orbite normali ad altre orbite superiori più esterne, che hanno un contenuto di energia più alto. Passata poi l'“eccitazione”, gli elettroni restituiscono l'energia captata (sotto forma di fotoni) e risaltano nelle orbite più interne.

È proprio qui, dunque, che interviene l'ipotesi di Planck, secondo cui l'irraggiamento di un sistema atomico non è un processo continuo, come si suppone nell'elettrodinamica ordinaria, ma avviene attraverso processi distinti e separati. L'energia emessa o assorbita da un elettrone può avere solo carattere discreto e quantistico. Se si somministra energia all'atomo, l'elettrone non allarga gradualmente la sua orbita, ma a un certo punto, qualora esista un quanto di energia sufficiente, l'elettrone salta a un'orbita più esterna. In termini intuitivi, le orbite si possono paragonare ai gradini di una scala. Gli elettroni possono trovarsi su questo o su quel gradino e possono saltare da un gradino all'altro, ma non possono fermarsi tra un gradino e l'altro.

Bohr applica per la prima volta questo modo di concepire la struttura atomica all'atomo di idrogeno, cioè al più semplice degli atomi. Il modello di Bohr è poi rivisto e corretto da Arnold Sommerfeld, con l'introduzione di orbite ellittiche, e viene considerato valido per un decennio.

Anche Jacovitti dice la sua sul modello atomico di Bohr, disegnando l'atomo di idrogeno. Quest'ultimo, che ha le sembianze di una bomba H (appunto “all'idrogeno”), “eccitato riemette il fotone assorbito” (così recita la didascalia), sputandolo sull'ombrello di un passante, mentre lo sputo è commentato dall'onomatopea jacovittesca: “*fotòn*” (fig. 4). Ripetiamo che un atomo con elettroni che occupino un livello energetico su-

periore a quello normale si dice “allo stato eccitato”: cosicché Jacovitti esprime questo particolare grado di “eccitazione” rappresentando antropomorficamente l’atomo di idrogeno con le sopracciglia aggrottate e visibilmente “seccato”!



Figura 4. Versione jacovittesca del modello atomico di Bohr: l’atomo di idrogeno “eccitato” riemette il fotone assorbito © Jacovitti - www.jacovitti.it

L’elettrone (vincolato dal nucleo) può dunque possedere, acquistare o cedere solo determinate quantità di energia. Valitutti, Gentile e Gerosa, gli autori dell’*Introduzione alla chimica*, osservano che l’atomo è pertanto simile a uno strumento musicale [10, p. 75]. Come il violino, anche l’atomo emette solo delle frequenze definite. I salti degli elettroni da un orbitale all’altro corrispondono ai passaggi da un’oscillazione armonica all’altra. Si potrebbe dunque dire che l’atomo di Bohr può essere spiegato non come un sistema planetario, ma come un oscillatore armonico che, quando viene colpito da una certa quantità di energia, “vibra”, producendo un’onda che si propaga nello spazio. Tuttavia, tra uno strumento musicale e l’atomo c’è una differenza: il violino emette energia sonora, mentre l’atomo emette energia radiante, cioè luce. L’atomo “suona” ed ecco... la luce!

Jacovitti, ispirato da questo suggestivo parallelo, a p. 75 del manuale visualizza l’idea disegnando un musicista che, con un archetto, suona non un violino, ma gli atomi! È così spiegata anche l’onomatopea che compare nella figura precedente, quella dedicata all’atomo di idrogeno. Poiché l’emissione di energia radiante è paragonabile all’energia sonora, ciò suggerisce a Jacovitti di accompagnare l’atto con il quale l’atomo di idrogeno libera un quanto di luce proprio a un *suono*, che viene reso, appunto, dall’onomatopea fumettistica “*fotòn*”.

Nei suoi *comics*, il Maestro di Termoli non si serve mai delle classiche onomatopee della lingua inglese usate da tutti gli altri autori di fumetti, come il verbo *to crash*, usato per indicare il rumore di qualcosa che si rompe, o *to boom*, introdotto per rappresentare uno scoppio. Jacovitti, più autarchico dei suoi colleghi, utilizza, in generale, termini fonosimbolici della lingua italiana, quali il vocabolo *scontro!* per rendere il rumore prodotto da due cose o da due personaggi che si urtano, o la scritta *schiaffo!* per accompagnare l’immagine di Cocco Bill che assesta un manrovescio a un bandito. Nulla di

strano, dunque, che anche nelle sue illustrazioni per un manuale di chimica, compaia un'inedita e surreale onomatopea jacobittesca.

9. La meccanica quantistica

Ma ritorniamo agli atomi e alla loro storia. La natura degli elettroni – come peraltro quella di tutti i fenomeni della microfisica – si rivela ben presto molto problematica. Infatti, alle cose che con i nostri sensi possiamo vedere o toccare, attribuiamo subito delle etichette. Diciamo: è una particella, oppure è un'onda. Il discorso cambia quando investighiamo su oggetti fuori dell'esperienza comune. La teoria dei quanti introduce nell'energia il carattere del discontinuo e della struttura corpuscolare. Ma non per questo l'opposta teoria ondulatoria può essere abbandonata. Vi sono fenomeni di trasmissione dell'energia che non sono spiegabili se non alla luce della teoria ondulatoria.

Non solo: il fisico francese Louis De Broglie estende l'ipotesi ondulatoria ai singoli elettroni e successivamente a tutti i corpuscoli costitutivi della materia. Infatti, De Broglie scopre che particelle molto piccole come gli elettroni, in determinate circostanze, possono manifestare anche proprietà ondulatorie. Ogni particella subatomica, certo, è da interpretare come un corpuscolo (ha massa, velocità, ecc...), ma ha pure una lunghezza d'onda, caratteristica fondamentale di un comportamento ondulatorio. Nella sua tesi di dottorato, nel 1925, De Broglie formula un'equazione che tiene conto della duplice natura dell'elettrone. Secondo tale equazione (in versione non-relativistica) a una particella di massa m dotata di velocità v viene, infatti, associata un'onda di lunghezza λ :

$$\lambda = h / m v$$

dove h è la cosiddetta “costante di Planck”

La presenza di due interpretazioni diverse dell'elettrone sottolinea la difficoltà di raggiungere una rappresentazione del reale coerente e unitaria. Per risolvere il problema, Niels Bohr stabilisce il “principio di complementarità”, secondo cui i due aspetti della realtà microscopica, quello ondulatorio e quello corpuscolare, sono complementari, cioè si completano, pur essendo incompatibili fra loro. Bisogna dunque ammettere l'uno e l'altro, cioè sia l'aspetto ondulatorio, sia quello corpuscolare. Il fatto è che quando si esamina il comportamento di un certo fenomeno microscopico, ci dobbiamo servire di appositi strumenti di osservazione e di misura. A seconda del tipo di strumento impiegato, può emergere l'aspetto corpuscolare o quello ondulatorio del fenomeno in esame. Ma ciò, secondo Bohr, non implica una contraddizione. Infatti, quando si osserva l'aspetto corpuscolare non si può osservare quello ondulatorio. I due aspetti non possono mai essere osservati contemporaneamente. Quindi, agli elettroni non possiamo più applicare i principi della meccanica classica, ma dobbiamo trovare nuovi metodi che tengano conto di questa duplice natura. La meccanica quantistica è appunto adatta a descrivere il comportamento degli elettroni.

Nel mondo macroscopico ordinario, che osserviamo tutti i giorni, gli oggetti ma-

teriali risultano ben distinti dalle onde: per esempio, una barca è una cosa completamente diversa dall'onda che la spinge. Invece, nella microfisica, l'elettrone è, in un certo senso, *sia* la barca *sia* l'onda, almeno se ammettiamo il cosiddetto “principio di complementarità”, che viene descritto umoristicamente da Jacovitti a p. 86 del volume di Valitutti, Gentile e Gerosa, utilizzando appunto l'azzeccata immagine dell'onda e della barca (fig. 5).

Nel disegno jacovittesco, la parola “elettrone” è disegnata a caratteri cubitali e in forma ondulata, proprio per suggerire la natura ondulatoria di questa componente dell'atomo. Nello stesso tempo, sull'onda galleggia una barchetta di carta che porta la scritta: $\lambda = h / m v$, la formula che esprime la duplice natura dell'elettrone. Quest'ultimo è rappresentato anche come una particella umanizzata, il buffo marinaretto che naviga sulla barca. Insomma, Jacovitti suggerisce con efficacia l'idea che l'elettrone è, in un certo senso, sia un'onda sia un corpuscolo.



Figura 5. L'elettrone: particella o onda? © Jacovitti - www.jacovitti.it.

«Inverosimile? Astruso? Ridicolo? Certo! – afferma al riguardo lo scienziato cognitivo Massimo Piattelli Palmarini – Eppure la teoria è accettata oggi da tutti i fisici» [13, p. 182].

E quindi, tale teoria è accettata e descritta anche da Jacovitti, proprio perché inverosimile, astrusa, ridicola (surreale) e – di conseguenza – perfettamente “jacovittesca”! Ciò che non avviene nella realtà degli oggetti del mondo quotidiano, accade, invece, nel mondo sub-atomico, e nel folle universo grafico di Jacovitti.

10. Il principio di indeterminazione di Heisenberg

Un altro caposaldo fondamentale della meccanica quantistica, accanto al “principio di complementarità”, è il cosiddetto “principio di indeterminazione” formulato nel 1927 dal fisico tedesco Werner Heisenberg. Esso afferma che non è possibile determinare contemporaneamente con esattezza la velocità e la posizione di un elettrone. Secondo tale principio, esistono coppie di proprietà che non sono decidibili simultaneamente: la velocità e la posizione delle particelle costituiscono appunto una coppia caratteristica di “grandezze incompatibili”. Se si determina in maniera precisa la posizione di una particella, rimane indeterminata la sua velocità, e viceversa. Ciò dipende dall'interazione fra

il sistema osservato e l'osservatore, che si verifica nella fisica subatomica e che perturba il sistema stesso. Per esempio, la determinazione della posizione di un elettrone richiede che l'elettrone sia illuminato, il che ne altera inevitabilmente la velocità.

Di conseguenza, nella meccanica quantistica, non conoscendo perfettamente le condizioni iniziali di un fenomeno microscopico (se si conosce esattamente la quantità di moto di una particella non se ne conosce esattamente la posizione e viceversa), non si possono predire le conseguenze di tale fenomeno in modo del tutto certo, ma solo in modo probabilistico. In sostanza, analizzando le condizioni di lancio di un elettrone, non si può prevedere con certezza quale sarà la sua destinazione. È possibile soltanto calcolare una distribuzione di probabilità delle diverse destinazioni, ripetendo molte volte l'esperienza.

Jacovitti rappresenta in modo umoristico questa incertezza nel determinare il comportamento degli elettroni nella vignetta di p. 209, dove disegna un cieco, al quale è stato paradossalmente ordinato "di tener d'occhio gli elettroni" (fig. 6)! Controllare con esattezza sia la velocità sia la posizione delle particelle subatomiche è teoricamente impossibile. Tanto varrebbe, suggerisce Jacovitti, affidare questo compito a un cieco!



Figura 6. Jacovitti e il principio di indeterminazione © Jacovitti - www.jacovitti.it.

Ricordiamo che, sulla base delle nuove teorie quantomeccaniche applicate all'elettrone, il modello atomico di Bohr non è più soddisfacente. Infatti, secondo l'austriaco Erwin Schrödinger, non è più possibile determinare le orbite esatte degli elettroni corrispondenti a ogni livello di energia, ma dobbiamo accontentarci di conoscere la probabilità che un elettrone ha di occupare una certa porzione di spazio attorno al nucleo. Tale spazio è definito "orbitale atomico" e può essere approssimato, per favorirne la visualizzazione, come quella regione di spazio attorno al nucleo in cui la probabilità di trovare un elettrone è massima. La struttura a orbitali diventa una sorta di pulviscolo elettronico indefinito attorno al nucleo, determinabile solo all'atto della misura.

11. Che barba ragazzi!

Per concludere questo rapido *excursus* chimico-jacovittesco, va riconosciuto che nella loro *Introduzione alla chimica* Valitutti, Gentile e Gerosa hanno avuto un discreto

coraggio ad aggiungere alle normali illustrazioni scientifiche le “pazze” stravaganze di Jacovitti. Non sappiamo come abbia reagito il mondo accademico e scolastico a questa divertente iniziativa, ma è un dato di fatto che le vignette di Jacovitti rendono assai simpatica anche una materia ostica come la chimica (peraltro proposta dagli autori in uno stile espositivo molto brillante).

Purtroppo, dopo i primi capitoli, il grande disegnatore di Termoli deve essersi stancato della difficile impresa, perché, dovendo commentare un brano degli autori (in cui Valitutti, Gentile e Gerosa affermano che non vogliono annoiare i lettori che non conoscono i logaritmi «con inutili disquisizioni sul modo migliore di utilizzarli»), Jacovitti disegna due personaggi uniti da un unico barbone bianco, sul quale leggiamo la frase rivelatrice: «Che barba, ragazzi!» [10, p. 167].

Dopo di che, nella seconda parte del volume, le illustrazioni jacovittesche scompaiono del tutto!

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bellacci, F., Boschi, L., Gori, L., Sani, A., *Jacovitti. Sessant'anni di surrealismo a fumetti*, Nicola Pesce Editore, Roma 2010
- [2] Cavallotti, G., Ha inventato il cow-boy Cocco Bill che paga la tredicesima al cavallo, *Oggi*, anno 26 (XV), 25 giugno 1959.
- [3] Enriques, F., Mazziotti, M. (a cura di), *Le dottrine di Democrito di Abdera*, Zanichelli, Bologna 1948.
- [4] Jacovitti, B., *Diario Vitt 74/75*, Editrice A.V.E., Roma 1974.
- [5] Jacovitti, B., *Gli anni d'oro del Diario Vitt*, Stampa Alternativa/Nuovi Equilibri, Viterbo 2006.
- [6] Staguhn, G., *Breve storia dell'atomo*, Salani, Milano 2011.
- [7] Paparoni, D., *Conversazione con Jacovitti*, Little Nemo, Torino 1994.
- [8] Perrini, A., *Prefazione a Cocco Bill*, Milano Libri, Milano 1975.
- [9] Bergson, H., *Il Riso. Saggio sul significato del comico*, Rizzoli, Milano 1991.
- [10] Valitutti, G., Gentile, A., Gerosa, V., *Introduzione alla chimica*, Masson Italia editori, Milano 1980.
- [11] Santi, M., *Le avventure di Collodi, Pinocchio, Jacovitti... Storia di tre burattini*, Facoltà di Scienze della Formazione, corso di laurea in Scienze della Formazione Primaria, Firenze, Anno Accademico 2007-2008.
- [12] Scarpa, R., Topolino e la Dimensione Delta, *Topolino*, Mondadori, Milano, 1959, nn. 206-207.
- [13] Piattelli Palmarini, M., *Scienza come cultura*, Mondadori, Milano 1987.

Alimentazione

I DISTURBI DEL COMPORTAMENTO ALIMENTARE

LAURA DALLA RAGIONE

*Psichiatra responsabile dei Centri DCA Residenza Palazzo Francisci di Todi,
Centro DAI Città della Pieve, AUSL 2 dell'Umbria*

MARIA VICINI

Nutrizionista Centro DCA Residenza Palazzo Francisci, AUSL 2 dell'Umbria, Todi

ALESSANDRO CIARROCCI

Biologo Nutrizionista Centro DCA Residenza Palazzo Francisci, AUSL 2 dell'Umbria, Todi

1. I Disturbi del Comportamento Alimentare

Negli ultimi decenni stiamo assistendo a una crescita vertiginosa e inarrestabile dei cosiddetti Disturbi del Comportamento Alimentare (DCA): Anoressia, Bulimia, Disturbo da Alimentazione Incontrollata e Disturbi del Comportamento Alimentare Non Altrimenti Specificati (EDNOS). Vi è un punto in comune tra tutti i Disturbi, a prescindere dal peso e dalla sintomatologia, e cioè l'intensa ideazione sul cibo e sulle forme corporee. Questa ideazione, pensiero fisso e ossessivo, costituisce il vero nucleo psicopatologico di tali Disturbi.

Nella seconda metà del Novecento nell'emisfero occidentale, con la diffusione dei DCA, il cibo e il corpo si trasformano in nemici per milioni di giovani. Accade qualcosa che non è solo connesso all'insorgere di una patologia, al cambiamento di stili di vita e modelli culturali, ma forse più intimamente collegato alla difficile strutturazione dell'identità nei giovani occidentali [2].

Due milioni di ragazzi in Italia soffrono di questi disturbi e decine di milioni di giovani nel mondo si ammalano ogni anno. Per ogni 100 ragazze in età adolescenziale, 10 soffrono di qualche disturbo collegato all'alimentazione, 1-2 delle forme più gravi come l'Anoressia e la Bulimia, le altre in manifestazioni cliniche transitorie e incomplete.

I dati epidemiologici, comuni a tutte le ricerche internazionali, riguardanti la prevalenza per l'età e il sesso della popolazione colpita dal disturbo, ci indicano un rapporto femmine-maschi di 9 a 1 e un aumento dell'incidenza della patologia bulimica rispetto a quella anoressica [4].

L'origine e il decorso dei DCA sono determinati da una pluralità di variabili (eziologia multifattoriale), nessuna delle quali, da sola, è in grado di scatenare la malattia o

influenzarne il corso e l'esito. Una loro piena comprensione deve tenere in considerazione fattori psicologici, evolutivi e biologici [5].

Un altro dato molto preoccupante riguarda il *range* d'età interessato da tali disturbi: l'età di esordio si sta abbassando intorno agli 8-10 anni, determinando patologie più complesse dal punto di vista del quadro psicopatologico e con prognosi peggiore.

Inoltre, stiamo assistendo a un continuo mutare dei disturbi stessi: è sempre più difficile trovare delle forme pure di Anoressia e Bulimia, mentre proliferano disturbi sottosoglia che non rientrano nei criteri diagnostici condivisi del DSM-IV [1], forme ibride e EDNOS (Disturbi Alimentari non Altrimenti Specificati). Nello stesso individuo la malattia muta e si evolve, per cui in tali pazienti è possibile solo fare "diagnosi di stato".

Particolare attenzione sta ricevendo inoltre il Disturbo da Alimentazione Incontrollata (o *Binge Eating Disorder*), che si sta affermando sempre di più come patologia a se stante [7]. Tale patologia si caratterizza da abbuffate compulsive ricorrenti in assenza di metodi di compenso; per questo motivo, nella maggior parte dei casi, i soggetti che ne soffrono presentano una situazione di grave obesità.

2. La prevenzione dei Disturbi del Comportamento Alimentare

I Disturbi del Comportamento Alimentare costituiscono oggi una delle emergenze più preoccupanti dell'emisfero occidentale. La diffusione della patologia ha una rapidità e una rilevanza sconcertanti: non si ha alcun altro esempio di malattia psichiatrica con una simile propagazione e con le caratteristiche di una vera e propria epidemia sociale. Si tratta del primo fenomeno di malattia globalizzata, legata a ciò che comunemente viene definito come "modernità", che si espande a macchia d'olio in concomitanza al diffondersi di modelli, stili di vita, cultura del corpo. I primi sintomi dei DCA insorgono in età evolutiva e il tasso di incidenza tende ad aumentare, mentre l'età di insorgenza sempre più ad abbassarsi, coinvolgendo la fase della preadolescenza. Conseguenza logica di tale evidenza è la necessità di interventi di prevenzione dei DCA rivolti ad adolescenti e preadolescenti, che risultino realmente efficaci.

La prevenzione dei Disturbi del Comportamento Alimentare nelle scuole deve riguardare il cambiamento delle idee e dei pregiudizi che impediscono uno sviluppo armonico e creativo della persona.

L'obiettivo è quindi quello di presentare ai ragazzi degli strumenti di lavoro psicologici, filosofici ed esperienziali perché possano interrogarsi sul processo di costituzione di sé; ciò risulta essere decisivo per fronteggiare le sfide e le difficoltà che l'esistenza, inevitabilmente, imporrà loro [2].

Molte forme che il disagio giovanile sta assumendo nella nostra società sono il risultato di povertà di linguaggio e di pensiero, frutto di un debole senso identitario. Il processo di costituzione dell'identità, che dovrebbe essere il risultato di un lavoro severo e paziente di domande, esperienze e valori, di contro risulta essere un frettoloso ripiegamento su se stessi, condizionato dai modelli culturali veicolati dai media e dal gruppo dei pari.

Contemporaneamente, la prevenzione si pone, come altro obiettivo, quelli di riuscire a promuovere comportamenti alimentari salutari, stili di vita attivi e una positiva immagine corporea senza incrementare nei giovani la preoccupazione per il peso e le forme corporee.

Vi è una sempre maggiore preoccupazione circa la crescente difficoltà ad aiutare i giovani a prendersi cura della propria salute. La maggior parte dei giovani italiani considera, infatti, la propria salute un aspetto rilevante, ma solo un terzo pone in atto comportamenti coerenti per la sua salvaguardia [3].

La prima adolescenza è stata identificata come un momento di estrema vulnerabilità nello sviluppo dell'immagine corporea, a causa dei cambiamenti fisici associati alla pubertà, all'incremento del desiderio di accettazione da parte dei coetanei, all'inizio delle relazioni sentimentali e all'eventuale esposizione a eventi di vita negativi associati a questa fase di sviluppo.

Alcuni giovani adolescenti rispondono a questi eventi modificando il proprio comportamento alimentare verso una restrizione e/o selezione del cibo. Ad esempio, un recente studio canadese ha dimostrato che, su un campione di 400 ragazze adolescenti, il 61% stava a dieta e una consistente proporzione adottava metodi estremi di controllo finalizzati a raggiungere una perdita di peso significativa [6].

L'alterato rapporto con il cibo, il peso e il corpo, comporta notevoli complicanze fisiche e relazionali, infatti i Disturbi Alimentari sono una delle patologie psichiatriche più pericolose tra quelle che colpiscono gli adolescenti. Questi disturbi esprimono un forte disagio, una scarsa autostima e fiducia in sé, una profonda insicurezza nella propria immagine e nel proprio ruolo, un apparente desiderio di non crescere.

Anche la tarda adolescenza può rappresentare un momento del ciclo vitale rischioso per l'insorgenza di un Disturbo Alimentare, a causa delle difficoltà legate alle prime relazioni intime e alla ricerca di una propria identità, separata da quella della famiglia. In questa fase il Disturbo può rappresentare una forma di adattamento psicologico disfunzionale alle sfide dell'adolescenza.

I Disturbi del Comportamento Alimentare rappresentano quindi una condizione di difficile gestione, e ciò rende la prevenzione, sia primaria che secondaria, una risorsa preziosa per abbattere la durata, i costi della malattia e degli interventi terapeutici.

La prevenzione, sebbene sia una delle risorse più potenti, risulta, paradossalmente, la meno studiata. Gli obiettivi della prevenzione sono:

- intervenire prima che il disturbo insorga affinché non si sviluppi, lavorando per modificare e/o diminuire/annullare i fattori di rischio e/o rafforzare o creare fattori di protezione nei confronti dei Disturbi Alimentari (*prevenzione primaria*);
- identificare precocemente i casi di malattia al fine di intervenire in modo tempestivo, così da accorciare i tempi di richiesta di trattamento (*prevenzione secondaria*). Figure significative come i genitori (ambito familiare), gli in-

segnanti e allenatori (ambito sociale), medici di medicina generale (ambito medico) e medici specialisti (ginecologi, dentisti, dermatologi...) andrebbero opportunamente informate e formate per riconoscere precocemente i segnali e svolgere un'azione di ponte con gli ambulatori specialistici. È infatti dimostrato che minore è la durata di malattia più favorevole è la prognosi;

- ridurre le complicanze e la mortalità nei soggetti cronici (*prevenzione terziaria*).

3. Alimentazione, identità e forme corporee

L'alimentazione occupa nell'uomo una complessa posizione trasversale che, partendo dalla sfera biologica, sfocia in una dimensione culturale, sociale e quindi, inevitabilmente, identitaria. Ma se il cibo è depositario della nostra cultura, della nostra identità e, in quanto tale, è portatore di innumerevoli significati, cosa succede in una cultura dove abbiamo un'offerta infinita di cibo sia in termini quantitativi che di scelta?

Per la prima volta nella storia, l'uomo ha bisogno di qualcuno che gli dica cosa, come, quando e quanto mangiare. Questo sta accadendo proprio nel momento in cui vi è una disponibilità illimitata di cibo e i misteri della nutrizione sembrano essere svelati. Da sempre l'uomo ha cercato di arrivare a questi due obiettivi ma, vedendo i risultati, bisognerebbe pensare di fare qualche passo indietro.

La diffusione incontrollata delle conoscenze scientifiche attraverso i giornali, la televisione e internet ne ha permesso un uso non più scientifico. La scomposizione degli alimenti ha spostato l'attenzione dal cibo (visibile) al nutriente (invisibile), con una perdita dei confini del significato del cibo stesso. Il cibo è sostituito dal non-cibo e mangiare diventa un'attività complessa, ingarbugliata; è per questo che l'uomo ha bisogno di qualcuno che gli dia indicazioni: si è perso.

Come conseguenza, il pasto è sempre più sostituito dalla dieta. In realtà, anche quest'ultima è stata vittima di un ribaltamento di significato. L'etimologia del termine dieta deriva dal greco *diata*, vita, modo di vivere, che trae dalla stessa radice di *zao-djao*, vivo. Attualmente invece il termine dieta è utilizzato per indicare un regime alimentare personale restrittivo o che vanta probabili proprietà salutistiche.

In realtà, anche se disponiamo di una scienza che si occupa specificatamente del legame tra salute e cibo, questa è per lo più sconosciuta, mentre l'opinione comune riconosce all'alimentazione e alla dieta un solo obiettivo (ritenuto) salutistico, finale e indiscusso: il dimagrimento. In questo modo entra in gioco la grande protagonista che affianca e influenza in maniera costante l'alimentazione: la forma fisica. La persona sana e performante è la persona magra. Questo nuovo legame tra salute e magrezza ha creato un'ulteriore confusione, spostando l'attenzione dall'organismo al corpo, in realtà inteso come forma fisica.

Tutto ciò, non dimentichiamo, nel contesto di una società consumistica. Come fanno a convivere da una parte la spinta alla magrezza e dall'altra la spinta a consumare

sempre più prodotti alimentari? È qui che si insinua la *diet industry*, il grande, immenso, mercato della dieta. Nascondendosi dietro ai principi scientifici della nutrizione e giocando con essi in maniera tutt'altro che scientifica, questo mercato è probabilmente una tra le più grandi rovine della salute umana. La *diet industry* è riuscita in modo totalizzante a eliminare ciò che di conviviale e culturale è rimasto nell'alimentazione moderna, creando una serie di miti e leggende attorno agli alimenti che, a seconda della moda, potevano divenire armi vincenti o capri espiatori (basti pensare alla demonizzazione creata attorno ai carboidrati, in particolare al pane e alla pasta, alimenti in realtà tutt'altro che nocivi alla salute umana). In questo modo anche l'alimentazione, come altri molti aspetti della cultura odierna, è divenuta relativista.

Non ci deve quindi stupire che è proprio l'alimentazione il mezzo attraverso il quale, nella cosiddetta cultura occidentale, prendono forma i disagi più profondi dell'identità, sottoforma di Disturbi del Comportamento Alimentare. Il disagio si autorappresenta e si comunica attraverso i due aspetti più esasperati da tale cultura: il consumismo (in questo caso alimentare) e l'apparenza (le forme corporee).

4. Il Numero Verde SOS Disturbi Alimentari

Il primo Numero Verde nazionale dedicato ai Disturbi del Comportamento Alimentare (800 180 969), attivo da novembre 2011, 24 ore ogni giorno da lunedì a venerdì, è gestito dall'Usl n.2 di Perugia, e in particolare dagli operatori del Centro per i Disturbi del Comportamento Alimentare Palazzo Francisci di Todi e Centro per i Disturbi da Alimentazione Incontrollata (DAI) di Città della Pieve, ed è un servizio anonimo e gratuito promosso dall'Istituto Superiore di Sanità e dal Ministero della Gioventù.

Il sito del Ministero, contenente una mappatura nazionale di tutte le strutture specializzate nella cura dei DCA, è invece www.disturbialimentarionline.it.

L'obiettivo è quello di fornire informazioni e supporto alle persone che soffrono di tali disturbi e alle persone che stanno loro accanto, oltre che a instaurare un percorso di consapevolezza della malattia e motivazionale per intraprendere un percorso terapeutico. Il servizio è rivolto:

- alle persone, di ambo i sessi e di qualsiasi età, che soffrono di Disturbi Alimentari;
- alle persone che presentano un marcato disagio nei confronti del cibo e delle forme corporee, e che quindi sono a rischio di Disturbo Alimentare;
- alle persone che hanno vissuto un Disturbo Alimentare e si sentono a rischio di ricaduta;
- a tutte le persone vicine a chi soffre di Disturbi alimentari, come, ad esempio, familiari, amici, insegnanti, e che necessitano di informazioni e supporto.

Il Numero Verde SOS Disturbi Alimentari ha un'attività di prevenzione a più livelli: primaria, che fornisce un'informazione capillare all'utenza; secondaria, che offre soste-

gno a persone che hanno o rischiano di avere problemi legati ai DCA; terziaria, che mette a disposizione un solido punto di riferimento per informazioni o sostegno a chi si trova in fase di cambiamento o a chi è a rischio di ricaduta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] American Psychiatric Association (APA), *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition (DSM-IV)*, APA, Washington (DC) 1994.
- [2] Associazione Mi Fido di Te APS, Dalla Ragione, L., Bianchini, P. (a cura di), *Il vaso di Pandora*, CESVOL, Perugia 2008.
- [3] Buzzi, C., *La salute dei giovani. Indagine IARD sui giovani e la salute*, Il Mulino, Bologna 1994.
- [4] Dalla Ragione, L., Scoppetta, M., *Giganti d'argilla. I Disturbi Alimentari Maschili*, Il Pensiero Scientifico Editore, Roma 2009.
- [5] Dalla Ragione, L., *La casa delle bambine che non mangiano*, Il Pensiero Scientifico Editore, Roma 2005.
- [6] Mc Vey, G.L., Pepler, D., Davis, R., Flett, G.L., Abdolell M., Risk and protective factors associated with disordered eating during early adolescence, *Journal of Early Adolescence*, 22, 2002, pp. 75-95.
- [7] Wonderlich, S.A., et al., The validity and clinical utility of binge eating disorder, *Int. J. Eat Disord.*, 42, 2009, pp. 687-705.

*Fondamenti biologici
del linguaggio*

IL LINGUAGGIO UMANO È UNA FACOLTÀ INNATA O UN'ABILITÀ APPRESA?¹

ANNA MARIA ROSSI

Dipartimento di Biologia, Università di Pisa

1. Introduzione

La storia delle scienze umane e delle scienze biomediche è stata attraversata, con alterne vicende, dalla disputa “*nature versus nurture*”, come fu definita da Francis Galton già nel 1874. Talora ha prevalso l'idea che la mente avesse un'organizzazione geneticamente preordinata, pertanto le sue facoltà sarebbero innate (innatismo), talaltra l'esperienza e l'apprendimento sono stati investiti del ruolo, pressoché esclusivo, di modellare l'intelletto (costruttivismo). Ormai non ci dovrebbero essere più dubbi che, nel campo delle facoltà cognitive, come per altri aspetti dello sviluppo dell'organismo, l'azione dei geni si integra in modo inscindibile con gli effetti dell'ambiente. È infatti generalmente accettata la teoria secondo la quale le competenze individuali si sviluppano a partire da un repertorio generale di abilità potenziali, basate su un substrato anatomico ancora parzialmente specializzato, sul quale si innestano funzioni molto sofisticate e complesse il cui fulcro è incentrato sull'esperienza personale e collettiva.

Anche per quanto riguarda il linguaggio, la diatriba “*nature versus nurture*” ha assunto più volte toni accesi e le posizioni sono state spesso eccessivamente radicalizzate: da una parte i sostenitori di una costruzione graduale di una competenza linguistica che si matura progressivamente in funzione dell'esperienza, dall'altra scienziati che postulano che una capacità innata esista prima di qualsiasi esperienza, facendo rivivere miti delle “idee innate” ritenuti da tempo superati [8].

A corollario della questione se il linguaggio sia una facoltà innata o un'abilità appresa, si pongono molte altre domande, del tipo:

Come, quando e perché l'uomo avrebbe sviluppato un linguaggio così sofisticato?

Quale vantaggio evolutivo – e quindi quale spinta selettiva – potrebbe aver agito a favore dei soggetti in grado di comunicare verbalmente, a scapito degli ominidi precedenti?

Le lingue attuali derivano da una comune lingua originaria (ipotesi monogenetica) oppure da diversi ceppi primordiali (ipotesi poligenetica)?

¹ Questa lezione è stata tenuta l'11 novembre 2011 presso il Liceo classico Galileo, via Martelli 9, Firenze. Il presente contributo costituisce una rielaborazione di un articolo, intitolato “I geni e la grammatica” apparso su *Naturalmente. Fatti e trame delle Scienze* 25 (2012) n. 2, pp. 45-52.

Ovviamente, l'intero problema si colloca in quello più generale delle teorie sulla mente e sui processi di apprendimento. Nonostante il loro notevole interesse, non ci dilungheremo su questi aspetti per mancanza di spazio.

Il linguaggio non è una prerogativa esclusiva dell'uomo. Altri animali sono, infatti, capaci di comunicare mediante linguaggi non verbali, o anche con suoni, talvolta articolati in diverse modulazioni. Le espressioni e i versi che gli animali utilizzano manifestano una serie di esigenze (fame, pericolo, etc.) e, almeno in apparenza, a ogni espressione corrisponde un messaggio. Il linguaggio umano, invece, è composto da parole ciascuna delle quali ha un significato a sé stante – frutto di un'associazione arbitraria e convenzionale tra un suono e un significato – ma secondo la posizione dei vocaboli il senso di una frase può cambiare anche radicalmente. L'uso della sintassi – una risorsa che consente di dare un senso a una sequenza di parole in funzione della loro collocazione relativa – aumenta enormemente la capacità espressiva, pur in presenza di un numero finito di elementi fonetici e lessicali, e permette di formulare concetti astratti anche senza avere a disposizione termini specifici.

2. Il substrato neurobiologico del linguaggio

La comunicazione verbale implica in entrata l'*acquisizione*, l'*elaborazione* e l'*interpretazione* di informazioni che vengono dagli organi di senso, in particolare a livello uditivo e visivo, e in uscita la *progettazione* e la *formulazione* della frase, seguita dall'*articolazione* e dalla *coordinazione* dei muscoli del tratto oro-facciale e del collo per esprimersi verbalmente, e del braccio e della mano per trasmettere in forma scritta il proprio pensiero.

Le aree cerebrali che controllano il linguaggio sono state inizialmente identificate da Paul Broca e Carl Wernicke nella seconda metà del XIX secolo: secondo il modello, detto di Wernicke-Geschwind, l'area di Wernicke, adiacente alla corteccia uditiva dell'emisfero sinistro, sarebbe un centro di elaborazione/smistamento dell'informazione sensoriale che proviene dalla corteccia uditiva primaria o visiva primaria, che sarebbe qui trasformata in una rappresentazione per il riconoscimento fonetico e semantico. Per pronunciare le parole, il segnale inviato dall'area di Wernicke sarebbe trasferito all'area di Broca, localizzata in posizione più frontale nell'emisfero sinistro, dove sarebbe elaborata la struttura grammaticale di una frase che, per essere pronunciata, deve essere trasmessa all'area della corteccia motoria che controlla l'articolazione della lingua, della bocca e degli organi della fonazione, in particolare della laringe.

Intorno agli anni '30 del XX secolo, Wilder Graves Penfield e i suoi collaboratori condussero degli esperimenti elettrofisiologici (mediante stimolazione con elettrodi di diverse aree del cervello) su pazienti epilettici. Misero così in evidenza per la prima volta la lateralizzazione delle funzioni degli emisferi cerebrali e ricostruirono una mappa delle zone implicate nelle funzioni cognitive, motorie e sensoriali, detta *mappa neuro-anatomica* di Penfield, che costituisce la prima rappresentazione *somatotopica*, ovvero delle varie parti del corpo, sulla corteccia motoria primaria e sulla corteccia sensoriale primaria.

Oggi, lo studio dell'anatomia del sistema nervoso centrale (SNC) si avvale di tecniche di *neuroimaging*, o visualizzazione cerebrale, come la TAC (Tomografia Assiale Computerizzata), la PET (Tomografia a Emissione di Positroni) e la RMN (Risonanza Magnetica Nucleare) che consentono di ricostruire un modello tridimensionale dell'oggetto esaminato.² Si possono analizzare sia la struttura neuroanatomica (analisi statica) sia la relazione tra questa e l'attività connessa alle funzioni cognitive (analisi funzionale) in tempo reale durante una prestazione (pronuncia di parole, lettura di parole, associazione parola-immagine, e così via).³ Il grande vantaggio di queste tecniche è che sono assai meno invasive e possono essere usate anche in soggetti sani.⁴

Grazie a queste tecniche, negli ultimi anni sono state identificate diverse aree associate alle componenti uditive, visive e tattili del linguaggio, della lettura e della scrittura, ed è stato confermato il coinvolgimento delle aree della corteccia motoria corrispondenti al controllo motorio fine della lingua, della bocca e della laringe e dell'arto superiore e della mano. È stata realizzata una mappatura fine delle strutture interessate al controllo dell'espressione linguistica normale e patologica. Le osservazioni di Broca, di Wernicke e di Penfield sono state ampiamente confermate, anche se è stata evidenziata un'estensione più ampia delle aree corticali che entrano in gioco e rilevato il coinvolgimento anche di strati più profondi. Inoltre, è emerso che particolari aspetti del linguaggio possono essere compromessi anche da danni corticali localizzati in regioni diverse, come la corteccia motoria o sensori-motoria primaria e le aree che controllano la memoria. D'altra parte, è stato osservato che si possono sviluppare funzioni linguistiche normali anche in soggetti affetti da altri deficit percettivi (ad es., visivi o uditivi) o cognitivi.

2 Le tecniche di *imaging* rappresentano varie applicazioni derivate dalla tecnica della TAC, sviluppata da A. M. Cormack e G. N. Hounsfield, rispettivamente un fisico e un ingegnere, che furono entrambi insigniti del Premio Nobel nel 1979. I principi della TAC si basano sulla *Trasformata di Radon*, un modello creato nel 1917 dal matematico boemo J. Radon nel corso delle sue ricerche sulla teoria della misura [1].

3 Le analisi di *neuroimaging* funzionale (PET e fMRI) misurano l'attività del sistema nervoso centrale in tempo reale: entrambe si basano sul fatto che l'attivazione di un'area del cervello comporta un maggior consumo di ossigeno o di glucosio (risposta metabolica) e un maggior afflusso sanguigno (risposta emodinamica), quindi si prestano ad analizzare e studiare la relazione tra l'attività di determinate aree cerebrali e risposte a specifici stimoli. La PET misura il flusso sanguigno o il consumo di glucosio con una risoluzione inferiore ai 5 mm in un tempo di circa 30 sec, la fMRI ha un potere di risoluzione ancora migliore, in quanto misura l'ossigenazione e il flusso sanguigno con una risoluzione inferiore ai 2mm in un tempo di circa 1sec.

4 Anche le tecniche di elettroencefalografia (EEG) o magnetoencefalografia (MEG), che non sono propriamente tecniche di *neuroimaging*, si prestano a un'analisi funzionale ad alta risoluzione: sono basate sulla misurazione della variazione di potenziale elettrico sulla cute, che corrisponde con una certa approssimazione all'attivazione elettrochimica delle sottostanti aree del cervello (potenziali eventocorrelati) che generano campi elettrici o magnetici. Le tecniche di EEG e MEG hanno una risoluzione spaziale più modesta (circa 10 mm) ma un'ottima risoluzione temporale, infatti misurano le correnti neuronali con una risoluzione di 1msec.

Un riscontro interessante è l'attivazione di strutture corticali motorie distinte in risposta all'elaborazione di verbi o parole o frasi che descrivono movimenti o azioni, e il coinvolgimento di aree sensoriali in risposta all'uso di parole associate a sensazioni (ad es., i nomi di colori attivano le aree visive). È stato anche osservato un dimorfismo sessuale delle aree del linguaggio, che sono in genere più grandi nelle femmine: le aree corticali e temporali hanno una maggiore densità di neuroni e un volume maggiore del 20% nella donna, le cui capacità di eloquio risultano statisticamente migliori rispetto a quelle dell'uomo. Inoltre, la lateralizzazione è meno pronunciata nella donna: infatti l'analisi funzionale con RMN effettuata durante un esercizio di riconoscimento di parole in rima o durante la lettura rivela l'attivazione dell'emisfero sinistro nei maschi, mentre nelle donne si attivano entrambi gli emisferi. Questo aspetto trova conferma nel fatto che le lesioni nell'emisfero sinistro comportano maggiore invalidità verbale negli uomini che nelle donne.

L'ipotesi, peraltro molto dibattuta, che attraverso l'esplorazione dell'anatomia del cervello si possa arrivare a una precisa descrizione dei processi mentali (dal neurone al pensiero) si basa sulla teoria della modularità della mente di Fodor [5], che postula che l'architettura della mente e del cervello, che ne sarebbe il substrato materiale (*hardwired*), sia strutturata in moduli funzionali e che ciascun modulo svolga dei compiti precisi, e sia a sua volta scomponibile in sottoprocessi più elementari. Il paradigma scientifico del modularismo, pur essendo sostenuto da una serie di evidenze, è oggi molto discusso ed è stata anche avanzata una teoria radicalmente opposta, il connessionismo, che si basa su un'organizzazione strutturata sul modello delle reti neurali, per cui non sarebbe possibile prevedere l'identificazione di luoghi cerebrali dedicati a operazioni specifiche.

Anche se attualmente si stanno proponendo dei modelli ibridi tra modularismo e connessionismo, sembra piuttosto riduttiva una rappresentazione della natura complessa della mente come un calcolatore fatto di circuiti prefissati, che modificano il loro stato in funzione di stimoli che vengono dall'interno o dall'esterno dell'organismo.

3. Il ruolo dell'esperienza

Tornando al dilemma *nature/nurture*, è evidente che aver definito la struttura neuroanatomica che permette l'espressione linguistica non può portare al superamento della contrapposizione tra le due fazioni.

Sebbene i bambini nascano dotati delle strutture necessarie per parlare, come di quelle essenziali per la percezione sensoriale (tatto, vista, udito, gusto e odorato), questo non implica che le facoltà linguistiche siano innate o preformate, come la capacità di respirare. Per "innato" si intende ciò che è biologicamente o geneticamente programmato, a differenza di ciò che invece è "acquisito", cioè plasmato in modo imprevedibile dall'ambiente, dalle esperienze e dalla formazione individuale. Ma qual è il ruolo dell'esperienza?

Importanti ricerche realizzate da Jean Piaget, il famoso pedagogista svizzero, hanno messo in evidenza che, per lo sviluppo del linguaggio, è indispensabile l'esposizione precoce del bambino a rapporti sociali e che esistono periodi "critici" dell'apprendimento, che è un elemento basilare dello sviluppo delle facoltà linguistiche e cognitive in genere.

In effetti, sembra che esistano precisi vincoli biologici che governano le fasi temporali dello sviluppo del SNC e, in particolare, che il periodo critico per l'acquisizione delle abilità linguistiche di norma si colloca tra la nascita e la pubertà. Durante questo periodo, nel bambino le diverse abilità linguistiche emergono gradualmente, con l'acquisizione del lessico prima e, in seguito, delle conoscenze sintattiche, sempre più articolate e complesse, ma è fondamentale che l'apprendimento cominci nei primi mesi o anni di vita, mentre tra i sei e gli undici anni le competenze grammaticali si completano e si arricchiscono con la scolarizzazione.

Le prime fasi del processo di sviluppo delle competenze individuali

3-11 mesi: balbettio ("ma", "na", "da", "go"), imitazione generalizzata dei suoni e ecolalia ("ma-ma-ma-ma").

6 mesi: imitazione di alcuni suoni semplici pronunciati da altri entrano a far parte del repertorio del bambino. La *lallazione* è il movimento della lingua e della mandibola e richiede un'elaborazione motoria.

12 mesi: imitazione di suoni specifici e nuovi non presenti nella fase del balbettio.

18 mesi: incremento dell'uso del linguaggio e aumento del numero dei vocaboli.

24 mesi: conoscenza di più di 200 parole e articolazione di frasi di struttura complessa.

4. La grammatica universale

Nella struttura del linguaggio, la grammatica rappresenta il sistema delle regole per combinare tra loro i diversi elementi. La grammatica comprende tre livelli:

- *fonologico:* regole per combinare i suoni;
- *morfologico-sintattico:* regole necessarie per la produzione di nuove parole da altre (ad es., mediante suffissi per la coniugazione dei verbi o per la generazione di parole derivate) e per la composizione di frasi e periodi articolati;
- *semantico:* regole per definire il significato delle espressioni.

Nella seconda metà del Novecento, Noam Chomsky fece un'analisi comparata di diverse lingue e individuò delle forti analogie tra le loro strutture grammaticali e sintattiche, che interpretò come il risultato di una competenza mentale universale [3]. Secondo Chomsky, ci sarebbe una *conoscenza innata* delle regole della grammatica,

che costituirebbero i principi linguistici universali,⁵ mentre la lingua che viene parlata, i dialetti e le inflessioni sarebbero acquisiti dall'ambiente sociale.

Lo sviluppo del linguaggio sarebbe lo svolgimento di un "processo intrinsecamente determinato": ci sarebbe, dunque, una struttura predisposta all'elaborazione del linguaggio, qualunque sia la lingua cui il bambino sia esposto da piccolo, che è capace di organizzare e combinare parole e frasi in espressioni comprensibili secondo regole universali. In altre parole, lo sviluppo delle facoltà linguistiche sarebbero il risultato del dispiegamento di attitudini innate, che discendono da una dotazione genetica individuale, sulla quale si innesta l'esperienza.

Uno degli argomenti che Chomsky portò a sostegno della sua teoria è che la capacità di formare frasi corrette dal punto di vista grammaticale e di usare in modo creativo le strutture della madrelingua si sviluppa molto rapidamente nella prima infanzia. L'apprendimento del linguaggio non potrebbe essere così spedito, se non ci fosse una struttura innata pronta a sostenerlo. Un altro elemento di supporto sarebbe il fatto che, nonostante che il numero di fonemi che gli organi vocali umani sono in grado di produrre sia limitato, tuttavia chi parla è in grado di formare e interpretare infinite frasi.

Il lavoro di Chomsky ha incontrato un'accesa opposizione, soprattutto da parte degli psicologi comportamentisti (behavioristi), ma ha anche avuto profonde implicazioni sullo sviluppo della psicologia cognitiva. Gran parte della concezione attuale di come funziona la mente attinge direttamente dalle idee di Chomsky e dalla sua teoria. L'estensione delle sue tesi al di là delle loro implicazioni sul linguaggio ha portato ad elaborare modelli dei processi mentali, a volte anche molto bizzarri. Tra gli psicolinguisti, quello che si spinge più avanti è Steven Pinker secondo il quale il linguaggio sarebbe un'abilità specializzata e ampiamente pre-programmata, intrinsecamente connessa alla struttura del cervello e al suo programma di sviluppo, un "istinto", come per i ragni tessere la tela o per gli insetti volare. «La mente probabilmente contiene programmi per le regole grammaticali [...] e uno speciale set di geni che aiuta a cablarle» [12].

Quindi, prima di qualsiasi esperienza, saremmo già dotati di una conoscenza innata della struttura del linguaggio? E le capacità innate sarebbero prestabilite secondo un programma genetico prefissato? Anche se è stato suggerito che ci siano legami stretti tra la costituzione genetica di un essere umano e le sue abilità linguistiche, siamo ancora lontani dal poter anche lontanamente immaginare un ruolo del genere per il nostro patrimonio genetico.

Al contrario degli psicolinguisti, a molti sembra assai più verosimile che la rappresentazione della realtà (e con essa la struttura del linguaggio nei suoi diversi aspetti lessicali, semantici, sintattici, etc.) si costruisca gradualmente durante lo sviluppo e che

5 Gli "universali linguistici" sono un insieme di generalizzazioni che accomunano tutti i linguaggi umani, cioè mettono in luce le proprietà comuni a tutte le lingue, dal francese al cinese, dall'italiano all'urdu.

la struttura del SNC sia solo abbozzata e possa modellarsi con l'esperienza e continuare ad arricchirsi nel corso dell'intera vita, sulla base delle informazioni che vengono via via acquisite ed elaborate.

Secondo la teoria delle connessioni, nel periodo critico di acquisizione del linguaggio, in particolare nei primi mesi di vita, quando la plasticità del SNC è massima, si sviluppano innumerevoli reti neurali "potenziali", che gestiscono i processi di apprendimento, anche del linguaggio. A questa fase segue la fase di "potatura" delle reti neurali, quando le connessioni (sinapsi) inutilizzate vengono allentate, mentre quelle maggiormente usate vengono consolidate. La densità neuronale e sinaptica delle aree corticali interessate raggiungerebbe l'apice verso i cinque anni di vita e secondo alcuni, dopo il periodo critico, non sarebbe più possibile apprendere determinate facoltà.⁶

In genere le aree deputate alle funzioni linguistiche sono localizzate nell'emisfero sinistro (se questo è l'emisfero "dominante") che è più sviluppato dell'emisfero destro. La lateralizzazione compare già nella vita fetale e nel neonato la capacità di distinguere i suoni è già sviluppata, tanto che l'area di Wernicke si attiva alla percezione delle parole. Tuttavia, numerosi studi dimostrano che gli emisferi cerebrali non nascono già con una specializzazione, anzi sono dotati di un'elevata plasticità. Per certe funzioni sono alternativi, ma per altre sono complementari ed anche capaci di intervenire l'uno al posto dell'altro. Infatti, per esempio, i bambini con danni cerebrali precoci, o anche adolescenti, cui è stato rimosso l'intero emisfero sinistro, sono in grado di recuperare la maggior parte delle abilità linguistiche, ma con una differenza: l'emisfero dominante potrebbe divenire quello destro. Si pensa che questo recupero sia dovuto a un ruolo vi-carante svolto dall'emisfero controlaterale, che utilizza aree linguistiche sue proprie per svolgere attività che in condizioni normali sono eseguite principalmente dall'emisfero sinistro.⁷ Sebbene in tutti si osservi una certa partecipazione dell'emisfero destro nei compiti linguistici, soprattutto in quelli di comprensione-elaborazione, questa attività è maggiore nei mancini che nei destrimani.

5. Le basi genetiche del linguaggio

Un'architettura innata del SNC come quella ipotizzata da Pinker richiede un piano prestabilito (*blueprint*) di connessioni sinaptiche a livello delle reti neuronali e l'esistenza di geni specifici capaci di dirigere ed organizzare direttamente lo sviluppo e le funzioni delle varie strutture, incluse quelle coinvolte nei processi linguistici. Il fatto

6 Alcuni esperimenti al riguardo sono stati compiuti su animali, come ad esempio le scimmie [7]. Gli animali, cresciuti in totale isolamento sin dalla nascita e rimessi in contatto con altri simili dopo sei mesi, non erano più in grado di stabilire relazioni sociali all'interno del gruppo, né di imparare ad agire come i loro simili in semplici situazioni quotidiane, neanche dopo lunghi periodi di permanenza nel gruppo.

7 Anche esaminando i reperti fossili di *Homo habilis* si osservano vaghe impronte endocraniche, più prominenti a sinistra. Questo non ci permette di affermare che i nostri antenati usassero il linguaggio, perché, nonostante le notevoli differenze in quoziente di encefalizzazione, anche le scimmie hanno un piccolo omologo dell'area di Broca.

che alcuni difetti dello sviluppo del linguaggio siano ereditari, cioè, si trasmettano da una generazione all'altra nelle famiglie, suggerisce che ci sia un fondamento genetico nella capacità linguistica. Ma il problema è se esistono e si possono identificare specifici "geni del linguaggio". Un approccio efficace può essere quello di studiare proprio i difetti ereditari del linguaggio: questa è la strategia messa in atto da Simon Fisher e collaboratori che riuscirono ad individuare una specifica mutazione nel gene *FOXP2*, che si trova sul cromosoma 7, in numerosi soggetti affetti da SLD (Speech-Language Disorders) appartenenti alla stessa famiglia [4].

Analizzando i diversi membri della famiglia è stato constatato che, mentre i soggetti affetti presentavano la mutazione del gene *FOXP2*, questa non era presente nei loro familiari con capacità linguistiche normali, né in altri 364 soggetti di controllo [9]. Tuttavia, altre analisi su soggetti affetti da SLD hanno indicato il coinvolgimento di altre regioni del cromosoma 16 e del 19 [14]. Questa discrepanza non sorprende, dato che SLD raggruppa un insieme di patologie eterogenee, tutte caratterizzate da disprassia grave, in cui la mancanza di coordinamento della bocca e della lingua rendono il discorso poco coerente e difficoltoso l'uso della grammatica. Nonostante che si tratti di difetti eterogenei, la stima dell'ereditabilità di diverse abilità linguistiche nell'ambito della SLD è prossima al 100%.

Da studi successivi, è stato chiarito che il gene *FOXP2* codifica per una proteina della classe *forkhead*, una famiglia di fattori di trascrizione, cioè una proteina che controlla in modo gerarchico l'attività di numerosi altri geni. In un altro studio è stata trovata una mutazione diversa dello stesso gene in 46 bambini in cui la disprassia si presenta isolata, confermando quindi le tesi di Fisher [11].

Anche se la maggior parte dei genetisti è rimasta cauta circa le conclusioni da trarre, alcuni psicolinguisti si sono affrettati ad affermare che era stato identificato un gene direttamente coinvolto nello sviluppo della comunicazione e del linguaggio. «Una scoperta eccitante che segna l'alba della genetica cognitiva», ha sostenuto Pinker, profetizzando che presto potremo essere in grado di costruire una «mappa genetica delle funzioni cognitive» più o meno direttamente a partire dai geni e dai loro prodotti proteici [12]. Anche i *media* hanno rilanciato la notizia sul "gene della grammatica" con notevole enfasi (si veda anche www.blogalileo.com/il-gene-del-linguaggio/).

A raffreddare gli entusiasmi è arrivata la scoperta che i membri della famiglia con la mutazione in questione non hanno solo problemi di linguaggio, ma anche di visualizzazione, di controllo motorio fine, di andatura e di percezione spaziale: ognuno di questi difetti può avere come effetti collaterali l'alterazione dello sviluppo del linguaggio fin dalla prima infanzia. Infatti è stato osservato che, nel corso del tempo, l'espressione di *FOXP2* diventa sempre più finemente regolata nel cervelletto, un'area particolarmente delicata per lo sviluppo delle abilità motorie. Questa molteplicità di effetti è comune ai geni come *FOXP2*, che controllano fattori di trascrizione e che, se sono alterati, possono avere esiti molto generali, dato che la loro attività si ripercuote a cascata sull'azione di molti geni.

Quindi, i difetti di espressione connessi alla mutazione di *FOXP2* potrebbero essere secondari ai problemi motori, cioè della capacità di apprendimento del coordinamento fine, e, in particolare, del movimento oro-facciale, indispensabile per lo sviluppo delle abilità linguistiche. Se così fosse, non solo la relazione tra *FOXP2* e facoltà linguistiche sarebbe più indiretta di quanto non fosse apparso inizialmente, ma è anche probabile che il ruolo di questo gene sia più marginale di quanto ipotizzato. L'entusiasmo suscitato intorno all'idea che un singolo gene potesse essere responsabile dello sviluppo di una facoltà complessa come il linguaggio risulta, perciò, decisamente eccessivo.

6. *FOXP2* nelle altre specie

Dalla scoperta della mutazione di *FOXP2* nell'uomo e del suo presunto rapporto con le capacità linguistiche, si è avviato un interessante filone di ricerca che ha puntato ad analizzare geni omologhi in altre specie.

Il gene *FOXP2* è estremamente conservato, cioè ha subito pochi cambiamenti, nel corso dell'evoluzione dei vertebrati ed ha sequenze molto simili anche in specie distanti dal punto di vista filogenetico. Le proteine *FOXP2* dei primati non umani (scimpanzé, gorilla e macachi *Rhesus*) sono identiche e non hanno subito cambiamenti fin dalla separazione della linea evolutiva dello scimpanzé da quella dell'uomo (circa 4-6 milioni di anni fa). Per contro, nella linea umana ci sono stati due cambiamenti di amminoacidi, uno dei quali risale a circa 200.000 anni fa. Questo è sembrato un indizio promettente, dal momento che i tempi di questo cambiamento coincidono grosso modo con le stime di quando la facoltà della parola ha iniziato a emergere nella nostra specie. Sarebbe comunque avventato affermare che una singola mutazione di *FOXP2*, modificando la funzione della proteina, possa aver contribuito direttamente all'evoluzione del linguaggio umano.

Alcune interessanti novità vengono dallo studio dei pipistrelli e degli uccelli. Un gruppo di ricercatori ha cercato di capire se il gene *FoxP2* sia associato con lo sviluppo di un meccanismo sonoro, l'ecolocalizzazione, specifico dei pipistrelli, che permette di usare segnali vocali per orientarsi e per catturare le prede. Confrontando il gene *FoxP2* proveniente da pipistrelli che usano diversi sistemi per l'ecolocalizzazione, i ricercatori hanno trovato notevoli differenze, il che indicherebbe un ruolo del gene nello sviluppo di questa capacità. Questo ruolo potrebbe essere proprio nella coordinazione sensorimotoria delle aree oro-facciali per l'emissione dei suoni [10].

La ricerca sull'espressione di *FoxP2* degli uccelli, la cui sequenza è molto simile a quello dell'uomo, tende a riaffermare che la conclusione sul legame tra *FOXP2* e il linguaggio è quanto meno prematura. Confrontando l'espressione del gene di uccelli canori che imparano la loro vocalizzazione da altri conspecifici (ad esempio, i canarini) con quello di uccelli canori che producono la loro vocalizzazione per istinto, sono stati ottenuti risultati di considerevole interesse. Nei primi, l'attività di *FoxP2* nel cervello è maggiore durante le fasi di apprendimento che durante la produzione canora. Inoltre, l'inibizione dell'attività di *FoxP2*, mediante iniezione di RNA interferente nel cervello,

compromette la capacità degli uccelli canori di imitare correttamente il canto di altri uccelli [6].

Queste osservazioni avvalorano l'ipotesi che l'azione di *FOXP2* sia associata all'apprendimento di abilità di coordinamento motorio fine e alla scala temporale del suo sviluppo, cioè che sia un importante fattore di plasticità vocale. Questo non è esplicitamente in contraddizione con la constatazione di una recente e rapida evoluzione di *FOXP2* nei primati o con l'affermazione che possa aver contribuito all'evoluzione del linguaggio umano. Anche se non si può dare per scontata l'omologia di funzione o di espressione dello stesso gene in specie diverse, il fatto che negli uccelli *FoxP2* non sia il gene che codifica per uno specifico canto, ma piuttosto uno che facilita la capacità di imparare a cantare, tende a confutare l'idea che *FOXP2* possa rappresentare il "gene della grammatica". Anzi, sembra più plausibile che nel corso dell'evoluzione possano essere stati favoriti i cambiamenti genetici che contribuiscono ad una maggiore plasticità nell'apprendimento [8].

Dopo decenni di ricerche, nonostante i significativi progressi delle neuroscienze e della neurogenetica, il processo di auto-organizzazione della mente è ancora in gran parte sconosciuto e imprevedibile. Il compito è molto complicato, considerato che le abilità linguistiche sono in completa interdipendenza con diverse altre abilità cognitive. Per esempio, la comprensione richiede numerose competenze, come la capacità di percepire il mondo esterno, le sensibilità sensoriali, le capacità di apprendimento e di elaborazione, in particolare, le capacità logiche, simboliche e mnemoniche. Il linguaggio può essere concepito come un sistema gerarchico, articolato su diversi piani (ad esempio, le abilità fonetiche influenzano quelle semantico-lessicali). Inoltre, allo sviluppo delle facoltà linguistiche contribuiscono *doti individuali*, come la capacità di produrre e percepire suoni, o come l'abilità nel concepire categorie e creare collegamenti astratti e logici tra di esse, ma anche *fattori sociali*, come la tendenza alla formazione di legami familiari e di gruppo, o la spinta a comunicare con i componenti del gruppo e all'esterno del gruppo, che rappresentano incentivi fondamentali per il processo di apprendimento e di trasmissione del linguaggio.

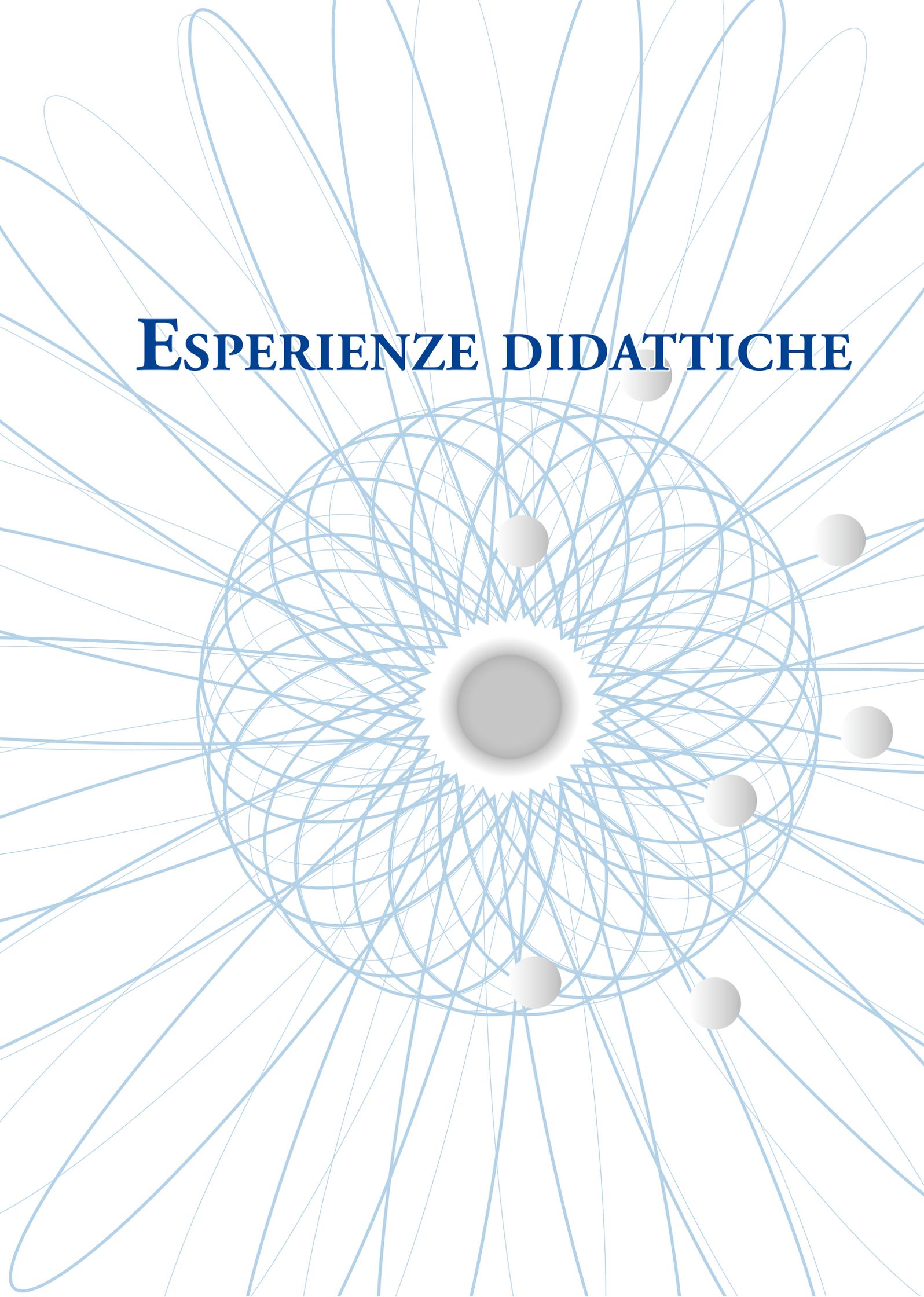
Il corretto svolgimento di ciascuno dei processi mentali implicati può essere alterato da cambiamenti del patrimonio genetico, come dall'intervento di fattori esterni. Il funzionamento del SNC è talmente delicato che anche una piccola asincronia o alterazione nelle prime fasi di sviluppo può avviare una cascata di eventi negativi. Tuttavia, lo sviluppo del linguaggio sembra molto robusto di fronte ai rischi genetici e ambientali: il fatto che molte persone con geni alterati possano svilupparsi normalmente suggerisce che non basta un singolo difetto genetico per compromettere lo sviluppo del linguaggio. Questa conclusione è coerente con i dati comportamentali, che riguardano la memoria o altre facoltà, e con l'ipotesi che per queste esista una forte "canalizzazione", cioè, che esistano una serie di genotipi in grado di produrre lo stesso fenotipo. Solo quando ci sono più fattori genetici e ambientali che concorrono ad alterare i processi di sviluppo si manifestano dei deficit comportamentali.

Dagli argomenti presentati si evince che gli studi genetici possono contribuire indiscutibilmente a fare luce su processi complessi, come quelli coinvolti nelle funzioni cognitive, purché i risultati vengano accolti senza facili entusiasmi e cercando le dovute conferme nella comprensione dei percorsi metabolici e dei processi biologici sottostanti e senza trascurare una valutazione approfondita delle interazioni con l'ambiente [2].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abate, M. (2006) Come salvare vite e comprarsi le Seychelles usando la teoria della misura. in *Lezioni sotto la torre. Quando l'Università protesta*, a cura di M. Stampacchia M, P. Della Posta, J. Munat J e A. M. Rossi, pp 145-151, ETS, Pisa 2006.
- [2] Bishop, D.V.M., The role of genes in the etiology of specific language impairment, *J. Comun. Dis.*, 35, 2002, pp. 311–328.
- [3] Chomsky, N., *Le strutture della sintassi*, Laterza, Roma-Bari 1974 (ed. orig. in inglese, 1957).
- [4] Fisher, S. E., Vargha-Khadem, F., Watkins, K. E., Monaco, A. P., & Pembrey, M. E. (1998). Localization of a gene implicated in a severe speech and language disorder, *Nature Genetics*, 18, 1998, pp.168-170.
- [5] Fodor, J., *La mente modulare*. Il Mulino, Bologna 1999 (ed. orig. in inglese, 1983).
- [6] Haesler, S, Wada, K., Nshdejan, A., Morrisey, E. E., Lints, T., Jarvis, E. D., Scharff, C., FOXP2 expression in avian vocal learners and non-learners. *J. Neuroscience*. 24 (13), 2004, pp. 3164-75.
- [7] Harlow, H. F., Suomi, S. J., Social recovery by isolation-reared monkeys. *Proc Nat. Acad. Sci. U. S. A.* 68 (7), 1971, pp. 1534-8.
- [8] Karmiloff-Smith, A., The tortuous route from genes to behavior: a neuro-constructivist approach, *Cogn. Affect. Behav. Neuroscience*. 6 (1), 2006, pp. 9-17.
- [9] Lai, C.S., Fisher, S. E., Hurst, J. A., Vargha-Khadem, F., Monaco, A. P., A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder, *Nature*, 413 (6855), 2001, pp. 519–523.
- [10] Li, G., Wang, J., Rossiter, S. J., Jones, G., Zhang, S., Accelerated FOXP2 Evolution in Echolocating Bats. *PLoS ONE* 2 (9), 2007, e900.
- [11] MacDermot, K. D., Bonora, E., Sykes, N., Coupe, A. M., Lai, C. S., Vernes, S. C. et al., Identification of FOXP2 truncation as a novel cause of developmental speech and language deficits, *Am. J. Hum. Genet.* 76 (6), 2005, pp. 1074–1080.
- [12] Pinker, S., *The language instinct*. Penguin, London 1994.
- [13] Pinker, S., Talk of genetics and vice-versa, *Nature*, 413, 2001, pp. 465-466.
- [14] SLI Consortium, A genomewide scan identifies two novel loci involved in specific language impairment (SLI), *Am. J. Hum. Genet.*, 70, 2002, pp. 384–398.

ESPERIENZE DIDATTICHE



*La Fondazione
Scienza e Tecnica*

STRUMENTI SCIENTIFICI:
OBJECT READING E DIDATTICA INFORMALE

SILVANA BARBACCI

Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze

PAOLO BRENNI

CNR e Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze

ANNA GIATTI

Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze

Introduzione

Il presente contributo, ha la finalità di mostrare come si possano creare attività didattiche a partire da un'opportuna lettura degli 'oggetti' di una collezione storica di strumenti scientifici, in questo caso quelli preservati nel Gabinetto di Fisica della Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze.

Saranno presentati esempi concreti di creazione di possibili percorsi didattici facendo riferimento – tra l'altro – alla realizzazione di un kit ("Vapore, lavoro, energia") sulle origini storiche della termodinamica, progettato per l'uso, da parte degli insegnanti, a scuola. Il kit è stato realizzato nell'ambito del progetto europeo HIPST (*History and Philosophy in Science Teaching*, VII Programma Quadro dell'Unione Europea).

1. Il patrimonio storico conservato presso la Fondazione Scienza e Tecnica

Alla metà del XIX secolo prese avvio a Firenze l'Istituto Tecnico Toscano, un'istituzione concepita dal suo primo direttore Filippo Corridi e fortemente sostenuta da Leopoldo II di Lorena, ultimo granduca di Toscana. I Lorena si distinsero spesso per una notevole sensibilità di stampo illuminista verso la scienza utile e verso un'idea di progresso lungimirante anche se spesso molto prudente. Leopoldo II, in particolare, sostenne e promosse un ammodernamento della Toscana attraverso il rilancio delle realtà economiche e il decollo della nascente industria toscana. In questa operazione il ruolo dell'Istituto Tecnico era considerato fondamentale, in quanto doveva provvedere alla formazione dei nuovi tecnici specializzati, contribuire alla formazione di ingegneri, architetti e agronomi e mettere in relazione le realtà produttive locali con le novità scientifiche e tecnologiche provenienti dall'estero.

Il modello didattico s'ispirava a quello adottato in scuole e politecnici europei e l'insegnamento venne incentrato sull'aspetto pratico delle varie discipline scientifiche e tecniche.

Fulcro dell'attività di insegnamento avviata nel 1857, e sempre fondamentali anche nelle trasformazioni e negli sviluppi futuri, furono le raccolte di strumenti scientifici, macchine, modelli e reperti di storia naturale. Il Gabinetto di Fisica costituì uno dei centri principali intorno al quale venne raccolta una collezione veramente imponente di strumenti e apparecchi che, per la sua omogeneità e sistematicità, ben riproduce i progressi della strumentazione utilizzata in fisica e l'evolversi del design degli apparecchi durante un secolo.

L'Istituto Tecnico Toscano costituì anche altre collezioni oltre a quella di fisica: raccolte di mineralogia, paleontologia, zoologia, botanica, merceologia, chimica, strumenti topografici... Queste raccolte, generalmente ben conservate o addirittura, come nel caso del Gabinetto di Fisica, pervenute quasi intatte, rappresentano oggi un patrimonio storico-scientifico d'importanza europea, che fornisce un'immagine dettagliata di quella che era la didattica scientifica nel periodo tra la metà dell'Ottocento e i primi decenni del XX secolo.



Figura 1. Il Gabinetto di Fisica dell'Istituto Tecnico Toscano in una fotografia del 1899.

Per garantire la salvaguardia e la valorizzazione delle raccolte è stata avviata, dagli anni Ottanta del secolo scorso, un'opera di recupero del patrimonio e nel 1988 è nata la Fondazione Scienza e Tecnica. Durante questo periodo è stato condotto un restauro e uno studio approfondito degli apparecchi che costituiscono la collezione del Gabinetto di Fisica e nel 2007 si sono conclusi anche i lavori di ristrutturazione dei locali che esso occupa dal 1891. Ciò ha consentito di riallestire la collezione nel luogo e negli arredi originali. Contestualmente all'apertura al pubblico e al mondo della scuola, hanno cominciato a concretizzarsi i frutti di una riflessione e di una ricerca sui possibili impieghi di tale patrimonio attraverso attività di didattica informale orientate a favorire l'integrazione dell'insegnamento delle discipline scientifiche a scuola con una prospettiva di

carattere storico e filosofico. La progettazione di tali attività tiene conto delle necessità di corretta conservazione delle raccolte.

2. Usi possibili delle collezioni di strumenti scientifici storici

A differenza di altre realtà museali che raccolgono collezioni create a posteriori grazie a donazioni, lasciti o acquisizioni di varia natura, il patrimonio conservato alla Fondazione presenta una notevole omogeneità per quanto riguarda periodo storico, ambito scientifico e fine didattico e educativo. La presenza di una biblioteca storica, di raccolte afferenti anche alle scienze naturali e alla merceologia, con campioni di zoologia, botanica, mineralogia, materie prime e prodotti manifatturieri, costituisce un notevole vantaggio in quanto consente di costruire connessioni fra discipline diverse e, in generale, un approccio di tipo multidisciplinare che offre l'occasione di elaborare delle narrazioni.

Gli strumenti scientifici possono quindi costituire il punto di partenza per produrre racconti che riguardano la storia non solo della fisica ma anche della cultura materiale, della società e della moda, oltre che – ovviamente – del progresso tecnologico e delle scienze naturali. La prospettiva storica permette così di creare legami fra oggetti apparentemente scollegati.

La progettazione di queste narrazioni richiede l'apporto di competenze specifiche sia in fase di ideazione che di presentazione al pubblico. I risultati ottenuti – come confermato dagli esempi che saranno presentati nei successivi paragrafi – possono essere molto soddisfacenti. Infatti, percorsi che presentano alcuni oggetti appartenenti a diverse collezioni che mostrano le possibili interazioni e collegamenti tra gli oggetti stessi risultano particolarmente interessanti per il pubblico. In secondo luogo, toccando diversi temi e argomenti, gli studenti sono stimolati a far cadere le 'classiche' barriere tra discipline. In terzo luogo, gli strumenti storici – e certamente altri manufatti – sono contestualizzati in un panorama che illustra la complessità e la ricchezza dell'impresa umana. Infine, particolari oggetti, come gli strumenti scientifici, non sono considerati come curiosità di antiquariato per specialisti e conoscitori, ma sono posti in un ampio panorama e in un contesto ricco di sfaccettature.

È importante poi considerare che gli strumenti scientifici storici – e non solo quelli costruiti per la didattica – consentono per lo più una visione diretta di ciò che succede durante un'esperienza, una misurazione o una dimostrazione. Ciò induce in molti casi a preferirli a moderni strumenti scientifici didattici che, costituiti spesso da black box e dispositivi elettronici, risultano meno trasparenti e forniscono 'solo' risultati. Il loro aspetto costituisce poi un'attrattiva sia per il design di gusto storico sia per la cura dei materiali e dei particolari che testimoniano: fino ai primi decenni del secolo scorso vi era infatti, anche da parte dei costruttori, un'attenzione particolare per il design e per le rifiniture alle quali si riconosceva una 'funzionalità psicologica'.

Queste particolari capacità di attrattiva non devono però indurre a rimanere al livello di un approccio didattico superficiale, quale sarebbe il loro impiego per dimo-

strare leggi o fenomeni, come si può fare con moderne collezioni didattiche o semplici giochi scientifici realizzabili anche con materiale povero. Un impiego di questo tipo ne comprometterebbe inoltre la conservazione, che deve comunque sempre rimanere uno degli obiettivi prioritari nella gestione di collezioni storiche. Mostrarne semplicemente l'uso e la funzione costituisce un impiego parziale delle potenzialità di questi beni perché essi possono essere invece la sorgente di innumerevoli spunti e idee.

Se pensiamo a come un archeologo, per esempio, riesce a ottenere informazioni da fonti materiali, possiamo immaginare come uno strumento scientifico storico può parlare – attraverso i materiali che lo compongono – di quali erano gli elementi e i composti conosciuti o disponibili al tempo, del loro commercio, della loro diffusione, di quali erano i processi di trasformazione delle materie prime... Le decorazioni testimoniano il gusto e la moda di un tempo piuttosto che l'abilità degli artigiani o la disponibilità di utensili e macchinari. Attraverso lo studio dello stile, del design e dei materiali è possibile talvolta individuare l'area geografica di provenienza del manufatto, oppure, se – al contrario – è presente la firma o il cartiglio del costruttore, si ottengono informazioni sullo stato e la diffusione dell'industria di precisione. Uno strumento scientifico è un prodotto del suo tempo, porta i segni dell'epoca in cui è stato ideato e costruito ed è facile immaginare come anche studi di storia economica, architettura e ingegneria possano trarre vantaggio da un'analisi attenta e approfondita di questo tipo.

È comunque indiscutibile che talvolta sia fondamentale vedere in azione gli apparecchi, per comprenderne il funzionamento e acquisire consapevolezza degli aspetti pratici e materiali che concorrono alla realizzazione di un esperimento scientifico.

Per garantire la conservazione degli strumenti storici si possono realizzare modelli funzionanti. Questi possono essere ricondotti a due tipi principali: le ricostruzioni che hanno l'obiettivo di riproporre determinate esperienze e quindi riproducono il funzionamento di un apparecchio anche attraverso l'impiego di materiali moderni, e le ricostruzioni che invece vengono realizzate con particolare rigore per quanto riguarda i materiali, la forma e le caratteristiche degli strumenti originali.

Se l'obiettivo è riproporre un'esperienza all'interno di un percorso didattico e le disponibilità economiche e tecniche sono modeste, è possibile utilizzare materiali economici e cercare di semplificare al massimo puntando all'essenziale. Con un po' di creatività si possono ottenere ottimi risultati e garantire un primo approccio a tematiche scientifiche e storiche fondamentali.

La possibilità di eseguire o avere a disposizione ricostruzioni 'filologicamente' rigorose di strumenti scientifici consente certamente di entrare in contatto più in profondità con gli strumenti stessi, il loro funzionamento e il loro significato. Una ricostruzione rigorosa da un punto di vista storico può essere un veicolo per letture intrecciate e interdisciplinari, e, se è stata realizzata in modo da poter ripetere esattamente le esperienze originali, mette in condizione di entrare profondamente in contatto con la pratica sperimentale. In questo caso si tratta di attività didattiche molto specializzate e attivabili solo a livello universitario.

Come già accennato, l'attività didattica e di divulgazione non deve entrare in conflitto con le buone pratiche di conservazione delle collezioni storiche. Un uso costante e ripetuto di macchine e apparecchi antichi non è sostenibile e porterebbe presto alla loro distruzione. Bisogna pensare del resto che, quando queste raccolte venivano usate per la didattica o la ricerca, il loro funzionamento era sempre assistito da preparatori specializzati i quali, oltre a montare gli strumenti e predisporre le esperienze, provvedevano alla manutenzione, alle riparazioni e in generale al buon funzionamento. Oggi, questo è difficilmente ottenibile per le note deficienze di personale, ma anche per una minore diffusione delle abilità sperimentali.

Molte delle esperienze necessitano di operazioni particolarmente complesse, di messe a punto lunghe e delicate, e talvolta una dimostrazione o, ancora più spesso, una misurazione va a buon fine solo dopo innumerevoli ripetizioni. Alcune delle procedure comprendono 'trucchi' e necessitano di una manualità che nessun testo, manuale o articolo può trasmettere poiché solo la pratica può portare al successo di alcune imprese sperimentali. Molti apparecchi non sono *user friendly*; al contrario, sono fragili e complessi da manipolare e i rischi di danneggiamento sono alti. In ogni caso l'uso prolungato porterebbe inevitabilmente a danni: si pensi per esempio a tutti quegli strumenti per i quali è necessario l'impiego di acqua – come le fontane di Erone o le fontane intermittenti – che, terminata la dimostrazione, sarebbe difficile asciugare completamente negli interstizi e nelle filettature, favorendone così l'ossidazione. Parti come avvolgimenti elettrici o guarnizioni sono particolarmente soggette a danneggiarsi ed eventuali riparazioni – sempre che siano possibili – ne altererebbero certamente le caratteristiche originali.



Figura 2. Tubo di Geissler, inizio del XX secolo.

Nel tempo si sono poi profondamente trasformate le normative di sicurezza che regolamentano l'uso di sostanze e la tolleranza ai fenomeni e che prima non esistevano. I tubi a scarica di Geissler e di Crookes, per esempio, producono anche raggi X, i circuiti

elettrici a vista o non isolati possono essere pericolosi, vari apparecchi come la ruote di Barlow o alcuni interruttori utilizzano il mercurio. Nessuno di questi strumenti può essere usato per dimostrazioni didattiche al pubblico.

L'utilizzazione sistematica di strumenti storici originali a fini didattici è dunque fortemente sconsigliata, anche se in certe occasioni eccezionali possiamo ammettere che essi siano mostrati in funzione, purché tali dimostrazioni siano fatte da persone esperte. Le conoscenze dei moderni preparatori non si devono limitare alle caratteristiche tecniche degli apparecchi e ai dettagli delle dimostrazioni, ma è necessaria anche una consapevolezza delle regole fondamentali che occorre rispettare nella manipolazione di oggetti di interesse museale.

Una soluzione a tale problema consiste nell'utilizzare gli strumenti originali per produrre dei video di qualche minuto capaci di illustrarne con chiarezza il funzionamento. Tali video – in cui, come già osservato, gli strumenti siano usati da persone esperte – possono essere arricchiti da simulazioni tridimensionali (ad esempio, per mostrare alcune caratteristiche costruttive dell'apparecchio), schemi, schede di descrizione e audio di commento. I video permettono, *una volta per tutte*, di illustrare il funzionamento dello strumento e le sue particolarità, e possono essere mostrati nel corso di lezioni o seminari, accanto allo strumento reale, inseriti in applicativi multimediali oppure messi in rete, a disposizione di tutti coloro i quali potrebbero esserne interessati.

3. Uso didattico della Collezione del Gabinetto di Fisica: due esempi

Come anticipato, presso la Fondazione Scienza e Tecnica sono state sperimentate due possibili modalità¹ di valorizzazione delle collezioni storiche² e di elaborazione, a partire dagli oggetti in esse conservate, di iniziative didattiche per integrare l'insegnamento della fisica a scuola con elementi di carattere storico, offrendo una contestualizzazione che tiene conto delle relazioni esistenti tra scienza, tecnologia, economia e società. Il materiale conservato nelle collezioni, unitamente alle risorse bibliografiche disponibili nella biblioteca della Fondazione, ha costituito il punto di partenza per i lavori creati da un gruppo interdisciplinare formato dai curatori delle collezioni, i quali hanno garantito la correttezza dei contenuti proposti da esperti in comunicazione della scienza e didattica informale e da alcuni insegnanti.

Uno dei criteri-guida nella selezione dei temi di lavoro, oltre alla pertinenza rispetto al patrimonio conservato nelle collezioni, è stato quello del rilievo nei programmi di fisica delle scuole secondarie di secondo grado. Dunque sono stati scelti: termodinamica e elettricità.

Le modalità operative sono state le seguenti. Nel caso della termodinamica, è stato realizzato un materiale didattico pensato per l'uso da parte degli insegnanti in classe.

1 I progetti qui descritti sono stati elaborati nell'ambito del progetto europeo HIPST (History and Philosophy in Science Teaching), VII programma quadro EU, febbraio 2008 – luglio 2010.

2 Ci si riferisce in particolare alla collezione del Gabinetto di Fisica, ma la modalità di progettazione delle attività rimane aperta anche alle collezioni di tipo naturalistico, come accennato nel paragrafo 2.

Tale materiale, costituito da un *kit* denominato “Vapore, lavoro energia” è formato da un CD in cui, attraverso immagini, testi, schede di approfondimento e video di strumenti del Gabinetto di Fisica, è ricostruito un percorso storico che va dall’introduzione delle prime macchine a vapore alla nascita della termodinamica. Il *kit*³ include un libretto con schede di approfondimento, redatte con lo scopo di supportare gli insegnanti nella ricostruzione del contesto storico e delle correlazioni con lo sviluppo sociale, economico e tecnologico che l’introduzione delle macchine termiche determinò.

Nel caso dell’elettricità, è stato sviluppato un progetto intitolato “Dalla pila al telegrafo: la scoperta dell’elettricità dinamica e la trasformazione delle comunicazioni a distanza” costituito da seminari rivolti agli insegnanti e da un modulo di carattere ‘narrativo-sperimentale’ rivolto agli studenti. Quest’ultimo è strutturato su una narrazione che, a partire dall’invenzione della pila da parte di Volta, introduce le sue prime applicazioni pratiche, centrando particolarmente l’attenzione sulla telegrafia. Durante la narrazione vengono aperti ‘momenti sperimentali’ in cui gli studenti sono invitati a diventare protagonisti del laboratorio compiendo essi stessi alcuni esperimenti. Questa attività viene svolta nella sede della Fondazione, quindi in un setting diverso da quello scolastico.

3.1 Vapore, lavoro, energia

Il criterio che è stato utilizzato nella progettazione del *kit* didattico “Vapore, lavoro, energia” è stato quello di individuare una serie di oggetti significativi nella collezione del Gabinetto di Fisica e di costruire, a partire da essi, una traccia che, nell’arco di tempo che va dagli inizi del Settecento fino alla metà dell’Ottocento, riporti la nascita della termodinamica – fatto precipuamente ottocentesco – alle sue radici, strettamente correlate con l’introduzione delle macchine a vapore (Savery, Newcomen, Watt), quindi con lo scopo di rispondere a necessità economiche legate inizialmente allo sfruttamento delle miniere di carbone.



Figura 3. Modello di macchina a vapore di Watt, 1870 circa.

3 Il *kit* viene distribuito durante corsi (rivolti agli insegnanti) realizzati presso la Fondazione Scienza e Tecnica.

La progettazione di tali macchine, per diversi decenni basata su criteri prevalentemente empirici e progredita essenzialmente in Inghilterra, stimola solo successivamente, e in particolare con il contributo degli scienziati francesi, a cominciare da Sadi Carnot,⁴ la nascita di un nuovo sapere teorico sul calore e sulla sua capacità di operare come forza motrice.

Il percorso tracciato nel CD fa riferimento alle teorie relative alla natura del calore, evidenziando come a quella dominante che riconduceva il calore a un fluido, denominato “calorico”, venga definitivamente sostituita, a metà Ottocento, la teoria cinetica. Il percorso si conclude con l’introduzione del primo principio della termodinamica, che costituisce una versione generalizzata del principio di conservazione dell’energia ed è uno dei principali risultati della fisica del XIX secolo. Si sottolinea come alla formulazione di tale principio arrivino pressoché contemporaneamente e autonomamente diversi scienziati, in particolare Joule, Mayer, Colding e Helmholtz.

Come anticipato, i video di strumenti in funzione, appartenenti alla collezione del Gabinetto di Fisica, costituiscono i punti di snodo e gli elementi di originalità del *kit*. Il Gabinetto di Fisica era dotato di strumenti e di modelli di macchine molto raffinati e all’avanguardia per l’epoca (i modelli erano comuni nei gabinetti scientifici di scuole e università, ove venivano utilizzati per mostrare le applicazioni pratiche di leggi e fenomeni fisici). La scelta di realizzare i video rappresenta uno dei possibili usi delle collezioni storiche e permette di mostrare gli strumenti in funzione, senza che questi subiscano danneggiamenti dovuti a un uso ripetuto nel tempo. L’uso degli oggetti originali risulta particolarmente evocativo, stimola la curiosità negli studenti e soprattutto rende più evidente come la scienza non sia una creazione astratta e a-temporale, bensì il prodotto della manualità e della capacità di sperimentare dell’uomo oltre che della sua mente.

Per la costruzione del percorso del CD si è scelto di fare uso di oggetti della sezione di meccanica e di termologia, a cominciare da un modello in scala della macchina di Watt di tipo fisso a doppio effetto, che permette di osservare le sue diverse parti e il suo funzionamento. Evidenti risultano le innovazioni introdotte da Watt: la separazione tra cilindro e condensatore, il parallelogramma e il sistema biella-manovella per trasformare un moto traslatorio in uno rotatorio, e il regolatore, primo esempio di sistema di retroazione in meccanica.

Gli altri oggetti opportunamente scelti e presentati nei video sono i seguenti:

- l’apparecchio di Tyndall, uno strumento che permette di realizzare un’esperienza puramente qualitativa che mostra in modo efficace come il lavoro meccanico possa essere trasformato in calore;
- l’acciarino pneumatico, un curioso strumento utilizzato in Europa – a partire dai primissimi anni dell’Ottocento fino all’invenzione di fiammiferi ef-

⁴ È del 1824 la pubblicazione del trattato di Sadi Carnot, intitolato *Refléxions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développer cette puissance*, che costituisce la prima elaborazione di una teoria dinamica del calore.

ficaci (1820 circa) – come dispositivo per produrre fuoco e per accendere sigari, candele e lampade; questo strumento, che permette di incendiare istantaneamente una sostanza facilmente infiammabile grazie al subitaneo riscaldamento dell'aria causato da una rapida compressione adiabatica, generò non pochi dibattiti nella comunità scientifica dell'epoca che si interessava al comportamento e alle proprietà fisiche dei gas, allora ancora poco conosciute;

- il freno dinamometrico di Prony, prima testimonianza dei numerosi apparecchi ideati nell'Ottocento e nel Novecento per misurare la potenza erogata da motori e macchine motrici di vario tipo;
- una versione didattica, degli inizi del Novecento, dell'apparecchio inventato da Joule nel 1845 per misurare l'equivalente meccanico della caloria, cioè il fattore che permette di convertire un'unità di energia in un'unità di calore;
- l'apparecchio di Puluji, un altro strumento, più compatto e facile da utilizzare rispetto a quello di Joule, che fu spesso impiegato in ambito didattico per determinare l'equivalente meccanico del calore;
- infine, un modello di macchina a vapore a cilindro orizzontale a doppio effetto realizzato intorno al 1900.

Per altre macchine o strumenti, importanti ma non conservati nella collezione, come la macchina di Savery e di Newcomen, è stato scelto di introdurre alcune animazioni. Anche per mostrare il funzionamento dell'indicatore di Watt si è preferito utilizzare un'animazione, così da rendere esplicito come venga costruito il diagramma che rende conto del lavoro prodotto da una macchina.

L'intero percorso, oltre a contenere schede illustrative di ciascuno strumento, è puntualmente arricchito da considerazioni volte a mettere in evidenza quell'intreccio tra scienza, tecnologia, economia e società, cui si è già accennato, e a far capire come la scienza non sia un'impresa 'asettica', ma si sviluppi e progredisca in modo spesso correlato con le necessità economiche, in uno stretto rapporto bi-direzionale con lo sviluppo tecnologico, condizionando significativamente, in conseguenza di ciò, la società. Il caso della termodinamica è particolarmente esemplare per illustrare come un nuovo settore della fisica nasca a valle della produzione di notevoli risultati tecnologici, quale apparato teorico che spiega quanto precedentemente acquisito nella pratica. Esso nasce dalle domande: come opera il calore come forza motrice? In che modo può essere ottimizzato il rendimento delle macchine termiche? Proprio a partire da questi interrogativi – grazie all'opera di Sadi Carnot – inizia a essere elaborata una teoria della dinamica del calore, anche con il presupposto secondo cui, così come esisteva una teoria sulla meccanica delle macchine che a fine Settecento risultava esaustiva, allo stesso

modo sarebbe dovuta esistere una teoria sulle macchine termiche.⁵

Nel percorso del CD e nelle schede di approfondimento vengono messi in luce vari aspetti relativi alle ripercussioni dell'innovazione tecnologica sulla società, a cominciare da quanto accadde con la Rivoluzione Industriale, la quale ebbe certamente un ruolo di primo piano nell'introduzione delle macchine a vapore. Si mette in risalto il fenomeno della nascita delle grandi fabbriche (fabbriche per la tessitura e la filatura, fonderie, ferriere...), l'incremento di produzione e la diminuzione dei costi nell'industria mineraria, l'introduzione di nuove macchine e di processi per lo sfruttamento agricolo delle terre, la nascita delle prime industrie chimiche per la produzione di composti di base quali l'acido solforico o la soda. Si ricorda come – a partire dall'inizio dell'Ottocento – lo sviluppo dell'industria per la produzione del gas rivoluzionò l'illuminazione pubblica e privata, ma soprattutto la trasformazione epocale che avvenne nei trasporti con l'introduzione dei battelli a vapore e della ferrovia e anche attraverso la costruzione di nuove strade, ponti, canali navigabili, chiuse. A questo si aggiungono i rimandi all'ascesa al potere di una borghesia spesso spregiudicata, alla crescita rapidissima e caotica delle metropoli, al cambiamento dei tempi e modi di lavoro nelle fabbriche, alla piaga del lavoro minorile, ma si evidenzia anche il formarsi di importanti movimenti sociali quali la nascita delle società di mutuo soccorso e dei primi sindacati, una sempre maggiore scolarizzazione e alfabetizzazione, una crescita notevole della speranza di vita, una riduzione della mortalità infantile. Si sottolinea infine come tutte queste trasformazioni abbiano influito non poco anche sul gusto estetico, sulle arti figurative e sulla letteratura.

Altro aspetto significativo del *kit* "Vapore, lavoro, energia" è quello di essere stato pensato per fornire spunti agli insegnanti per fare emergere, nel corso delle loro lezioni, alcuni elementi fondamentali della 'natura della scienza'. Per esempio, il fatto che la scienza non abbia uno sviluppo lineare e univoco, ma una storia complessa che si sviluppa attraverso prove, errori e correzioni spesso necessari prima di arrivare a risultati consolidati e universalmente accettati; che a nuove acquisizioni spesso si arrivi attraverso strade diverse, percorse da più persone contemporaneamente – come, per esempio, nel caso del primo e del secondo principio della termodinamica – talvolta a reciproca insaputa; che i progressi nella scienza giungano molte volte a seguito dell'ideazione di soluzioni empirico-tecniche in risposta a necessità pratiche; che la scienza abbia una fondamentale componente materiale e sperimentale.

5 Scrive Carnot (op. cit., nota 4):

Le macchine che non ricevono il movimento dal calore, quelle che hanno per motore la forza degli uomini o degli animali, una caduta d'acqua, il vento, ecc., possono essere studiate nei minimi dettagli dalla teoria meccanica. Tutti i casi sono previsti, tutti i movimenti immaginabili sono assoggettati a principi generali solidamente stabiliti e applicabili in tutte le circostanze. Vi è il carattere di una teoria completa. Una simile teoria manca per le macchine a vapore. Non la si possiederà se non quando le leggi della Fisica saranno sufficientemente estese, generalizzate, per far conoscere in anticipo tutti gli effetti del calore che agisce in un modo determinato su un corpo qualunque.

3.2 La scoperta dell'elettricità dinamica e la trasformazione delle comunicazioni a distanza

Il progetto “La scoperta dell'elettricità dinamica e la trasformazione delle comunicazioni a distanza” – messo in atto, in tre edizioni diverse, con le scuole a partire dal 2007 e successivamente adattato anche per il pubblico generico⁶ – costituisce un altro esempio di come gli oggetti di una collezione storica di strumenti possano servire da stimolo per la creazione di un'attività di didattica informale in un museo. Tale progetto, oltre a prevedere seminari di carattere introduttivo con gli insegnanti delle classi partecipanti, ha come nucleo centrale un modulo di tipo narrativo-sperimentale rivolto agli studenti.

Il modulo è stato elaborato a partire dalla suggestione evocata da alcuni oggetti conservati nella collezione del Gabinetto di Fisica. Con riferimento a questi è stata creata una struttura narrativa sulle prime applicazioni pratiche della pila di Volta, in una parabola che va dalla fine del Settecento – con la controversia Volta-Galvani –, fino agli anni Settanta dell'Ottocento, i quali vedono il trionfo della telegrafia sottomarina.

La storia, procedendo appunto dalla pila – di cui sono conservati numerosi esempi in collezione –, introduce la nascita dell'elettrochimica, presenta le applicazioni dell'elettricità dinamica all'elettroterapia e le tecniche della galvanoplastica e della galvanostegia per riprodurre in serie oggetti (come vasellame, candelabri...) in materiali metallici o ricoprirli con metalli preziosi. Nel racconto si evidenzia come l'uso di queste tecniche ebbe notevoli risvolti da un punto di vista sociale, in quanto dette inizio a una prima ‘produzione di massa’, accessibile dunque anche alla classe borghese, di oggetti che prima potevano essere realizzati solo artigianalmente, rimanendo privilegio esclusivo dell'aristocrazia.



Figura 4. *Telegrafo ad ago di Wheatstone, 1850 circa.*

⁶ Il progetto è stato realizzato in una prima versione prototipale per l'anno scolastico 2007/08 e consolidato, nell'ambito del progetto HIPST nel 2008/09. Viene ripetuto su più larga scala negli anni scolastici 2010/2011 e 2011/2012 insieme a una versione adattata per il pubblico generico, nell'ambito dell'iniziativa della Regione Toscana “Edumusei”(2010/2012).

Di qui si passa poi, attraverso l'esperienza di Oersted e la dimostrazione dell'interconnessione tra elettricità e magnetismo, all'introduzione del tema delle comunicazioni a distanza, facendo prima un riferimento alla telegrafia ottica sviluppata in Francia nella seconda metà del Settecento dai fratelli Chappe, per poi arrivare alla telegrafia elettrica: telegrafo ad ago di Wheatstone e Cooke e poi telegrafo Morse.⁷ Si evidenzia come nel corso di pochi anni gli apparecchi e le linee telegrafiche si fossero moltiplicate, provocando notevoli cambiamenti nella società, con ripercussioni in ambito economico, militare, politico, e con effetti sulla diffusione dell'informazione sui giornali – proprio con il telegrafo nascono le prime agenzie di stampa – e più in generale sulle comunicazioni interpersonali.

Si pone l'accento su ulteriori aspetti, come la necessità di stabilire un'ora standard, il fatto che la rete telegrafica si estendesse di pari passo con quella ferroviaria e che lo sviluppo intrecciato tra telegrafia e ferrovia rendesse possibile una più efficiente distribuzione delle risorse a livello nazionale e internazionale, costituendo così un fattore propulsivo per il sistema economico. Il racconto introduce infine la telegrafia sottomarina, la quale rappresenta l'impresa più ardua da affrontare per gli uomini del tempo, in termini di capitali investiti, rischio finanziario, sfida tecnologica e coinvolgimento dell'opinione pubblica. La progettazione, la costruzione, il trasporto e la posa dei cavi erano questioni quanto mai delicate, che richiedevano l'intervento di *équipes* di esperti estremamente qualificati. Tra i problemi c'era poi quello dell'isolamento dei cavi, risolto utilizzando la guttaperca, materiale plastico di origine vegetale proveniente dal sud-est asiatico.

Il primo collegamento sottomarino unisce Dover a Calais nel 1851. L'impresa di collegare le due sponde dell'Atlantico decolla, dopo vari fallimenti, solo nel 1866. Di qui in poi la telegrafia elettrica, effettuata con apparecchi sempre più rapidi e sofisticati, è un vero trionfo: i cavi attraversano i continenti e raggiungono le più lontane colonie. Le notizie, i bollettini di guerra, i dispacci diplomatici, le quotazioni di borsa, le chiamate ai pompieri e i messaggi personali corrono sulle linee telegrafiche. Il mondo diventa sempre più 'piccolo' e l'«internet vittoriano» [19], come è stato recentemente definito il telegrafo, non solo accorcia le distanze ma modifica profondamente la società.

Il racconto, di cui è stata appena riportata una sintesi, viene arricchito sia attraverso le proiezioni di immagini ricavate da manuali storici [10, 15] e da fotografie di oggetti di collezioni storiche, sia dalla presenza di una raccolta di oggetti originali, tratti dalle collezioni della Fondazione Scienza e Tecnica, selezionati e presentati nelle vetrine di un armadio appositamente allestito nell'aula in cui si svolge il laboratorio. In questo caso è stato possibile includere anche alcuni oggetti provenienti dalle collezioni naturalistiche (come la guttaperca o alcuni esempi di 'pesci elettrici') e dalle collezioni merceologiche (come teiere argentate, statuette, medaglie, ottenute con le tecniche galvaniche).

7 Nella collezione sono conservati numerosi esempi di telegrafi di vario tipo ed epoca.

Anche questo modulo contiene alcuni momenti sperimentali in cui sono i ragazzi a diventare i protagonisti del laboratorio attraverso lo svolgimento di esperimenti. In questo caso si è scelto di lavorare con materiali poveri, rinunciando alla fedeltà rispetto allo strumento storico, ma privilegiando l'interesse per l'aspetto funzionale. Gli studenti si cimentano così nella ricostruzione della pila attraverso dischetti di zinco, rame e cotone imbevuto in una soluzione salina; in una simulazione del telegrafo ottico, con l'uso di un codice molto semplificato e riproducendo i simboli attraverso la posizione delle braccia; nella ripetizione dell'esperienza di Oersted con l'uso di pila e bussola; in una comunicazione con codice Morse attraverso la ricostruzione molto semplificata di una stazione trasmittente, di cui gli elementi essenziali sono la pila e il tasto telegrafico, e una ricevente, in cui il segnale ricevuto è rappresentato dall'accensione per intervalli più o meno lunghi di una lampadina (all'epoca, la lampadina non era stata ancora inventata, ma è utile per fare una simulazione della trasmissione col codice Morse).

Scopo di questi esperimenti è mettere in evidenza la funzionalità degli oggetti e coinvolgere gli studenti in una partecipazione cooperativa e attiva che mette in gioco sia la capacità di ragionamento sia l'abilità manuale.

Anche in questo caso la finalità più generale del progetto è quella di introdurre gli insegnanti e i ragazzi a un'immagine più ampia della scienza, che ne evidenzia il divenire storico e la dimensione pratica e materiale. Il modulo didattico per gli studenti viene preceduto da seminari di approfondimento per gli insegnanti. Le sessioni seminariali sono di particolare importanza in quanto, per poter riprendere il lavoro in classe, è necessario che gli insegnanti possiedano più strumenti per articolare i contenuti inerenti alla storia della scienza, che normalmente non rientrano nel background formativo dei docenti di discipline scientifiche.

4. Conclusioni

Con questo contributo si è voluto mostrare come, a partire da collezioni storiche di strumenti, si possano creare attività con valore didattico. Per quanto riguarda le due esperienze specifiche proposte dalla Fondazione Scienza e Tecnica e qui descritte, le valutazioni espresse dagli insegnanti che vi hanno partecipato sono molto positive, rilevando come tali iniziative siano effettivamente di aiuto per proporre un approccio diverso alla 'fisica a scuola'. Gli insegnanti osservano che molto spesso i ragazzi hanno un impatto con la fisica piuttosto negativo, che si traduce nella delusione per 'qualcosa' che si suppone dovrebbe descrivere la realtà e invece rimane confinato in un ambito molto teorico e astratto, spesso poco comprensibile e avulso da ogni esperienza quotidiana.

Le attività elaborate attraverso l'uso delle collezioni storiche suggeriscono un avvicinamento diverso alla materia, più interdisciplinare, attento a connessioni interessanti fra campi diversi e più legato alla dimensione pratico-sperimentale. Inoltre, esse vanno incontro all'esigenza, sentita da molti insegnanti, di proporre un avvicinamento ai concetti della fisica più legato allo sviluppo storico e umano ai problemi, che dovrebbe essere presentato ai ragazzi prima di definizioni e formule. Infine, le esperienze didattiche

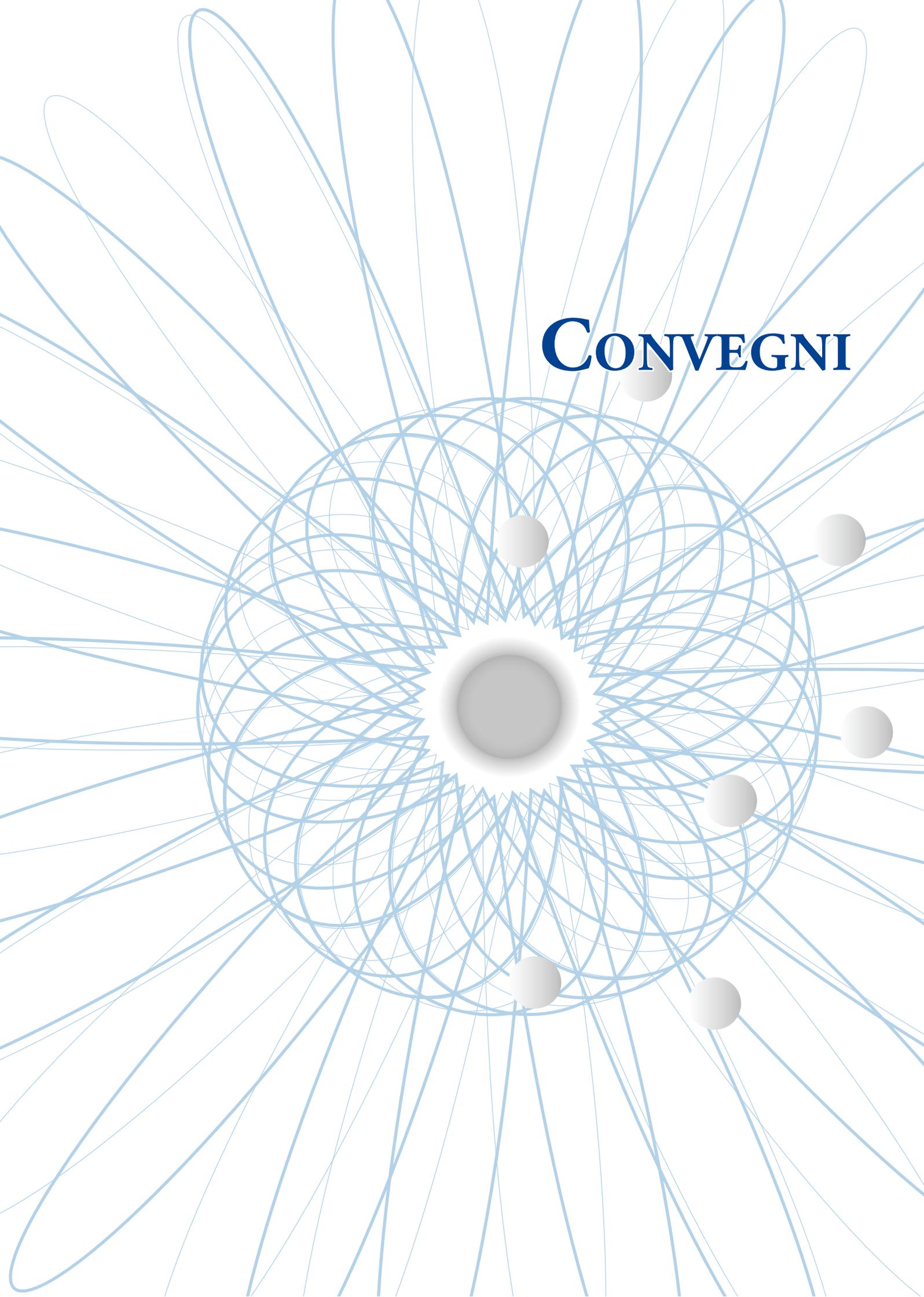
ispirate alle collezioni storiche, pongono l'accento sulla dimensione 'materiale' della scienza. Tale fatto risulta ancora più importante in una scuola, come quella italiana, in cui oltre a un tradizionale predominio delle materie umanistiche permane tuttora una spiccata supremazia dell'approccio teorico anche in discipline – come la fisica – nelle quali la dimensione pratica e quella sperimentale hanno un ruolo fondamentale.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Baracca, A., Besson, U., *Introduzione storica al concetto di energia*, Le Monnier, Firenze 1990.
- [2] Ben-David, J., *Scienza e società. Uno studio comparato del ruolo dello scienziato*, Il Mulino, Bologna 1975.
- [3] Beretta, M., *Storia materiale della scienza – Dal libro ai laboratori*, Bruno Mondadori, Milano 2002.
- [4] Brenni, P., *La nascita di un Laboratorio moderno. Il Gabinetto di Fisica dell'Istituto tecnico toscano in Gravina*, F. (a cura di), *Le meraviglie dell'ingegno*, Ponte alle Grazie, Firenze 1990.
- [5] Brenni, P., *Introduzione in Gli strumenti di Fisica dell'Istituto Tecnico Toscano/ Eletticità e Magnetismo*, Fondazione Scienza e Tecnica, Le Lettere, Firenze 2000.
- [6] Brenni, P., Dal Crystal Palace al Palais de l'Optique: la scienza alle esposizioni universali: 1851-1900, in Geppert, A. C. T., Baioni, M. (a cura di), *Memoria e Ricerca Esposizioni in Europa fra Otto e Novecento. Spazi, organizzazione, rappresentazioni* n. 17 2004, Franco Angeli, Milano 2004.
- [7] Brenni, P., *Il Gabinetto di Fisica dell'Istituto Tecnico Toscano*, Edizioni Polistampa, Firenze 2009.
- [8] Cajori, F., *Storia della fisica elementare con l'evoluzione dei laboratori fisici*, Remo Sandron, Palermo 1930.
- [9] Cavina, U., Carlo Matteucci, padre della telegrafia italiana, *Archivio per la storia postale*, n. 16-18, gennaio-dicembre 2004, Prato 2004.
- [10] Figuier, L., *Les grandes inventions modernes dans les sciences, l'industrie et les arts*, Hachette, Paris 1876.
- [11] Falciassecca, G., Vico, A., *Dal tam tam al telefonino*, Editoriale Scienza, Trieste 1997.
- [12] Flichy, P., *Storia della comunicazione moderna*, Baskerville, Bologna 1994.
- [13] Giatti, A., Lotti, S. (a cura di), *Le stanze della scienza. Le collezioni dell'Istituto Tecnico Toscano a Firenze – Fondazione Scienza e Tecnica*, Artigraf, Firenze 2006.
- [14] Gori, G., L'Accademia delle Belle Arti e l'Istituto Tecnico Toscano 1809-1859, in Giatti, A., Miniati, M. (a cura di), *L'acustica e i suoi strumenti, La collezione dell'Istituto Tecnico Toscano*, Giunti, Firenze 2001.
- [15] Guillemin, A., *Les applications de la physique aux sciences, a l'industrie et aux arts*, Hachette, 1874.
- [16] Knight, D., Le scienze fisiche nell'Ottocento, in Shea, R. (a cura di), *Storia delle Scienze*, Banca Popolare di Milano, Milano 1990.
- [17] Rowbottom, M., Susskind, C., *Electricity and Medicine, History of their interaction*, San Francisco Press, San Francisco 1984.
- [18] Singer, C., Holmyard, E.J., Hall, A. R., Williams, T. I. (a cura di), Storia della tecnologia, in *La rivoluzione industriale*, vol. 4, Boringhieri, Torino 1964.

[19] Standage, T., *The Victorian Internet*, Walker and Company, New York, 2007.

[20] Foresta Martin, F., *Dall'ambra alla radio*, Editoriale Scienza, Trieste 2002.

The image features a complex, abstract graphic design. A central, large, light grey sphere is surrounded by a dense, intricate web of thin, light blue lines that radiate outwards, creating a starburst or sunburst effect. Several smaller, light grey spheres are scattered around the central sphere, some appearing to be connected to the blue lines. The overall composition is symmetrical and dynamic, with a clean, modern aesthetic. The word "CONVEGNI" is printed in a bold, dark blue, serif font in the upper right quadrant of the image.

CONVEGNI

*150 anni
di matematica e scienze
nella scuola italiana*

INTRODUZIONE

UMBERTO CATTABRINI

Università di Firenze

In occasione dei 150 anni dell'unità d'Italia, tra le manifestazioni promosse dal Consiglio Regionale della Toscana nell'ambito del progetto Pianeta Galileo, insieme alla Facoltà di Scienze della Formazione dell'Università degli Studi di Firenze e dell'Associazione Museo della Scuola¹, si è realizzata una mostra sulla storia della scuola elementare.

Il titolo della mostra, ideata e curata da Umberto Cattabрини, era: *Le pagelle nei 150 anni della scuola elementare in Italia. Per una storia che ci ha visto tutti protagonisti.*

Con l'adesione del Presidente della Repubblica

Pianeta Galileo 2011

Un'iniziativa dedicata
alla cultura scientifica
in Toscana

numero verde 800.40.12.91
pianetagalileo@consiglio.regione.toscana.it
www.consiglio.regione.toscana.it



Inaugurazione della mostra

Pagelle ed altro nei 150 anni della scuola elementare italiana

<p><i>Saluti</i></p> <p>Simonetta Olivieri</p>	<p><i>Intervengono</i></p> <p>Carmen Betti Franco Cambi Umberto Cattabрини</p>
---	---

Giovedì 20 ottobre 2011, ore 10.00
Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Scienze della Formazione
via Laura 43, Firenze

La mostra sarà visibile nei giorni feriali dal 20 ottobre al 4 novembre, dalle 9.00 alle 15.00



Figura 1. La locandina della mostra sulle pagelle promossa nell'ambito di Pianeta Galileo 2011.

Presentata a Firenze nelle sedi della Facoltà di Scienze della Formazione nel mese di ottobre 2011 e in quella del Consiglio Regionale Toscano di Palazzo Panciatichi nel novembre successivo, la mostra su "Pagelle ed altro nei 150 anni della scuola elemen-

1 www.museodellascuola.it, il museo digitale della scuola elementare italiana.

tare italiana” ha avuto un riscontro positivo quanto a pubblico, attenzione dei media e critica. Numerosi Comuni hanno chiesto di riproporre la mostra arricchita di memorie della propria realtà scolastica, come nel caso di Tavarnelle Val di Pesa nel Palazzo Malaspina di San Donato in Poggio, che l’ha ospitata nel gennaio 2012.

All’interno di Pianeta Galileo, gli eventi correlati alla mostra si sono poi specificati, accompagnandola – e a suo logico complemento – con incontri sulla storia dell’educazione matematica e delle scienze in Italia nei tre ordini di scuola: primaria, secondaria inferiore e superiore. Le relazioni che seguono offrono parziale testimonianza degli interventi nel corso dei due seminari, svoltisi il 9 novembre 2011 per la matematica e l’11 novembre 2011 per le scienze, presso la Facoltà di Scienze della Formazione a Firenze.

LA MATEMATICA NELLA SCUOLA ELEMENTARE ITALIANA

UMBERTO CATTABRINI

Università di Firenze

1. Introduzione

La scuola elementare è stata fin dall'inizio la scuola per tutti gli italiani e lo è stata sia per quelli che a scuola ci sono andati fin dai primi anni dell'unità, sia per quelli che non ci sono potuti andare. Gli uni e gli altri fanno parte di una storia importante del nostro paese, che è poi quella di chi sapeva leggere e scrivere e di chi non sapeva farlo. Il problema dell'analfabetismo è infatti una costante di ogni possibile storia sociale, culturale ed economica d'Italia.

La matematica però, non è stata considerata parte di questo problema perché l'apprendimento delle nozioni di base dell'aritmetica, per quel tanto che servivano, quando servivano, avveniva in casa, al mercato e nelle botteghe e si limitava a memorizzare il risultato dei calcoli strettamente necessari alle attività quotidiane. Così la massaia analfabeta, fin da piccola, imparava a gestire l'acquisto degli alimenti e di tutto ciò che poteva servire per la vita domestica, compresa l'eventuale vendita di prodotti dell'orto, del pollaio o del telaio, solo per indicare i casi più comuni; l'artigiano ugualmente, acquisiva fin dall'apprendistato l'uso degli strumenti di misura e il calcolo nei limiti necessari alle attività connesse al suo lavoro.

Tutto questo era davvero poco, ma era sufficiente a non far considerare necessario lo studio "scolastico" dell'aritmetica di base e a non dar troppo conto del sapere matematico nelle statistiche che, censimento dopo censimento, raccontavano dei progressi che la scuola aveva aggiunto alle competenze culturali di base. Questo almeno, fino agli anni Sessanta del secolo scorso.

Ma, se questo accadeva fuori dell'esperienza scolastica, in realtà nella scuola, come vedremo, lo studio della matematica insegnata alle elementari è sempre stata una materia importante "oltre" quei limiti del *far di conto* e oltre le ragioni per cui si riteneva che i bambini la dovessero apprendere e i maestri insegnare.

2. Leggere, scrivere e far di conto

All'indomani dell'unità nazionale, l'unità della scuola era già stata disposta con la legge Casati del 1859 che, dal Piemonte e dalla Lombardia per cui era stata pensata, venne estesa via via ai nuovi territori che venivano acquisiti. Allo stesso modo con cui era stato disposto per tutte le leggi relative al funzionamento amministrativo, giuridico ed economico del nuovo Stato, varate prima dell'unità sul modello della normativa

piemontese, innovare quel tanto necessario per rispondere ai nuovi scenari politici che gli eventi lasciavano presagire.

Per la scuola elementare, fin da subito emerse che tale scelta non era la migliore tra quelle possibili: le tradizioni e le esperienze degli antichi regni erano molto diverse tra loro e le istituzioni scolastiche per la scuola di base o non c'erano o se c'erano toccavano una minima parte delle popolazioni. L'imparare a leggere, scrivere e far di conto nel Granducato di Toscana, nello stato della Chiesa ed in particolare nel Regno delle due Sicilie, ma anche in Sardegna non si fondava su un tessuto diffuso di scuole, ma su strutture in prevalenza di "benefattori" privati, sulla disponibilità dei parroci o di ordini religiosi a tener scuola e di non molte scuole pubbliche.

Ma ciò che più conta era che per la maggioranza della popolazione italiana, *LEGGERE, SCRIVERE E FAR DI CONTO* era un *in più* non necessario a fronte della grande miseria e indigenza in cui si trovava, erano saperi considerati inutili a riempire il piatto quotidiano. Solo con l'avvio dell'industrializzazione e con il formarsi della classe operaia, la scuola divenne un valore per i ceti popolari, ma mai del tutto in quelli contadini almeno fino alla metà del secolo scorso.

La legge Casati, ponendo gli obiettivi della scuola elementare in relazione alla tradizione scolastica del Piemonte e della Lombardia, creò le non-condizioni per ottenere un'alfabetizzazione generale degli italiani, specie al sud d'Italia, in un tempo storicamente accettabile. Le conseguenze, lo sappiamo, si sono trascinate nella scuola italiana per gran parte della sua storia.

A ciò si aggiunse l'impossibilità, per il disastroso bilancio del nuovo Stato, di investire nella scuola in generale neppure quanto sarebbe stato necessario per un avvio modesto, ma efficace. E quella che fu penalizzata di più fu proprio la scuola elementare: scuola di tutti, ma scuola dall'incerta identità perché posta nell'indeciso ruolo tra l'essere una scuola popolare piuttosto che una scuola preparatoria degli "elementi" necessari agli studi superiori. Che però dovesse essere scuola di tutti non c'erano dubbi: lo volevano l'eredità dell'illuminismo – per il ruolo assegnato all'educazione – e lo voleva un nuovo Stato, ambizioso di collocarsi quantomeno 'vicino' agli altri grandi Stati europei.

Affidata ai Comuni la parte gestionale: edifici, attrezzature e il personale insegnante (poi statalizzato, in parte nel 1911 e totalmente nel 1936), lo Stato mantenne l'indirizzo sulle finalità, i contenuti dell'insegnamento, la "politica" della scuola.

3. Programmi e Indicazioni

Per la scuola elementare i contenuti di studio dei 150 anni di unità nazionale furono scanditi da dieci Programmi e, nel nuovo secolo, da due Indicazioni². Termine, questo secondo, che vorrebbe indicare un documento che va oltre la norma di ciò che deve

2 In realtà, tra i programmi si dovrebbero considerare anche quelli del a.s. 1943-44, che videro la luce all'indomani dello sbarco alleato in Sicilia, redatti da G. Ferretti e fatti stampare da C. Washburne. Distribuiti a tutti i maestri siciliani, vennero ritirati per l'opposizione fatta dalla Chiesa Cattolica.

essere insegnato e appreso e indicare una maggiore libertà per l'insegnante di scegliere i contenuti e i metodi da adottare in relazione alle possibilità e potenzialità dei singoli alunni.

Ognuno di questi programmi si ricorda per un motto, un'indicazione, per il senso che si poteva avvertire e che ne evidenzia lo scopo per cui erano stati scritti, per la principale finalità che con essi si era posto il legislatore:



Alcuni di questi documenti normativi, come si vede dalle date nel grafico, hanno avuto una durata breve, altri hanno caratterizzato più lustri; di tutti, comunque, si può dire che hanno cercato di interpretare, quasi mai riuscendoci, il proprio tempo. La scuola reale invece, quella dei bambini, dei maestri, delle famiglie e, più in generale, della comunità, il proprio tempo l'ha sempre, non solo interpretato, ma pienamente vissuto.

Quest'ultima affermazione non è tuttavia né originale né sorprendente, giacché la scuola elementare, a differenza degli altri ordini di scuola che si rivolgono a specifici settori della società, è stata da sempre un'istituzione "dentro" alla società, dentro a tutta la società – e di questo 'tutto' è vissuta. Il bene e il male, le debolezze e gli slanci, la tradizione e le nuove idee, hanno sempre fatto parte di quest'ordine di scuola nel suo insieme perché, essendo la scuola di tutti, è vissuta di ogni contraddizione e ogni possibile variabile del contesto sociale che l'ha espressa, nei diversi luoghi e nei diversi tempi dal 1861 ad oggi. E poiché in questa storia la matematica ha sempre svolto un ruolo di primo piano, la storia della matematica nella scuola elementare è insieme, similitudine e metafora della storia d'Italia.

Fin dall'inizio, il *Far di conto*, era in qualche modo sinonimo di *Fare gli italiani*, perché era infatti sulle unità di misura e sulla stessa moneta, così come sull'insegnamento dell'italiano, che si faceva leva per un'unità non solo politica, ma effettiva del nuovo regno d'Italia. Lingua comune e comune moneta e metro sono stati, da sempre, i principali collanti per un sentire "nazionale" collettivo e condiviso.

Per l'unità di valore, la moneta, i risultati arrivarono in pochi decenni.

Gli italiani impararono presto a usare la lira, al posto delle antiche monete – la forza didattica dei soldi, quanto a suscitare attenzione e interesse all'apprendimento, è stata superiore a qualsiasi metodo mai inventato nell'educazione - e con la moneta impararono il sistema decimale, ma continuarono a lungo a chiamare la nuova moneta,

a seconda dei luoghi, con i nomi delle monete preunitarie. Cosa che non avvenne per le misure in generale, che vissero dei due diversi statuti ben dentro il Novecento: quello del sistema metrico decimale e quello preunitario.

Accadeva infatti, che in atti formali, quali ad esempio quelli notarili di compravendita dei terreni, venditore e acquirente preferissero utilizzare misure agrarie locali ben note all'uso per una lunga consuetudine, a cui il Notaio aggiungeva quelle del sistema metrico decimale (S.M.D.) dovute per legge. Ugualmente, in molte produzioni artigiane le antiche unità continuavano ad essere usate perché rimanevano nell'uso i manufatti come, ad esempio, i fiaschi, le damigiane e le botti in Toscana le cui forme e grandezze erano nate su unità di misura spesso più antiche di quelle preunitarie oppure, come per l'altezza delle stoffe che dipendeva dalla misura ottimale della trama dei telai. Più in generale rimanevano tutte quelle unità di misura legate alle attività lavorative e ai prodotti nati per un mercato locale, in una realtà economica chiusa.



Figura 2. Attestati di scuola elementare (1919 e 1923).

Solo l'apertura dei mercati e la produzione industriale affermarono il sistema metrico ovunque ed è per questo che i fiaschi, non più soffiati sulle antiche forme e stampati su nuove macchine, cominciarono ad avere la capacità di un litro e mezzo o di due litri. Ma non sempre e non in assoluto, visto che in idraulica si continua ancor oggi ad usare i "pollici", in tipografia i "punti tipografici" e nei negozi di abbigliamento le taglie con scale di misurazione non imparentate con i centimetri.

La lingua fu meno fortunata: il lavoro e il mercato, che fuori dalla scuola aiutavano a imparare l'aritmetica, non avevano la stessa efficacia per esercitare all'uso dell'italiano. Per diffondere la stessa lingua, più che la scuola, ci vollero le trincee della prima guerra mondiale, la radio e infine, ma non ultima, la televisione.

4. Aritmetica, geometria, matematica

Già dalla titolazione della materia nei programmi, possiamo cogliere molto delle intenzioni del legislatore sulle ragioni per cui nella scuola si dovesse insegnare matematica.

Lo schema seguente ci dice quale matematica è stata considerata via via centrale, o comunque più importante, nel corso del tempo, in corrispondenza ai vari programmi o indicazioni. Le lettere dello schema stanno per :

A = aritmetica; AG = aritmetica e geometria; APr = aritmetica pratica ; M = matematica.

1860	1867	1888	1896	1905	1923	1934	1945	1955	1985	2004	2007
A	A	AG	APr	AG	A	A	AG	AG	M	M	M

Abbiamo così un primo momento, di cui si è già detto, in cui è centrale l'aritmetica, ben svolta nel 1860 e ridotta nel 1867 quando fu chiaro che il modello originario del Casati non funzionava in gran parte della penisola, forse e non tanto perché fosse difficile per gli alunni, quanto perché lo era soprattutto per molti maestri e molte maestre.

L'insegnamento dell'aritmetica, secondo un modello e una tradizione antica, era tutto incentrato sulla memorizzazione. I manuali di scuola, che si trattasse di un libretto d'Abaco o un Libretto di Aritmetica, scandivano l'apprendimento con gli stessi ritmi con i quali, in parrocchia, si imparava il catechismo, come mostra quest'immagine di un manuale molto noto e diffuso ai suoi tempi.³

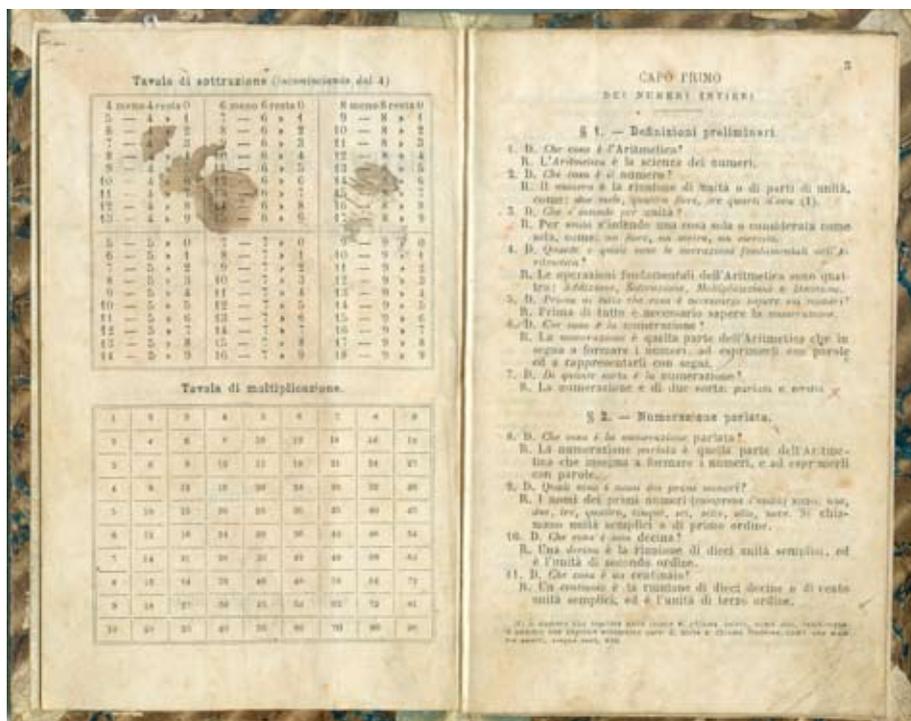


Figura 3. Pagina tratta da un'edizione per le scuole inferiori maschili del più noto autore italiano di manuali di aritmetica per la scuola elementare del XIX secolo.

3 G. Borgogno, *Nozioni di Aritmetica e di Sistema Metrico Decimale*, Paravia, Torino 1877.

Questo modo di insegnare ha sempre dato poco piacere agli alunni, ma tanta sicurezza a quei maestri non preparati che potevano così coprire la scarsa competenza disciplinare e didattica dietro la trincea di domande e risposte standardizzate, di pacchetti di esercizi e problemi sempre uguali che, proprio per la matematica, è stata una prassi costante non solo nella scuola elementare.

Aristide Gabelli, che di matematica e di didattica ne sapeva, nello scrivere i programmi del 1888, mise la geometria in evidenza con l'aritmetica e spostò il fuoco didattico dal semplice apprendimento mnemonico al "ragionare", più volto a formare *teste ben fatte*, piuttosto che *teste piene*. Ma fu un progetto senza alcun seguito, perché i tempi e i maestri non erano ancora maturi per un tale salto di qualità, che nella nostra scuola potrà dirsi condiviso solo un secolo dopo.

Nei programmi emanati nel 1896 dal ministro Baccelli si tornò perciò alla sola aritmetica, cui si aggiunse l'aggettivo *pratica*, in conformità all'idea del "minimo utile" e di quanto è "indispensabile per il quotidiano", riscuotendo così anche il convinto apprezzamento di gran parte degli insegnanti.



Figura 4. Edizioni d'epoca dei programmi del 1888 di Aristide Gabelli e del 1905 di Francesco Orestano.

Ad aumentare i contenuti matematici nella scuola elementare furono, nove anni dopo, i programmi del 1905 che tornarono alla titolazione «Aritmetica e Geometria» e, in parte, allo spirito del Gabelli. In questi programmi fece capolino la statistica: «...Per i calcoli sui grandi numeri il maestro può servirsi, per esempio, dei dati statistici della popolazione dei vari stati...»; l'economia: «Connessi con l'informazione sulla vita economica nelle sue varie forme, qui cominciano i computi sul denaro (interesse, sconto, aggio, sensoria); e lo specifico collegamento con le misure agrarie e di uso nel commercio, per una matematica decisamente indirizzata alle molteplici esigenze del lavoro e della vita: «Qualunque insegnamento deve essere insomma nutrito di verità: l'ipotesi astratta è forma da usarsi nello studio superiore della matematica, e non nella scuola popolare».

La parte più innovativa dei contenuti era tuttavia riservata alle due classi finali, la V e la VI che, per riforma dell'anno prima, concludevano l'obbligo scolastico, mentre il corso normale, per chi proseguiva gli studi, era stato ridotto a quattro anni.

Con i programmi del periodo fascista, le elementari tornano a essere di cinque anni, e la matematica torna al titolo di aritmetica con poca geometria, intesa soprattutto come disegno geometrico nei programmi del '23 e come *regole pratiche* che, secondo tradizione, voleva dire "formule" da memorizzare per il calcolo di superfici e volumi, in quelli dl '34.

Alle formule, i programmi del secondo dopoguerra nel 1945 oppongono un approccio che tenga «nel dovuto conto tutte le immagini e le intuizioni di grandezza, di numero, di forma e di distanza che animano e arricchiscono in mondo in cui il bambino si va formando» e consigliano:

gli insegnanti, più che sull'abbondanza numerica degli esercizi puntino sulla qualità degli esercizi stessi. Si tratta di chiarire sempre e di precisare, seguendo ragionamenti logici e persuasivi, quei concetti fondamentali su cui poggia ogni ulteriore progresso nel calcolo e nella risoluzione dei problemi. [...] Si avrà cura che l'enunciato dei problemi e degli esercizi sia chiaro, per evitare deviazioni ed errori nella risoluzione.⁴

5. La scuola della Repubblica

Archiviato il regno e inaugurata la scuola elementare della Repubblica con i programmi appena ricordati, nel 1955 furono emanati quelli che ebbero la più lunga durata nel tempo, segno di una stabilità politica non intaccata dal susseguirsi di numerosi governi e ulteriore prova che la storia della scuola elementare è veramente un filo ininterrotto, un tutt'uno con la storia dell'intero Paese.

Quei programmi, segno del predominio cattolico, ebbero per la parte di matematica "padre naturale" – come sempre, quello legale era il ministro in carica - l'allora direttore generale dell'istruzione elementare, cioè Attilio Frajese: matematico, storico della matematica, allievo, amico, ospite e sostituto di Enriques quando le leggi razziali allontanarono quest'ultimo dall'università, e cattolico sentitamente praticante.

Erano programmi prescrittivi rispetto agli apprendimenti «che l'alunno deve raggiungere» e nel dover ritenere come «fondamento e coronamento [...] l'insegnamento della dottrina cristiana secondo la forma ricevuta dalla tradizione cattolica». Liberi nel metodo da seguire, centrati sullo studio d'ambiente, guardavano a un fanciullo definito «tutto intuizione fantasia e sentimento».

La parte di matematica si colloca in questo quadro e infatti i programmi dichiarano:

Quanto al far di conto, nel nostro secolo, che è il secolo dell'organizzazione e delle statistiche, è chiaro che una persona è tanto più libera quanto più sa misurare e commisurarsi.⁵

⁴ D.Luog. 24 maggio 1945, n.459.

⁵ D.P.R. 14 giugno 1955, n. 503

Nel proporre i contenuti, Frajese si mantenne nel solco di una tradizione che poneva al centro del programma gli aspetti dell'aritmetica e della geometria che più di cento anni di esperienza avevano visto giusti e possibili per l'età degli scolari; non volle forzature e pose solo l'accento sull'aspetto intuitivo e costruttivo dell'apprendimento della matematica. Di fatto, quanto di meglio si poteva proporre sul piano specifico della disciplina - a prescindere dall'aspetto ideologico e confessionale - in quel momento storico e culturale d'Italia.

Quei programmi persero per via le motivazioni su cui si fondavano, in conseguenza dei cambiamenti che riguardarono modi e stili di lavoro e di vita degli italiani. Infatti, lo sviluppo economico e produttivo del dopoguerra trasformò in pochi anni la società italiana tanto da farla diversa da quel mondo agricolo rappresentativo dei primi cento anni di storia nazionale.

Durò poco anche l'idea di un'aritmetica e di una geometria a misura del bambino che Frajese aveva preso a modello: l'insegnamento della matematica prese infatti nuovi sviluppi su nuove prospettive, a partire proprio dalla scuola elementare, per eventi non più italiani.

Per questo, i programmi del '55 si possono considerare gli ultimi di una storia e quelli del 1985 l'inizio di un'altra, ancora in via di svolgimento. Ma gli uni e gli altri convivevano già prima che quelli dell'85 fossero emanati e forse convivono ancora, vicini, magari in due classi confinanti, ma senza mai integrarsi fino in fondo.

5. I programmi di matematica

I programmi di matematica del 1985 furono scritti da un gruppo ristretto di commissari⁶ all'interno di una commissione formata da sessanta membri provenienti dal mondo della ricerca, dell'università e della scuola. La sottocommissione era quella *a quadretti*, composta da pochi membri rispetto a quella ben più ampia detta *a righe*.

I lavori durarono dall'ottobre del 1982 al novembre dell'anno successivo. Il testo fu poi vagliato ed in parte modificato – salvo che per la parte di matematica, rimasta fedele al testo della sottocommissione – dal ministro Falcucci e dal suo staff.

⁶ Il gruppo base della sottocommissione era composto da: Vinicio Villani, Francesco Speranza, Alceo Selvi, Giovanni Sciacovelli, Giovanni Prodi, Michele Pellerey, Ennio Draghicchio, Umberto Cattabrin, ai quali si aggiungevano talvolta altri commissari.



Figura 5. L'edizione ufficiale dei programmi del 1985.

I programmi, in rapida sintesi, erano il punto di arrivo di un percorso iniziato nel 1957, quando l'Unione Sovietica lanciò in orbita il primo satellite artificiale, lo Sputnik, dimostrando di fatto di aver scienziati e, in particolare, matematici, superiori a quelli dell'Occidente.

La scuola, quella degli USA e di tutto il mondo "occidentale", finì allora sul banco degli imputati, colpevole di non formare abbastanza nelle discipline scientifiche. Proprio dagli Stati Uniti partì una rivoluzione di idee e di proposte sull'insegnamento scientifico, con una famosa conferenza promossa dalla National Sciences Foundation nel settembre del 1959 a Woods Hole, Massachusetts, cui parteciparono trentacinque scienziati delle più diverse discipline, tra cui alcuni premi Nobel, per un progetto che aveva per fine quello di suscitare l'interesse dei giovani verso gli studi scientifici.⁷

Presidente della conferenza, insieme a Jerrold Zacharias, era Jerome S. Bruner, che dei lavori fu il principale animatore. Nel 1961, Bruner espone i risultati della conferenza nel suo (poi diffusissimo) saggio *The process of education* (tradotto e pubblicato in italiano da Armando nel 1964 con il fortunato titolo *Dopo Dewey. Il processo di apprendimento nelle due culture*). Nel giro di pochi anni Bruner divenne il protagonista principale di un processo di riforma dell'educazione che dagli Stati Uniti si trasferì in molti altri paesi del mondo occidentale, compresa l'Italia sia pure con un decennio di ritardo.

Le parole chiave di queste riforme si possono sintetizzare in: curriculum, programmazione e progettazione didattica, strutture, apprendimento a spirale, cognitivismo, solo per indicarne alcune. Tra gli autori che più di altri hanno se-

⁷ ...Anticipando di qualche decennio un uguale proposito della Regione Toscana, com'è quello che ha preso corpo in Pianeta Galileo. A quanto pare, di riforma in riforma, il problema, invece di esser stato risolto, si è aggravato.

gnato tutto questo in Italia basti qui citare per primo lo stesso Bruner, ma senza dimenticare Dewey – con l’idea della “scuola attiva” – e poi Piaget, Vygotskij e Chomsky.

Quanto alla matematica, c’è un’altra data da ricordare: il 1952, quando a La Rochette sur Melun si costituì una «Commission Internationale pour l’Etude et l’Amélioration de l’Enseignement des Mathematiques», della quale fecero parte Gustave Choquet, Jean Dieudonné, André Lichnerowicz (matematici bourbakisti) Jean Piaget e Caleb Gattegno (co-autore, insieme a Georges Cuisenaire, dei regoli in colore, noti anche come numeri in colore).

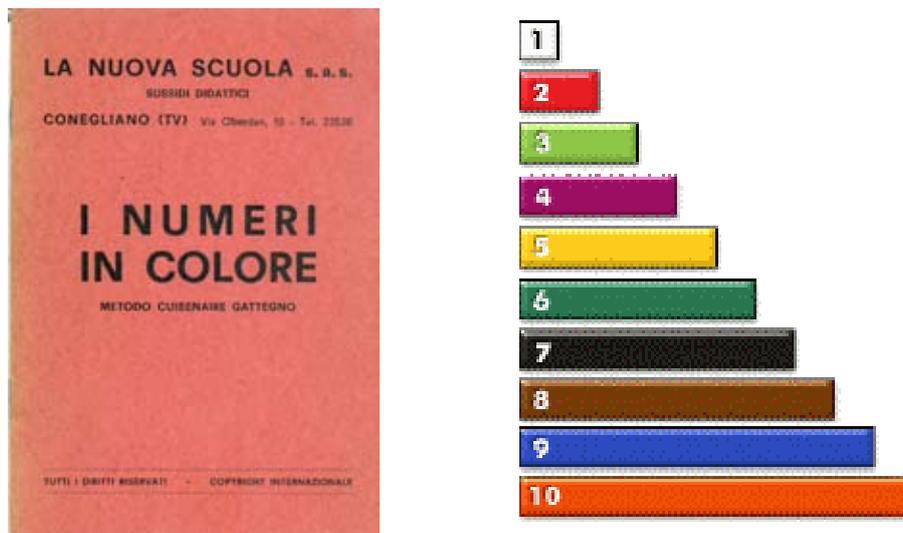


Figura 6. I “numeri in colore” e il manualetto abbinato alla scatola dei regoli di legno nella prima confezione prodotta in Italia.

Alla pubblicazione di un numero monografico della rivista *Scuola e Città*⁸ del 1965 si può associare l’arrivo in Italia della «matematica moderna». Si trattava di un’ampia raccolta di saggi tra i cui autori c’erano Aldo Visalberghi, Ludovico Geymonat, Lidia Tornatore, Bruno de Finetti, Lucio Campedelli, Emma Castelnuovo, Bruno Ciari.

Lidia Tornatore espose nel suo articolo le ragioni di fondo della necessità di rinnovare l’insegnamento della matematica, il quale poteva e doveva partire fin dagli inizi della scolarizzazione aderendo all’idea che l’apprendimento dev’essere innanzitutto apprendimento di concetti; e, nella fattispecie, i concetti da apprendere erano quelli di insieme, funzione, gruppo di trasformazioni, isomorfismo.⁹

il sorgere della logica matematica con l’algebra delle classi di Boole, l’importanza che viene assunto in geometria il concetto di trasformazione, la assiomatiz-

8 *Matematica moderna e scuola*, numero speciale di *Scuola e Città*, settembre/ottobre 1965, La Nuova Italia, Firenze.

9 Tornatore si richiamava al testo *Goals for School Mathematics*, The report of the Cambridge Conference on School Mathematics, Houghton Mifflin, Boston 1963.

zazione sia in geometria sia in aritmetica, la costituzione di una teoria generale degli insiemi ad opera di Cantor sono tutte conquiste che conducono ad una matematica in cui <la natura> degli oggetti matematici è in fondo secondaria.

Tornatore proseguiva citando Bourbaki:

In altre parole l'essenza della matematica [...] appare come lo studio delle relazioni tra oggetti conosciuti e descritti (di proposito) solo mediante alcune delle loro proprietà. Precisamente poste come assiomi alla base della <teoria>.¹⁰

Della nascita, diffusione e crisi dell'insiemistica ha dato una puntuale narrazione Michele Pellerey nel saggio *Oltre gli insiemi* che nell'introduzione ricorda la sua battaglia nella Commissione del 1985, volta a superare la dizione "Educazione logico-matematica", diventata imperante nella scuola, «e a chiamare la matematica con il suo vero nome».¹¹

A dare il colpo di grazia al modello dell'insiemistica, scrive Pellerey, era stato René Thom, nel 1971, con cinque pagine sulla rivista *American Scientist* e, nel '72, con un intervento, dal titolo "La matematica moderna esiste?", nel corso del secondo convegno internazionale sull'educazione matematica.

Non è questa l'occasione opportuna per entrare nel merito ed esaminare i vari aspetti del problema, che riguarda il fallimento della "via insiemistica" all'insegnamento della matematica nella scuola elementare. Vale la pena comunque osservare che il nuovo metodo non risultò essere la panacea che avrebbe dovuto sanare i guai della didattica tradizionale: le difficoltà dell'apprendimento della matematica non furono superate e giustamente si osservò che il curriculum di matematica, con l'insiemistica, si era, anzi, appesantito di nuovi formalismi che non aiutavano i bambini a capire meglio il mondo dei numeri e del calcolo.

A tutto questo i programmi del 1985 dettero ordine e significato organizzando i contenuti del programma di matematica in 5 temi: Problemi; Aritmetica; Geometria e misura; Logica; Probabilità, Statistica e Informatica.

Ogni tema, scandito per obiettivi delle prime due classi e delle successive tre, fu accompagnato da ampie e articolate indicazioni didattiche. Smorzando la passione, ormai imperante dell'insiemistica, fu posto come obiettivo generale quello di:

favorire un atteggiamento positivo verso la matematica, intesa sia come valido strumento di conoscenza e di interpretazione critica della realtà, sia come affascinante attività del pensiero umano

specificando, fin dall'introduzione, che

10 N. Bourbaki, *Elementi di storia della matematica*, Milano, Feltrinelli, 1963, p. 32.

11 Michele Pellerey, *Oltre gli insiemi, Nascita, crescita e crisi dell'insiemistica. Nuovi orientamenti nella didattica della matematica*, Tecnodid, Napoli, 1989.

L'educazione matematica contribuisce alla formazione del pensiero nei suoi vari aspetti: di intuizione, di immaginazione, di progettazione, di ipotesi e deduzione, di controllo e quindi di verifica o smentita. Essa tende a sviluppare, in modo specifico, concetti, metodi, atteggiamenti utili a produrre le capacità di ordinare, quantificare e misurare fatti e fenomeni della realtà e a formare le abilità necessarie per interpretarla criticamente e per intervenire consapevolmente su di essa.

Comunque sia, negli anni in cui nella scuola imperava l'insiemistica, gran parte dei maestri italiani ebbero modo di sperimentare in proprio che la matematica era "altro" da ciò che avevano studiato all'Istituto Magistrale, che era interessante e soprattutto piacevole studiare e insegnare matematica.

I programmi del 1985 hanno mantenuto il proprio ruolo di indirizzo, ufficialmente fino al 2004, un periodo forse troppo lungo e troppo complesso per darne conto in poche righe. Le riforme che sono seguite appartengono a un tempo, denso di rapidi e profondi cambiamenti nelle condizioni della vita individuale, familiare e collettiva, specialmente negli ultimi anni.



Figura 7. Le edizioni ufficiali delle "Indicazioni" del 2004 del ministro Letizia Moratti e di quelle del 2007 del ministro Giuseppe Fioroni.

Le Indicazioni del 2004 e del 2007 sono, almeno per la matematica nella scuola elementare, tappe di una storia ancora tutta da leggere e capire rispetto alla tante suggestioni e ricerche dedicate a questa disciplina e al ruolo che la formazione matematica rappresenta nella realtà in cui viviamo.

La fortuna dei programmi del 1985, che resta ancora alla base del lavoro in classe di molti maestri, dipende dal fatto che gli insegnanti si riconobbero in quel testo: quei programmi furono il frutto di un lungo periodo di coinvolgimento della scuola nella ricerca del *perché* insegnare, *cosa* insegnare e *come* insegnare la matematica.

6. Il far di conto in classe: i problemi

Quanto detto finora riguarda l'aspetto "ufficiale" dell'insegnamento della matematica, su cosa sarebbe giusto ed opportuno fare. È *a priori* deciso in sede politica e accademica, che si incontra e spesso si scontra con ciò che effettivamente avviene a scuola, in quella fase della didattica in azione i cui esiti nella scuola elementare dipendono spesso, più che dai decreti e dalle leggi, dai manuali scolastici, dalle riviste e dalle guide di didattica che sono da sempre molto diffuse e seguite nel mondo dei maestri. Per la matematica, un posto centrale in questi testi è dato ai problemi, come è giusto che sia, ed è su questi che gli alunni si esercitano a verificare gli insegnamenti appresi o, come si vuole oggi, per mezzo di questi si apprendono nuovi contenuti del sapere matematico.

Ora, i testi dei problemi sono una breve storia che si sviluppa in tre successive scene: c'è uno stato iniziale a , un fatto o un evento b che muta tale stato e uno stato c conseguente alla trasformazione, in sintesi $a*b=c$ (a operato b è uguale a c). Quello che c'è da fare è trovare rispettivamente a oppure b oppure c ($x*b=c$; $a*x=c$; $a*b=x$) questo almeno per i problemi più semplici, quelli che richiedono più passaggi essendo comunque una catena di situazioni semplici.

Fin qui niente di particolare, ma nella scuola elementare non è importante solo capire qual è l'algoritmo di risoluzione: non si lavora su un'equazione ma su eventi reali, ove il contesto, l'ambiente in cui il problema si svolge e come la storia è raccontata sono aspetti fondamentali per il processo d'apprendimento.

Tradizionalmente la gran parte delle storie-problema ha riguardato i fattori economici della vita quotidiana: la spesa alimentare e più in generale le spese domestiche; le entrate economiche e il lavoro da cui derivano, in particolare quelle relative al commercio minuto.

Nel tempo questo tema si è adattato ai mutamenti economici, al costo della vita, alle possibilità e alle abitudini familiari, ai cambiamenti avvenuti nel mondo del lavoro, agli oggetti della quotidianità che caratterizzano un periodo per poi scomparire dal lessico dei problemi e all'esperienza dei bambini (le damigiane da travasare, gli abbeveratoi degli animali o i lavatoi pubblici, che poi erano quelle famose vasche così complicate da riempire e da svuotare con i numeri).

Era questo il campo obbligato con il quale le bambine e i bambini si preparavano alle responsabilità del mondo adulto che, almeno per un secolo della storia nazionale, arrivavano molto presto sulle loro spalle.

Di fatto, attraverso i tanti problemi sulla spesa, sul lavoro, sul costo delle cose, il bambino si arricchiva di una lettura del suo contesto sociale attraverso gli occhiali della matematica e poteva così cominciare a ragionare di fatti ed eventi della realtà con i quali avrebbe presto dovuto far i conti. I problemi dovevano perciò corrispondere abbastanza fedelmente alle grandezze e ai valori del tempo in cui un problema era dato da risolvere.

7. Matematica e comportamenti

I problemi, però, raccontavano anche altre storie: di principi e di re, di dittatori, di scuola e di fabbrica, di ricchi e di poveri, degli onesti e dei mariuoli, di benefattori e di beneficiati, di giochi, di viaggi, di aiuole da tracciare, di campi, di orti, di emigranti e così via, includendo tutto ciò che faceva parte della vita comune di un dato tempo.

Leggere tutti i problemi che si trovano in un manuale è come calarsi nella storia degli italiani, fatta da tanti flash, degli anni in cui il manuale era stato pubblicato. Nel leggerli ci si accorge che attraverso lo studio della matematica non è solo imparare gli strumenti, i concetti, le strutture, i principi, e i metodi dell'aritmetica o della geometria, perché con essi si cercava anche di far acquisire positivi atteggiamenti – verso la matematica - come era detto nei programmi del 1985, e precisi comportamenti sociali, come non era detto in nessuno programma precedente, ma ben presente nei problemi.

Le piccole storie erano perciò un galateo di ciò che un bambino doveva imparare, di ciò che era giusto e corretto fare e delle conseguenze che avrebbe subito se non l'avesse fatto. In altri casi servivano a rendere ossequienti al potere della Chiesa, del Re e della sua Famiglia, o di Mussolini, e aiutavano a modellare i comportamenti del credente, del suddito, del fascista, e a riconoscersi nei valori che questi rappresentavano. Valori che riguardavano poi anche altre figure sociali, come i datori di lavoro che non si lesinano di fronte all'operaio operoso, ma lo puniscono per il suo bene – come farebbe un padre – se operoso non è; o come i ricchi che non possono non fare beneficenza ai poveri, che quando muoiono non si dimenticano mai di lasciare una frazione del proprio patrimonio ad opere di carità:

La Caterina aveva 15 centesimi, ne ha dati 8 a un poverino; quanti centesimi sono rimasti alla Caterina ?

(da: G Baldasseroni, *L'aritmetica nella seconda classe elementare*, Bemporad e Figlio, Firenze 1913)

Un'eredità fu divisa in parti uguali fra cinque fratelli, ciascuno dei quali ebbe L. 37580. Si dica l'importo dell'eredità sapendo che si dovettero pagare alcuni lasciti ad Opere di beneficenza per l'ammontare complessivo di L.12950.

(da: G.Borgogno, *Nozioni di Aritmetica ad uso della 3ª classe*, Paravia, Torino 1905)

Un signore morendo lascia L. 45.900 a opere di beneficenza. I $\frac{3}{5}$ della somma vanno all'istituto dei ciechi. Quante lire riceve l'istituto ? Quante lire rimangono per altre opere di beneficenza?

(da AA.VV., *Sussidiario per la classe Quarta*, Sansoni, Firenze 1948)

Più importante della carità era tuttavia il risparmio. Risparmiare era un dovere che anche il più povero doveva adempiere, e lo era perché rispondeva ai canoni di vita del mondo agricolo, era un'esigenza e una virtù di fronte ai «rovesci della fortuna» sempre in agguato, ma era anche un'esigenza spinta dallo Stato per raccogliere i capitali necessari allo sviluppo industriale. Al risparmio ci si formava in famiglia, ma se ne riceveva

un rinforzo a scuola, attraverso le letture, le raccolte promosse nelle scuole dalle Casse di Risparmio, nei temi ed anche con i problemi dove il “quanto” risparmiare e come far fruttare il risparmio erano esercizi di norma.

Se un parsimonioso artigiano guadagna L. 3.75 al giorno, ma non ispende al dì che L. 1.20 per il vitto, L. 0.30 per la pigione, e L. 0.35 per il vestiario, Quanto risparmierà nel primo semestre dell’anno, che ha giorni 181 ed in cui ne sono 31 festivi?

(V. G. Scarpa e G. Borgogno, *Lezioni di aritmetica per le scuole elementari superiori*, Paravia, Torino 1876)

La mamma spende lire 4 il giorno. Quanto spenderà in una settimana? Se il babbo le dà lire 32 ogni settimana quanto risparmia?

(G. Baldasseroni, *L’aritmetica nella terza classe elementare*, Bemporad, Firenze 1906)

Un padre desiderava organizzare una bella gita con la famiglia; ma la spesa era per lui troppo forte: lire 125. Rimandò allora la gita, sino a quando poté servirsi di un “treno popolare”, ottima istituzione del Regime Fascista, che permette a tutti di viaggiare per conoscere e godere le bellezze della nostra Patria. Egli spese così soltanto lire 64 in tutto. Quanto risparmiò ?

(Bonomi, *Libro per la classe III*, Ist. Poligrafico di Stato, Roma 1939)

Un muratore, in 45 giornate lavorative, ha guadagnato L. 67.500 e ha speso, in media L. 1.185 al giorno. Quanto ha risparmiato al giorno. Quanto in tutto?

(R. Risparmio giornaliero L. 315. Risparmio complessivo L. 14.175)

(P. Bargellini, *Fontelucente IV classe*, Vallecchi, Firenze 1950)

Come le damigiane, negli anni Ottanta del secolo scorso, quando l’Italia era ormai entrata nel pieno del modello di vita legato ai consumi e il vino si cominciò a comprare in bottiglie, anche il risparmio perse il suo posto nei sussidiari, per lasciarlo alle vacanze marine, ai viaggi all’estero, alle settimane bianche.

Per concludere riporto l’evoluzione di un problema che ha circolato in internet una decina di anni fa, a cui avevo aggiunto un’ultima variante. È un divertente paradosso, ma non troppo, di come la società degli ultimi cinquant’anni possa essere raccontata attraverso l’evoluzione di un problema,.

1960 – *tradizionale*

Un contadino vende un sacco di patate a 10.000 lire. Sapendo che le spese di produzione sono i $\frac{4}{5}$ del prezzo di vendita, Qual è il suo guadagno ?

1970 – *classico*

Un contadino vende un sacco di patate a 10.000 lire. Escludendo le sue spese di produzione, vale a dire 8.000 lire, quanto ha guadagnato ?

1970 – *moderno*

Un contadino cambia un insieme “P” di patate con un insieme “M” di monete.

Il cardinale dell'insieme "M" è uguale a 10.000 e ogni elemento sigma di "M" vale 1000. Disegna 10.000 grossi punti rappresentanti gli elementi dell'insieme "M".

L'insieme "F" delle spese di produzione comprende 2.000 grossi punti in meno dell'insieme "M". Rappresenta "F" come sottoinsieme di "M" e rispondi alla domanda: qual è il cardinale dell'insieme "B" del guadagno (da disegnare in rosso).

1980 – *rinnovato*

Un contadino vende un sacco di patate per 10.000 lire. Le sue spese di produzione sono 8.000 lire e il guadagno 2.000. Compito: sottolinea la parola "patate" e discutine con il tuo compagno di banco.

1990 – *vetero 68^{ino}*

Un kontadino kapitalista privilegiato si arikkisce ingiustamente di 2.000 lire con un sakko di patate. Analizza il testo e scrivi cosa pensi di questo modo di arikkirsi.

2000 – *tecnologico*

Un produttore dello spazio agricolo cablato su ADSL consulta in chat line un data bank che display il day rate delle patate. Egli load il suo SAP/R3 di calcolo debole e determina il cash flow su schermo pitch 0,25 mm Energy Star.

Disegna con il tuo mouse il contorno 3D del sacco di patate, poi collegati alla rete Arpanot (Deep Blue Potatoes) via SDH porta 4.5. Estrarre da MIE il grafo delle patate. Compito: è stata rispettata la norma ANSI, ISO, EIAN, CCITT, AAL?

2004

Un imprenditore agricolo vende una confezione di patate a 10 €

Grazie all'impiego di mano d'opera immigrata clandestina contiene la spesa di produzione a 2 €

Con il concordato fiscale limita l'IVA e l'IRPEF a 0,50 €

Quanto avrebbe perso del suo onesto guadagno se avesse agito in base a una legislazione comunista? (in questo caso calcola la spesa pari al 50% del ricavato dalla vendita)

20..

La serie è aperta per chi vuol continuare.

LA STORIA DEI PROGRAMMI DI MATEMATICA NELLA SCUOLA MEDIA

MARGHERITA D'ONOFRIO

Centro Iniziativa Democratica Insegnanti (CIDI)

1. Introduzione

Analizzare i programmi di matematica della scuola media dall'unità d'Italia significa occuparsi nei diversi periodi presi in considerazione, del tipo di scuola e del numero degli allievi frequentanti, del tipo di società e del clima culturale, del peso che la disciplina aveva nella società e nella scuola, della formazione e professionalità degli insegnanti.

I programmi sono sì un intreccio di tutte queste variabili ed esprimono le intenzioni dei vari governi, ma non ci raccontano ciò che effettivamente veniva insegnato e tantomeno appreso. L'analisi dei libri di testo ci fa fare qualche passo in avanti ma ancora non è sufficiente. In occasione dell'incontro organizzato da Pianeta Galileo sui *150 anni di matematica nella scuola italiana*, concentrerò l'attenzione sulla matematica nella scuola secondaria di primo grado.

“Scuola secondaria di primo grado” è il nome dato dalla Legge Moratti nel 2003 a quella che prima si chiamava “scuola media”. Ma cosa intendiamo per *scuola media*? Possiamo intendere, come il termine stesso suggerisce, che sia la scuola che sta in mezzo, cioè che continua dopo la scuola elementare e permette l'accesso agli studi successivi (ma quali), oppure a scuola dagli 11 ai 14 anni.

La scuola media fu istituita nel 1940 dal ministro Bottai che con la Legge 1 luglio 1940 n. 899 unificò il ginnasio inferiore, l'istituto tecnico inferiore e l'istituto magistrale inferiore. Vi si accedeva dopo il superamento dell'esame di licenza elementare e dopo il superamento dell'esame di ammissione. Prima di analizzare i programmi di matematica della scuola media in base alla legge Bottai, prenderò in considerazione alcuni momenti significativi del prima e del dopo, come elencati in Figura 1.

Casati	Legge 13 novembre 1859
Gentile	atti normativi 1923
Bottai	Legge 1 luglio 1940 n. 899
Gui	Legge 31 dicembre 1962 n. 1859, D.M. 24 aprile 1963
Pedini	D.M. 9 febbraio 1979
Fioroni	D.M. 31 luglio 2007

Figura 1. Le principali leggi sull'istruzione nella storia dell'Italia unita.

2. Legge Casati 1859: sintesi organizzativa fatta dal governo piemontese

Al momento dell'unità, l'Italia era un paese ad economia agricola, con analfabetismo diffuso, divisa da profonde differenze tra una regione e l'altra. L'unificazione e lo sviluppo economico esigevano l'abbattimento delle barriere doganali, l'unificazione del mercato nazionale e la creazione di un'organizzazione statale, militare e burocratica, centralizzata e autoritaria. L'esigenza più forte era quella di creare e promuovere un'istruzione "media" adeguata a formare una classe dirigente omogenea e a consolidare ed estendere la coscienza nazionale attraverso la formazione dei ceti medi, la riduzione dell'analfabetismo e la diffusione di una lingua comune.

L'esigenza era dunque duplice: formare la nuova classe dirigente e alfabetizzare la popolazione (ma non troppo). Queste due finalità si concretizzarono nella fisionomia assunta dalla scuola con Casati: accanto al carattere prevalentemente umanistico-letterario-giuridico degli studi, nozionismo, astrattezza e retorica diventano i tratti distintivi della scuola borghese italiana.

La legge fissa le caratteristiche generali della pubblica istruzione, distinguendo l'istruzione secondaria classica, a cui assegna [art. 272, legge 13-11-1859 n. 3725]

il fine di ammaestrare i giovani in quegli studi, mediante i quali si acquista una cultura letteraria e filosofica che apre l'adito agli studi superiori che menano al conseguimento dei gradi accademici nelle università dello Stato

dall'istruzione tecnica, che ha

il fine di dare ai giovani che intendono dedicarsi a determinate carriere del pubblico servizio, alle industrie, ai commerci e alla condotta delle cose agrarie, la conveniente cultura generale e speciale.

Le due tipologie di scuola non sono sullo stesso piano perché l'istruzione tecnica non viene inclusa nel ramo dell'istruzione secondaria. L'istruzione secondaria classica comprende 5 anni di *Ginnasio* e 3 di *Liceo*, riservate alla classe dirigente, con taglio umanistico retorico e convenzionale, mentre l'istruzione professionale è divisa in *Scuola tecnica*, di 3 anni, e *Istituto tecnico*, di 3 anni, ed è orientata alle necessità produttive. L'istruzione magistrale viene inserita nell'istruzione primaria, distinta anch'essa in *Scuola complementare* e *Scuola normale*. Dal liceo si può accedere a qualsiasi facoltà universitaria, mentre l'istruzione tecnica permette l'accesso alle facoltà scientifiche solo tramite la sezione fisicomatematica.

Materie	I ginnasio	II ginnasio	III ginnasio	IV ginnasio	V ginnasio
Greco	-	-	2	4	4
Latino	8	8	9	6	6
Italiano	7	7	6	4	4
Storia e Geografia	4	4	2	3	3
Aritmetica	1	1	1	3	3
Religione	1	1	1	1	1
Ginnastica, esercizi militari	4	4	4	2	2
Ore settimanali	25	25	25	23	23
R.D. 22 settembre 1860, n. 4311					

Figura 2. La ripartizione della didattica settimanale secondo la legge Casati del 1859.

3. Successivi aggiustamenti dei programmi

Nell'impostazione data dalla legge Casati, la matematica nei primi tre anni del ginnasio ha un ruolo marginale e così resterà fino agli anni Sessanta. Occorre qui ricordare i Programmi del 1867 a firma di Coppino e il fatto che la stesura dei programmi di matematica, nella scuola secondaria, fu affidata a Cremona, Betti e Brioschi.

Dal 1867 al 1870 addirittura si preferì escludere l'insegnamento della matematica nelle prime 4 classi del ginnasio in quanto, in quella fascia di età, non si riteneva possibile l'apprendimento della matematica "deduttiva" e pur di non insegnare una matematica "pratica" si preferiva che non fosse insegnata affatto.

Nel 1900 il ministro Gallo emana un nuovo programma che serve a colmare il vuoto della geometria nel ginnasio inferiore. Le ore di matematica passano da una a due a settimana. Nel 1907, la *Raccolta completa dei Programmi d'insegnamento e orari* stabilisce la seguente articolazione degli argomenti di matematica per il *ginnasio*:

Classe prima. Aritmetica pratica: dalla numerazione fino alle frazioni esclusivamente.

Nozioni elementari intuitive intorno al punto, alla retta, ai poligoni, al circolo, ai poliedri più ovvi, al cilindro, al cono e alla sfera.

Classe seconda. Frazioni ordinarie e decimali. Sistema metrico decimale. Numeri complessi. Misure di linee, di angoli, di superficie e di solidi.

Classe terza. Regola per estrarre la radice quadrata. Rapporti e proporzioni. Rudimenti di disegno geometrico ed esercizi intorno alle misure.

La *Scuola tecnica*, oltre a permettere il proseguimento degli studi negli istituti tecnici, aveva anche lo scopo di essere scuola di cultura generale conclusiva di un ciclo di studi. La legge Coppino del 1867 mantenne l'insegnamento della matematica nella scuola tecnica. Dalla premessa:

il fine dell'insegnamento della matematica nella scuola tecnica è quello

di fornire ai giovani in tempo assai ristretto la maggior somma possibile di cognizioni utili per le applicazioni nelle arti e nei mestieri.

Il numero delle ore settimanali era di 5, 6 e 3 ore rispettive per ciascun anno (classe), da dedicarsi agli argomenti qui di seguito sinteticamente elencati.

Classe prima. Aritmetica pratica: riduzione delle antiche misure al sistema metrico decimale,

Classe seconda. Geometria: congruenza, equivalenza, similitudine nel piano e misura dei corpi solidi.

Classe terza. Geometria e algebra: fino alla risoluzione delle equazioni di primo e secondo grado a una incognita.

Questi programmi vengono modificati nel 1880 ad opera di de Sanctis nel cui testo si legge per la prima volta che l'insegnamento della matematica nella scuola tecnica deve conservare il suo doppio scopo, istruttivo ed educativo. Per raggiungere entrambi gli scopi si consiglia, sia per l'aritmetica sia per la geometria, di adottare il metodo intuitivo, sconsigliando espressamente il metodo deduttivo. Ma in anni successivi, riguardo a quest'alternativa fra presentazione intuitiva e presentazione deduttiva della matematica, si è stati molto altalenanti.

Nel 1899, l'orario è, rispettivamente, di 4, 4, e 3 ore settimanali, così articolate: geometria in seconda e terza, aritmetica in prima e seconda, algebra in terza.

È significativo quanto si legge nella su menzionata *Raccolta completa dei Programmi d'insegnamento e orari* (1907), ove ho evidenziato in corsivo il ricorrente uso del termine "regole" e anche l'indicazione data in chiusura:

Avvertenze

Nell'insegnamento dell'aritmetica si debbono dare definizioni e *regole* chiare ed esatte, esempi molti, esercizi svariati e scelti fra quelli che non richiedono troppo lunghe operazioni di calcolo, e che hanno attinenza coi bisogni della vita. In ciascuna lezione si dovranno fare esercizi di calcolo orale.

Nell'insegnamento della geometria sarà bene valersi di procedimenti intuitivi, quando la dimostrazione rigorosa dei teoremi richiede uno sforzo eccessivo delle menti degli alunni o un tempo lungo. Il professore si servirà opportunamente di modelli in grande dimensione, di solidi in rilievo, e di disegni sulla tavola nera. L'ultimo numero del programma di calcolo letterale è obbligatorio per i soli alunni che si avviano agli istituti nautici.

[...]

Aritmetica in prima classe

Nozioni preliminari. Numerazione. Le quattro operazioni fondamentali sui numeri interi e *regole* per eseguirle. Prove delle quattro operazioni.

Divisibilità di un numero per un altro. Criteri per riconoscere se un numero intero è divisibile per una potenza di dieci o per uno dei numeri 2, 4, 8, 5, 25, 3, 9, 11. Prove per 9 e per 11 delle quattro operazioni sui numeri interi.

Regole delle divisioni successive per calcolare il massimo comun divisore di due numeri interi. Caso di tre o più numeri. Numeri primi tra loro.

Numeri primi. *Regola* per formare una tavola di numeri primi, per conoscere

se un numero è primo, per decomporre un numero in fattori primi, per trovare tutti i divisori di un numero e per trovare i divisori di due o più numeri

Composizione del massimo comun divisore di più numeri mediante i loro fattori primi.

Regola per calcolare il minimo multiplo comune o più numeri interi e gli altri multipli comuni.

Frazioni ordinarie. *Regola* per trovare la parte intera di un numero frazionario, per ridurre una frazione ai minimi termini, per trasformare una frazione in un'altra equivalente di un dato denominatore, per ridurre le frazioni a denominatore comune o al minimo denominatore comune.

Le quattro operazioni fondamentali su le frazioni; regole per eseguirle. Potenze di una frazione.

Numero decimale. Moltiplicazione e divisione di un numero decimale per una potenza di dieci. *Regole* per eseguire le quattro operazioni fondamentali sui numeri decimali.

Riduzione di una frazione ordinaria in decimali. Decimali finiti e periodici.

Riduzione di un numero decimale, finito, o periodico, in frazione ordinaria.

Sistema metrico decimale

Numerosi esercizi e facili problemi

Come ha osservato Vincenzo Vita [6] dall'esame di questi programmi risulta che lo studio della geometria è passato da un metodo grafico intuitivo ad un metodo razionale per poi ritornare ad un metodo prevalentemente intuitivo. Più costante l'insegnamento dell'aritmetica razionale, previsto dal 1867 e soppresso solo nel 1890 dovendosi adeguare al programma del ginnasio inferiore.

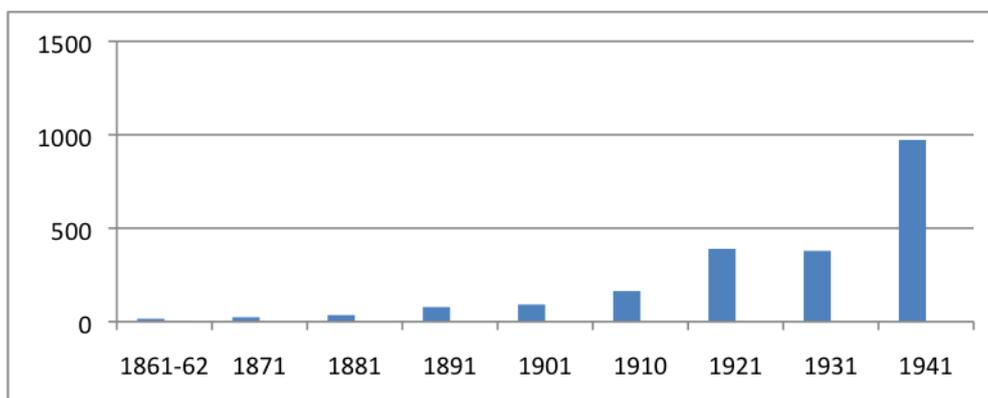


Figura 3. Alunni iscritti alla scuola media inferiore e superiore nel periodo 1861-1941, in migliaia.

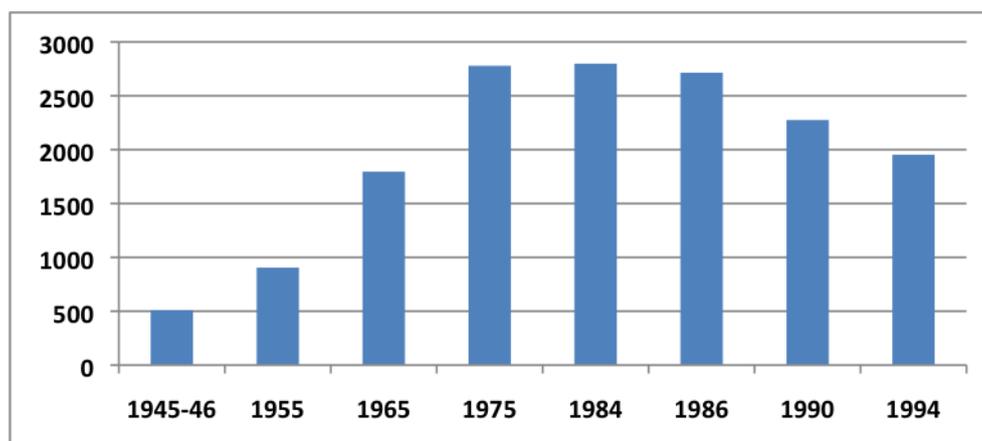


Figura 4. Alunni iscritti alla scuola media inferiore nel periodo 1945-1994, in migliaia.

4. La riforma Gentile

Come la legge Casati, la riforma Gentile non riconosce valore formativo alla scienza. È una riforma di stampo liberal-borghese di destra che mirava a formare la nuova classe dirigente. L'idea guida della riforma si può riassumere dicendo che *la scuola deve essere una palestra di intelligenza e un luogo dove forgiare le coscienze*. Si riconosce che la classe dirigente dev'essere altamente preparata per poter guidare il Paese, ma ancora una volta viene privilegiato l'asse storico-estetico-letterario trascurando le discipline scientifiche tra le quali la matematica.

Il fascismo fece propria la riforma, perché non aveva nessuna alternativa coerente e difendibile, e se ne servì per entrare massicciamente, con la propaganda, all'interno delle istituzioni scolastiche.

L'Accademia nazionale dei Lincei, presieduta da Vito Volterra, reagì immediatamente contro la riforma Gentile con una relazione del 1923, pubblicata con il titolo "Sopra i problemi dell'insegnamento superiore e medio. A proposito delle attuali riforme", e redatta da Guido Castelnuovo. In essa, per la scuola media inferiore, la Commissione proponeva una scuola unica con l'insegnamento del latino posticipato al secondo o al terzo anno e il rafforzamento dell'insegnamento di una lingua moderna, e denunciava il pericolo insito nella riforma di «veder rifiorire la retorica, che noi vorremmo bandita dalla scuola e dalla vita».

L'impianto della riforma riprendeva, in realtà, molti aspetti della vecchia legge Casati, anche per quanto riguardava l'accesso alla università: solo i diplomati del liceo classico avrebbero potuto frequentare tutte le facoltà universitarie, mentre ai diplomati del liceo scientifico sarebbe stato possibile accedere alle sole facoltà tecnico-scientifiche (quindi erano loro precluse le Facoltà di Giurisprudenza e di Lettere e Filosofia). Agli altri diplomati era invece impedita l'iscrizione all'università.

Materie	I	II	III	IV	V
Greco				4	4
Latino	8	7	7	6	6
Italiano	7	7	7	5	5
Storia e Geografia	5	5	4	3	3
Lingua straniera	0	3	4	4	4
Matematica	1	2	2	2	2
Totale	21	24	24	24	24
Ginnastica, esercizi militari	4	4	4	2	2
Religione	1	1	1	1	1

Figura 5. Materie e relative ore settimanali per il ginnasio, 1923.

I programmi emanati a seguito della riforma Gentile sono essenzialmente programmi d'esame (Regio Decreto 14.10.1923 n. 2345) anche se la distribuzione degli argomenti negli anni del corso è affidata all'insegnante. Sono programmi permeati di nozionismo, nei quali quel che conta è la preparazione agli esami finali.

Quanto all'ammissione alla quarta ginnasiale, per ciò che riguarda la matematica è prevista una prova orale, in forma di conversazione della durata di non meno di 10 e non più di 20 minuti, intorno ai seguenti argomenti:

Prova orale:

Interrogazioni ed esercizi intorno alla seguente materia:

Aritmetica:

Le quattro operazioni fondamentali sui numeri interi. Potenze di numeri interi e regole di calcolo relative. Nozioni sulla divisibilità dei numeri interi. Numeri primi. Criteri di divisibilità per 2, 5, 3 e 9.

Prova per 9 delle quattro operazioni sui numeri interi. Massimo comune divisore e minimo comune multiplo di due o più numeri interi. Le quattro operazioni fondamentali sui numeri frazionari. Potenze di numeri frazionari. Numeri decimali. Numeri decimali periodici e loro frazioni generatrici.

Sistema metrico decimale. Numeri complessi con applicazioni limitate alle misure degli angoli, degli archi e del tempo. Uso di semplici formule letterali per esprimere regole di calcolo o di misura, e per mostrare come da tali regole possano esserne dedotte altre. Uso delle parentesi. Calcolo del valore che un'espressione letterale assume per assegnati valori numerici delle lettere che vi compariscono. Proporzioni numeriche. Proporzionalità diretta ed inversa. Regola per la divisione di un numero in parti proporzionali a più altri. Regole per l'estrazione della radice quadrata con assegnate approssimazioni.

Geometria:

Rette, semirette, segmenti. Piani, semipiani, angoli. Rette perpendicolari, rette parallele. Poligoni: in particolare triangoli, trapezi, parallelogrammi, rettangoli, rombi, quadrati. Poligoni regolari. Circonferenza e cerchio; archi e settori circolari. Retta e piano perpendicolari. Piani perpendicolari. Piani e

rette paralleli. Prisma, parallelepipedo, piramide. Cilindro, cono e sfera. Misure di lunghezza, di superficie, di volume, di angoli e di archi.

AVVERTENZE

[...] Per la matematica, l'esaminando sarà tenuto a calcolare espressioni aritmetiche o date direttamente o da ricavare mediante sostituzione di valori numerici da assegnate espressioni letterali; ed a risolvere facili problemi che richiedano la conoscenza delle regole di misura per le lunghezze, le superfici, i volumi, gli angoli, gli archi. Durante lo svolgimento degli esercizi su esposti, non è escluso che l'esaminatore richieda dal candidato definizioni esatte dei termini tecnici, di cui avrà occasione di valersi, ed enunciati precisi delle regole pratiche, cui farà ricorso; ma è assolutamente escluso che l'esame possa procedere per domande e risposte di definizioni ed enunciati e muoversi in un campo di completa astrattezza.

Il candidato ha da dimostrare, soprattutto, di saper orientarsi nella risoluzione di un problema ed eseguire con franchezza le operazioni che essa richiede. Quindi, si condonerà piuttosto un qualche impaccio nel definire e nell'enunciare, che la deficienza nel risolvere e nell'operare. Dalle norme stesse, secondo cui deve procedere l'esame, discende - occorre appena avvertirlo - che l'insegnamento dell'aritmetica si presuppone svolto con indirizzo pratico; il che da una parte, ove l'occasione si presti o la chiarezza lo consigli, non impedisce di fare uso discreto di qualche semplice ragionamento deduttivo; e, dall'altra, non impone che nello svolgimento del programma si debba seguire quell'ordine cui bisognerebbe ricorrere se si dovesse impartire un insegnamento di aritmetica razionale. Per es., non è consigliabile di cominciare a parlare di frazioni solo dopo aver svolta tutta la parte del programma riguardante i numeri interi; il calcolo con frazioni assai semplici, ove la riduzione ai minimi termini e la riduzione al minimo denominatore comune possono esser fatte mentalmente o per facili tentativi, potrebbe esser premesso con vantaggio all'introduzione delle nozioni generali di massimo comune divisore e di minimo comune multiplo e all'esposizione delle regole che li riguardano.

Da queste norme discende inoltre, che l'insegnamento della geometria non deve avere altro scopo che quello di mantenere vivo il ricordo delle nozioni geometriche apprese nelle scuole elementari, fissar bene la nomenclatura, che in alcune sue parti occorre possedere con sicurezza per studiar poi con profitto la geografia astronomica, e fornire con le regole di misura abbondante materia di esercizi e ottime occasioni per l'introduzione di formule letterali, e la deduzione di una di esse, da altre.

Gentile sopprimeva la Scuola tecnica (triennale) di Casati e istituiva un Istituto tecnico inferiore di 4 anni (12 ore di matematica settimanali) dal quale si accedeva all'Istituto tecnico superiore (di altri 4 anni) articolato in commercio-ragioneria e agricoltura. Anche in questo caso il programma del 1923 è un programma d'esame concepito non per contribuire al processo formativo dei giovani ma per accertare l'apprendimento di nozioni. Per quanto riguarda specificamente la matematica, il programma d'esame d'ammissione al corso superiore dell'Istituto tecnico coincide in parte con quello d'ammissione al Liceo classico con l'aggiunta della proporzionalità diretta e inversa più, in algebra, i

sistemi di primo grado e, in geometria, le similitudini nel piano e l'iscrizione di poligoni in circonferenze. La geometria si deve pensare studiata con metodo "razionale".

5. La Carta Bottai

La "Carta della scuola", presentata nella Legge 1 luglio 1940 n. 899, si proponeva di dare vita a «una scuola popolare, che fosse veramente di tutti e che rispondesse alla necessità di tutti, cioè alle necessità dello Stato», formando l'uomo moderno «ariano» attraverso la preparazione tecnica e l'orientamento professionale segnato, in teoria, dalle attitudini del singolo ma, in pratica, dalla classe sociale di appartenenza.

In ciò si possono identificare un passo avanti e uno indietro rispetto all'impostazione gentiliana: una scuola più vicina alle classi subalterne, ma in funzione del loro asservimento al regime. La novità sta nella creazione di una scuola media unica che sostituiva il ginnasio inferiore, l'istituto tecnico inferiore e l'istituto magistrale inferiore, anche se permaneva la scuola di avviamento professionale istituita nel 1928.

In base alla Legge del primo luglio 1940, nella scuola media il latino continua ad essere materia selezionatrice:

Il latino sarà la pietra di paragone dell'intelligenza, perché nulla come il latino, anche nei suoi primi elementi, ha la capacità di colorare le intelligenze e renderle, così, più facilmente valutabili.

Viene invece aumentato il numero delle ore settimanali per la matematica che passa da 2 a 3. Nei "Programmi" (R.D. 30 luglio 1940) e, con maggior specificazione, nella Circolare 28 agosto 1940 n.1632 si legge:

Art. 1 – La scuola media, con i primi fondamenti della cultura umanistica e con la pratica del lavoro, saggia le attitudini degli alunni, ne educa le capacità e, in collaborazione con le famiglie, li orienta nella scelta degli studi e li prepara a proseguirli.

Materie	I	II	III
Religione	1	1	1
Italiano, latino, storia e geografia	16	16	15
Matematica	3	3	3
Disegno	2	2	2
Cultura militare, economia domestica			1
Totale	22	22	22
Educazione fisica	2	2	2
Lavoro	2	2	2

Figura 6. Ore settimanali, per materia, nella scuola media come indicato dalla Legge Bottai.

Per la matematica, negli stessi "Programmi" e nella successiva Circolare ci sono due novità. È infatti la prima volta che si parla di un nuovo metodo, che non si ferma alla semplice esposizione delle proprietà evidenti, ma che prende le mosse dall'intuizione

per procedere verso considerazioni di natura astratta. Inoltre, è la prima volta che compare l'aspetto storico, anche se poi verrà poco attuato.

Il programma di aritmetica viene distribuito nei primi due anni, l'algebra nell'ultimo, geometria piana nei primi due, solida nell'ultimo. L'introduzione dell'algebra nella classe terza mirava a dare un utile strumento anche agli allievi che avrebbero lasciato la scuola. All'esame di terza media c'è l'esame scritto di matematica.

6. La scuola media unica, 1962

La ricostruzione dell'Italia nel dopoguerra procede spedita e per la prima volta gli addetti all'industria superano il numero degli addetti all'agricoltura. L'Italia entra nel novero dei paesi "industrializzati". Il boom economico di fine anni Cinquanta determina una massiccia richiesta di istruzione che impone alle forze di governo un piano di sviluppo più articolato per la scuola.

Nell'anno scolastico 1957-58 gli iscritti alla scuola media inferiore aumentano di circa 100.000 unità e nel quinquennio 1955/56 - 1960/61 passano da 900.000 a 1.400.000.

La legge del 31 dicembre 1962 n. 1858 che istituisce e ordina la scuola media unica rappresenta una svolta fondamentale per l'istruzione del nostro Paese: sostituisce ogni precedente tipo di scuola secondaria inferiore, è obbligatoria e gratuita, è scuola orientativa e non più selettiva.

I programmi di matematica hanno una premessa e una lista di contenuti: partire dal concreto, presentare le trasformazioni delle figure ... con molta prudenza, evidenziare gli schemi logici, porre attenzione sul linguaggio.

Materia	I	II	III
Religione	1	1	1
Italiano	6		5
Italiano ed elementari conoscenze di latino		9	
Storia, ed civica, geografia	4	4	4
Lingua straniera	2	2	3
Matematica	3	3	3
Osservazioni scientifiche	2	2	2
Educazione artistica	2	2	2
Applicazioni tecniche	2		
Educazione musicale	1		
Educazione fisica	2	2	2
Materie orientative a scelta dell'alunno			
Latino			4
Applicazioni tecniche		2	3
Educazione musicale		1	1

Figura 7. Orari e programmi d'insegnamento, D.M. 24 aprile 1963.

La scuola media non ottiene i risultati sperati: la scuola di massa esige una revisione più profonda nel sistema scolastico complessivo ed una più giusta taratura dei contenuti disciplinari. Un equivoco di quegli anni fu quello di ritenere che l'introduzione delle più recenti acquisizioni scientifiche nelle varie discipline fosse di per sé il rinnovamento della scuola. Giovanni Genovesi in *Storia della scuola in Italia dal Settecento a oggi* osserva:

La stessa poderosa ma confusa ondata contestativa del 1968 e degli anni immediatamente successivi non riuscirà a sbloccare una situazione scolastica che resta contraddistinta dall'occasionalità, dalla disomogeneità dei vari ordini di scuola, dalla separazione con il territorio, dalla prescrittività dei programmi, dall'improvvisazione didattica, dal ferreo centralismo. [4, p. 192]

7. I Programmi del 1979

Con la Legge 517/77 si stabiliscono nuove norme relativamente alla valutazione e si aboliscono gli esami di riparazione per la scuola media. Inoltre, nella Legge 16 giugno 1977, n. 348 si legge, all'Articolo 1:

Agli insegnamenti obbligatori previsti dal primo comma dell'art. 2 della Legge 31 dicembre 1962, n. 1859, sono aggiunte per tutte le classi l'educazione tecnica, in sostituzione delle applicazioni tecniche, e l'educazione musicale. L'insegnamento della educazione tecnica non si diversifica in relazione al sesso degli alunni. L'insegnamento di matematica, osservazioni ed elementi di scienze naturali assume la denominazione di scienze matematiche, chimiche, fisiche e naturali.

L'Articolo 2 specifica una serie di caratteri che individuano il nuovo orientamento:

- a) rafforzamento dell'educazione linguistica attraverso un più adeguato sviluppo dell'insegnamento della lingua italiana – con riferimenti alla sua origine latina e alla sua evoluzione storica - e delle lingue straniere;
 - b) potenziamento dell'insegnamento di scienze matematiche, chimiche, fisiche e naturali - finalizzate quest'ultime anche all'educazione sanitaria - attraverso l'osservazione, l'esperienza e il graduale raggiungimento della capacità di sistemazione delle conoscenze;
 - c) valorizzazione, nei programmi di educazione tecnica, del lavoro come esercizio di operatività unitamente alla acquisizione di conoscenze tecniche e tecnologiche;
 - d) graduale attuazione delle modifiche apportate al precedente art. 2.
- L'orario degli insegnamenti non può superare le 30 ore settimanali, ferme restando le speciali

La legge 148 del 1977 unificava gli insegnamenti di Matematica e di osservazioni ed elementi di scienze naturali in Scienze matematiche, chimiche, fisiche e naturali e demandava (Art. 2) al Ministero della Pubblica Istruzione di stabilire con apposito decreto i nuovi programmi orari di insegnamento e prove d'esame.

Queste le principali modifiche strutturali: 1) potenziamento dell'insegnamento scientifico, per diminuire lo squilibrio tra il settore scientifico e quello umanistico (anche se ancora si trattava di una correzione minima); 2) unificazione tra matematica e scienze sperimentali, da considerarsi nel quadro di un'unità dell'educazione, che dovrebbe far scoprire l'unità del reale. Si tratta, dunque, di tener presente che la diversità tra le discipline è solo una diversità di punti di vista sulla realtà.

A ciò si affiancava l'obbligatorietà dell'educazione tecnica e l'abolizione del latino, con conseguente spostamento dell'asse culturale in senso scientifico. Lo spostamento era riconducibile non tanto all'aumento dell'orario quanto alla caratterizzazione metodologica-contenutistica delle modifiche apportate agli insegnamenti: infatti, adesso si parla di operatività e di metodo scientifico in tutte le discipline.

Quanto alla Commissione che elaborò i programmi, essa era composta inizialmente da una sessantina di membri (scelti fra associazioni culturali e professionali) e fu poi integrata da esperti – sempre chiamati dal ministro. Per la matematica, ne facevano parte personalità rappresentative delle più significative esperienze di rinnovamento contenutistico e metodologico presenti a livello nazionale (Lucio Lombardo Radice, Emma Castelnuovo, Vinicio Villani, Giovanni Prodi, Francesco Speranza). È da segnalare che l'elaborazione dei programmi passò anche attraverso un ampio dibattito nel Paese, un dibattito che vide coinvolti molti insegnanti impegnati nella costruzione di una scuola nuova.

Emma Castelnuovo ha espresso in forma sintetica l'intento che animava i nuovi programmi:

In ciascuno dei casi considerati, la matematica che interviene è una matematica dinamica; è una matematica cioè dove dominano i concetti di funzione, trasformazione, struttura.

Nello sviluppare il corso di matematica in modo autonomo si cercherà di dare rilievo più a problematiche che a problemi, si cercherà di portare l'attenzione più su figure che si trasformano che sulla figura, si metterà in risalto più il confronto di numeri che il numero. [2, p. 179]

Nello stesso anno, Mauro La Torre ha espresso chiaramente che, nei nuovi programmi, la matematica non è né schiava delle scienze sperimentali né regina delle scienze:

l'interazione con le scienze sperimentali tende a favorire l'elaborazione di itinerari didattici in cui, per esempio, la teoria matematica sorga da un modello concreto, si sviluppi poi anche per conto suo, e sia infine, di nuovo, strumento di conoscenza più generale. [4, p. 164]

Nei Programmi 1979, Il capitolo intitolato "Scienze matematiche, chimiche, fisiche e naturali" è strutturato in tre parti:

- Indicazioni generali
- Indicazioni per la matematica
- Indicazioni per le scienze sperimentali

Ognuna di queste parti è suddivisa a sua volta in “Obiettivi, Contenuti, Suggerimenti metodologici, Orientamenti per la ‘lettura’ dei contenuti”. Il relativo “Ampliamento e revisione dei contenuti” prevede una suddivisione dei contenuti in 7 temi:

1. La Geometria come prima presentazione del mondo fisico
2. Insiemi numerici
3. Matematica del certo e matematica del probabile
4. Problemi ed equazioni
5. Il metodo delle coordinate
6. Trasformazioni geometriche
7. Corrispondenze – Analogie strutturali

Come si vede, ci sono due temi per la geometria, due per i numeri, uno per probabilità e statistica, mentre il tema 4 e il tema 5 sono più a carattere metodologico e quindi non fini a se stessi; il tema 7 ha poi un carattere più generale, in quanto raccoglie i vari concetti che unificano i vari aspetti della matematica e costituiscono i pilastri fondamentali per la costruzione e l'evoluzione del pensiero.

L'idea di fondo è: partire dall'operatività per giungere alla sistematicità, passando per una progressiva maturazione dei processi astrattivi.

Si legge nei “Suggerimenti metodologici”:

La matematica fornisce un apporto essenziale alla formazione della competenza linguistica, attraverso la ricerca costante di chiarezza, concisione e proprietà di linguaggio, e, anche, mediante un primo confronto fra il linguaggio comune e quello più formale, proprio della matematica.

Infine, un altro aspetto per la prima volta considerato riguardava la storia della scienza.

Cosa non ha funzionato nell'attuazione dei Programmi 1979? Varie ragioni possono essere addotte per spiegarne l'insuccesso, riconducibili a

- la consuetudine e la tradizione,
- l'impreparazione degli insegnanti,
- la mancanza di un piano di aggiornamento,
- la mancanza di uno spirito di ricerca,
- l'idea che bastasse ampliare i contenuti per migliorare l'apprendimento,
- il mancato rinnovamento nelle scuole superiori.

Molti anni prima, rispondendo alla domanda: *In che modo viene svolto molto spesso l'insegnamento della matematica nelle nostre scuole?* Emma Castelnuovo aveva osservato:

Da lunghi anni si è creata una tradizione: per l'aritmetica, dopo aver fatto esercitare i bambini sulle quattro operazioni con numeri interi e decimali allo

scopo – si dice – di rafforzare la padronanza della tecnica delle operazioni stesse, già studiata nelle scuole elementari, si passa allo studio più approfondito dei numeri naturali (potenze, divisibilità, m.c.d., m.c.m.) e a quello delle frazioni. [...] È vero che i programmi sono stati puramente indicativi, ma dobbiamo riconoscere che per la nostra inerzia si sono potute affermare da anni delle anguste consuetudini dalle quali ancora oggi non riusciamo a sottrarci, rifiutando quella sostanziale libertà che veniva concessa dai programmi stessi. L'insegnamento ne è risultato "appiattito": non si è saputo dare diversi rilievi alle diverse questioni. [3, pp. 48-49]

8. Le Indicazioni per il curricolo

In *Indicazioni per il curricolo*, Roma, 2007, sono state fornite le indicazioni per il curricolo di matematica, relative alla scuola dell'infanzia e al primo ciclo d'istruzione.

Il Ministro Giuseppe Fioroni ne riassume così l'idea-guida:

Le scuole dovranno educare istruendo gli studenti e mettere al centro l'alunno-persona: solo così si riduce il rischio che gli istituti diventino progettifici dove si perde di vista la specificità di ciascun ragazzo. Il curricolo diventa più snello e si privilegiano italiano, matematica, storia e geografia a inglese, informatica e impresa. Prima di passare ad altro, infatti, è fondamentale conoscere l'essenziale. [Conferenza stampa del 4 settembre 2007]

Le *Indicazioni per il curricolo* (di matematica) sviluppano con continuità alcuni aspetti dei programmi precedenti (1979 e 1985). Le parti più significative sono le due introduzioni, l'area comune matematica-scientifica-tecnologica, l'area specifica della matematica. Tra i punti qualificanti, alla matematica, insieme alle scienze e alla tecnica, viene riconosciuto un ruolo fondamentale per la *formazione culturale* del cittadino, in contrapposizione a una visione puramente *strumentale* del "far di conto". Dunque, lo studio della matematica si colloca all'interno del processo di formazione di una più ampia dimensione culturale-scientifica.

Nel testo delle *Indicazioni per il curricolo* si affermava con chiarezza che:

Le conoscenze matematiche, scientifiche e tecnologiche contribuiscono in modo determinante alla formazione culturale delle persone e delle comunità, sviluppando le capacità di mettere in stretto rapporto il "pensare" e il "fare" e offrendo strumenti adatti a percepire, interpretare e collegare tra loro fenomeni naturali, concetti e artefatti costruiti dall'uomo, eventi quotidiani. I principi e le pratiche delle scienze, della matematica e delle tecnologie sviluppano infatti le capacità di critica e di giudizio, la consapevolezza che occorre motivare le proprie affermazioni, l'attitudine ad ascoltare, comprendere e valorizzare argomentazioni e punti di vista diversi dai propri. [5, p. 91]

Il *laboratorio* entra a pieno titolo nelle modalità di lavoro consigliate. Esso viene inteso non necessariamente come spazio attrezzato ma come modalità di lavoro e come momento di scoperta: è il luogo in cui si lascia spazio a problemi non standardizzati (esercizi ripetitivi) ma ci si confronta e si discute. Al riguardo, si legge sempre nelle *Indicazioni*:

Tutte le discipline dell'area hanno come elemento fondamentale il laboratorio, inteso sia come luogo fisico (aula, o altro spazio specificamente attrezzato) sia come momento in cui l'alunno è attivo, formula le proprie ipotesi e ne controlla le conseguenze, progetta e sperimenta, discute e argomenta le proprie scelte, impara a raccogliere dati ed a confrontarli con le ipotesi formulate, negozia e costruisce significati interindividuali, porta a conclusioni temporanee e a nuove aperture la costruzione delle conoscenze personali e collettive. [5, pag. 91]

Per quanto riguarda la spinosa questione dei problemi di matematica, il testo mette in evidenza che

Caratteristica della pratica matematica è la risoluzione di problemi, che devono essere intesi come questioni autentiche e significative, legate spesso alla vita quotidiana, e non solo esercizi a carattere ripetitivo o quesiti ai quali si risponde semplicemente ricordando una definizione o una regola.

Gradualmente, stimolato dalla guida dell'insegnante e dalla discussione con i pari, l'alunno imparerà ad affrontare con fiducia e determinazione situazioni-problema, rappresentandole in diversi modi, conducendo le esplorazioni opportune, dedicando il tempo necessario alla precisa individuazione di ciò che è noto e di ciò che si intende trovare, congetturando soluzioni e risultati, individuando possibili strategie risolutive. Già nei primi anni di scuola l'alunno comincia ad avere un controllo sul processo risolutivo e a confrontare i risultati con gli obiettivi. [5, pag. 93]

Viene giustamente sottolineata l'importanza di condurre gradualmente gli allievi a sviluppare ragionamenti corretti. Questo tipo di competenza è strettamente collegato allo sviluppo del linguaggio verbale e della terminologia specifica della disciplina. Del resto, insieme alla funzione comunicativa dei linguaggi, va tenuta presente anche la funzione di strumento per la rappresentazione dei concetti. Ciò vale non solo per il linguaggio verbale ma anche per i linguaggi formali non verbali (diagrammi, formule, espressioni numeriche, simbologie, ecc.). Anche i linguaggi formali possono favorire i processi di astrazione, se conquistati con la necessaria gradualità, non solo nei loro aspetti sintattici ma anche in quelli semantici.

Di estrema importanza è lo sviluppo di un atteggiamento corretto verso la matematica, inteso anche come una adeguata visione della disciplina, non ridotta ad un insieme di regole da memorizzare e applicare, ma riconosciuta ed apprezzata come contesto per affrontare e porsi problemi significativi e per esplorare e percepire affascinanti relazioni e strutture che si ritrovano e ricorrono in natura e nelle creazioni dell'uomo. [5, p. 94]

Queste ultime Indicazioni riusciranno a diventare pratica scolastica? La scommessa di una scuola di qualità per tutti quando sarà vinta?

BIBLIOGRAFIA

- [1] Castelnuovo, E., *Didattica della matematica*, La Nuova Italia, Firenze 1964.
- [2] Castelnuovo, E., *Scuola media e i nuovi programmi*, 1979, La Nuova Italia, Firenze 1979.
- [3] Genovesi, G., *Storia della scuola in Italia dal Settecento a oggi*, Laterza, Roma-Bari 2004.
- [4] La Torre, M., *I nuovi programmi della scuola media inferiore*, Editori Riuniti, Roma 1979.
- [5] Ministero della Pubblica Istruzione, *Indicazioni per il curricolo*, Roma 2007.
- [6] Vita, V.: *I programmi di matematica per le scuole secondarie dall'unità d'Italia al 1986- rilettura storico-critica*, Pitagora, Bologna 1986.

LA MATEMATICA NEI LICEI

IVAN CASAGLIA

Liceo Scientifico Castelnuovo, Firenze

1. I problemi di una storia

Di quali fonti e di quali documenti può avvalersi oggi chi intenda ricostruire le vicende dell'insegnamento matematico nei licei, nei 150 anni della scuola italiana? Per cominciare, dei programmi ministeriali che si sono avvicinati in questo secolo e mezzo, anche se il loro valore e il loro significato sono molto cambiati nel corso del tempo. Dei libri di testo e dei manuali, dal momento che l'editoria scolastica ha sempre avuto un ruolo fondamentale nella scuola italiana, talvolta nel sostenere progetti innovativi e di riforma dell'insegnamento, talaltra come fattore di conservazione. Poi c'è il dibattito che ha animato le commissioni di studio, i congressi, i convegni delle associazioni scientifiche e professionali e che possiamo trovare documentato sulle riviste dedicate alla matematica e al suo insegnamento, ma anche in numerosi studi condotti in misura crescente proprio negli ultimi anni. Un altro elemento di riflessione potrebbe essere fornito dallo studio del modo con cui, nel corso del tempo, si sono formati gli insegnanti e – per dire – i testi di riferimento di questa formazione. Ma fatto l'elenco di tutti questi aspetti, resta fuori quella 'scuola reale' che dell'insieme dei fattori che abbiamo indicato è stata l'interlocutrice, più o meno attenta, e che ha filtrato i programmi ministeriali, il contenuto dei manuali scolastici, l'intero dibattito intorno alla didattica della matematica, con esiti molto diversi. Quali documenti ci potrebbero permettere di ricostruire la storia dell'insegnamento effettivo della matematica nei licei, e quale potrebbe essere la loro attendibilità e comparabilità? Si capisce dunque che, per parlare della matematica nella scuola italiana, occorrerebbe un ampio programma di ricerche, il quale – per quanto mi consta – è ancora, in buona parte, da realizzare.

Aggiungo una difficoltà. Il termine "liceo", nel dibattito del nostro paese, è spesso usato come sinonimo di scuola secondaria superiore. La scuola superiore però comprende anche altre istituzioni che hanno avuto un ruolo molto importante nella vita nazionale come gli Istituti tecnici, le Scuole e gli Istituti magistrali, le diverse Scuole professionali, e non è certamente possibile adempiere al compito di tracciare un quadro complessivo dell'insegnamento della matematica nelle scuole secondarie superiori, nello spazio destinato a questo intervento. Mi atterrò pertanto alle indicazioni contenute nella presentazione di questo convegno, tentando una lettura dei *cambiamenti intervenuti nei programmi scolastici*, ma intrecciando questa operazione con uno sguardo ai documenti di quelle che possiamo chiamare le "riforme mancate", quei progetti cioè

che non sono mai stati attuati, o lo sono stati solo in minima parte, e che pure hanno costituito un riferimento importante per gli insegnanti di matematica e per la loro ricerca. Questo ci obbligherà a considerare anche il dibattito che si è sviluppato intorno all'insegnamento della matematica e alle tendenze e posizioni che lo hanno animato.

A rendere più agevole il compito è il sostanziale immobilismo che ha sempre caratterizzato la scuola italiana e in particolare la sua scuola superiore. Tant'è che se escludiamo – come intendo fare – le vicende più recenti, cioè l'insieme dei tentativi di riforma che hanno investito la scuola italiana negli ultimi quindici anni, la nostra storia ha due grandi avvenimenti cui fare riferimento: la legge Casati del 1859 e la riforma Gentile del 1923.

2. La matematica nel liceo dell'Italia unita

Per tentare di capire quali siano stati i contenuti e i metodi dell'insegnamento della matematica, e ancora prima quali siano state le sue finalità e in quale contesto culturale esse siano state individuate, bisogna, seppure in modo sommario, guardare al sistema scolastico italiano così come uscì dal processo di unificazione nazionale. L'atto costitutivo della scuola italiana è la legge Casati (Regio Decreto 13 novembre 1859) che in verità fu promulgata come decreto del Regno di Sardegna e poi estesa all'intero territorio della nascente nazione italiana. L'impianto del sistema scolastico era quello rappresentato dal seguente schema:

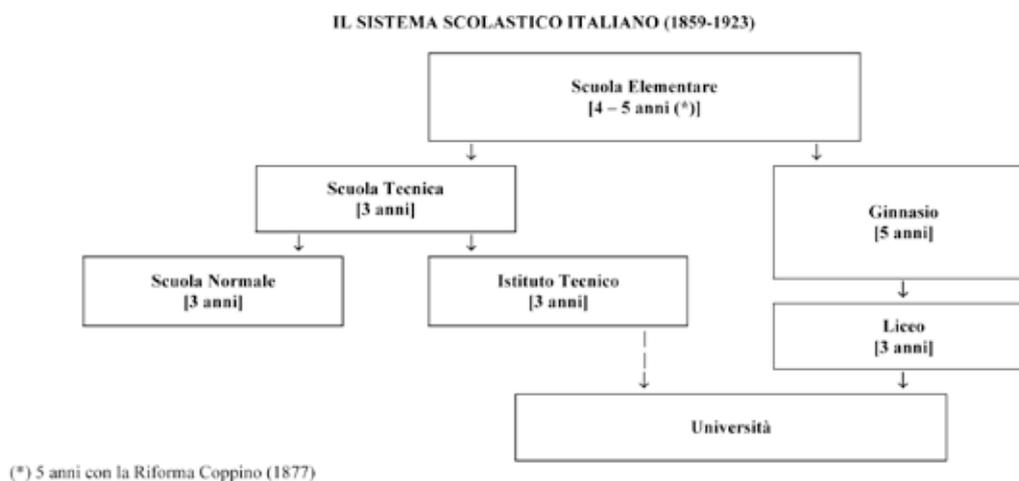


Figura 1.

È chiaro che in questo sistema il liceo era uno solo e come tale non aveva bisogno di aggettivi; il termine “Liceo classico” – come vedremo – sarà introdotto solo nel 1911 per distinguerlo dal nuovo Liceo moderno.

I primi programmi scolastici emanati nel nuovo contesto unitario furono quelli disposti dal Ministro Coppino nel 1867. Prima di esaminarli occorre ricordare che essi furono ispirati da una figura centrale per la matematica italiana del tempo: quella di Luigi Cremona. Matematico di grande valore, patriota impegnato nelle vicende ri-

sorgimentali, egli ebbe un ruolo decisivo nell'organizzazione dell'insegnamento e della ricerca matematica nelle Università. Come esponente della nuova classe dirigente che ebbe la responsabilità di gettare le basi dello stato unitario, Cremona venne coinvolto nella definizione degli orientamenti culturali della scuola superiore e, in questo ruolo, promosse una scelta che peserà moltissimo, nel bene e nel male, nelle vicende dell'insegnamento matematico nei licei: quella che è stata definita in modo efficace come l'*Operazione Euclide* [11, p.9].

In pratica si trattò della decisione di adottare come libro di testo per l'insegnamento della geometria, gli *Elementi* di Euclide, senza alcuna mediazione didattica e culturale. Le ragioni di questa scelta, che oggi può apparire quasi incomprensibile, furono molteplici. Da una parte, l'idea che l'educazione matematica si ponesse, in questo ambito dell'istruzione, come completamento della più generale educazione classica, muovendo dalla convinzione che non si possa avere una visione completa del mondo classico senza guardare anche alla sua scienza, nella quale la matematica occupava, soprattutto per i Greci, una posizione di assoluto rilievo. L'uso del testo di Euclide, in questa prospettiva, per le caratteristiche stesse di questa opera che ne fanno a un tempo il primo esempio della matematica come scienza deduttiva e la summa del sapere matematico della civiltà greca, appare del tutto naturale. A questa prima e forte ragione però se ne accompagnavano, intrecciate tra loro, anche altre culturali e – per così dire – politiche.

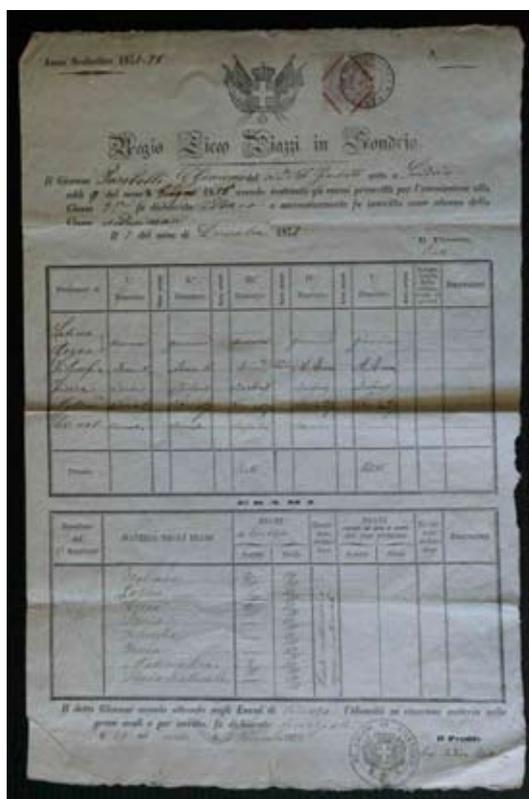


Figura 2.

Nel momento in cui si doveva fondare la scuola italiana, ci si poneva il problema di individuare un'impostazione unitaria che fosse in grado di superare le diverse tradizioni 'regionali', quelle cioè degli stati italiani preunitari, fortemente condizionate dalle tendenze che si rifacevano alla scuola francese e a quella austriaca. La qualità dei manuali in uso era considerata, da Cremona e dagli studiosi che con lui collaborarono, del tutto inadeguata. In particolare si imputava ai manuali di area francese, generalmente ispirati agli *Éléments de géométrie* di Legendre, una sorta di sincretismo tra algebra e geometria che oscurava il valore e il significato dell'edificio deduttivo caratteristico della geometria euclidea. Un ulteriore elemento che può aiutare a spiegare l'operazione Euclide è un riferimento al contesto internazionale esplicitato nelle *Istruzioni* che precedevano i programmi Coppino del 1867, dove, a proposito della geometria, si affermava:

Per dare all'insegnamento la massima efficacia educativa e per ridurre a un tempo la materia entro modesti confini, basta applicare alle nostre l'esempio delle scuole inglesi, facendo ritorno agli elementi di Euclide, che per consenso universale sono il più perfetto modello di rigore geometrico.¹

L'Operazione Euclide diventava l'elemento caratterizzante di una scelta più generale sul ruolo che si intendeva attribuire all'insegnamento matematico nel Ginnasio-Liceo, che ancora nelle *Indicazioni* veniva così individuato:

La matematica nelle scuole secondarie classiche non è da riguardarsi solo come un complesso di proposizioni o di teorie, utili in sé, delle quali i giovanetti debbano acquistare conoscenza per applicarle poi ai bisogni della vita; ma principalmente come un mezzo di coltura intellettuale, come una ginnastica del pensiero, diretta a svolgere la facoltà del raziocinio, e ad aiutare quel giusto e sano criterio che serve di lume per distinguere il vero da ciò che ne ha soltanto l'apparenza.

Questo ideale del rigore non riguardava solo la geometria, ma investiva anche l'ambito di aritmetica e algebra, per il quale si indicavano obiettivi non meno impegnativi, e per il metodo di insegnamento si esortavano gli insegnanti a mostrare, nello svolgimento del programma, che tutte le sue parti erano e strettamente collegate e dovevano essere svolte:

con ordine razionale e con processo rigorosamente scientifico. [...] Non si vuole che ciascuna parte del programma sia svolta con grande estensione, e condotta a minuti particolari; possono invece bastare le proposizioni fondamentali e più originali; ma è necessario che si vada innanzi senza salti, che tutto sia coscienziosamente dimostrato colla più severa esattezza, e che nessuno dei punti toccati rimanga oscuro o dubbioso. Il professore [...] si faccia un obbligo rigoroso di essere sempre ordinato, chiaro ed esatto nel suo discorso.

1 Questa e le citazioni che seguono sono tratte dalle *Istruzioni e programmi dell'insegnamento classico e tecnico, normale e magistrale, ed elementare nelle pubbliche scuole del Regno* – R.D. 10 ottobre 1867 n. 1942, nella Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia, supplemento al n. 291 del 24 ottobre 1867.

In questo contesto, seppure nei limiti di quelle che potevano essere le concezioni pedagogiche del tempo, specie per docenti di formazione universitaria, si davano anche indicazioni non prive di qualche ragionevolezza esortando il docente ad astenersi:

da quelle lezioni accademiche, le quali servono solo a far pompa di erudizione, e non lasciano alcuna traccia nelle menti dei giovanetti. Al contrario l'opera della scuola sia un continuo scambio di domande e risposte fra maestro e scolaro, per modo che il primo verifichi ad ogni momento se è seguito ed inteso; ed il secondo sia indotto a riflettere sulle cose che ascolta e le faccia sue proprie; e non se ne appaghi finché gli resti alcunché d'incerto.

Se ora guardiamo in modo più specifico ai programmi, per quanto riguarda la geometria, l'indicazione dei contenuti è formulata nei termini dei libri di cui sono costituiti gli *Elementi* di Euclide. In particolare, nella V Ginnasio era previsto il libro I e cioè, per sommi capi, definizioni, postulati, nozioni comuni, teoremi sulla congruenza, sulle rette parallele, sui parallelogrammi, il teorema di Pitagora, le costruzioni elementari, le figure equivalenti. Nella I Liceo i libri II e III (l'algebra geometrica, cerchi, proprietà delle corde, delle tangenti, delle secanti, proprietà angolari), nella II Liceo i libri IV, V, VI, XI e XII (figure inscritte e circoscritte, teoria delle proporzioni, figure simili, geometria solida, metodo di esaustione). Solo per questa classe, con la quale terminava l'insegnamento della matematica, si aggiungevano delle indicazioni che si discostavano dal testo di Euclide «misure del cerchio, del cilindro, del cono, della sfera (Archimede), formole per le aere ed i volumi».

L'*aritmetica ragionata*, che in V Ginnasio prevedeva lo studio dei sistemi di numerazione, delle prime quattro operazioni sui numeri interi, delle potenze, della divisibilità dei numeri, del calcolo delle frazioni, in I Liceo diventava *aritmetica ragionata e algebra* (radici quadrate di numeri, numeri incommensurabili, numeri negativi, esponenti negativi, potenze e radici di monomi, calcolo di radicali ed esponenti frazionari), per poi mutare nella II Liceo in *algebra* (proporzioni, equazioni di primo e secondo grado, sistemi di equazioni, progressioni, potenze con esponente incommensurabile). È da notare la prevalenza della geometria, alla quale sono curvate le scelte nell'ambito aritmetico-algebrico, perfino nella terminologia usata laddove, per esempio, i numeri irrazionali sono indicati come numeri incommensurabili. Il percorso di studi si conclude in II Liceo con un ampio spazio dedicato alla *trigonometria*.

Oltre ai contenuti dell'insegnamento matematico, si deve considerare anche il tempo che a questo insegnamento veniva destinato negli orari, anche in relazione a quello dedicato alle altre discipline. In questo senso ci può aiutare il quadro orario dei programmi Coppino.

PROGRAMMI COPPINO – QUADRO ORARIO DEL GINNASIO-LICEO

Materie di insegnamento	Ginnasio		Liceo			Totale
	Classe IV	Classe V	Classe I	Classe II	Classe II	
Italiano	5	4	6	4	-	19
Latino	6	6	-	-	-	12
Greco	5	5	-	-	-	10
Latino e Greco	-	-	5	5	5	15
Storia	4	4	7,5	4,5	-	20
Filosofia	-	-	-	4,5	4,5	9
Matematica	-	5	6	7,5	-	18,5
Fisica	-	-	-	-	9	9
Storia naturale e geografia fisica	-	-	-	-	5	5
Totale	20	24	24,5	25,5	23,5	117,5

Figura 3.

È interessante notare che la matematica, nel passaggio dal Ginnasio inferiore al Ginnasio superiore, subiva un'interruzione nella IV classe e non era tra le materie dell'ultimo anno di studi.

Nei decenni successivi il quadro definito dai programmi Coppino subì numerosi interventi, principalmente volti a realizzare una diversa articolazione dei contenuti del 1867, resa necessaria da variazioni nel quadro orario e da una presenza della disciplina estesa anche al primo e all'ultimo anno, senza però che l'impianto originario subisse mutamenti significativi.

Tra le modifiche intervenute, quelle più rilevanti furono proprio nell'ambito della geometria, in relazione al fallimento dell'Operazione Euclide. Il primo testo coerente con i programmi Coppino fu rappresentato dagli *Elementi di Euclide*, tradotti in italiano da due collaboratori di Cremona: Enrico Betti e Francesco Brioschi. Nello stesso anno Giuseppe Battaglini, altro studioso di geometria, pubblicava sul suo *Giornale di matematiche* un articolo di un insegnante inglese, J. M. Wilson, che criticava aspramente l'uso degli *Elementi* come libro di testo nelle scuole inglesi, mettendo così in discussione proprio l'esperienza a cui si era fatto esplicito riferimento nel varare l'operazione Euclide. La difficoltà di attuare la scelta promossa da Cremona, di cui egli stesso si mostrò presto consapevole, impose numerosi interventi sui programmi ministeriali per riorganizzare gli argomenti di geometria in un percorso più aderente alle esigenze didattiche e adeguarli alle richieste espresse dalla contemporanea critica dei fondamenti, la quale metteva in discussione il rigore della geometria euclidea. Lo sforzo in questa direzione stimolerà un largo impegno nella manualistica per la scuola secondaria superiore, che vedrà coinvolti, fino agli inizi del Novecento, i più prestigiosi studiosi di geometria delle università italiane.

Una rapida occhiata alla seguente tabella permette di apprezzare il peso che la matematica ebbe nel Ginnasio-Liceo nella stagione liberale.

PRESENZA DELLA MATEMATICA NEI QUADRI ORARI DEL GINNASIO-LICEO
(1859-1923)

	Casati 1859	Coppino 1867	Santelli 1874	Bonghi 1876	Coppino 1876	Baccelli 1881	Boselli 1888
IV Ginnasio	3	-	-	4	3	3	2
V Ginnasio	3	5	5	4	3	3	2
I Liceo	8	6	6	7,5	6	5	3
II Liceo	-	7,5	3	4,5	3	4	3
III Liceo	3	-	3	2	3	-	3
Totale	17	18,5	17	22	18	15	13

Figura 4.

A una più equilibrata distribuzione delle ore di insegnamento nelle diverse classi del Ginnasio-Liceo si affiancò un loro iniziale potenziamento, che raggiunse il suo massimo con le 22 ore complessive previste dai programmi Bonghi, per poi subire una lenta diminuzione, che arrivò alle 13 ore con i programmi Boselli del 1888 e che restarono tali fino alla riforma Gentile. Colpisce, di questo quadro, la progressiva perdita di importanza riconosciuta alla matematica nell'insegnamento ginnasiale e liceale, soprattutto se messa a confronto con altre esperienze europee indicate nella seguente tabella [10, p.373].

TABELLA COMPARATIVA DEGLI ORARI IN ALCUNE SCUOLE CLASSICHE EUROPEE (1887)

Materie	Francia Corso classico del Liceo	Austria Vienna Ginnasio	Germania Francoforte Ginnasio classico	Italia Ginnasio e Liceo
	7 anni	8 anni	9 anni	8 anni
Religione	-	16	19	-
Lingua nazionale	18	26	21	47
Latino	37,5	50	77	47
Greco	21	28	40	20
Lingue straniere				
Francese	-	-	21	-
Inglese	14	-	-	-
Tedesco	(o 14)	-	-	-
Geografia e storia	20	27	28	35
Matematica	13	24	34	23
Storia naturale	4,5	9	10	10
Fisica	5	10	8	8
Filosofia	8	4	2*	8

Figura 5.

Una vicenda che testimonia della progressiva perdita di importanza della matematica nel liceo, è anche quella legata alla presenza di questa disciplina negli esami di licenza liceale.² In origine, l'esame di licenza prevedeva per la matematica una prova scritta e una prova orale. Nei decenni successivi, la prova scritta subì vari interventi fino a essere soppressa, a diventare opzionale (in alternativa alla versione di Greco), a tornare obbligatoria e poi essere di nuovo soppressa. Nel 1904, con il Ministro Orlando, si concede agli studenti di scegliere, negli ultimi due anni, tra lo studio del greco e quello della matematica, «liberando dall'inutile peso gli incapaci per predestinazione».³

Il progressivo indebolimento che la matematica subì nell'ambito dell'istruzione liceale colpisce ancora di più se pensiamo alla posizione che nel frattempo la matematica italiana aveva saputo conquistare in quegli stessi anni. Anche per merito dell'impegno di uomini come Cremona, Betti e Brioschi, la ricerca italiana in matematica aveva potuto recuperare in pochi decenni l'enorme ritardo organizzativo e culturale che ancora si poteva registrare alla nascita del regno. Cremona aveva contribuito a fondare un nuovo indirizzo di studi geometrici da cui originò quella *Scuola italiana di geometria algebrica* che godette di un indiscutibile prestigio internazionale fino agli anni Venti del Novecento. Tra gli esponenti di questa scuola, troveremo alcune delle figure più emblematiche dell'impegno dei matematici nella scuola italiana, a comin-

2 Per un resoconto completo della vicenda si veda [7] e [17].

3 Così nella relazione annessa al decreto che rendeva possibile, a partire dalla seconda liceo, di optare tra il greco e la matematica.

ciare da Guido Castelnuovo e Federigo Enriques. A questa importante esperienza si affiancò inoltre la Scuola di analisi di Giuseppe Peano, uno dei fondatori della moderna 'logica matematica', e altri singoli ma non meno importanti protagonisti come Vito Volterra, noto a livello internazionale come il *Signor Matematica*, che fu tra i pionieri di nuovi importanti settori della ricerca matematica come l'analisi funzionale o la biomatematica.

Figura 6. Pagella liceale del 1914.

Tornando alla scuola, ma uscendo dai confini delle vicende legate al Ginnasio-Liceo, merita di accennare a un'esperienza che ebbe un ruolo importante nella vita nazionale: quella della *sezione fisico-matematica* dell'Istituto tecnico. Con il Regolamento per le Scuole e gli Istituti tecnici del 1860, il Ministro Terenzio Mamiani, istituì un Istituto tecnico articolato in quattro sezioni: commerciale amministrativa, agronomica, chimica e fisico-matematica. Con la riforma del 1871 la sezione fisico-matematica veniva individuata come «la sezione cardinale dell'Istituto e quella da cui trarranno alimento e vigore tutte le altre».⁴

Questa sorta di primato riconosciuto a questa sezione la poneva a diretto confronto con il Liceo, rispetto al quale essa si caratterizzava per sostituire allo studio delle lingue classiche quello delle lingue moderne (oltre al francese, l'inglese o il tedesco, a scelta), per compensare la minore incidenza delle discipline letterarie con un insegnamento molto intenso delle scienze fisico-matematiche e per consentire, a differenza delle altre sezioni dell'istituto tecnico, l'accesso alla facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali. Proprio per quest'ultimo aspetto, la sezione fisico-matematica contribuì in misura significativa alla formazione della classe dirigente del paese e fu frequentata da figure

⁴ Questa e le citazioni che seguono sono tratte da Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio, *Ordinamenti degli Istituti tecnici*, Tipografia Claudiana, Firenze 1871, in [10, pp.335-345].

importanti della vita nazionale. Volterra, ad esempio, fu allievo della sezione fisico-matematica nell'Istituto tecnico Galileo Galilei a Firenze.

Il confronto tra il programma ministeriale di matematica per il Ginnasio-Liceo e quello di *Matematiche elementari e Geometria descrittiva* – questa è la denominazione della disciplina nei programmi del 1871 – della sezione fisico-matematica permette di cogliere alcune costanti ma anche delle significative variazioni, non solo per quanto riguarda l'estensione dei contenuti previsti in relazione al numero di ore settimanali dedicate a questa disciplina. Già nelle considerazioni che precedono l'indicazione dettagliata dei contenuti, alla finalità di «rafforzare le facoltà di ragionamento», che richiama quella «ginnastica del pensiero» già vista per il liceo, si affianca l'esigenza che questo insegnamento consenta agli studenti di acquistare «un buon corredo di cognizioni reali, suscettive di utili e non remote applicazioni per potersene poi giovare con franchezza nei successivi studi, e nell'esercizio delle professioni».

Vi è inoltre da sottolineare che per la geometria – alla quale si conferma un ruolo centrale – la lezione di Euclide non è l'unico riferimento e l'esigenza del purismo geometrico non appare qui, come nel caso del liceo, una sorta di restaurazione (anche in relazione al giudizio negativo sull'insegnamento della geometria alla Legendre), ma piuttosto come il riallacciarsi a tendenze significative della ricerca contemporanea, specie nel campo della geometria proiettiva.

Un'analisi completa dei programmi richiederebbe uno spazio che qui non ci è consentito, ma può essere sufficiente, per capire l'atmosfera di questo insegnamento matematico, ricordare che, accanto alla geometria descrittiva e alle sue premesse teoriche (proiettività, teoremi di Pascal e Desargues), già nei programmi del 1871 è previsto lo studio della probabilità e del calcolo combinatorio, dei metodi di approssimazione nella determinazione delle radici di una equazione, delle serie e delle frazioni continue, dell'analisi indeterminata (cioè lo studio delle equazioni diofantee), della geometria analitica, della geometria sferica.

Naturalmente queste considerazioni sulla qualità dei programmi di matematica e il ruolo significativo che a questa disciplina era riconosciuto nella sezione fisico-matematica, non ci permette poi di capire se l'insegnamento di matematica concretamente praticato in quella scuola, avesse quel valore formativo che i documenti lascerebbero presagire.

3. Tentativi di riforma, la matematica nel liceo moderno

Nel decennio a cavallo tra Ottocento e Novecento si assiste alla nascita delle prime associazioni professionali tra gli insegnanti della scuola secondaria superiore, che svolsero poi un ruolo importante nelle vicende della scuola italiana nei decenni successivi, come la Federazione Nazionale Insegnanti Scuola Media (FNISM), fondata nel 1901 da Giuseppe Kirner e di Gaetano Salvemini, o la Società Nazionale *Mathesis*, nata nel 1895 a Torino e presto diffusasi a livello nazionale. La *Mathesis* curava la pubblicazione del *Periodico di matematiche*, che per molto tempo ha rappresentato la più importante

rivista italiana dedicata alla didattica della matematica nella scuola secondaria. Questa associazione e la sua rivista divennero ben presto tra gli interlocutori, in Italia, di un vasto movimento di riforma dell'insegnamento matematico, promosso in Germania dal grande matematico Felix Klein.

Già a partire dagli anni Settanta dell'Ottocento, Klein aveva iniziato a occuparsi dell'insegnamento della matematica nell'ambito di un più vasto progetto di riforma delle istituzioni accademiche e di ricerca fondato su una visione della funzione della matematica nella società industriale, dei suoi rapporti con le altre discipline e delle sue applicazioni. Come Presidente della *Commissione tedesca per l'insegnamento della matematica e delle scienze* e poi della *International Commission on Mathematical Instruction* (ICMI), istituita in occasione del IV Congresso Internazionale dei Matematici che si svolse a Roma nel 1908, Klein sostenne un ammodernamento dei contenuti, delle metodologie di insegnamento e delle modalità di formazione degli insegnanti. Per quanto riguarda i programmi, Klein proponeva di introdurre nelle scuole secondarie, anche in quelle classiche, lo studio della *geometria analitica* – in Italia presente solo nella sezione fisico-matematica degli Istituti tecnici –, del *calcolo differenziale* e del '*calcolo integrale*' – del tutto assenti nelle scuole secondarie italiane – e suggeriva di dare centralità ai concetti di *funzione* e di *trasformazione*, che avrebbero dovuto pervadere l'intero curriculum di matematica. Klein sosteneva inoltre la necessità di valorizzare le applicazioni della matematica nelle scienze naturali e di riconoscere maggiore spazio a quella che lui chiamava «la matematica esatta delle relazioni approssimate». Sul piano metodologico invitava gli insegnanti a cercare di catturare l'attenzione degli allievi presentando la matematica in modo intuitivo, avvalendosi anche della dimensione storica della disciplina. Si trattava, a ben vedere, di motivi che ancora oggi, a cento anni di distanza da quelle proposte, mantengono una loro attualità e hanno costituito argomenti ricorrenti nel dibattito intorno all'educazione matematica che ha accompagnato l'ultimo secolo di esperienze nella scuola.

Accanto a Castelnuovo ed Enriques, tra i delegati italiani presenti al Congresso di Roma troviamo Giuseppe Vailati, singolare figura di matematico e filosofo. Assistente di Giuseppe Peano e di Vito Volterra, nel 1899 aveva abbandonato la carriera universitaria per l'insegnamento nella scuola secondaria in modo da potersi dedicare interamente ai suoi studi nell'ambito della storia e della filosofia della scienza. Critico della scuola tradizionale, giudicata una *palestra mnemonica*, per il suo eccessivo verbalismo e per il modello di apprendimento passivo, dove l'allievo è chiamato più ad *apprendere* che a *comprendere*, Vailati sosteneva una scuola come *laboratorio* nel quale:

all'allievo è dato il mezzo di addestrarsi, sotto la guida e il consiglio dell'insegnante, a sperimentare e a risolvere questioni, a misurare e soprattutto a "misurarsi" e a mettersi alla prova di fronte ad ostacoli e difficoltà atte a provocare la sua sagacia e coltivare la sua iniziativa [16, p. 292].

Nello specifico dell'insegnamento matematico, le posizioni di Vailati convergevano con

quelle sostenute dal movimento di riforma del Klein: visione storica, importanza del momento operativo, fusionismo tra algebra e geometria – un vero e proprio rovesciamento del purismo geometrico cremoniano –, equilibrio tra intuizione e rigore. Negli anni di cui ci stiamo occupando, Vailati fu protagonista, sul versante della matematica, di una vicenda che, pur avendo scarse conseguenze pratiche, produsse esiti importanti nello sviluppo della riflessione e della ricerca sull'insegnamento matematica nella scuola secondaria. La vicenda cui faccio riferimento ebbe inizio nel 1905, quando il Ministro dell'Istruzione Leonardo Bianchi – siamo nel pieno della stagione giolittiana – nomina una commissione presieduta dall'onorevole Paolo Boselli con lo scopo di studiare un progetto di riforma della scuola secondaria.

Gli obiettivi fondamentali fissati dallo stesso Bianchi per la *Commissione reale per la riforma della scuola secondaria*, sono quelli di progettare una scuola media inferiore unica e senza il latino, di articolare la scuola media superiore in tre indirizzi (Scuola normale, Istituto tecnico e Liceo, a sua volta articolato in Liceo 'classico' e Liceo 'moderno'), di operare una maggiore apertura, in tutti i rami alle lingue moderne e alle scienze. Della Commissione, composta di professori universitari, ispettori ministeriali e docenti della scuola secondaria, fecero parte alcuni degli studiosi e degli intellettuali italiani di maggiore rilievo, a cominciare da Salvemini e Vailati. I lavori ebbero inizio realizzando un'inchiesta tra i docenti della scuola secondaria, intorno alla quale poté svilupparsi un ampio dibattito sulle riviste e nelle associazioni professionali, FNISM e *Mathesis* in testa.

Le vicende della commissione furono alquanto tormentate e videro, a un certo punto, le dimissioni di Salvemini, contrario all'ipotesi di una Scuola Media unica. I lavori terminarono solo nel 1909 e si conclusero con l'elaborazione di uno schema di riforma della scuola secondaria, nella quale il liceo era articolato in tre indirizzi: classico, moderno e scientifico. Vailati, che si era pronunciato contro la divisione del liceo, perché convinto che la matematica e le scienze dovessero esercitare la loro funzione formativa nell'ambito dell'educazione umanistica, si occupò specificamente della matematica. Le scelte contenute nei programmi che accompagnavano lo schema di riforma sono, per molti aspetti, tra le più innovative e originali che siano state prodotte. Un rapido elenco: integrazione tra algebra e geometria, centralità dei concetti di funzione e trasformazione, attenzione all'origine concreta e intuitiva dei concetti matematici, riflessione sulle ragioni che conducono alla sistemazione ipotetico-deduttiva della geometria, valorizzazione delle applicazioni della matematica alle scienze naturali, introduzione di nozioni del calcolo differenziale e integrale. È facile cogliere in queste scelte i motivi di fondo del programma di Klein. Ci sono però altri elementi particolarmente rilevanti in questi programmi, come l'esplicito legame tra contenuti e metodi e soprattutto una riorganizzazione dei contenuti che ancora oggi appare molto originale e anticipa la proposta di uno sviluppo 'a spirale' della matematica che verrà poi, sostenuta a partire dagli anni Sessanta del Novecento.

Nel Liceo classico e nel Liceo moderno i programmi dei primi quattro anni di ma-

tematica coincideranno con quelli dei primi tre anni del Liceo scientifico, prosciugati di diversi approfondimenti anche per la diversa presenza oraria della disciplina. La caratterizzazione si trova nel quinto e ultimo anno. Per il Liceo classico con un ampio spazio dedicato alla matematica greca attraverso lo studio del contenuto e della struttura degli *Elementi* di Euclide, limitatamente ai primi cinque libri, un cenno alla trattazione di Diofanto dell'analisi indeterminata, l'esame dei metodi seguiti da Archimede per il calcolo di superfici e volumi, l'analisi delle idee cosmografiche e astronomiche dei Greci. Nel Liceo moderno lo studio della probabilità, prevista anche per gli altri due indirizzi del liceo, era collegata alle applicazioni in ambito assicurativo ed era seguita da uno studio delle prime nozioni di statistica descrittiva e di un accenno alla legge dei grandi numeri e alla curva di frequenza degli errori.

Seppure con i limiti di una descrizione così sommaria, è facile capire il valore profondamente innovativo di questi programmi, per quanto – come abbiamo detto – essi non furono mai attuati perché il Parlamento non approvò la riforma proposta dalla commissione Boselli. Di questo tentativo di riforma, primo di una lunga serie, si ebbe solo un pallido riflesso nell'istituzione, nel 1911, del Liceo moderno, su iniziativa del ministro Luigi Credaro (IV Governo Giolitti), come sezione speciale del liceo, che da quel momento assunse la denominazione di classico che ancora oggi mantiene. Questo liceo ebbe vita assai stentata. Varato a partire dall'anno scolastico 1914-15, cioè alla vigilia dell'entrata in guerra dell'Italia, venne istituito solo nelle città che ospitavano più di un liceo. Tra i motivi delle difficoltà di questa nuova scuola, si devono annoverare, accanto alle tradizionali timidezze dell'amministrazione nel sostenere le innovazioni (mancanza di risorse per la costruzione dei laboratori scientifici, assenza di docenti preparati), anche l'ostilità dei docenti del Liceo classico, i quali dirottavano verso la sezione moderna gli alunni meno preparati. In ogni caso il Liceo moderno venne soppresso – come vedremo – con la riforma Gentile nel 1923 e dunque ebbe vita brevissima, appena un decennio.

L'estensore dei programmi di matematica per questo liceo fu Guido Castelnuovo che aveva – in un certo senso – raccolto l'eredità di Vailati, prematuramente scomparso nel 1909. Esponente di primo piano della scuola italiana di geometria algebrica, Castelnuovo era legato a Federico Enriques da un lungo sodalizio scientifico e umano. Proprio negli anni in cui si svolge la vicenda di cui stiamo parlando, i suoi interessi si andavano progressivamente volgendo dalla ricerca in geometria ad altri settori che spaziavano dal calcolo delle probabilità alla storia della matematica, dalla teoria della relatività, di cui fu uno dei primi divulgatori in Italia, ai problemi dell'insegnamento secondario, in relazione al quale egli si impegnò a fondo come animatore della *Mathesis*, come membro dell'ICMI, nella formazione dei docenti, in articoli in cui affrontò temi che andavano dalle scelte educative generali ad argomenti specifici della didattica della matematica. Per Castelnuovo – come testimoniano alcuni importanti interventi – il compito della scuola era quello di «formare l'uomo civile», contribuendo alla costruzione di quella che lui definiva una «democrazia colta». Per far ciò era necessario abbat-

tere le barriere tra la scuola e il mondo moderno e, nello specifico dell'insegnamento scientifico, era necessario ricomporre la divisione tra matematica e «scienze d'osservazione», integrando l'insegnamento della matematica e della fisica, e valorizzando, nell'ambito della matematica, i procedimenti euristici. Per capire l'impronta lasciata da Castelnuovo sulla vicenda del Liceo moderno, più che ai programmi, che riprendono i temi e l'impostazione dei programmi di Vailati, bisogna guardare alle *Istruzioni* che li precedono. Lasciamo la parola a questo documento:

Le esigenze della vita moderna, da un lato, e dall'altra parte una più larga visione della scienza nel suo complesso, richiedono che si restringano e si mettano in più viva luce i legami tra la matematica e le scienze sperimentali e di osservazione. È necessario che il giovane allievo, prima di lasciare il liceo, acquisti la persuasione che fra le matematiche e quelle altre scienze vi è un legame intimo ed un'affinità molto grande, e che esperienza e ragionamento sono entrambi indispensabili, sia pure in varia misura, per arricchire ogni campo del sapere. È necessario che egli sappia che le une e le altre scienze si sono sempre prestate reciproci aiuti, e che il rinnovamento delle matematiche nel XVII secolo è legato col fiorire delle scienze sperimentali. A tal fine l'insegnante coglierà le occasioni offerte dal presente programma per far notare ai giovani come alcuni concetti fondamentali delle matematiche moderne (quello di funzione in special modo) siano suggeriti dalle scienze di osservazione, e precisati poi dal matematico, abbiano a loro volta esercitato un benefico influsso sullo sviluppo di queste. Nello svolgere il programma deve però l'insegnante guardarsi da due opposti pericoli che renderebbero inefficace la sua opera; il pericolo di cadere in un grossolano empirismo e quello, non meno grave, di subire le lusinghe di un esagerato criticismo. Il metodo empirico nascondendo i legami che passano tra i fatti suggeriti dall'esperienza, e tacendo delle teorie che ad essi si riferiscono, toglierebbe alla matematica il valore educativo della mente e oscurerebbe il fascino che essa deve esercitare sopra quegli allievi nei quali le facoltà logiche prevalgono. D'altra parte un insegnamento ove penetrassero le sottigliezze della critica moderna riuscirebbe accessibile a pochi ed a questi stessi darebbe un'idea unilaterale, e quindi falsa, di ciò che è la scienza.⁵

Si tratta di un documento che, visto il limitato impatto che il Liceo moderno ebbe nella scuola secondaria, potrebbe essere derubricato a poco più di una curiosità, ma che invece offre una testimonianza dell'alto livello di riflessione critica e pedagogica raggiunto dalla parte più consapevole della comunità degli insegnanti di matematica.

4. La matematica nei licei tra Gentile ed Enriques

L'esigenza di una profonda riforma della scuola secondaria superiore, fallito il tentativo innovatore della stagione giolittiana, fu interpretata da nuove tendenze che si manifestarono all'indomani della conclusione della Prima Guerra Mondiale. Se la vicende di cui abbiamo parlato si collocano nell'orizzonte culturale del Positivismo, per quanto uomini come Vailati rappresentassero anche sul terreno più strettamente filosofico istanze diverse da quella cultura, i nuovi fermenti intorno alla scuola – raccogliendo

⁵ Ginnasio – Liceo Moderno. *Orario – Istruzioni – Programmi*, Bollettino Ufficiale del Ministero dell'Istruzione Pubblica, XL, 45, 30 ottobre 1913 in [10, pp.335-361].

uomini di origini culturali e politiche anche molto lontane – ebbero come prospettiva quella offerta dal neoidealismo italiano che aveva in Benedetto Croce e Giovanni Gentile i suoi riferimenti.

Proprio Gentile, che nell'ambito del suo sistema filosofico aveva elaborato una originale visione della pedagogia, all'indomani della grande guerra si fece promotore, insieme ai suoi collaboratori Giuseppe Lombardo Radice ed Ernesto Codignola, del *fascio di educazione nazionale*, che tra il 1919 e il 1920 raccolse molti esponenti della cultura italiana, sollecitando una profonda riforma della scuola. Maggiore serietà degli studi, abolizione del monopolio pubblico sulla scuola, superamento del modello pedagogico positivista a cui si imputavano nozionismo e meccanicismo, furono tra le proposte manifestate da questo movimento. Diventato Ministro della Pubblica Istruzione nell'ottobre del 1922 (I governo Mussolini), Gentile, che restò in carica solo per un anno e 8 mesi, riuscì a portare a termine una riforma organica della scuola che investì tutti gli aspetti del sistema d'istruzione, dalla struttura degli uffici centrali e periferici dell'amministrazione agli ordinamenti di tutti gli ordini e gradi della scuola.

Il sistema scolastico italiano, così come venne disegnato da Gentile, era caratterizzato da una rigida divisione tra istruzione liceale, tecnica e professionale, che realizzava una vera e propria gerarchia tra i percorsi di studio, a cui corrispondevano una diversa durata e una diversa possibilità di accesso alle facoltà universitarie.

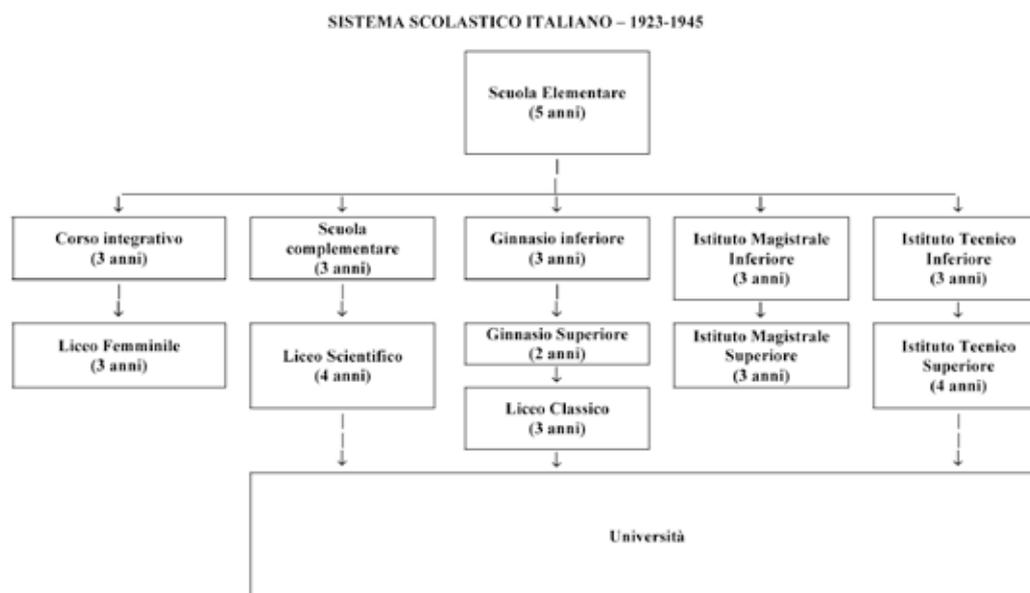


Figura 7.

Per molto tempo si è considerata la riforma Gentile come la definitiva affermazione, sul piano istituzionale, della lunga battaglia contro la cultura positivista ingaggiata dal neoidealismo italiano a partire dai primi anni del secolo e si è attribuito a quella riforma il ridimensionamento della cultura scientifica e la negazione, nella scuola, del valore

teoretico e formativo delle scienze. Ora, non c'è alcun dubbio che la scuola progettata da Gentile confinasse la matematica e le scienze in un ruolo subordinato alle discipline letterarie, storiche e filosofiche, ma bisogna anche riconoscere che, a dispetto dell'egemonia del positivismo nell'Italia a cavallo tra Ottocento e Novecento, nella scuola italiana queste discipline avevano sempre avuto un ruolo subordinato. La sezione fisico-matematica che costituiva, almeno formalmente, il percorso di studi a maggiore contenuto scientifico era comunque confinata nell'ambito dell'istruzione tecnica e subiva limitazioni di accesso all'università che furono poi le stesse stabilite per l'istituendo Liceo scientifico. Il Liceo moderno d'altronde – di cui abbiamo ricordato l'esistenza stentata – era stato comunque un percorso di studio di incerta caratterizzazione culturale, che prevedeva ancora, per esempio, un insegnamento del latino superiore, per ore settimanali, all'Italiano, alla matematica e alle lingue moderne.

Contro la riforma Gentile si mobilitò l'intera comunità scientifica italiana attraverso le sue istituzioni, le sue riviste e le sue associazioni, per quanto ciò fosse possibile in un contesto che volgeva già verso la svolta autoritaria. Il più autorevole e intransigente oppositore del disegno di riforma fu Volterra, il quale si espresse, in questo senso, in alcuni ripetuti interventi in Senato, e poi come Presidente dell'Accademia dei Lincei. Proprio nell'ambito dell'Accademia, Volterra promosse l'istituzione di una apposita commissione di studio, la quale, nel suo documento finale scritto da Castelnuovo, formulò una bocciatura senza riserva della riforma Gentile. Il documento giudicava inopportuno il proposito di cancellare la scuola nata dal Risorgimento, considerata in grado di sostenere il confronto con quelle degli altri paesi europei più avanzati. Nel documento della Commissione non si disconosceva l'esigenza di una maggiore serietà degli studi, ma si riteneva che essa avrebbe potuto essere realizzata senza una modifica radicale del sistema scolastico italiano.

Nella discussione intorno alla riforma Gentile, Federigo Enriques si trovò a svolgere un ruolo di primo piano nella comunità matematica. Abbiamo già accennato al ruolo di Enriques nell'ambito della scuola italiana di geometria algebrica, di cui era diventato, nei primi decenni del Novecento, l'esponente più noto. Qui giova ricordare che Enriques ebbe un ruolo molto importante anche nell'ambito della storia e della filosofia della scienza, come animatore della *Società Filosofica Italiana* e come fondatore della rivista *Scientia*. Nella veste di organizzatore del Congresso internazionale di filosofia di Bologna del 1911, egli fu il protagonista di una celebre polemica con Croce e Gentile che segnò la rottura tra la cultura scientifica e il nascente neo-idealismo. L'interesse di Enriques per la scuola si era già manifestato con la redazione di alcuni manuali di matematica per le scuole superiori, ma anche nella cura di un'opera collettiva, *Questioni riguardanti le matematiche elementari*, uscita in diverse edizioni dal 1912 al 1923, che costituì un importante riferimento nella formazione dei docenti della scuola secondaria, e alla quale lo stesso curatore contribuì con alcuni importanti articoli riguardanti la storia del pensiero matematico, la critica dei fondamenti, la didattica della geometria. Ma sarà a partire dal 1918 – anno in cui viene eletto Presidente della *Mathesis*, incari-

co che ricoprirà fino al 1932 – che il suo impegno per la scuola si fa più intenso. Una lettura illuminante delle posizioni di Enriques sull'insegnamento matematico è quella di un breve ma denso articolo, *Insegnamento dinamico*, apparso sul *Periodico di matematiche* nel 1921. Già dalla scelta del titolo si capisce che Enriques contesta un modo di insegnare la matematica che concepisce l'apprendimento come acquisizione passiva del sapere. Al contrario egli sostiene un insegnamento come:

aiuto a chi voglia imparare da sé e però sia disposto anziché a ricevere passivamente, a conquistare il sapere, come una scoperta o un prodotto del proprio spirito [8, p. 6].

Già da questo breve passo si può cogliere che Enriques non era estraneo a quel complesso di critiche che la pedagogia idealista muoveva alla scuola tradizionale e anche alle sue istanze attivistiche. Non stupisce quindi che Enriques, nell'opporci alla riforma, abbia mantenuto un atteggiamento diverso rispetto a quello di Volterra. Trovandosi, come Presidente della *Mathesis*, a dover rappresentare il dissenso della comunità degli insegnanti di matematica dalle scelte di Gentile, non contestò l'impianto complessivo della riforma o le esigenze a cui si ispirava. Anzi, in un articolo uscito su *Cultura fascista* nel 1927, quindi qualche anno dopo il momento più acuto del contrasto, Enriques riconosceva e condivideva l'intento di dar vita ad una «scuola formativa» e «non informativa», dove:

l'insegnante non è chiamato a modellare l'intelligenza dell'allievo secondo uno schema esteriore, bensì a svolgerne e suscitare le libere energie [9, p. 70].

Chiedeva però un'iniezione di cultura scientifica nella nuova scuola, perché si trattava di «conferire alle discipline matematiche e fisiche il posto che loro compete nella formazione umanistica».

Indicativa, in questo senso, è la posizione assunta da Enriques su uno dei provvedimenti più discussi della riforma Gentile: quello dell'accorpamento della matematica e della fisica. Nella decisione di abbinare questi, come altri insegnamenti quali storia e filosofia, scienze naturali, chimica e geografia, Gentile partiva dalla necessità di diminuire il numero degli insegnanti che operano con uno stesso alunno per scongiurare:

il pericolo e il danno del dissidio, della frammentarietà, e dello sparpagliamento incompsto e inorganico della cultura che era principio di devastazione spirituale nella vecchia scuola media, ad eccezione del ginnasio.⁶

Ma se la commissione dell'Accademia dei Lincei si era pronunciata contro l'accorpamento insistendo su una sorta di diversità 'costitutiva' del matematico e del fisico, Enriques, in qualità di Presidente della *Mathesis*, sottolineava piuttosto i rischi connessi all'impreparazione del corpo docente ad attuare quella decisione, senza contestarne, in linea di principio, l'opportunità. Del resto, dell'esigenza di una maggiore integrato-

⁶ Discorso pronunciato all'adunanza del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione il 15 novembre 1923.

ne tra l'insegnamento della matematica e della fisica si erano fatti interpreti proprio Castelnuovo ed Enriques, nel tentativo di introdurre nella matematica gli elementi della sperimentazione e di sottrarre l'insegnamento della fisica ai rischi di un *empirismo grossolano*.

Enriques si era fatto addirittura carico di questa esigenza di maggiore coordinamento anche da un punto di vista associativo, promuovendo l'allargamento agli insegnanti di fisica nella *Mathesis*, che dal 1922 assunse la denominazione di Società italiana di scienze matematiche e fisiche. Non si vuole qui affermare che l'esigenza di una maggiore integrazione tra i due insegnamenti manifestata da Enriques costituisse una premessa all'accorpamento disposto da Gentile. Quello che si vuole sottolineare, caso mai, è che alcune delle scelte della riforma Gentile avevano qualche consonanza con esigenze che si erano venute manifestando anche in ambienti che poi rimasero estranei se non avversari della riforma.

Per quanto riguarda le scelte operate sulla matematica negli orari e nei programmi, la riforma Gentile sancì lo scarso rilievo riconosciuto a questa disciplina nella scuola italiana, accentuandone ulteriormente la marginalità. Nella determinazione dei quadri orario di insegnamento, il tempo dedicato alla matematica resta assai modesto: nel Ginnasio-Liceo classico le ore settimanali sono portate, sull'intero arco dei cinque anni, a 12 (una in meno rispetto alla situazione precedente), mentre nel Liceo scientifico le ore complessive nei quattro anni sono 14 (le stesse del Liceo moderno, mentre erano 21 nella sezione fisico-matematica dell'Istituto tecnico, che pure aveva anch'essa una durata di quattro anni).

Ma la marginalità della matematica emerge ancora di più dalla lettura dei programmi ministeriali che sono espressi nei termini di programmi d'esame (esame di accesso alla prima classe liceale ed esame di maturità nel caso del Liceo classico). Nel caso del Liceo classico, alla tradizionale esiguità dei contenuti si accompagnava la cancellazione di ogni riferimento storico al ruolo del pensiero matematico nel mondo classico, rimozione che risponde a una precisa negazione, nella prospettiva gentiliana, della dimensione storica delle scienze. Nel Liceo scientifico poi, se vi fu qualche timida conferma delle scelte innovative fatte per il Liceo moderno dieci anni prima – introduzione del calcolo differenziale ma non di quello integrale –, essa avvenne nell'ambito di un programma comunque angusto e al quale non si voleva riconoscere un ruolo di formazione culturale, ma solo quello di acquisizione di quel tanto di nozioni tecniche che si ritenevano necessarie per affrontare i corsi di laurea scientifici o d'ingegneria. Uno sguardo alle *Avvertenze* rivolte all'esaminatore può offrire qualche ulteriore elemento di riflessione perché la rigida gerarchizzazione dei valori non risparmiava neppure, all'interno della matematica, la divisione tra algebra e geometria. Solo a quest'ultima si riconosceva un qualche valore formativo, che veniva identificato – a conferma di quella che è stata una vera costante della scuola italiana – con il fatto che essa rappresentava l'occasione per gli allievi di confrontarsi con la sua rigorosa sistemazione deduttiva. Per l'esame di maturità del Liceo classico, il programma è diviso in due parti: la parte A che

comprende l'algebra e la trigonometria, e la parte B che, eccezione fatta per il tema dei numeri reali, è costituita da argomenti geometrici. Le diverse caratteristiche e il diverso valore attribuito a queste 'parti' è subito chiaro, laddove si precisa che nella parte A:

sono raccolte principalmente le teorie in cui prevalgono gli aspetti algoritmici: cioè le teorie per le quali l'aver raggiunto una certa abilità nel valersi delle formule fondamentali è sufficiente garanzia di buona preparazione.

mentre nella parte B, «le teorie che meglio si prestano a saggiare la capacità del candidato a comprendere e far sua una rigorosa sistemazione deduttiva».⁷

Si tratta di una distinzione che peserà a lungo nella scuola italiana e di cui ancora oggi si manifestano gli effetti negativi. Non è un caso dunque se, nell'insegnamento della matematica, l'attenzione al rigore deduttivo si è sempre e solo concentrata sulla geometria, a scapito magari della sua importantissima dimensione intuitiva, lasciando che nell'aritmetica, nell'algebra e perfino nell'analisi non ci si curasse affatto di argomentare in modo adeguato le proprietà studiate. Più difficile è capire – semmai – se l'origine di questa scelta nefasta sia da individuare proprio nei programmi del 1923 o, al contrario, se quei programmi non finirono soltanto per sancire una tradizione già consolidata. Qualche sospetto è legittimo, pensando che, nei programmi Coppino del 1867, l'esigenza di una presentazione rigorosa delle proprietà matematiche era presente nel filone aritmetico-algebrico non meno che in quello geometrico, ma che poi, anche per le conseguenze e le difficoltà dell'operazione Euclide, tutta l'attenzione e il dibattito dei decenni successivi si erano concentrati sulla geometria. Un eccesso di attenzione che, probabilmente, poté lasciare campo libero a quella pratica di addestramento nella manipolazione di formule, che ancora oggi prevale, in molti casi, nell'ambito dell'insegnamento aritmetico e algebrico.

5. La matematica nella scuola della Repubblica

Nonostante i colpi portati alla riforma del 1923 già all'indomani dell'uscita di Gentile dal governo e dalla politica attiva, per opera dei ministri che si succedettero negli anni seguenti e che operarono la progressiva fascistizzazione della scuola italiana, l'architettura del sistema di istruzione e alcuni degli orientamenti culturali di fondo rimasero inalterati fino alla conclusione della Seconda Guerra Mondiale.

Nel 1944 una commissione nominata dalle autorità militari alleate formulò i programmi per i licei nei territori liberati, che successivamente, con circolare del ministro Arangio-Ruiz (III governo Bonomi), nel gennaio 1945, furono estesi a tutto il territorio nazionale. Si tratta dei programmi che, per la parte non ancora interessata al recente riordinamento dei licei (gli ultimi tre anni della scuola superiore), sono ancora in vigore. Questo semplice dato testimonia delle vicende della scuola secondaria superiore che, per oltre cinquant'anni, non ha conosciuto una vera riforma, ma solo interventi

⁷ *Approvazione degli orari e dei programmi per le Regie scuole medie* – R. D. 14 ottobre 1923 n. 2345, nella Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia, supplemento al n. 267 del 14 novembre 1923.

parziali che non hanno intaccato, per gli aspetti dell'ordinamento, la struttura definita nel 1923 e, per i contenuti culturali, quelli individuati dai programmi dell'immediato dopoguerra.

Nell'esaminare questi documenti, occorre fare una netta distinzione tra la premessa e le indicazioni di programma in senso stretto. La prima risente certamente della lezione di Castelnuovo e di Enriques, e non solo in senso figurato poiché, come testimonia Emma Castelnuovo [3], il pedagogo Carleton Washburne, incaricato dalle autorità militari alleate di collaborare con il governo italiano nella stesura dei nuovi programmi di studio, aveva frequentato i due matematici. Merita riprodurre questa premessa poiché essa costituisce, nella sua brevità, un documento importante e ancora attuale per molti aspetti sul senso da attribuire all'educazione matematica:

L'insegnamento della matematica ha speciale valore nella formazione e nel disciplinamento dell'intelletto. Ma occorre conciliare lo spirito d'indeterminatezza dei giovani con la proprietà, la sobrietà, la sintesi e la precisione che tale disciplina impone, senza però scoraggiarli, comprimendo la loro iniziativa. Anche qui dunque si condurranno ricerche collettive seguendosi il metodo delle approssimazioni successive, perché la consapevolezza delle parole, dei concetti, delle proprietà, dei ragionamenti si consegue, a poco a poco, per gradi insensibili. E conviene, per tenere sempre vivo l'interesse ai successivi sviluppi, dare largo posto all'intuizione, al senso comune, all'origine psicologica e storica delle teorie, alla realtà fisica, agli sviluppi che conducono ad affermazioni pratiche immediate, mettendo da parte le nozioni statiche e rigide, e quelle puramente logiche, ma che astraggono da ogni impulso intuitivo. Le suddette esigenze non possono essere conciliate certamente dalle definizioni statiche, ma dal fuso spontaneo di quelle dinamiche, più aderenti all'intuizione. Metodo dunque intuitivo-dinamico, in stretto contatto col processo storico, senza esclusivismo di vedute, perché solo così il patrimonio spirituale acquistato nella scuola media inferiore può essere veramente ripreso, evoluto e rafforzato nella scuola dell'ordine superiore.⁸

La lettura di questa poche righe ci può dare la misura della distanza tra le aspettative che si nutrivano, alla fine della guerra intorno ad un profondo rinnovamento della scuola italiana e ad una sua democratizzazione e la realtà concreta del sistema scolastico nei decenni successivi. Solo che, in questo caso, non possiamo imputare il grave ritardo nell'attuazione di questo disegno profondamente innovativo alla consueta inerzia conservatrice della scuola italiana, ma anche ai contenuti prescrittivi di quei programmi che, negando lo spirito della premessa, sono caratterizzati da scelte scontate, prive di qualunque riflessione di ordine metodologico. Un elenco incolore di contenuti, senza neppure un ordine sensato.

Nel Liceo classico, che non conosce altro che l'algebra e la geometria elementari – niente metodo delle coordinate, per dire –, l'ultimo anno è praticamente dedicato alla sola trigonometria. Una scelta, quest'ultima, che finisce per sottolineare il carattere esclusivamente tecnico assegnato all'insegnamento matematico e negarne qualunque

⁸ Questa e la citazione che segue sono tratte dalla Circolare Ministeriale 2 gennaio 1945, n.155 (Arangio Ruiz).

possibilità formativa. Nel programma del Liceo scientifico, che nel frattempo è diventato quinquennale, il taglio è lo stesso. Anche qui la geometria analitica non è neppure citata. Compare il calcolo combinatorio, ma quasi fine a se stesso e collocato in una posizione, quella dell'ultimo anno, di cui non si capisce il senso. E nell'ultima riga di questo stringato elenco, un'indicazione che lascia il segno: «nelle ultime quattro classi, applicazioni dell'algebra alla geometria di 1° e 2° grado con relativa discussione». Ecco il vero motivo conduttore dell'insegnamento matematico nel Liceo scientifico per molti decenni, che è quanto di più lontano si potesse immaginare dalle indicazioni contenute nella premessa. Contro questa scelta e le sue nefaste conseguenze si levò la voce di Bruno De Finetti, figura originale ed eterodossa del mondo matematico italiano, studioso di probabilità, impegnato sul fronte della scuola e dell'insegnamento matematico, anche come Presidente della *Mathesis* (1970-1981). In un celebre articolo pubblicato nel 1965 sul *Periodico di Matematiche*, dal titolo emblematico *Come liberare l'Italia dal morbo della trinomite?*, De Finetti denunciò l'insegnamento tradizionale della matematica nel Liceo scientifico condizionato dalla prova scritta dell'esame di licenza che:

da tempo memorabile (almeno da decenni) [...] ripete con qualche variante sempre lo stesso problema stereotipato (equazione di 2° grado, o “trinomia” con parametro: da ciò il termine di “trinomite” per indicare l'eccessiva insistenza su questo solo particolare argomento): problema che ha soprattutto la disgrazia di poter essere ridotto a uno schema macchinale, formale, pedestre, che va sotto il nome di un certo Tartinville [6, p.325].

Il morbo individuato da De Finetti, ha continuato ad appestare il liceo scientifico fino agli anni Ottanta, riducendo l'insegnamento della matematica, soprattutto nel triennio, a un vuoto e ripetitivo addestramento.

Se ora diamo uno sguardo ai quadri orario del Liceo classico e del Liceo scientifico, che subirono qualche ritocco nel 1952 e che poi sono rimasti immutati fino ai giorni nostri, possiamo constatare che, nel primo, la matematica dovette subire un'ulteriore contrazione di un'ora rispetto alla riforma Gentile e la fisica, che nei quadri orari del 1923 era articolata sui tre anni del Liceo, venne concentrata negli ultimi due anni. Nel secondo invece la matematica fu incrementata di 4 ore, anche in considerazione di un anno in più di corso, mentre le ore di fisica restarono le stesse.

Di tutto il sistema italiano di istruzione, la scuola secondaria non ha conosciuto né una riforma degli ordinamenti né interventi sistematici sui programmi di insegnamento, a differenza di quanto è avvenuto nella scuola elementare (programmi Ermini del 1955, e nuovi programmi del 1985), e per la scuola media inferiore (unica dal 1962, e con riforma dei programmi nel 1979). L'elenco dei tentativi di riforma della scuola secondaria è molto lungo, a cominciare dal progetto Gonella del 1952 fino ai progetti degli anni Settanta e Ottanta, che non vennero mai approvati in via definitiva da entrambe le camere. Nella scuola secondaria è stata proprio l'istruzione liceale a rappresentare il baluardo della conservazione, a differenza di quanto è accaduto per l'istruzione tecnica (programmi del 1961 e nuovi programmi del 1995) o per l'istru-

zione professionale (1992). A questo sostanziale immobilismo della scuola secondaria e soprattutto dei licei, si contrappone la vivacità del dibattito nazionale e internazionale intorno all'insegnamento matematico, che proprio in quei decenni si tradusse in una lunga stagione di iniziative di ricerca e di progetti didattici.

Dalla fine degli anni Cinquanta si sviluppò il movimento della cosiddetta "Matematica Moderna". Non è facile ricostruire, in poche battute, quali furono le vicende di questo movimento internazionale che ebbe un ruolo decisivo nel modificare, nel bene ma anche con alcuni eccessi, la visione dell'insegnamento matematico. In modo molto sommario possiamo dire che *matematica moderna* fu originata dall'incontro tra l'esperienza *bourbakista* in matematica e la scuola pedagogica di Jean Piaget. Nicolas Bourbaki è lo pseudonimo sotto il quale, a partire dalla metà degli anni Trenta, si era celato un gruppo di giovani e brillanti matematici francesi, i quali si erano proposti di realizzare un profondo rinnovamento della matematica attraverso una sua riorganizzazione intorno a quelle che erano state identificate come le *strutture madri* (algebriche, topologiche, d'ordine). Il concetto di *struttura* era centrale anche nella pedagogia di Piaget, il quale aveva inoltre riconosciuto una corrispondenza tra le strutture psicologiche della mente che il bambino attiva nel processo di apprendimento, e le strutture madri identificate dai bourbakisti per la matematica.

L'atto di nascita di *matematica moderna* è costituito da un convegno internazionale promosso dall'OCSE a Royaumont nel 1959, nel corso del quale Jean Dieudonné, membro del circolo Bourbaki dalla sua fondazione, pronunciò un intervento rimasto famoso, nel bene e nel male, *A bas Euclide!*, nel quale sosteneva l'abbandono dello studio della geometria tradizionale in favore dell'impiego dell'algebra lineare anche ai livelli più elementari della scuola. Nel convegno a Dubrovnik dell'anno seguente, il movimento lanciò il suo manifesto, *Un programme moderne des mathématiques pour l'enseignement secondaire*, nel quale, a partire dalla richiesta di un radicale aggiornamento della matematica nella scuola secondaria, si proponeva un insegnamento dell'algebra fondato sulla teoria degli insiemi e sulla nozione di struttura algebrica, uno studio della geometria condotto a partire dai gruppi di trasformazioni (geometria metrica, geometria affine e geometria proiettiva), ecc. Le indicazioni sostenute dal progetto di *matematica moderna*, trovarono in Italia, una declinazione particolare. Tra i delegati italiani di questi convegni internazionali troviamo Emma Castelnuovo, figlia di Guido, che darà vita a una delle più importanti esperienze di rinnovamento della didattica matematica della scuola media, e Luigi Campedelli, uno degli ultimi allievi di Enriques.

De Finetti, che pure fu una figura centrale dello sforzo di rinnovamento della didattica matematica nella scuola e nell'università in quegli stessi anni per denunciare gli eccessi insiti nell'impostazione assiomatica sostenuta dai bourbakisti e, in certa misura, presente nel progetto di *matematica moderna*, aveva coniato uno dei suoi geniali neologismi, invitando gli insegnanti a guardarsi dai rischi dell'*assiomatica*! In generale la lettura italiana delle indicazioni emerse nel dibattito internazionale rifiutò le forzature e gli eccessi nel ricorso all'astrazione, sostenendo un metodo sperimentale volto a fa-

vorire la scoperta autonoma da parte degli allievi, con una attenzione alla dimensione intuitiva e al legame con le esperienze concrete, riallacciandosi dunque all'impostazione di Vailati e di Enriques ed entrando in maggiore sintonia con tendenze diverse del movimento riformatore, come quella rappresentata dal grande matematico di origine ungherese George Polya,⁹ fautore di un insegnamento della matematica 'per problemi'.

A parte qualche timido esperimento, come la creazione di alcune classi pilota per una sperimentazione dei programmi di *matematica moderna*, avvenuta nel 1961, il dibattito intorno alla riforma dell'insegnamento matematico nella scuola secondaria superiore non trovò nessun riscontro nelle scelte istituzionali. Nel 1966 e 1967 una commissione promossa dall'Unione Matematica Italiana e dalla CIIM, di cui fecero parte, accanto a De Finetti, alcuni dei matematici che avrebbero svolto un ruolo di primo piano nei decenni successivi, tra i quali Giovanni Prodi e Vinicio Villani, formulò una proposta di nuovi programmi per la matematica nella scuola secondaria superiore.

I documenti conclusivi della commissione, noti come Programmi di Frascati, costituirono il punto di partenza per una stagione di iniziative di ricerca e di sperimentazione didattica. In quegli anni infatti, all'immobilismo politico e al non governo della scuola, una parte della comunità degli insegnanti di matematica, reagì, promuovendo dei tentativi di cambiamento dal basso. Tra queste esperienze si può citare quella coordinata da Giovanni Prodi, che vide la collaborazione, per allora inedita, tra l'UMI, il CNR e alcune Università, e favorì la nascita di numerosi 'nuclei di ricerca didattica' nei quali collaborarono docenti universitari e insegnanti della scuola secondaria. Il lavoro di sperimentazione condotto nell'ambito di questo progetto consentì di realizzare un libro di testo, *Matematica come scoperta* (1977), che ha avuto un ruolo importante nella diffusione di metodi didattici innovativi.

Tra la fine degli anni Settanta e i primi anni Ottanta furono pubblicati altri importanti libri di testo per la scuola secondaria, frutto di questa collaborazione e sperimentazione che aveva coinvolto docenti dell'università e della scuola, tra i quali meritano di essere citati quelli di Lucio Lombardo Radice e Lisa Mancini Proia, *Il metodo matematico* (1977), di Francesco Speranza e Alba Rossi Dell'Acqua, *Il linguaggio della matematica* (1979), di Walter Maraschini e Mauro Palma, *Problemi e modelli della matematica* (1981), e di Vinicio Villani e Bruno Spotorno, *Matematica: idee e metodi* (1982). Libri diversi ma ugualmente impegnati sul terreno dell'aggiornamento culturale e metodologico dell'insegnamento matematico, con una comune attenzione all'insegnamento per problemi, alla geometria con le trasformazioni, alla probabilità che addirittura nel caso

9 George Polya fu autore di due importanti saggi che lanciarono il suo progetto di insegnamento *per problemi*: *How to solve it* (1945) e *Mathematical Discovery* (1962). Per farsi un'idea della vivacità del dibattito intorno all'insegnamento della matematica negli anni Sessanta e Settanta, e della presenza nel movimento riformatore di tendenze contrastanti, basta dare uno sguardo al catalogo della collana *Strumenti per una nuova scuola* di Feltrinelli Editore, nel quale, accanto alla traduzione italiana della seconda delle opere citate di Polya (*La scoperta matematica*) compaiono anche testi di Dieudonné, Choquet, Papy, Dienes.

di un libro come *Matematica come scoperta* costituisce una sorta di filo rosso dell'intero percorso proposto.

Nel 1988 il Ministro Galloni istituì una commissione ministeriale, presieduta dal sottosegretario alla Pubblica Istruzione, Beniamino Brocca, con il compito di rivedere i programmi del biennio della scuola superiore, in vista di un innalzamento dell'obbligo scolastico. La commissione lavorò a più riprese, terminando i suoi lavori nel 1992 e proponendo una revisione dei programmi per l'intero quinquennio della scuola secondaria superiore. Della commissione fece parte Giovanni Prodi, mentre del gruppo disciplinare che si occupò specificamente di matematica fecero parte, oltre allo stesso Prodi, anche Vinicio Villani, Mauro Palma, Michele Pellerey. Il progetto elaborato dalla commissione, non si tradusse – così come avrebbe dovuto – in una riforma della scuola secondaria superiore, ma dette vita ad alcune sperimentazioni e, nel caso della matematica, costituì il riferimento del *Piano Nazionale Informatica* (PNI), che ebbe una larga diffusione nella scuola italiana, e in particolare nei licei classico e scientifico. Nello stesso tempo, le indicazioni e i programmi della commissione Brocca, costituirono il riferimento anche per alcune sperimentazioni nell'istruzione tecnica e professionale che, nel corso degli anni Novanta, furono poi recepite dall'ordinamento.

Se guardiamo a questi documenti come all'approdo di un lungo processo che aveva avuto inizio negli anni Sessanta e che abbiamo cercato sommariamente di descrivere, non possiamo non notare alcuni elementi importanti che derivano direttamente da quelle lontane esigenze di aggiornamento culturale, con una cresciuta attenzione alle questioni metodologiche, alla congruenza tra gli argomenti proposti e le esperienze culturali maturate dagli studenti di quella fascia di età. Perfino la visione della matematica, a partire dalla quale impostare il progetto di insegnamento, si è fatta più ricca e problematica, di quella ancora troppo condizionata dal Bourbakismo che metteva l'accento quasi esclusivamente sulle strutture e su una prospettiva tutta interna alla disciplina. Così, nei riferimenti generali, si legge:

La matematica, parte rilevante del pensiero umano ed elemento motore dello stesso pensiero filosofico, ha in ogni tempo operato su due fronti: da una parte si è rivolta a risolvere problemi ed a rispondere ai grandi interrogativi che via via l'uomo si poneva sul significato della realtà che lo circonda; dall'altra, sviluppandosi autonomamente, ha posto affascinanti interrogativi sulla portata, il significato e la consistenza delle sue stesse costruzioni culturali.

Oggi queste due attività si sono ancor più accentuate e caratterizzate.

La prima per la maggiore capacità di interpretazione e di previsione che la matematica ha acquistato nei riguardi dei fenomeni non solo naturali, ma anche economici e della vita sociale in genere, e che l'ha portata ad accogliere e a valorizzare, accanto ai tradizionali processi deduttivi, anche i processi induttivi. La seconda per lo sviluppo del processo di formalizzazione che ha trovato nella logica e nell'informatica un riscontro significativo.

Sono due spinte divergenti, ma che determinano, con il loro mutuo influenzarsi, il progresso del pensiero matematico [1, p. 105].

E nelle *Indicazioni didattiche* leggiamo:

Non ci si può illudere di poter partire dalla disciplina già confezionata, cioè da teorie e da concetti già elaborati e scritti, senza prendersi cura dei processi costruttivi che li riguardano. È invece importante partire da situazioni didattiche che favoriscano l'insorgere di problemi matematizzabili, la pratica di procedimenti euristici per risolverli, la genesi dei concetti e delle teorie, l'approccio a sistemi assiomatici e formali. Le fonti naturali di queste situazioni sono il mondo reale, la stessa matematica e tutte le altre scienze. Ciò lascia intravedere possibili momenti di pratica interdisciplinare, prima nella scoperta e nella caratterizzazione delle diverse discipline in base al loro oggetto e al loro metodo, poi nel loro uso convergente nel momento conoscitivo.

Dei processi di matematizzazione esistono modelli storici esemplari in grado di illustrarne anche le intrinseche difficoltà: si pensi alla matematizzazione pre-euclidea in ambito geometrico e al suo difficile rigoroso approdo euclideo-hilbertiano, al sistema formale dell'aritmetica, delle teorie riguardanti i numeri reali, alla logica, alla probabilità ecc.. In tal senso proprio la riflessione sul ruolo dei modelli e del linguaggio matematico in fisica e nei sistemi complessi della biologia e della sociologia fa cogliere la portata di questo riferimento anche per la didattica della matematica.

Il problema didattico centrale che si pone al docente nell'attuazione dei programmi risiede nella scelta di situazioni particolarmente idonee a far insorgere in modo naturale congetture, ipotesi, problemi. Per una pratica didattica così finalizzata, offrono prioritaria ispirazione i risultati delle ricerche in campo storico-epistemologico, in quello psico-pedagogico, nonché in quello metodologico-didattico [1, pp. 260-261].

Non abbiamo qui lo spazio per condurre in dettaglio un esame delle proposte della commissione Brocca, ma nelle righe che ho riportato mi sembra si possa cogliere il punto d'approdo di un lungo travaglio che ha visto impegnati, nell'arco di più di un secolo, figure importanti non solo per la matematica e il suo insegnamento, ma anche, e più in generale, per la cultura italiana, nel tentativo di tradurre in scelte concrete e praticabili, le esigenze di aggiornamento culturale della matematica e di continuo rinnovamento delle pratiche didattiche. La qualità di questa ricerca mette ancora di più in evidenza le responsabilità di un sistema politico che non fu in grado di tradurre queste importanti acquisizioni culturali e pedagogiche, nella matematica come nelle altre aree disciplinari, in una effettiva riforma della scuola secondaria.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Brocca, B. (a cura di), *Piani di studio della scuola secondaria superiore e programmi dei primi due anni*, Le Monnier, Firenze 1991.
- [2] Brocca, B. (a cura di), *Piani di studio della scuola secondaria superiore e programmi dei trienni*, Le Monnier, Firenze 1992.
- [3] Castelnuovo, E., Federigo Enriques e Guido Castelnuovo, *Bollettino dell'U.M.I.*, sezione A, (7) 11-A, 1997.
- [4] Castelnuovo, G., Il valore didattico della matematica e della fisica, *Rivista di Scienza*, I, 1907.
- [5] Castelnuovo, G., Sui lavori della Commissione Internazionale pel Congresso di Cambridge. Relazione del prof. G. Castelnuovo della R. Università di Roma, *Atti del II Congresso della Mathesis, Società italiana di matematica*, Premiata Società Cooperativa Tipografica, Padova 1909.
- [6] De Finetti, B., Come liberare l'Italia dal morbo della trinomite?, *Periodico di matematiche*, s. IV, 4, 1965.
- [7] D'Amico, N., *Storia e storie della scuola italiana*, Zanichelli, Bologna 2010.
- [8] Enriques, F., Insegnamento dinamico, *Periodico di matematiche*, s. IV, 1, 1921.
- [9] Enriques, F., La riforma Gentile e l'insegnamento della Matematica e della Fisica nella Scuola Media, *Cultura fascista*, 8, 1927.
- [10] Giacardi, L. (a cura di), *Da Casati a Gentile. Momenti di storia dell'insegnamento secondario della matematica in Italia*, Lumières Internationales, Lugano 2006.
- [11] Giacardi, L., L'insegnamento della matematica in Italia dall'Unità all'avvento del Fascismo, *Periodico di matematiche*, s. IV, 1, 1921.
- [12] Guerraggio, A., Nastasi, P., *Gentile e i matematici italiani*, Bollati Boringhieri, Torino 1993.
- [13] Guerraggio, A., Paoloni, G., *Vito Volterra*, Franco Muzzio, Roma 2008.
- [14] Klein, F., La mia vita, P. Nastasi (a cura di), *PRISTEM/Storia, Note di Matematica, Storia e Cultura*, 3-4, Springer-Verlag Italia, Milano 2000.
- [15] Pompeo Faracovi, O., Enriques, Gentile e la matematica, *Periodico di matematiche*, s. IV, 1, 1921.
- [16] Vailati, G., *Scritti, a cura di M. Quaranta*, III volume, Forni, Bologna 1987.
- [17] Vita, V., *I programmi di matematica per le scuole secondarie dall'Unità d'Italia al 1986*, Pitagora, Bologna 1986.

*Inquinamento luminoso.
Progetti e prospettive di lavoro:
facciamo rete*

INTRODUZIONE

ANNA ROSELLI

Direttore del Museo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno

Il Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, nei suoi lunghi anni di attività e di presenza sul territorio, si è sempre più consolidato come un importante polo di riferimento per le realtà territoriali, e adesso anche extra-territoriali, per il sostegno, il coordinamento e la promozione di iniziative volte a promuovere la salvaguardia del patrimonio naturalistico e ambientale, favorire lo sviluppo sostenibile e incoraggiare comportamenti individuali e sociali improntati al rispetto della natura.

Oggi il Museo di Storia Naturale del Mediterraneo può essere definito in più modi: come un centro di ricerca capace di fornire indirizzi utili all'elaborazione di programmi per la salvaguardia e la conservazione del patrimonio naturale, un centro di cultura scientifica indirizzato alla formazione di una coscienza naturalistica, una struttura culturale aperta all'operatività e all'attività di gruppi di studio spontanei, un polo di aggregazione culturale per la comunità, un centro di attività didattica per le scuole. Un vero fiore all'occhiello per la città di Livorno.

Eventi come quello che si è svolto presso l'Auditorium del Museo di Storia Naturale l'8 novembre 2011 nell'ambito di Pianeta Galileo, sono momenti importanti di divulgazione ma anche di dibattito su un tema, quello dell'inquinamento luminoso, che è poco conosciuto ma di cui sentiamo parlare sempre più spesso.

L'evento dell'8 novembre fa seguito alla mattinata del 26 marzo 2011 e alle attività divulgative che ne sono scaturite. In tale mattinata infatti si è svolto il primo Convegno sull'inquinamento luminoso a Livorno, presso la stessa struttura museale, durante il quale si è concretizzato l'impegno della Provincia di Livorno, con il suo Museo, sul fronte della lotta a questo tipo di inquinamento, e sono state intessute varie relazioni con altri enti presenti sul territorio che già da tempo si occupano del tema.

Il convegno dell'8 novembre ha visto la partecipazione di vari esperti del settore, che hanno ben illustrato le politiche energetiche della Regione Toscana, i passi fatti o da fare in merito a eventuali miglioramenti delle relative normative in vigore nella nostra Regione e una proposta di rete per il monitoraggio, onde migliorare i controlli sul territorio e segnalare le eventuali trasgressioni.

Lottare contro l'inquinamento luminoso non vuol dire solo spengere le luci, ma illuminare meglio e più consapevolmente, risparmiando energia e di conseguenza denaro pubblico.

In questo senso sono stati presentati a settembre i nuovi progetti per la scuola (POF 2011-2012) del CEA (Centro di Educazione Ambientale) del Museo di Storia

Naturale, che quest'anno comprenderanno ben tre percorsi dedicati esclusivamente all'inquinamento luminoso e alla ricerca sul territorio, riservati alle scuole di ogni ordine e grado.

PROGETTO PER UNA *CITIZEN SCIENCE*

FRANCESCA MANENTI

*Responsabile della Sezione Astronomica e Planetario
Museo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno*

La Sezione Astronomica del Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, insieme alle associazioni livornesi di vocazione astronomica quali la SAIt (Società Astronomica Italiana, sezione di Livorno) e l'ALSA (Associazione Livornese Scienze Astronomiche), che collaborano ormai da anni con il Museo, hanno affermato il loro impegno sul fronte della lotta all'inquinamento luminoso dal 26 marzo 2011, giorno in cui, presso il Museo, si è svolto il primo convegno sul tema a Livorno, dal titolo *Inquinamento Luminoso: salute, risparmio e sicurezza*.

Dal 26 marzo si sono susseguite tutta una serie di iniziative che hanno coinvolto cittadini e scuole per sensibilizzare il pubblico su questo tema, sulle sue possibili implicazioni, sull'importanza di una ricerca nel territorio in merito all'illuminazione e al suo spreco e per veicolare così la possibilità di una *Citizen Science* attiva, a cui chiunque, volenteroso, può partecipare per il suo bene personale e per il bene della comunità e dell'ambiente in cui viviamo.

L'inquinamento luminoso, come ha ben sottolineato Roberto Buonanno – docente presso l'Università di Tor Vergata (Roma) e attuale Presidente della Società Astronomica Italiana – in un suo intervento a un analogo convegno a Roma, «è un fenomeno reversibile»: una peculiarità che molti, per non dire tutti, gli altri inquinamenti non hanno.

La giornata dell'8 novembre, rivolta a un pubblico di esperti – astronomi, astrofili, responsabili di categoria (illuminotecnici, ingegneri, aziende, enti) – ha voluto essere un'altra tappa fondamentale nel percorso intrapreso, che ha visto riuniti attorno a un unico tavolo i vari *stake holders* a livello toscano, e nella quale sono state poste le basi per una rete regionale di monitoraggio e tutela contro l'inquinamento luminoso.

**IN CHE MODO LA REGIONE TOSCANA
HA CERCATO DI AFFRONTARE E RISOLVERE
IL PROBLEMA DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO**

RITA MONTAGNI

Funzionario del settore energia e P.O. per la tutela dall'inquinamento luminoso, Regione Toscana

Le previsioni del PIER (Piano d'Indirizzo Energetico Regionale) sono allineate a quelle europee, le quali prevedono il raggiungimento al 2020 di tre obiettivi:

- ridurre le emissioni di gas serra del 20%;
- migliorare l'efficienza energetica del 20%;
- incrementare fino al 20% la percentuale di produzione di energia da rinnovabili.

Per raggiungere questi obiettivi occorre:

- migliorare il rendimento energetico degli edifici civili e degli impianti;
- favorire il risparmio energetico negli impianti di pubblica illuminazione e fissare parametri di tutela dell'inquinamento luminoso;
- cercare una qualità diversa della luce e valutare il suo impatto sull'ambiente.

È possibile illuminare correttamente e favorire al contempo:

- la realizzazione di impianti che non disperdano luce verso l'alto;
- la scelta dei migliori sistemi per ridurre i consumi energetici;
- il mantenimento e la salvaguardia del cielo notturno in linea con le indicazioni internazionali in materia approvate dalla Unione Astronomica Internazionale (I.A.U.).

Si dovranno orientare e promuovere azioni finalizzate a:

- ridurre i consumi energetici, nonché i livelli di razionalizzazione di efficienza energetica degli impianti di illuminazione esterna, pubblici e privati;
- ridurre l'inquinamento luminoso sul territorio regionale e, conseguentemente, salvaguardare gli equilibri ecologici, sia all'interno che all'esterno dei parchi e delle aree naturali protette;
- proteggere le stazioni astronomiche, in quanto patrimonio regionale, per tutelarne le attività di ricerca scientifica e divulgativa;

- valorizzare, fatti salvi il diritto all'energia e il diritto all'illuminazione, le "zone buie", cioè le aree del territorio regionale che mostrano attualmente bassi livelli di inquinamento luminoso, esaltandone il valore culturale e ambientale in rapporto anche al turismo di qualità.

Per favorire le azioni necessarie occorre pertanto:

- sostenere gli interventi dei Comuni rivolti a rinnovare il proprio sistema di pubblica illuminazione;
- promuovere l'attività delle E.S.Co. (Energy Service COmpany);
- incentivare interventi di riduzione delle inefficienze energetiche;
- aggiornare periodicamente gli elenchi degli osservatori nonché le zone di protezione intorno a essi;
- prevedere, su richiesta degli Enti gestori di parchi e riserve naturali, anche per le aree naturali protette, zone di rispetto come per i siti astronomici;
- tutelare le aree caratterizzate già da flussi luminosi in quanto aree con naturale vocazione turistica;
- promuovere adeguate iniziative di comunicazione sul territorio.

INQUINAMENTO LUMINOSO: ILLUMINOTECNICA ECO-COMPATIBILE PER ESTERNI

PAOLO PESCATORI

Referente Cielobuio

Cielobuio, Coordinamento nazionale per la tutela del cielo notturno, nasce nel 1998 per proporre soluzioni al problema dell'inquinamento luminoso, studiando e proponendo standard normativi progettuali eco-compatibili ed eco-sostenibili. Ha sin da allora proposto numerose leggi regionali (poi approvate) e relativi regolamenti di attuazione e delibere. Negli ultimi anni Cielobuio ha allargato la sua collaborazione con organismi di livello internazionale aventi finalità di riduzione dell'inquinamento luminoso e recupero dei valori culturali e ambientali originari – in particolare, del cielo stellato – e ha organizzato numerosi convegni, corsi, master, rivolti a professionisti, personale delle PP.AA., con relativi patrocinii di Ordini e Collegi professionali, Province, Comuni e Regioni italiane in più iniziative.

Viene definito *inquinamento luminoso* «ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare modo, se orientata al di sopra della linea dell'orizzonte». La definizione quindi si estende a ogni alterazione, dovuta alla presenza della luce artificiale, dello stato naturale notturno (in ambienti naturali e in ambiente urbano) del cielo stellato dotato di luce propria). Il fenomeno si è aggravato nell'ultimo trentennio a causa dell'aumento dell'efficienza delle sorgenti di luce e dell'esponenziale aumento di nuove installazioni.

La propagazione della luce al di sopra della linea dell'orizzonte risulta evidente nello strato più denso dell'atmosfera terrestre: ogni sorgente può indirizzare il flusso di luce prodotto sino a circa dieci km sopra ad esso e per centinaia di chilometri ad angoli più bassi. Le immagini satellitari sono la dimostrazione pratica di questa teoria fisica e matematica della propagazione della luce nell'atmosfera, dove la luce delle città è chiaramente visibile dai satelliti stessi. Sono purtroppo i flussi luminosi ad angoli poco più elevati della linea dell'orizzonte – quindi bassi – a propagarsi più diffusamente e in lontananza e quindi a provocare il maggiore inquinamento luminoso.

Le conseguenze sono gravi. Molto sinteticamente, si possono elencare come segue:

- limitazioni alla ricerca scientifica professionale e non professionale;
- spreco energetico e contributo all'emissione di sostanze climalteranti;
- luce 'intrusiva' nelle abitazioni con conseguenze sulla salute umana (altera-

zioni ritmi circadiani, soppressione della produzione naturale di melatonina, stress ecc);

- scarsa sicurezza stradale per fenomeni di abbagliamento, alterazione degli habitat naturali e comportamenti abituali della fauna (nidificazione, alimentazione, migrazione, ecc).

La soluzione alle esigenze della vita moderna di illuminare le nostre città e le strade, in equilibrio tra il diritto e necessità all'illuminazione e le crescenti esigenze di tutela ambientale e scientifica, si riassume nei cinque criteri minimi per una legge ecocompatibile, da applicarsi contemporaneamente ogni qualvolta possibile:

- indirizzare la luce dove serve e mai oltre la linea dell'orizzonte;
- illuminare quanto serve e, per evitare inutili sprechi, non oltre i valori di sicurezza stradale;
- scegliere sorgenti luminose ad alta efficienza la cui luce possieda qualità compatibili con l'ambiente;
- ridurre i flussi luminosi o spegnere gli impianti, a seconda del contesto, durante le ore di tarda notte;
- ottimizzare gli impianti scegliendo corpi illuminanti ad alto rendimento e massimizzando le interdistanze tra essi, riducendo così il numero complessivo di installazioni a quanto strettamente necessario.

Evitare di indirizzare la luce oltre la linea dell'orizzonte, quindi tutta verso il basso senza sprechi verso il cielo stellato o all'interno di edifici privati, è una regola fondamentale e applicabile in generale in tutti i contesti funzionali: stradale, sportivo, industriale, residenziale e in molti casi anche monumentale. Questo parametro è considerato irrinunciabile anche dal progetto Starlight Initiative, promosso da Unesco in tutto il mondo.

Un aspetto non meno importante è la caratteristica delle sorgenti luminose. Circa 130 anni fa, l'invenzione della prima lampadina da parte di Edison ha aperto la strada verso l'illuminazione delle nostre città e da allora si è pensato a come migliorare la qualità dell'illuminazione, anche in ambiti esterni. La recente presentazione dei led a luce fredda sta però comportando seri problemi ambientali e rischi per la salute, in quanto le caratteristiche spettrali della luce fredda emessa e le caratteristiche fisiche di dette sorgenti aggravano i problemi precedentemente citati e ne aggiungono ulteriori. Sarà necessario considerare la limitazione nell'uso di sorgenti a luce fredda, prediligendo la luce calda sino al bianco neutro; e ciò è possibile ponendo limiti alle emissioni più dannose per l'uomo e per l'ambiente, nonché di maggior ostacolo alla ricerca astronomica.

Infine, una seria e attenta progettazione e installazione dei corpi illuminanti offre l'opportunità di reali risparmi energetici ed economici, che sono prioritari considerata la profonda crisi energetica che il pianeta sta affrontando: la prima fonte di energia è

il taglio agli sprechi. Diversi Comuni in Italia sono capofila di questi risultati integrali di risparmio energetico e abbattimento dell'inquinamento luminoso sul territorio, attraverso la realizzazione, in proprio o tramite società specializzate in Energy Saving, dell'ammodernamento dei propri impianti.

IL RUOLO DEL CAAT NELLA LOTTA ALL'INQUINAMENTO LUMINOSO IN TOSCANA

ALESSANDRO ROSSELLI

Coordinatore CAAT

Il tema della lotta all'inquinamento luminoso è presente da anni negli interessi e nelle azioni delle associazioni di astrofili della Toscana; in alcuni casi, in passato, gruppi di astrofili, spinti dalla consapevolezza della necessità di una azione più incisiva sul territorio di propria competenza, hanno dato vita a collaborazioni istituzionali di alto livello, fino ad avere un ruolo riconosciuto come non marginale nella redazione della legge regionale 37/2000 (successivamente abrogata e sostituita dalla legge regionale 39/2005).

Gli strumenti forniti dalla vigente legislazione regionale toscana alla lotta all'inquinamento luminoso – in mancanza di una norma di riferimento a livello nazionale – naturalmente consentono a chiunque di esprimere il proprio dissenso verso interventi giudicati dannosi per il cielo notturno, quale libera espressione di cittadinanza consapevole, ma è ancora lontano da raggiungere l'obiettivo di un efficace controllo dello stato di inquinamento e il riconoscimento dell'eventuale danno ambientale.

Stando così le cose, appare opportuno che soggetti e organismi appartenenti alla società civile (OSC) predispongano azioni concertate e coordinate orientate alla lotta all'inquinamento luminoso, allo scopo di raggiungere quella 'massa critica' necessaria a riattivare l'interesse delle istituzioni verso questa tematica.

Coerentemente con questa linea di pensiero, il CAAT (Coordinamento delle Associazioni Astrofile della Toscana) esprime un chiaro interesse circa la possibilità di creare una rete stabile di OSC e *stakeholder* allo scopo di potenziare le azioni di comunicazione sociale, controllo territoriale e supporto educativo in tema di Inquinamento Luminoso (IL) in Toscana.

L'obiettivo generale è quello di consentire agli astrofili e ai cittadini di agire con maggiore energia, efficienza e capillarità nella lotta all'IL, lungo tre canali differenti.

- *Canale comunicazione:* occorrerà dare vita a una piattaforma comune sul modello di *VenetoStellato*, sulla quale far convergere le informazioni su tutto quanto viene fatto in seno alla rete, che, per semplicità, chiameremo provvisoriamente *ToscanaStellata*. Su questo punto il Museo di Storia Naturale del Mediterraneo (MSNM) e il Planetario Parco delle Foreste Casentinesi (PPFC) possono svolgere un ruolo istituzionale importante con il proprio sito e i propri comunicati stampa;
- *Canale divulgazione/educazione:* qui la SAit e le associazioni di astrofili aderenti al CAAT, insieme al MSNM ed al PPFC, possono svolgere un impor-

tante ruolo, organizzando iniziative sia in proprio che in comune, destinate alle scuole e alla cittadinanza. Su questo tema sia Cielobuio che Buiometria Partecipativa (BMP) possono contribuire a fornire informazioni e materiali di base, nonché partecipare ad eventi divulgativi pubblici;

- *Canale tecnico/operativo*: su questo punto devono entrare in gioco le competenze tecniche specifiche che sono espresse da alcuni membri del CAAT, da Cielobuio e da BMP. Si tratta di studiare e proporre in sede pubblica gli opportuni correttivi alla legislazione regionale attualmente vigente, nonché contribuire alla proposta di un progetto di finanziamento che abbia come obiettivo quello di fornire gli osservatori in sede stabile, riconosciuti dalla Regione Toscana negli allegati A e B alla legge 39/2005, di centraline fisse per la lettura della luminanza del cielo – gli SQM – formando una rete regionale che rilevi e gestisca dati buiometrici georeferenziati.

In quest'ottica, la rete *ToscanaStellata* costituirebbe un progetto aperto di comunicazione tecnica, divulgativa ed educativa, in cui gli utenti possono trovare risposte semplici, ma esatte, alle domande che ciascun soggetto portatore di interessi può porre. Per esempio, se un insegnante scolastico desidera avere supporto per fare esperienze con i ragazzi, potrà trovare nel sito www.toscanastellata.it dei supporti didattici (alcuni contenuti li ha già prodotti BMP e potremmo cominciare con quelli).

Oppure, se un tecnico comunale ha bisogno di trovare esempi di buone pratiche per impianti d'illuminazione pubblica non inquinanti, potrà trovare in *ToscanaStellata* una ampia casistica con foto e schede sintetiche. Ma sarà anche possibile elaborare con facilità le rilevazioni buiometriche georeferenziate delle centraline SQM per ottenere mappe dello stato del cielo notturno da discutere con gli enti locali. Infine, se un operatore turistico desidera organizzare un evento culturale a carattere astronomico, potrà trovare nel sito *ToscanaStellata* le migliori localizzazioni per l'osservazione del cielo e i riferimenti delle associazioni di astrofili che operano sul territorio.

BUIOMETRIA PARTECIPATIVA E CORDILIT:
DUE ESPERIENZE DI RETE PER LA SENSIBILIZZAZIONE
E LA RACCOLTA DATI SULL'INQUINAMENTO LUMINOSO

ANDREA GIACOMELLI

Associazione Attivarti.org

FRANCESCO GIUBBILINI

Ing. ambientale - libero professionista

Nel nostro intervento abbiamo sintetizzato le attività di tre livelli di rete già attivi (a vari livelli di sviluppo), che consideriamo importante portare all'attenzione del pubblico e dei referenti istituzionali presenti a questo incontro.

La prima rete è quella legata al progetto originale della BuioMetria Partecipativa (BMP), avviato nel maggio 2008 proprio in Toscana e diffuso a oggi a livello nazionale. Il progetto consiste nell'alimentare una rete di prestito di SQM (lo strumento più diffuso per misure speditive di qualità del cielo notturno), assieme a un manuale che consenta a chiunque, in modo semplice, di raccogliere misure secondo criteri standard, con quasi 900 misure raccolte da circa 50 persone dal Trentino alla Sicilia.

I contatti con il Museo di Storia Naturale del Mediterraneo si sono avviati in occasione del convegno di fine marzo 2011, e si sono sviluppati in modo graduale, sia con lo svolgimento di iniziative congiunte, che con la produzione di presentazioni.

La seconda rete è quella del CORDILIT, il Coordinamento Italiano per la Raccolta di Dati sull'Inquinamento Luminoso, lanciato nell'estate 2011 dopo una fase pilota nella stagione precedente. Il CORDILIT è focalizzato sull'utilizzo di sistemi di misurazione più complessi rispetto a quelli della BuioMetria Partecipativa. In particolare, il sistema prevede l'utilizzo di stazioni fisse, abbinata a stazioni meteo, che consentano di derivare serie di dati molto più ricchi rispetto alle misure manuali.

Il CORDILIT è stato avviato, assieme all'associazione *VenetoStellato*, e conta attualmente cinque stazioni. Il gruppo di lavoro BMP ha curato la stesura del codice e della documentazione per tutto il sistema.

Infine, il terzo livello di rete è quello determinato dai contatti che il gruppo di lavoro della BuioMetria Partecipativa ha sviluppato con altri gruppi attivi sul tema dell'inquinamento luminoso in Europa. Si tratta di soggetti e/o istituzioni (gruppi di ricerca, planetari, altre associazioni di attivisti, astronomi).

L'invito è quindi quello di raccordarsi alle iniziative di cui sopra, sia per garantire

la prosecuzione delle attività nella loro forma attuale, sia per costituire gruppi di lavoro che possano affrontare assieme iniziative e opportunità di finanziamento più strutturate. Nel caso della BMP, si invita a stimolare la circolazione degli strumenti (valorizzando anche lo strumento acquisito proprio dal Museo). Per il CORDILIT, si invitano i gruppi di utenti più tecnici a prendere visione del materiale informativo, reperibile sul sito, e valutare la possibilità di installare una o più stazioni di monitoraggio da aggiungere alla rete. Infine, per i contatti con le realtà estere, si ribadisce la disponibilità del gruppo BMP a fare da raccordo.

*Nel centenario della nascita
di Giulio Preti*

PRESENTAZIONE

PAOLO PARRINI

Università di Firenze

Giulio Preti è stato un protagonista della filosofia italiana del Novecento tanto importante quanto atipico e controverso. Il convegno che si apre oggi per il centenario della sua nascita presenta due caratteristiche che mi pare lo contraddistinguano da analoghe iniziative avvenute in precedenza. Mi riferisco, in particolare, al Convegno che si è tenuto a Milano nel 1987 a 15 anni dalla morte [2], e ai convegni di Firenze [1] e di Castiglioncello [3] svoltisi a trent'anni dalla medesima ricorrenza.

Anzitutto, il presente incontro vede per la prima volta la partecipazione congiunta delle tre istituzioni universitarie che, nel bene e nel male, hanno segnato la vita intellettuale e accademica di Preti. E mi si consenta di sottolineare che la commistione di bene e di male si presenta in, o si ripartisce su, tutte e tre le sedi: Pavia, Milano, Firenze.

Pavia è stata la città della formazione, dei primi importanti contatti culturali e degli esordi accademici. Qui Preti ha iniziato a mostrare le sue notevoli capacità e ha potuto influire su alcuni personaggi che avrebbero poi avuto un ruolo, più o meno marcato, nello sviluppo di settori significativi della ricerca filosofica.

Milano è la città che gli ha aperto le porte di un'università che non era solo un centro di rilievo della vita filosofica italiana. Come è stato recentemente mostrato con ricchezza di documentazione storica [5], il respiro culturale del gruppo raccolto intorno ad Antonio Banfi travalicava, e di molto, gli stretti confini 'professionali' del mondo accademico nazionale. Si trattava di un cenacolo che cercava di coniugare – e con un certo successo, visti gli sviluppi successivi – il rigore degli studi con l'impegno nella cultura militante in tutti i campi in cui questa si articola, non solo il campo filosofico, ma anche quelli della letteratura, delle arti figurative, della musica, dell'architettura e del cinema. Tale ambiente vario e stimolante, che aveva trovato espressione soprattutto nella rivista *Corrente di vita giovanile*, ha saputo incidere in profondità nella cultura dell'Italia appena uscita dalla guerra e ha lasciato un'eredità importante nella vita intellettuale degli anni Cinquanta e Sessanta.

Infine vi è stata Firenze, la città che ha permesso a Preti di acquisire quella solida posizione che nelle prime due università non era riuscito ad ottenere; e ciò per ragioni che non si iscrivono tra le pagine migliori della vita accademica nostrana, e che tuttavia ne costituiscono una caratteristica che si presenta troppo spesso, un tratto ricorrente che non si riesce ad estirpare. Ancora oggi le cose non vanno molto diversamente, e spesso proprio ad opera di coloro che si presentano, a parole e nel cosiddetto 'immaginario collettivo', come i più strenui difensori di rigore, trasparenza e competenza.

Ma, come si sa, Firenze è stata anche il luogo delle 'suntuose baruffe' (così vennero chiamate). Si era voluto Preti in quella sede perché contribuisse ad attuare il rinnovamento culturale e filosofico che molti richiedevano a gran voce e che rappresentava, in particolare, uno dei principali obiettivi del movimento neoilluminista, nato tra Torino, Pavia e Milano soprattutto per opera di Nicola Abbagnano, Norberto Bobbio e Ludovico Geymonat. Ma alla fine il retaggio dell'umanesimo e dello storicismo ebbe la meglio. Dopo le 'baruffe' appena menzionate che punteggiarono la permanenza di Preti nella Facoltà di Lettere e Filosofia, egli lasciò tale Facoltà per quella di Magistero caratterizzata in quegli anni da orientamenti culturali più aperti alle novità, e dunque maggiormente disponibile non solo ad accogliere, ma anche a valorizzare un insegnamento della filosofia di taglio decisamente teorico. Ma nonostante l'importante punto di appoggio fornito a Preti dalla vivacità e dalla vitalità culturale di alcune figure centrali del Magistero di allora, il clima generale della città restava estraneo e sostanzialmente ostile a chi non credeva che il lavoro filosofico da svolgere a Firenze dovesse esaurirsi nel decantare le virtù dell'umanesimo civile e la grandezza della cultura rinascimentale.

A ciò si aggiunse, più tardi, la ventata del Sessantotto che vide Preti schierarsi in modo aperto e diretto contro alcune delle più assurde richieste portate avanti dal movimento studentesco. Un atteggiamento che, come era nella sua natura, fu privo di quelle astuzie, ambiguità e di quegli opportunismi tattici che contraddistinsero le prese di posizione di molti altri accademici di rilievo. E l'esito fu quello che tutti sappiamo: un'emarginazione sempre più forte, e da lui assai sofferta, che si concluderà con il quasi completo isolamento nel quale avvenne la morte improvvisa (ma non inattesa). Essa lo colse a Djerba, nel 1972, davanti a quelle dune desertiche che Preti tanto amava e fra le quali avrebbe certo voluto riposare senza inutili cerimonie e postumi clamori.

Il suo insegnamento, però, non era stato invano. L'evolversi stesso delle cose imponeva un rinnovamento della filosofia anche all'interno della Facoltà di Lettere e la città di Firenze non poteva ignorare più a lungo ciò che le stava avvenendo intorno. Si faceva sempre più pressante il bisogno di una ricerca improntata ad esigenze teoriche le quali non potevano essere soddisfatte da maldestri tentativi di fare teoria attraverso la storiografia filosofica (come si è visto anche in seguito). E la scienza era un fenomeno di cui non si poteva più ignorare la dimensione filosofica e, più in generale, culturale. Certo, all'inizio era sembrato che tutto potesse essere risolto appoggiandosi a una disciplina come la logica o introducendo un insegnamento elementare di filosofia della scienza. Ma alla fine - sia pure tra mille difficoltà e lottando contro ostilità che si fanno sentire ancora oggi - Firenze è divenuta una sede in cui, accanto alla ricerca logica e a quella storica, si pratica anche una ricerca filosofica di taglio teorico che vede la scienza tra i suoi principali oggetti di indagine. Una manifestazione come il Pianeta Galileo, sostenuta dalla Regione Toscana, che prevede al suo interno un premio internazionale intitolato al maestro pavese, ne è certamente una delle prove migliori.

La seconda caratteristica che distingue il presente convegno da quelli precedenti citati all'inizio è legata proprio al mutamento di clima culturale di cui ho appena detto.

Il quale mutamento non è stato, però, né rapido né indolore. L'ostilità di importanti esponenti del mondo filosofico, avversi per un motivo o per l'altro all'indirizzo rappresentato da Preti, si era sommata all'ostilità di quei settori intellettuali che erano eredi della linea culturale e dei miti ideologici di una sinistra incapace di fare i conti con le novità della società italiana (e non solo). Così, gli anni successivi alla morte di Preti hanno visto il perpetuarsi di quelle diffidenze espresse a mezza bocca, di quelle perplessità avanzate in modo generico, di quelle valutazioni negative poco circostanziate (e nelle quali magari si erano improvvisamente trasformati alcuni precedenti giudizi del tutto positivi) che aveva caratterizzato il periodo antecedente. Ma soprattutto è proseguita per molto tempo la "congiura del silenzio", una pratica diffusa in tutto il mondo, ma qui da noi una vera specialità della casa. E naturalmente non si è trattato solo di uno scontro di idee. La storia di questa vicenda potrebbe infatti costituire un capitolo istruttivo "di quell'urtarsi, più che di posizioni, di ambizioni personali, di libidini di dominio e/o di servitù, di chiacchiere a vuoto dietro cui si nascondevano pienezze di interessi non precisamente ... speculativi" che, secondo Preti, era stato descritto tanto bene da Eugenio Garin nelle sue fortunate *Cronache di filosofia italiana* [4, vol. I, p. 476].

Ecco perché il clima dei primi convegni su Preti è molto diverso da quello in cui si svolge questo incontro per il centenario della nascita. Oggi le istanze di Preti possono dirsi ampiamente affermate. Assai più che la buona volontà degli uomini, è stata la 'forza delle cose', e in particolare il dato di fatto che una parte considerevole della filosofia italiana si muove ormai in sintonia con le filosofie degli altri paesi europei e extraeuropei, a far tramontare certe convinzioni, tra le quali quella che si possa vedere nella storia delle idee filosofiche e scientifiche, di per sé coltivata, un valido sostituto della filosofia o magari un ottimo strumentario per divertirsi a 'rottamare' giocattoli filosofici (vecchi e nuovi). Così, solo uno scarso senso dell'umorismo può suggerire a qualcuno di indicare nella 'svolta storica' (*historical turn*) che caratterizza attualmente un settore significativo della filosofia della scienza internazionale un mutamento epocale anticipato dai sostenitori italiani, passati e presenti, del 'primato' della storiografia filosofica. La 'svolta storica' della cultura anglosassone, infatti, presuppone pur sempre l'ideazione di prospettive teoriche e la capacità di analizzare e ricomporre le strutture concettuali delle filosofie del passato, aspetti che sono invece tutti mancati nella gran parte del lavoro storiografico italiano (con grave pregiudizio, spesso, della sua stessa compiutezza ed efficacia storica).

Tale diffusa consapevolezza dà una coloritura diversa al convegno che si apre oggi. In passato, uno dei compiti più importanti (e forse il più importante) che attendeva chi aveva a cuore che l'eredità pretiana non andasse dispersa era quello di riaffermare il valore di tale eredità rispetto agli attacchi, più o meno scoperti, che miravano ad archivarla o perlomeno a sminuirla come un caso di scarso momento per la filosofia italiana. Oggi questo intento 'riduttivo' non pare più perseguibile. Le armi messe in campo per realizzarlo si sono dimostrate spuntate. E ciò significa che da ora in poi si

potrà parlare di Preti con maggiore pacatezza, sia che ci si dedichi alla ricostruzione storica dell'evoluzione del suo pensiero e del ruolo che esso ha avuto nella cultura italiana, sia che ci si impegni in una libera prosecuzione teorica di alcuni temi della sua ricerca filosofica, temi che sono ancora ben presenti nel dibattito filosofico internazionale. E tuttavia, una volta evitati a Preti i 'mali' della sconfitta, occorrerà cercare di non fargli correre neanche quelli della vittoria: le esaltazioni acritiche e sperticate e gli apparentamenti improbabili o addirittura fittizi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Giulio Preti filosofo europeo*, a c. di A. Peruzzi, Olschki, Firenze, 2004.
- [2] *Il pensiero di Giulio Preti nella cultura filosofica del Novecento*, a c. di F. Minazzi, Angeli, Milano, 1990.
- [3] *Il pensiero filosofico di Giulio Preti*, a c. di P. Parrini e L. M. Scarantino, Guerini e Associati, Milano, 2004.
- [4] G. Preti, *Saggi filosofici*, Presentazione di M. Dal Pra, 2 voll., La Nuova Italia, Firenze, 1976.
- [5] L. M. Scarantino, *Giulio Preti. La costruzione della filosofia come scienza sociale*, Bruno Mondadori, Milano, 2007.

IDEALPOSITIVITÀ¹

ALBERTO PERUZZI

Dipartimento di Filosofia, Università di Firenze

1. Introduzione

Il 1943 fu un anno drammatico nella storia d'Italia. Prima lo sbarco degli Alleati in Sicilia, poi l'armistizio, il fatidico 8 settembre, che portò all'occupazione tedesca, con tutto ciò che ne seguì. Si poteva già capire come sarebbe andata a finire la guerra, ma quale Italia ne sarebbe venuta fuori?

Per chi voleva un'Italia diversa, libera e democratica, quello fu il momento dell'azione. Donne e uomini, giovani e non più giovani, se non decisero di passare alla lotta armata nelle file della Resistenza, s'impegnarono a sostenerla. Fra essi, c'erano anche donne e uomini non d'azione ma di pensiero, "intellettuali", che da tempo avevano cominciato a prendere le distanze dal regime e in particolare dalle dottrine idealistiche e pragmatistiche che ne avevano contrappuntato lo sviluppo: infatti, l'idealismo gentiliano aveva nobilitato con una sontuosa cornice storicista il pragmatismo primitivo cui lo stesso Mussolini si era ispirato.

Fra quegli "intellettuali" c'era chi aveva riflettuto su *come* avviare una rinascita civile e culturale dopo la riconquistata libertà, immaginando un'Italia senza parate, parole d'ordine, dogmi: non solo un paese con una democrazia ma anche un paese con una *cultura democratica*, senza paroloni e discorsi fumosi, nella quale i dotti non si compiaceressero più di un eloquio esoterico destinato dagli eletti agli eletti. C'era anche chi pensava a tracciare le linee-guida di una scuola in cui si sarebbero formati i futuri cittadini, e si poneva il compito di disegnare la più ampia cornice entro la quale potesse svolgersi un proficuo confronto di idee: era un lavoro di 'semina' non sul piano direttamente politico, bensì su quello più generale e radicale: sul piano della teoresi filosofica. Giulio Preti fu uno di loro.

Idealismo e positivismo potevano ben esser considerate le due principali linee di pensiero che si erano contrapposte dalla metà dell'Ottocento in poi, ciascuna articolan-

1 Il presente testo è una versione (estesa) della relazione tenuta nella sessione conclusiva del convegno internazionale dedicato a Giulio Preti, in occasione del centenario della sua nascita (Pavia, 1911). Il convegno, realizzato grazie a una collaborazione tra le università di Firenze, Milano (Statale) e Pavia, si è articolato in più giornate nelle rispettive sedi: è iniziato il 7 ottobre a Firenze nella Sala delle Feste del Consiglio regionale della Toscana, si è poi trasferito il 9 ottobre a Pavia, nella sede della locale università, e si è concluso a Milano il giorno 11 ottobre, nella sede dell'Università Statale. Per ulteriori informazioni, cfr. www.giuliopreti.eu/

dosi in molte forme, con vaste ripercussioni sui modi di intendere la scienza, la tecnica e l'istruzione. Una riflessione critica su tale contrasto avrebbe aiutato a delineare la cornice della futura cultura democratica? Ma come si poteva pensare che un discorso tanto generale e astratto sarebbe servito allo scopo?

È proprio nel 1943 che Preti dà alle stampe *Idealismo e positivismo* [5], il suo secondo libro, così diverso nell'impianto e nello stile dal primo, *Fenomenologia del valore*, uscito nel 1942 [4]. Nel giro di un solo anno la scrittura di Preti si è fatta tersa e ha abbandonato ogni stilema accademico per dare espressione a un disegno quanto mai ambizioso: estrarre da un ripensamento complessivo del cammino della filosofia le linee-guida di una futura politica della cultura e dell'istruzione.

La forma del titolo inaugurava una serie: i molti libri e articoli che Preti avrebbe intitolato facendo similmente uso della congiunzione "e" fra due termini, a segnalare una tensione, un legame da chiarire, una possibilità di convergenza che, se c'era, scaturiva da una scrematura dei significati di ciascun congiunto. Così anche nel caso di *Idealismo e positivismo*. La nuova stagione civile e culturale che il trentaduenne Preti ha in mente passa per un ripensamento dei due termini grazie al quale l'eredità positiva delle due corrispondenti tradizioni, opportunamente depurate, avrebbe preso corpo.

Cosa ne è stato di quel progetto e cosa ne è stato dell'intento di farne la cornice di una nuova cultura? Nell'immediato, gli effetti furono scarsi e l'immagine della "formazione", nel senso nobile di *Bildung*, continuò grosso modo a essere quella che era prima. Nei decenni successivi la questione si pose in altri termini, cioè come vertenza tra cultura umanistica e cultura scientifica, con varie puntate intermedie nel percorso di Preti: negli anni Cinquanta ci fu infatti la sua battaglia per una filosofia della *praxis*, poi il disincanto espresso in una battuta del '68: «mi occupo esclusivamente di filosofia teoretica e di filosofia della morale, non avendo nessun interesse per il mondo della prassi, che considero sporco e plebeo».

Oggi, tra gli studiosi di Preti, il dibattito verte per lo più sulla molteplicità di linee compresenti nel suo pensiero e, generalmente, i termini della discussione prendono atto delle sue tesi, di cui si studiano arborescenze e genealogia, trascurando gli argomenti adottati come prova delle tesi o almeno come loro sostegno. In quest'occasione, vorrei fare l'inverso: esaminare solo gli argomenti e considerarli non con il senno di poi ma come propri di una riflessione *statu nascenti* in senso letterale oltre che figurato. Così facendo, qualunque sia la risposta prediletta alle domande sollevate da Preti, almeno è motivata partendo dai ragionamenti invece che dalle tesi e qui i ragionamenti sono quelli esposti in *Idealismo e positivismo*. Allo scopo imiterò il modo in cui Preti teneva lezione, dunque il discorso andrà avanti con una certa lentezza, manterrà un basso profilo (salve rare eccezioni) e non indulgerà in affreschi storico-critici. Un simile esercizio vuol aiutare a entrare in contatto con un linguaggio e un modo di fare filosofia che appartiene, sì, al passato ma ci interroga sul respiro che oggi la nostra riflessione civile e politica sulla cultura *non* ha.

Il tono espositivo cui ho scelto di attenermi lascerà inappagati i dottori più sottili.

Troppo spesso, nei convegni sul filosofo X si parla di X supponendo che chi ascolta ne sappia già tanto, anzi tantissimo; e, nei convegni su Preti cui ho partecipato, ho fatto anch'io così. Per il centenario, vorrei espiare il peccato e aiutare chi non ha letto nulla di Preti a entrare nel suo 'discorso'. Come? Evidenziando alcuni schemi di ragionamento che sono l'asse portante dell'opera del 1943 e che poi rimarranno in Preti pressoché costanti, seppur diversamente declinati, con altro lessico e altri riferimenti. Non vorrei però generare false aspettative: seguire il discorso di Preti non è un giochetto. Chi è abituato all'idea che in filosofia contano le idee suggestive, e non i ragionamenti a loro sostegno, resterà deluso.

Per ragioni di tempo, non andrò oltre il primo capitolo di *Idealismo e positivismo*. Poiché mi è capitato di fare lo stesso nella relazione tenuta nel 2007 al convegno per i cinquant'anni da *Praxis ed empirismo* [6], la cosa si presta a imbarazzanti sospetti. Qualche volta, però, bisogna preoccuparsi dei minimi lessemi invece che dei massimi sistemi – e non dico “minimi” sul piano filologico ma su quello argomentativo. Mettendo da parte i sospetti, cominciamo dalle finalità dell'opera, così come enunciate da Preti.

2. L'obiettivo

Idealismo e positivismo è un testo-crisalide: nasce dalla fine di una stagione filosofica e vuole prepararne una nuova, nella quale i due modi di pensare non escono di scena bensì, depurati, confluiscono in un progetto di rinnovamento culturale ed educativo – sebbene poi, più che di nuovo idealismo, Preti parli soprattutto di «nuovo positivismo». Ebbene, dov'è questa novità e come ci si arriva?

L'immagine che Preti offre del positivismo è a maglie larghe: ospita posizioni che già allora si tendeva a mantener distinte. Oltre alla forma che il positivismo assume nel Circolo di Vienna, Preti intende come forma di positivismo anche la fenomenologia di Husserl. Come se non bastasse, Preti cerca di amalgamare aspetti fondamentali di entrambe le forme con la prospettiva del «trascendentalismo critico» di Ernst Cassirer e Antonio Banfi.

Ce n'era in abbondanza per tacciare l'impresa di “eclettismo”, in senso dispregiativo, non tenendo conto che Preti riduce ai minimi termini le posizioni che mette a confronto – ne diffalca gli impedimenti – e tanto nell'idealismo quanto nel positivismo c'era, a suo parere, molta zavorra di cui sbarazzarsi: quel che ha di mira sono due tipi-di-posizione, da non confondersi con la gamma di posizioni di fatto assunte dal tale o talaltro.

Al riguardo, due osservazioni. In primo luogo, è significativo che Preti senta subito il bisogno di reagire all'accusa di eclettismo, che poi si vedrà ovviamente rivolgere più d'una volta, dicendo che «di nulla lo scrivente ha più orrore» [5, p. 6]. In secondo luogo, la novità del positivismo stile Preti (*in limine* dichiarata, non ancora argomentata) non scaturisce dal tentativo di amalgamare istanze opposte, tant'è vero che Preti tiene a dire subito anche un'altra cosa, cioè, che il suo positivismo differisce dalle altre forme «per molti riguardi», essendo mosso da motivi suoi propri, che prendono forma in una rilettura del percorso storico del positivismo, ma anche dell'idealismo.

L'elaborazione di questo «nuovo positivismo» è inestricabilmente connessa con una *ricostruzione razionale* (al modo di Cassirer) di entrambe le correnti di pensiero² e prende corpo in una tesi di fondo provocatoria: idealismo e positivismo sono «in sostanza la stessa cosa (con linguaggi differenti)» [5, p. 6]. La filosofia che emerge da tale identità è indicata come «razionalismo integrale», ove *integralità* sta a significare *rifiuto* di ogni metafisica, quindi anche rifiuto della presunta nudità dei dati immediati dell'osservazione. E in positivo? In positivo troviamo una ripresa del tema dell'*immanenza della ragione*: ogni rimando a sentimenti, credenze, intuizioni che trascendano i fatti empirici e la loro sistemazione razionale è bandito. Già difesa da Preti negli anni Trenta, quest'immanenza ora si scopre essere esprimibile in due linguaggi e configurabile in due metodi, corrispondenti appunto a idealismo e positivismo, ed è soltanto in questo senso che Preti si pone come compito la loro unificazione, che al tempo stesso adotta come postulato-guida (perché non le corrisponde mai un'effettiva, conchiusa, unità) della sua indagine. In effetti, il carattere «integrale» del razionalismo ricorre in tutto il volume, prendendo corpo per *viam negationis* – una strategia che resterà tratto caratteristico dello stile pretiano.

Ma come uscire dalla metafisica di chi presume di essere in contatto con la Realtà Ultima delle Cose (realismo) o con lo Spirito (spiritualismo)? E, una volta usciti, come evitare di sostituirla con un'altra metafisica, com'è quella che mitizza il 'dato' empirico?³ Infine, se la filosofia rinuncia a essere metafisica, cosa ne resta? Ebbene, quel che ne resta è per Preti più che sufficiente: una serie di analisi concettuali e fenomenologiche, delle quali questo libro vuol essere la cornice.

«Analisi»? E l'impianto sistematico della Grande Filosofia dove va a finire? Non si sta profilando una filosofia ... deficitaria? Preti risponde di no: è convinto che il momento *analitico*, non succube verso l'ordine temporale, sia quello autenticamente filosofico – non succube perché non è detto che, se una dottrina B viene dopo A, B sia necessariamente più vera di A. Sembra perfino ovvio, ma nel 1943 non lo era per niente: la crisalide pretiana stava annunciando la fine della filosofia quale storia di se stessa⁴ e quindi della filosofia come prevalentemente coltivata nell'accademia italiana (anche in seguito).

2 Per essere sincero: alla prima lettura, *Idealismo e positivismo* mi sembrò un testo stracolmo di forzature che rendevano l'opera, nel migliore dei casi, un'appassionata dichiarazione di intenti. Di forzature, ce ne sono ma non credo più che intacchino il vigore dell'opera, originale e incisiva come pochi altri testi filosofici pubblicati, anche in altre lingue, negli anni Quaranta. Qui non mi soffermerò a elencare tali forzature. Mi interessa invece enucleare gli schemi argomentativi elaborati da Preti ai fini del suo progetto; di conseguenza, posso permettermi di non infarcire l'esposizione con rimandi storico-cronachistici. Dopotutto, una narrazione non è un argomento e la filosofia è fatta di argomenti.

3 Per inciso, se il prezzo da pagare per l'uscita è la rinuncia alla pretesa di dimostrare l'impossibilità della metafisica, Preti si dichiara pronto a pagarla.

4 Aggiunta per gli esperti: con ciò, Preti denunciava anche quella particolare forma della fallacia naturalistica che si produce quando il dato naturale è sostituito dal dato storico.

E che ce ne facciamo di una cornice, quando l'incorniciato ha perso sistematicità e unità storica? A Preti è sempre stato a cuore che la filosofia non andasse incontro a una fissione nucleare; già nel 1943 non si rassegnava all'idea di una tecno-filosofia che, pur di essere una cosa seria, finisce per disperdere in tanti rivoli specialistici il senso dell'analisi dei concetti in termini dei quali costruiamo la nostra immagine del mondo e orientiamo la nostra vita. *Idealismo e positivismo* è quanto mai esplicito in proposito: «lo schema hegeliano» conserva ancora tutta la sua utilità, perché ci aiuta a capire che il vero «superamento» di una posizione filosofica è la sua ricomprensione, entro opportuni limiti di validità, all'interno di un'altra (da non confondersi con la posizione che successiva è per mera cronologia). Dunque, come nella metafisica ci sono tratti da diffalcare, ci sono anche tratti da preservare e, per Preti, sono quelli che permettano di evitare ogni forma dogmatica di positivismo e innanzitutto quella forma che conduce al Mito del Dato (i nudi dati osservativi come realtà ultima).

Queste le finalità dell'opera, che non costituiscono il minimo argomento. Passiamo quindi a esaminare gli argomenti a sostegno dell'auspicata sintesi di idealismo e positivismo.

3. Sentieri invertiti

Il primo capitolo si apre con una precisazione: non si tratta di cercare un *compromesso*. Perché ciò presuppone che idealismo e positivismo siano in contrasto, mentre non lo sono. Se è arduo negare che ci sia contrasto, lo è ancora di più asserire che *l'uno conduce all'altro* e che, in tal senso, idealismo e positivismo «coincidono». Ma questo è appunto ciò che Preti asserisce; e l'identità tra i due, l'un contro l'altro armato, non si rivela seduta stante, bensì da un'invertibilità dello sviluppo dell'uno nello sviluppo dell'altro.

Senza dirlo, Preti usa qui *identità* nel senso di *isomorfismo*, una nozione precisata in matematica e catturata nella sua massima generalità dalla teoria delle categorie: due oggetti (strutture, sistemi, spazi) sono isomorfi quando c'è una mappa invertibile dell'uno nell'altro (che ne preservi la struttura rilevante). Essere isomorfi, però, non implica essere identici. Inoltre, nel caso specifico, l'isomorfismo è da attenuare perché quel che si ha in mente è piuttosto un'*equivalenza*.⁵ Preti si limita a notare che, perché si dia quest'equivalenza, bisogna che entrambe le posizioni siano depurate dalla tendenza a trasformare un principio metodologico in uno ontologico, altrimenti non sarebbe possibile mostrare che un idealismo «coerente» conduce a un positivismo «coerente», e viceversa.

5 Un'equivalenza, in senso categoriale, è un isomorfismo a meno di isomorfismo. Ma è lecito intendere in tal senso quanto Preti afferma? Consuetamente, le 'posizioni' filosofiche s'intendono come insiemi di principi (e di altro). I principi sono proposizioni. Dunque l'equivalenza dovrebbe essere intesa in senso logico (come equivalenza tra proposizioni). Credo invece che qui, quando Preti parla di "identità", si riferisca a 'posizioni' come tali, in uno spazio astratto i cui punti o le cui regioni sono filosofie, o meglio ancora a oggetti strutturali (sistemi di idee) associati a tali 'posizioni'. È in questo stesso senso che diciamo che una filosofia è "vicina a" o "lontana da" un'altra. Diventa allora necessario un non banale lavoro di analisi per chiarire il senso in cui due filosofie possano essere trattate come oggetti isomorfi o equivalenti.



Figura 1, 2, 3. Il fondale di Idealismo e positivismo: Hegel, Husserl e Banfi.

Allo scopo di mostrarlo, Preti non procede come avrebbe fatto un filosofo analitico, cioè, non parte da una definizione astratta (scremata) di “idealismo”, facendo poi vedere che necessariamente se ne ricavano i caratteri che contraddistinguono il “positivismo” in base a una non meno astratta (scremata) definizione; prende invece in esame due esempi storici e – diffalcata gli impedimenti – ne estrae un modello canonico, paradigmatico, di cui poi elabora i tratti. I due esempi sono Hegel per l’idealismo, Husserl per il positivismo; e l’operazione così impostata è hegeliana quanto husserliana... salvo che è ora applicata a Hegel e a Husserl! È un’operazione storico-critica che vuol essere al tempo stesso eidetica (dal greco *eidōs*: tipo ideale, forma- essenza). Molti anni dopo, quando Preti rimprovererà a George Edward Moore di parlare di posizioni filosofiche di non si sa bene chi, gli rimprovererà un’eccessiva astrazione, quasi che la dinamica storica delle idee non contasse, non il fatto di muoversi per tipi. Pensando alla polemica, in anni più recenti, tra filosofi “analitici” e filosofi “continentali” possiamo notare che in quest’operazione, che vuol portare a una filosofia come «analisi» e non più come Sistema, il cordone ombelicale con la tradizione storicista mitteleuropea non è affatto reciso, nella convinzione che solo un pensiero consapevole delle sue radici storiche non resti prigioniero di polemiche di scuola.

Ora, Hegel e Husserl sono due filosofi molto lontani tra loro. Preti lo sa bene. Quel che intende mostrare in questo primo capitolo è che, ciononostante, l’evoluzione del pensiero dell’uno e dell’altro è simmetrica, nel senso che l’una è inversa dell’altra. Hegel passa dalla soggettività romantica all’enucleazione dei caratteri dello spirito oggettivo

(che è, per esempio, sistema del diritto) attraverso attraverso le figure della dialettica; Husserl passa da una fase in cui la filosofia sembra diventare una strana specie di psicologia a una metafisica idealistica, attraverso una fase di realismo (platonico). La brevità non è sempre amica della comprensione e questo ne è un esempio. Cerchiamo dunque di capirci qualcosa.

4. Hegel

Di Hegel, Preti apprezza lo sforzo teso a una visione dinamica della razionalità. È così che emerge l'idea di *totalità* come «unità sistemica delle parti», profilando uno strutturalismo che non esclude il momento della soggettività individuale.⁶ Il sistema vive grazie agli individui e gli individui sono quel che sono solo nel sistema. Che si debbano considerare entrambi i momenti era già chiaro in *Fenomenologia del valore*. Dell'idea hegeliana di *totalità* Preti ora si serve per delineare un razionalismo “integrale” da cui non resti fuori alcun residuo “reale”. Così, anche il piano della coscienza personale è inglobato in un piano «positivo, oggettivo» (si noti l'associazione tra i due aggettivi, [5, p. 14]) e allora, per coerenza, Preti osserva che, ogniqualvolta Hegel usa termini di carattere psicologico, essi vanno intesi come riferentisi a «realità puramente concettuali», dunque vanno de-soggettivati: «La Ragione non è dunque nulla di psicologico [...] certo che in concreto il pensiero è sempre pensiero di uomini, un atto psichico, ma ciò che in esso viene pensato non è a sua volta, un atto psichico» [5, p. 14].

Il contenuto-di-pensiero è, in altre parole, irriducibile alla psicologia: la dimostrazione del Teorema di Pitagora non si riduce a una serie di fatti mentali. Con ciò, Preti sta mettendo in evidenza nella filosofia di Hegel lo stesso insegnamento che Husserl avrebbe potuto attribuire a Frege, con un'ovvia differenza: Hegel non esclude dal campo della Ragione ciò che Frege esclude dal campo della logica, ovvero, la *storicità*. Ciò significa, per Preti, che anche l'oggettività della logica sarà da inquadrare in una prospettiva più vasta, fermo restando che la totalità del sistema della ragione non è mai data, ma sempre in sviluppo.

Lo sviluppo della ragione è dovuto a una duplice tensione interna: la tensione fra soggettività e oggettività e la tensione fra le concrete, storiche, determinazioni dell'idea di ragione (“idea” qui in senso kantiano, come nozione-guida in funzione puramente regolativa) e l'assolutezza dell'idea stessa. Il sistema si sviluppa come dialettica tra queste due tensioni interne; non è però uno sviluppo che punti verso qualcosa di fissato una volta per tutte, che se ne sta per conto suo fuori dal sistema. La totalità è *immanente* a ogni suo momento. Ogni diversa “figura” dello spirito è una prospettiva diversa sul tutto, il quale non diventa qualcosa di esterno, trascendente, per il solo fatto di non essere esaurito da ciascuna particolare, determinata, prospettiva. Ogni determinazione

⁶ In questa dialetticità e in questa non-esclusione sta la differenza rispetto allo strutturalismo linguistico, pertinente alla dimensione *esclusivamente* sociale della lingua, da cui va quindi bandito ogni rimando alla psiche individuale. Viene spontanea un'analogia con l'epistemologia genetica di Piaget, purché non la si confonda, come solitamente avviene, con la sua teoria psicologica dello sviluppo.

rappresenta (parzialmente) la totalità, «onde il sentimento di una immanente razionalità di tutto quanto il reale» [5, p. 16]; e qui Preti fa un paragone suggestivo che poi non elabora: «La totalità, insomma, è un integrale, un'area, non un punto o una linea: ed ogni punto e ogni linea rappresenta questa totalità».⁷

A Hegel va dunque il plauso di Preti per aver riscattato la finitezza e la determinatezza trasformandone il senso, da ostacolo in veicolo, e portando così ad apprezzare la positività di ciò che è solo una finestra, pur parziale, sulla totalità; di qui l'importanza della più minuta attenzione ai fatti, dunque il valore degli sforzi compiuti dagli scienziati, fino ad arrivare al «culto» dei fatti.⁸ Ecco come l'idealismo si tramuta in positivismo ... purché si liberi Hegel dalla «fastidiosa scolastica che imperversa nelle università» [5, p. 16], che ne ha messo in ombra le intuizioni e che ne ha annullato la fecondità.⁹

Bisogna dunque – prosegue Preti – liberare quella lezione dai lacci di chi pretende di monopolizzare l'eredità del pensiero hegeliano e la stessa cosa vale per quell'Aristotele che i neo-scolastici cattolici hanno contrapposto a Hegel: se decidiamo di uscire dalle diatribe accademiche e «ci portiamo nel libero mercato delle idee», Hegel, più che contraltare ad Aristotele, è «un Aristotele svolto in tutti i suoi motivi ispiratori» e allora ci accorgiamo anche dei «pesi morti» che permangono in Hegel, perché l'aristotelismo da lui «svolto» conserva «la concezione realistico- metafisica della sostanza» [5, p. 17]. Infatti, per quanto mutata sia l'identificazione della sostanza rispetto ad Aristotele, quel che diviene, ovvero il sostrato di cui la dialettica è sviluppo fenomenologico, è pur sempre *sub-stantia*, la quale è in-sé ancor prima di essere per-sé. Ovvero: si tratta di liberare Hegel da Hegel!

È qui all'opera la lezione che Cassirer aveva tratto dallo sviluppo della matematica e della fisica: le entità matematiche sono definite da un tessuto di relazioni concettuali, gli oggetti della realtà fisica sono identificati entro un campo di forze. In entrambi i casi, quel che diciamo *esistere* non se ne sta lì per conto suo come una «sostanza». Tolto il residuo sostanzialistico, l'idealismo che resta, *depurato*, è allora esclusivamente *metodologico* e non più «ingenuamente ontologico». In particolare, le categorie su cui si regge l'impianto della dialettica sono «metodi per l'integrazione razionale dell'esperienza» [5, p. 18].

Preti prosegue osservando che una simile lettura in chiave metodologica favorisce anche il lavoro dello scienziato, dunque favorisce qualcosa che è stato visto come quanto di più lontano dalla fumosa e pretenziosa verbosità dell'hegelismo. L'immagine di

7 [5, p. 16]. La *rappresentabilità* qui allusa, a chiunque la prenda sul serio e s'impegni a precisarla, pone problemi notevoli. Non mi risulta che la filosofia teoretica successiva l'abbia precisata, mentre significativi passi in tal senso sono stati fatti in ricerche relative ai fondamenti della matematica.

8 Sono due «dunque» un po' generosi.

9 Si noti il coraggio di quest'affermazione, al pari delle tesi che già ho detto «ardite»: è fatta da un professore che insegnava in una scuola superiore di provincia e non da un illustre cattedratico. E quel professore aspirava a entrare nell'accademia denunciandone i vizi!

Hegel che qui viene presentata è la più antiromantica possibile ed è anche in linea con l'idea pretiana della filosofia come scientificità (espressa più avanti nel testo) con queste memorabili parole:

È dunque una filosofia fatta di lavoro, in cui il filosofo lavora senza ambizione, senza volere nella filosofia porsi come «rivelazione», non come un artista o un profeta religioso, ma piuttosto come uno scienziato che collabora con tutta l'umanità a costruire il sapere degli uomini. La filosofia ha sempre aspirato ad essere scienza; e forse ciò che la distingue dalle singole scienze è soltanto il fatto che, mentre queste attuano l'ideale scientifico nei riguardi di una sezione particolare dell'esperienza, la filosofia deve trasporre *tutta quanta* l'esperienza nella sua forma di scientificità. Non è dunque scienza, ma scientificità [5, p. 93].

5. Husserl

Resta da mostrare che il cammino dall'idealismo al positivismo è invertibile. A tale obiettivo è dedicata la seconda parte del capitolo.

Come anticipato, la figura paradigmatica del cammino inverso è indicata in Husserl, iniziatore di una "fenomenologia" alquanto diversa da quella hegeliana. Per Husserl, la fenomenologia avrebbe dovuto avere in sé il carattere di disciplina sia filosofica sia scientifica, con l'obiettivo di rinnovare radicalmente l'indagine filosofica trasformandola in una scienza fondamentale delle esperienze vissute. Programma ambizioso come pochi altri ... e non meno ambizioso era il metodo indicato per portarlo a compimento.

Preti intende ridurre queste ambizioni e con tale intento si accinge a descrivere l'evoluzione del pensiero di Husserl da una fase positivistica a una fase idealistica.

Il problema di fondo cui il primo Husserl rivolge l'attenzione è quello di come configurare una nuova immagine della matematica a partire dall'analisi dei processi mentali coinvolti. Ben presto – Preti prosegue – Husserl si accorge che la spiegazione psicologica non può fondare il carattere *necessario* delle verità matematiche: l'analisi dei processi mentali può al più portarci a verità su quel che succede nella testa di chi fa una dimostrazione, ma sono solo verità fattuali, e da una verità fattuale non si può inferire una verità necessaria. Husserl è così costretto a tornare sui suoi passi.

A questo punto, senza menzionare l'impatto che in tale ripensamento ebbero le critiche che Frege mosse al primo libro di Husserl, la *Filosofia dell'aritmetica*, Preti fa un paio di osservazioni che è opportuno commentare. La prima è che Frege e Dedekind avevano già sviluppato un progetto che si serviva di nozioni riconducibili, per via diretta o indiretta, alla logica. La seconda è che, tenendo conto di tale progetto, Husserl s'impegnò a precisare il rapporto tra logica e psicologia richiamandosi alle idee di Bolzano, la cui riflessione stava «dietro ai logici matematici» [5, p. 19]. Fu dunque Bolzano a mettere Husserl sulla strada di una completa autonomia della logica non solo dalla psicologia ma anche «da ogni metafisica». La sua brava metafisica d'ascendenza leibniziana Bolzano l'avrà pur avuta ma qui è comprensibile che Preti preferisca mettere in

evidenza l'aspetto positivo dell'influsso di Bolzano nel riconoscere a) che il contenuto-di-pensiero di una proposizione è qualcosa di *oggettivo*, autonomo dall'atto psichico in cui tale contenuto viene pensato, e b) che la struttura del contenuto-di-pensiero è governata da leggi logiche.

Ebbene – ci dice Preti –, Husserl non fa altro che generalizzare l'argomento con cui Bolzano era giunto a una legalità autonoma della logica estendendolo a ogni ambito, al di là delle questioni concernenti i fondamenti della matematica; anzi, Husserl fa per Bolzano l'analogo di quel che Simmel fa per Kant, ovverosia, realizza una dilatazione del criticismo dall'ambito della conoscenza e dell'etica a quello di ogni "forma spirituale". In ambedue i casi c'è, per Preti, un effetto retroattivo sulla nozione di *soggetto*: infatti, Simmel libera la filosofia kantiana dai residui coscienzialistici, Husserl libera il positivismo dai residui psicologistici. (Chiedo scusa per la pesantezza del lessico.)

In questo modo è stato acquisito un piano ideale di oggettività, che non è riducibile a fatti psichici. Sono la stessa purezza formale e la stessa necessità della logica a esigere che si faccia astrazione dalle caratteristiche mutevoli e contingenti dell'esperienza mentale. Ma allora *come si fa conoscere la verità logico-matematica?* Husserl risponde: mediante un'intuizione delle essenze. Già, e come si fa a identificare queste benedette essenze da intuire? Seguendo un metodo. Quale? Appunto il metodo fenomenologico, il quale parte da una radicale sospensione ("riduzione", o *epoché*) di tutto quanto sia legato ad aspetti (momenti, componenti) materiali, contestuali, concreti, effettivi, dell'attività conoscitiva.

Ciò che qui non si dice è che questi aspetti sono *empirici*. Quindi, una volta messo fra parentesi tutto l'empirico, sorge il problema di come stabilire un nesso tra quel che sta dentro all'esperienza e quel che ne sta fuori. È un problema che Preti affronterà in anni successivi; per il momento dice soltanto che il metodo della "riduzione fenomenologica" non fa uscire ancora dal positivismo; anzi, come del resto affermava lo stesso Husserl, porta all'autentico positivismo, perché orienta l'attenzione, finalmente libera da pre-giudizi, sull'*esperienza-allo-stato puro* (originario). Poiché nel testo manca un'argomentazione a sostegno di tale fiducia, andrò avanti sospendendo i miei dubbi al riguardo.

Il problema che riaffiora a questo punto, «fatalmente», nello sviluppo del pensiero husserliano riguarda la soggettività: è il problema di una coscienza pura che prende forma concreta in una serie di «piani dell'esperienza». Per Preti, lo sviluppo del pensiero di Husserl riassume la filogenesi della filosofia da Kant a Hegel e, alla fine, questo sviluppo culmina in una polarità assoluta: quella tra Io e Mondo, ovvero tra l'idea di un io-puro e l'idea di un mondo trascendente. Cosicché «Husserl finisce idealista, lo spirito più vicino a Hegel – anche se il più lontano nella terminologia e nella maniera estrinseca di filosofare – dei nostri tempi» [5, p. 21]; e, per contrappasso, così come perduravano residui sostanzialistici in Hegel, perdurano residui positivistici in Husserl, dei quali «il più grave» è quello che consiste nel credere che ci siano dati immediati della percezione [5, p. 22].

Per Preti è un errore. Come tale, da evitare, al pari dell'appello a un'intuizione delle essenze priva di mediazione concettuale, e la ragione per cui è da evitare è fornita da un argomento, strutturato come una riduzione all'assurdo. Prima di riassumerlo, un inciso: considerando il successivo richiamo di Preti alle emozioni basilari – che non hanno l'aria d'essere mediate dalla ragione – quale termine ultimo di controllo dei nostri giudizi morali, sarebbe stato necessario precisare il rapporto tra intuizione ed emozione.¹⁰

Ecco dunque l'argomento che Preti adduce nel testo del '43. Supponiamo, per assurdo, che esistano dati sensibili immediati. Come possiamo averli riconosciuti separandoli da quelli che invece sono mediati? Preti riconosce che c'è bisogno di un metodo, anzi, di un metodo *certo*. Come ottenere questa certezza? I casi sono due. (I) Se essa è per noi qualcosa che non ha bisogno di dimostrazione (perché cogliamo o intuiamo direttamente, dunque in maniera non mediata, la validità del metodo), allora siamo d'accapo, poiché giustifichiamo il riconoscimento di qualcosa d'immediato, e *certo*, mediante il ricorso a qualcos'altro che è non meno immediato, e *certo*. Un circolo vizioso. (II) Se invece ammettiamo che la certezza in questione ha bisogno di una prova, allora non si finisce più, perché occorre una prova che la prova data (qualunque essa sia) è corretta, e poi una terza prova che garantisca la correttezza della seconda prova... e così via. Un regresso all'infinito. Perciò, attenendoci al metodo fenomenologico, una dimostrazione potrebbe consistere unicamente nel riempimento intuitivo di una forma concettuale ("noematica"), dunque ci staremmo appellando al criterio di giustificazione che dovevamo giustificare con tale metodo. E allora il regresso si rivela un altro circolo.

Questo è solo un rapido sunto dell'argomento di Preti e non lo commenterò.¹¹ C'è invece un aspetto che non risulta dal sunto e che conviene segnalare. Per illustrare l'errore commesso da chi ammette il ricorso a dati immediati, a quale ambito si riferisce Preti? Forse al fatto che le nostre percezioni sono condizionate dalle nostre cognizioni? No, si riferisce alla nostra esperienza morale. Se infatti diciamo che qualcosa è moralmente *giusto* perché ne *intuiamo* la giustezza, chi non avesse quest'intuizione sarebbe forse una persona immorale? Preti osserva: chi è pronto ad accettare questa conclusione si condanna al dogmatismo, che è qualcosa da evitare. Insomma, la certezza intuitiva di quel che è *giusto* non è per nulla immediata.

Ma non è forse un fatto che trattiamo alcuni dati come mediati e altri come immediati? Sì, «nella prassi di ogni genere» [5, p. 22] ci serviamo di intuizioni, senonché esse sono, per Preti, il risultato di una tradizione che ci viene trasmessa attraverso l'educazione, perciò saranno diverse a seconda del tipo di tradizione. Se vogliamo elevarle a verità generali, bisogna fare i conti con quella parte dell'umanità che non condivide tali "intuizioni". Fare questi conti è entrare nella dimensione *oggettiva* del pensiero. Chi

10 Come già nel 1987 notai nella relazione al convegno milanese su Preti: [2].

11 Ettore Casari mi ha fatto notare che l'argomento di Preti ne ricalca uno di Bolzano, con finalità rovesciate.

rinuncia a farli, si isola, si chiude, si auto-inibisce, si nega la possibilità di un'autentica espansione: «Non apprende né insegna, e finisce per non essere neppure se stesso» [5, p. 23]. Perciò (modus tollens morale) bisogna fare questi conti.

Il precedente argomento contro l'esistenza di dati immediati è super-pretiano nel suo essere *double face*, cioè, nell'aver tanto una valenza etica quanto una valenza epistemica. L'oggettività del pensiero è, infatti, sia il tessuto connettivo di ciò che è da tutti riconoscibile come universalmente valido (Preti lo indica come un carattere «dell'umanità») sia, per ciascuno, il veicolo della realizzazione di sé. La conseguenza che Preti ne trae è importante: *la scienza è di questo tessuto connettivo il filo più solido e così è anche portatrice di senso morale.*

Gli sviluppi di questo tema si vedranno in opere successive, prima in *Praxis ed empirismo* e infine in *Retorica e logica* [7], con accenti opposti: di speranza civile nel primo caso e di estremo disincanto nel secondo ma, come si può vedere, il tema era già presente in queste pagine di *Idealismo e positivismo*.

Chiunque pensi di risalire a ciò che è originario, attraverso la percezione di dati immediati o l'intuizione delle essenze, va dunque incontro a guai simmetrici. Eppure, il compito di risalirvi esprime per Preti un'esigenza reale che non può esser cancellata: quella di risalire alle nozioni e ai principi che stanno alla base di qualunque edificio razionale (conoscitivo o morale). I matematici – ricorda Preti – parlano di concetti “primitivi” e di “assiomi”, a partire dai quali si avvia il motore definitorio e deduttivo, ed evidentemente hanno dei fondati motivi per usare questi termini. Bisogna solo stare attenti a non fraintendere e a questo proposito Preti segnala una fondamentale differenza rispetto a Husserl messa in luce sia dalla scuola di Hilbert sia dal Circolo di Vienna: *gli assiomi di una teoria matematica non sono verità prime ma libere convenzioni*, benché non arbitrarie in quanto la scelta di un sistema di convenzioni è sempre motivata, e controllata, in termini di semplicità e fecondità – fattori di natura pragmatica, quindi per nulla arbitrari e soprattutto per nulla intuitivi.¹²

Ecco l'errore di Husserl: convinto che ci sia un criterio *intrinseco* di validità, svincolato da ogni convenzione e intuito direttamente, Husserl finisce invece per riproporre la ricerca dell'Assoluto, facendo così «un'ingenua ipostasi del metodo» [5, p. 23], qui del suo stesso metodo fenomenologico che si basa sulla messa fra parentesi (*epoché*) di tutto ciò che pertiene a quel che di fatto esiste. Inoltre, non basta dire che siamo liberi di compiere la riduzione fenomenologica per giustificare la necessità di compierla (al fine di cogliere le essenze). Preti si chiede perché *soltanto* con tale messa fra parentesi sia possibile giungere al fondamento ultimo e nota che a questa domanda Husserl non risponde.

Il metodo proposto da Husserl è, per Preti, un modo di selezionare alcuni aspetti

12 Qui evito di discutere, come invece meriterebbe, l'assimilazione che Preti fa del formalismo con il convenzionalismo, quasi che la possibilità di più interpretazioni di uno stesso sistema formale fosse equivalente allo status convenzionale degli assiomi del sistema. Il che è, quanto meno, dubbio.

entro la totalità dell'esperienza facendo astrazione da altri, ma non è l'unico modo; e non c'è un criterio che garantisca la validità assoluta di un modo di astrarre rispetto a un altro, per il semplice motivo che «un metodo di astrazione non si giustifica mai» [5, p. 24]. Perché? Perché per giustificare una data astrazione non potremmo far altro che servirci di altre astrazioni. Ogni metodo può e deve essere valutato unicamente in base ai suoi risultati.¹³ L'errore noto come "ipostasi", consistente nel trasformare un processo in qualcosa di fisso e assoluto, si manifesta anche nel presumere che un metodo d'astrazione sia *il metodo*: quell'unico traghetto che ci conduce alle cose stesse, ci mette in contatto con "la realtà", ci fa cogliere le essenze ultime, ci fa entrare in risonanza con l'Assoluto, quando invece non abbiamo fatto altro che reificare e irrigidire una direzione di ricerca, come tale sempre modificabile. Non vogliamo fare quest'errore? Allora – conclude Preti – l'autentico idealismo (critico) cui possiamo giungere raccogliendo la lezione husserliana esige che ci liberiamo dall'illusoria esistenza di dati immediati, in modo da evitare anche quest'ultima scoria della metafisica del passato.

6. Una parentesi non chiusa

Fermiamoci sulle critiche che Preti rivolge a Husserl. Sarà solo una breve parentesi, dietro alla quale non c'è il desiderio di difendere un Husserl frainteso da Preti – perché c'è sempre un Husserl frainteso da X, per ogni X... Husserl compreso! – e tanto meno l'idea di allestire un processo lampo alle intenzioni di Preti. Scopo della parentesi è semplicemente quello di capire meglio il senso delle obiezioni mosse.¹⁴

Per prima cosa, l'operazione che Preti fa per salvare la "positività" della fenomenologia, depurandola da ogni scoria metafisica, pecca di uno strano difetto: è *troppo* giusta. La ricerca di equilibrio dialettico lo porta alla neutralità dell'analisi filosofica, la filosofia non essendo né scienza né metafisica. Questa neutralità è sublime per misura e prudenza, ma confina il suo discorso a una sorta di limbo, e così si rovescia in qualcosa di indesiderato, cioè si rovescia in un disimpegno *teorico*. Il lavoro che Preti assegna al filosofo – dunque il lavoro che *si* assegna – è unicamente sartoriale: taglia via tutte le pretese metafisiche del discorso e cuce quel che resta adattandolo alla mutevole conformazione dei tanti ambiti dell'esperienza umana. Ma, perché il lavoro riesca, l'abito dev'essere in un tessuto super-elasticizzato, che pur sempre sfrutta fatti non mutevoli,

13 Quel che Preti non spiega è come, in presenza della permutabilità delle astrazioni, sia ancora possibile l'ancoraggio semantico del linguaggio all'esperienza. Molti anni dopo ho cercato di spiegarlo precisando tale permutabilità, senza ricordarmi che l'*epoché* locale di cui parlavo era stata così nitidamente espressa da Preti. La precisazione si serve di un principio che ho chiamato "Principio d'Invarianza del Potenziale Referenziale" e l'ho sfruttato per risolvere alcuni problemi relativi all'uso dei nomi propri e delle metafore. L'esito, tuttavia, non è altrettanto pragmatico. Vedi [3].

14 Preti prendeva sul serio Husserl e quindi invitava a capire come si potesse arrivare a un sapere positivo seguendo le sue indicazioni, invece di trattare Husserl come una fonte di esercizi interpretativi. Quando pubblicai *Noema* [1], sembrò che avessi voluto scrivere una quasi banale, oltremodo lacunosa, introduzione alla fenomenologia, vista in rapporto alla filosofia della scienza e alla filosofia della mente, mentre stavo prendendo sul serio l'invito di Preti, con un'analoga operazione di scrematura.

inerenti alla sensibilità e al pensiero. Preti (come già Husserl e, ancor prima, Kant) si ferma al riconoscimento che tali fatti ci sono. Di più non si può dire. *Perché il mondo ci appare come ci appare? Perché ragioniamo come ragioniamo?* sono domande che... non si fanno, perché odorano già di metafisica.

Preti è disposto a concedere che la spinta verso queste domande è legittima. Dopotutto, la filosofia nasce e sempre rinasce dalla meraviglia – nei confronti di tutto ciò che diamo solitamente per ovvio – così come dall’atteggiamento di dubbio nei confronti di quel che diciamo che c’è, è reale, esiste. Ma si preoccupa subito di avvertire: il filosofo non deve assecondare il bisogno di una risposta ben definita, deve piuttosto preservare l’apertura indefinita della spinta originaria, senza per questo vedere le determinazioni storiche di tale spinta come qualcosa di negativo, perché sono “figure” della ragione, non inconvenienti o malaugurati ostacoli al suo dispiegarsi. Giusto e poi ancora giusto.

E *per seconda cosa?* Niente. Non c’è altro. Ecco perché il giusto e poi ancora giusto ci lascia in uno stato limbico: la nostra finitezza, propria di soggetti partecipi di una specifica tradizione – e, per riprendere le parole di Preti, protesi a una pienezza di vita che non si lascia mai acchiappare – dovrebbe trovar pace in uno sguardo da lontano, capace di abbracciare la totalità di Forme e Momenti dello Spirito. Grazie a un simile distacco, ogni rigidità sul piano teoretico, così come su quello esistenziale, si scioglierebbe.

Senonché, una simile liquefazione ha un costo. Quella che qui ci viene prospettata, pur di proteggerci dalla *hybris* di chi crede di aver colto la verità ultima e di possedere ormai l’immagine definitiva delle cose, raffigurante il mondo-così-com’è, è anche una condizione di scissione interiorizzata. La storicità (del sapere, del costume, del gusto, della politica) sarà pure salvifica, ma la lezione è quanto mai amara: si tratta semplicemente di far di necessità virtù. È la lezione tratta da un randagio che, bastonato da ogni nuovo padrone, abbia fatto della propria condizione di randagio la sua essenza, piuttosto che una lezione in grado di sorreggere un convinto progetto di rinnovamento della cultura e della società. Ed è così che *Idealismo e positivismo* si rivela un’operacrisalide. Se l’autore non la considera tale, è per un unico motivo: perché chiude l’Epoca dei Sistemi (Idealismo, Realismo, Positivismo, Storicismo...). La chiude però con un limbo. Ci offre una visione panottica che li ricomprende tutti e, in particolare, dà positività empirica all’hegelismo e senso hegeliano al rifiuto dell’intuizione, fornendo infine la chiave per non comprometterci con o contro qualunque futuro Sistema voglia presentarsi come scienza (o superscienza). Siamo davanti a un sistematico manifesto anti-sistematico.

La consapevolezza di non poter far altro che stare in bilico dovrebbe operare come una mano nascosta nel momento dell’impegno pratico, culturale e civile, del filosofo, ma, a parte il fatto che anche le mani nascoste odorano di metafisica, l’invito rivolto a vivere una meta-vita, dedicata a sguardi da sempre-più-lontano, non può esser accolto neppure da chi lo rivolge: anche i filosofi, Preti compreso, si ritrovano a vivere una vita, richiesti o no di farlo e così il risultato è che entrano in uno stato di scissione, insanabile e drammatica, tutto fuorché pacificante. La vita intellettuale di Preti ne è stata chiara

testimonianza e temo che sia proprio in queste pagine di *Idealismo e positivismo* il seme delle molteplici figure dello spirito pretiano che si alterneranno negli scritti successivi.

Naturalmente, Preti non ricorre ad alcuna mano nascosta. Operosità concreta dell'uomo, valore della tecnica, crescita dell'educazione scientifica, e anche una riflessione filosofica aderente al divenire delle scienze: ecco su cosa si appuntano le speranze di Preti nel 1943. Tutte cose in una mano, la nostra, che nascosta non è. Basta questo a uscire dallo stato limbico? Credo proprio di no.

Se la conoscenza umana è da leggersi nel suo sviluppo dialettico, anche l'auto-lettura dialettica è da leggersi allo stesso modo. Ma allora è chiaro che il suo senso ci sfugge, perché appartiene al futuro. Il senso dell'auto-lettura arriva a cose fatte, quindi, *nel presente*, la conoscenza di ciò che rende possibile la conoscenza è anch'essa relegata nel limbo. La Vita che si conosce solo nelle sue concrete articolazioni resta qualcosa di indefinito ed è connessa in maniera indefinita al Pensiero che articola e riflette sulla sua stessa attività articolatrice. Ci è dato dire unicamente che, col senno di poi, la Vita che possiamo pensare è già Pensiero – e la razionalizzazione del presente vissuto non è più vita *simpliciter*. Altro non ci è concesso. Ciò che chiamiamo “natura” o è un mito o è un momento fenomenologico dello Spirito. Se non è un mito, è «esperienza», ma «esperienza» mutevole e bisognosa di un senso sempre individuato ... in ritardo. Quel che mi preme mettere in risalto è che, tolto il Sistema (hegeliano), il discorso di Preti è condannato all'instabilità: vuole appartenere-a dicendo di non poter appartenere-a. La sua stabilità starebbe solo nella coscienza della sua instabilità.

Siamo franchi: nel '43 la nobilitazione di un simile stato come autentica natura del discorso filosofico aveva un esiguo potere di convincimento e non è che in seguito le cose siano cambiate. Preti ci vuol dire che abbiamo, kantianamente, bisogno di trascendere le concrezioni del pensiero che di volta in volta si pongono come assolute e, allo stesso tempo, dobbiamo evitare che questo bisogno ci porti a credere alla Realtà, al di là dell'empirico, di ciò che unisce le concrezioni. A sua difesa si può osservare che la difficoltà è riuscire a mantenersi in equilibrio, non certo nel chiederlo. Ma la difficoltà sta nel *doversi* fermare a quest'onesto riconoscimento, mentre un coerente immanentismo chiede che si cerchino le *reali*, non limbiche, condizioni di possibilità di ogni sospendere, oltre che di ogni trascendere. Interrompo qui la parentesi, ben consapevole che non può dirsi chiusa.

7. La dialettica all'opera

Dopo aver spiegato come il passaggio dall'idealismo al positivismo e quello inverso siano esemplificati nello sviluppo del pensiero, rispettivamente, di Hegel e Husserl, nella parte restante del capitolo I si prendono in esame i caratteri generali di un simile processo dialettico.

L'idealismo – scrive Preti – ha come punto di partenza l'affermazione che tanto l'essere quanto la sua conoscenza si fondano su uno stesso principio unitario che li lega, ovvero, «La Ragione è la forza produttrice del reale» [5, p. 25], formulazione sufficiente

a capire che il lessico e la prosa di queste pagine risentono del latte idealistico che qualunque aspirante filosofo formatosi in Italia all'inizio degli anni Trenta aveva bevuto, e tuttavia il pudore con cui Preti descrive il senso di un tale principio gli evita cadute nella retorica idealistica.

Qualche inconveniente emerge ugualmente e ce n'è uno da segnalare. Il principio idealistico su cui dovrebbero congiuntamente fondarsi conoscente, conosciuto e conoscere è detto "trascendentale", in senso molto generico. Strano: da Preti ci saremmo aspettati che descrivesse in forma di tesi il principio dell'idealismo, senza assimilarlo genericamente alla Ragione o confonderlo con un'Idea o con l'idea-di-Idea. A parte questo, una tesi c'è. È la tesi che dovrebbe esprimere il nocciolo di ogni idealismo: *Tutto ciò che è razionale è reale, e viceversa*. Sennonché, questa tesi (Hegel) non sarebbe stata sottoscritta dal campione dell'idealismo *critico* (Kant), cui invece l'appello alla nozione di trascendentale rimandava. Perciò la tesi aveva bisogno di essere precisata. Preti non la precisa e con ciò si manifesta l'inconveniente, che è duplice: a) Preti ha dichiarato di volersi muovere sul piano più generale possibile, mentre in realtà assume come paradigmatica la versione hegeliana; b) che Preti descriva la tesi suddetta come avrebbe fatto Cassirer non copre ancora il percorso inverso di Husserl.

Alla lettera, «La Ragione è la forza produttrice del reale» è un'affermazione che trasforma la Ragione/Idea in un dio creatore e così l'idealismo finisce per rivelarsi una delle più plateali forme di metafisica che siano mai state proposte nella storia. In tal caso tutti i discorsi fatti sull'idealismo che trapassa in positivismo risultano illusori. Dunque si doveva intendere "produttrice" in un altro senso. Volendo, possiamo anche immaginare *quale*, ma Preti non si sofferma a spiegarlo.

Faccio finta di non capire? No, qui Preti mette da parte i suoi scrupoli empiristici per badare alla sostanza. E la sostanza è che l'astratto ideale della razionalità si cala, storicamente, in forme e contenuti determinati, che questi contenuti di volta in volta risultano essere inadeguati all'ideale, e che questa inadeguatezza ha un risvolto: la realtà contiene sempre qualcosa di non corrispondente all'Idea. Indipendentemente dalla specifica sistemazione razionale assunta come paradigma, la realtà, pur senza l'intenzione di farci i dispetti, testimonia in contrario. Ma il reale non doveva essere razionale?

Ci sono due vie d'uscita possibili. O identificare il reale come specchio di una determinata forma di razionalità, con la conseguente esclusione di tutto ciò che contrasta con tale forma, oppure, rinunciando all'identificazione, concepire la ragione come puramente formale, svuotata di ogni possibile contenuto e dunque anche da ogni sua specifica concretizzazione storica.

La prima, descritta da Preti come «platonismo», è una via che, quando assume veste psicologica, diventa «spiritualismo», il quale poggia su un'intima certezza, sentita più che ragionata: la certezza di come la realtà *dovrebbe* essere, da contrapporre alla realtà *così com'è*. Qui si ripresenta un carattere tipico del discorso di Preti: un'opzione filosofica (l'ismo di turno) è intesa e discussa come tipo-di-atteggiamento verso il mondo. In questo caso il «platonismo», spiritualistico o no, è bollato da Preti come odio nei

confronti della vita, moralismo ipocrita, disinteresse, se non disprezzo, verso l'indagine scientifica e verso le spiegazioni che essa via via, faticosamente, consegue.¹⁵ Ma il piano dell'immacolato dover-essere non basta, come contrappeso al male del mondo, e allora lo spiritualista ha bisogno di far corrispondere a tale piano un nuovo piano, tutto *interiore*, dell'essere e, come tale, *inverificabile*: il piano della coscienza. Per Preti, questo è mero *wishful thinking*, per giunta incoerente nella praxis perché poi il rigore morale si stempera in un compromesso dietro l'altro: «La natura umana, si sa, è fragile», quel che conta sono le buone intenzioni e così «tutto l'apparato della tartuferia gesuitica» torna a galla [5, p. 27].

La seconda via è quella dell'idealismo che culmina in Hegel: la Ragione è sintesi immanente e infinita di ciascuna delle determinazioni finite che la manifestano e allo stesso tempo la limitano; e due sono i corollari di questa concezione della Ragione quale «risultato all'infinito di un processo infinito». Preti li enuncia a pagina 28:

[1] l'Assoluto è una entità di cui non si può mai parlare seriamente come di una 'cosa che è', non entra mai nella considerazione pensante della realtà se non come criterio metodologico e un limite;

[2] ogni elemento dell'esperienza, in quanto venga sottoposto a considerazione pensante, è un momento dell'Assoluto. [5, p. 28]

A questo punto, con un triplice salto, Preti prima afferma che la congiunzione dei due corollari esprime l'accettazione di un relativismo empiristico, poi che tale posizione è il nocciolo del positivismo, e infine che caratteristica del positivismo è una certa tendenza nominalistica.

Consideriamo separatamente ciascuno di questi tre punti (che Preti dà per evidenti). Per quanto riguarda il primo, il relativismo non scende banalmente dai due corollari e, se davvero scende, l'argomento manca. Anche pensando che l'omissione sia giustificata dalla fiducia che tutti gli aspetti della sua lettura dell'idealismo siano tra loro necessariamente connessi, questa fiducia era da argomentare. Quanto al secondo, Preti sorvola sia sul fatto che anche le concezioni positivistiche si sono nutrite di metafisica, e in particolare di quella materialistica, senza scrupoli dettati da relativismo, sia sul fatto che gli empiristi non sono sempre andati d'accordo con i positivisti (a meno che, banalmente, per empirismo s'intenda ciò che va d'accordo con il positivismo e il relativismo, intesi a loro volta in modo tale da andare d'accordo con l'empirismo). Quanto al terzo punto, la correlazione fra positivismo e nominalismo non è, in generale, scontata, anche se si è manifestata nei filosofi che probabilmente Preti aveva in mente: Poincaré e Carnap.

Dunque, la questione è più complicata di quanto avremmo sperato e ancor più complicata diventa quando si afferma che il nominalismo è una conseguenza della concezione idealistica secondo la quale l'Assoluto non è un ente, bensì unicamente la

15 Il che è un po' esagerato, perché nel corso della storia i platonisti si sono anche impegnati a 'salvare i fenomeni' e quest'impegno non corrispondeva a disprezzo per l'indagine scientifica.

Legge-del-processo e, come tale, puramente formale.¹⁶

Se ci atteniamo al ragionamento presentato nel testo, dovremmo dire che non solo Kant ma anche Hegel, una volta messo da parte ogni residuo sostanzialistico, è un campione di nominalismo. Il che, pur con tutta la benevolenza verso l'opera di depurazione intrapresa da Preti, è difficile da mandar giù. Se prendiamo per buona una simile forzatura, ne soffre la stessa «realtà» che Preti vuole ascrivere alle strutture dello spirito oggettivo: ogni entità collettiva, a partire dalle istituzioni, sarebbe *flatus vocis*. Ci sono affermazioni in testi successivi di Preti che suggeriscono una simile idea (talvolta gliel'ho sentita esprimere anche a voce, quando si divertiva a sbalordire i tanti che prendono alla lettera le metafore di personificazione), come ci sono affermazioni in contrario. Se la prendiamo sul serio, dobbiamo prepararci a conseguenze un po' scomode. Nel contesto del ragionamento condotto in queste pagine di *Idealismo e positivismo* non è il caso di soffermarsi su tali conseguenze, per un semplice motivo: il discorso fatto fin qui, se stava in piedi, non aveva bisogno di essere sovraccaricato di compiti, com'è quello di aggregare tra loro tutti gli ismi da considerare libertari – compito che qui Preti si addossa.

8. I difetti dell'idealismo corretti con il positivismo

Tenendo fermi i due corollari, si crea lo spazio per una pluralità di linee filosofiche. La loro pluralità stava a cuore a Preti, ma gli stava a cuore anche inquadrarle unitariamente e qui ci dice che positivismo e idealismo sono, benché ovviamente diversi (e inversi), due vie del «razionalismo». In quale senso del termine? Preti spiega che il positivismo è caratterizzato da un principio e da una limitazione del principio.

Principio del positivismo: *ogni esperienza è traducibile in pensiero.*

Limitazione: *si può parlare solo di ciò di cui possiamo avere esperienza.*¹⁷

Il principio caratterizza, per Preti, *ogni* «razionalismo», ma la limitazione è anch'essa un principio, individuante quella *specifica* forma di razionalismo che dicesi positivistica. «Si può parlare»: se «parlare» significa *fare affermazioni che abbiano un qualche pretesa di verità*, l'idealista Kant sarebbe stato d'accordo; se significa *esprimere pensieri*, non sarebbe stato d'accordo, perché quel che si colloca oltre i confini dell'esperienza è, per Kant, pur sempre pensabile – ne possiamo parlare, anche se non ne possiamo avere conoscenza.

Il principio del positivismo e la sua limitazione hanno una valenza più programmatica che descrittiva, perché affermano congiuntamente «che il pensiero debba essere la traduzione concettuale di ciò che è contenuto nell'esperienza» [5, p. 29]. Inteso così latamente, il positivismo non è più conforme a quanto sostenuto da molti pensatori dell'Ottocento catalogati come «positivisti» e sta piuttosto a indicare un punto di vista condiviso anche da pensatori che «positivisti» non si sarebbero detti. Morale: i positivisti in carne e ossa non sapevano bene che cosa fosse il «positivo» del positivismo e lo

¹⁶ Qui sarebbe necessaria un'altra parentesi, ben più ampia della precedente.

¹⁷ [5, p. 30].

stesso dicasi degli idealisti in carne e ossa, i quali hanno tradito il senso del pensiero di Kant e di Hegel.

È qui all'opera una riduzione fenomenologica delle posizioni presenti nell'effettiva storia della filosofia e, come conseguenza, la polemica tra idealismo e positivismo risulta fuorviante, perché si appunta su divergenze inessenziali. Entrambi sono vie del razionalismo. E chi è per Preti il campione di un positivismo *qua* via del razionalismo? Niente meno che Galileo! Ma andando indietro fino al Seicento bisogna per coerenza ripetere la stessa strategia depurativa messa in atto per l'Ottocento e questo significa ripensare daccapo l'empirismo, usualmente indicato come opposto del razionalismo.

A questo ripensamento Preti si dedicherà nel decennio successivo, con un esito di segno diverso, perché l'empirismo, invece di spogliarsi semplicemente di scorie, dovrà arricchirsi di una nuova dimensione, cioè, del carattere storico dell'esperienza. Ma nel libro del 1943 una cosa è già chiara: Preti vuol recitare il *De profundis* per la filosofia come storia di se stessa e per recitarlo si serve di un terremoto semantico. Non che sia proibito, intendiamoci, cambiare i significati o selezionarne uno a scapito di altri. È però un'operazione delicata, che estromette dal piano teoretico tutti quegli aspetti storicamente determinati che non si confacciano alla ricostruzione razionale,¹⁸ mentre ne sfrutta pur sempre la storicità. Legittimo o no, il procedimento selettivo, è *argomentato* su basi teoretiche ed è tutto fuorché sincretico.¹⁹

9. I pericoli del positivismo corretti con l'idealismo

Denunciati i pericoli cui va incontro l'idealismo e corretti con il «principio» e con la «limitazione» del positivismo, Preti passa ai pericoli del positivismo, segnalandone due, tra loro connessi. Primo, c'è il rischio di fare dell'esperienza una specie di terra sacra, pura, inviolabile e chiusa in se stessa. Secondo: c'è il rischio che si finisca per rendere inutile la filosofia, una volta che il pensiero "positivo" abbia aderito pienamente all'esperienza.

Partire dall'empiria è, per Preti, «di principio legittimo» ma ... se ne facciamo un dato primigenio, ci ritroviamo con un'empiria mito, rimpiazzo per l'Assoluto dei metafisici [5, p. 30]. Chi esorta a *lasciar parlare i dati* si scorda che i dati non parlano: l'empiria non è auto-esplicativa. Imboccando questa strada, non c'è più spazio neanche per il pensiero scientifico, oltre che per quello filosofico, e la stessa esperienza s'impo-

18 La storia reale è confinata in nota, a piè di pagina, proprio come nel caso della dialettica neohegeliana di Imre Lakatos. La prima differenza è che la dialettica di Lakatos è metascientifica, quella di Preti metafisica. La seconda è che Lakatos mette le note, Preti non le mette. Il fatto di compiere una riduzione eidetica lo esime dal metterle, è vero, ma siccome ci ha detto che nessuna astrazione è completa, non poteva esser sicuro che i caratteri selezionati (astratti) in un caso andassero bene in ogni altro.

19 Preti non dice e non può dire che tali basi ricevono la loro legittimazione dal processo che le ha portate in essere. Di qui, il *De profundis*. Coerente con ciò, la sua preoccupazione per la fallacia naturalistica (psicologismo e relativa variante storico-sociale) rientra in una più ampia rivendicazione dell'autonomia della razionalità umana, che si declina anche come auto-nomia della teoresi filosofica.

verisce perché, se le attribuiamo una qualche struttura, dobbiamo ammettere che il suo tessuto relazionale ospita potenzialità virtuali (propensioni, disponibilità), quindi non è soltanto un insieme di dati *in actu*. Se lo fosse, ci resterebbe «soltanto un fluido di sensazioni o emozioni» [5, p. 31], immersi nel quale (ecco di nuovo un'altra valenza etica) ci sarebbe data solo una vita passiva, irresponsabile, che si traduce al più in “ap-punti” diaristici: protocolli di emozioni e resoconti di stimoli e risposte, che, quando espressi in forma letteraria, danno opere di bassa levatura.

Forse l'empirismo classico teorizzava quest'immersione? No – risponde Preti –, era piuttosto «robusto razionalismo», l'opposto di una molliccia adesione al vissuto, tanto che (udite, udite), se gli empiristi hanno criticato le pretese di qualsivoglia categorizzazione aprioristica, era solo perché volevano rivitalizzare le categorie facendole sloggiare dal «chimerico regno dei valori che 'valgono e non sono', e quindi neppure valgono» [5, p. 31]! E il campione di un simile empirismo chi è? Nientemeno che Kant, il quale ci ha insegnato come la realtà dell'esperienza si costituisca all'interno delle strutture epistemiche (condizioni a priori di possibilità) dell'esperire: qualunque oggetto cui ci possiamo riferire nel discorso si dà solo come risultato di un'aperta rete di connessioni, che si estende e s'infittisce di sempre nuove connessioni, e qualunque attribuzione di *realtà* a qualcosa richiede una mediazione concettuale [5, p. 32]. Un'esperienza può dirsi *reale* solo perché il pensiero si è scollato dal “dato” e già il fatto di denominare qualcosa come “emozione” o “sensazione” è testimonianza di un'implicita, pervasiva, attività concettuale.

Perché Preti ribadisce con tanta enfasi la lezione kantiana? In quegli anni aveva un bersaglio e non uno che si fosse inventato. La sua bestia nera era la trasformazione dell'empirismo in spiritualismo e più specificamente, in quella forma di spiritualismo che era legata al nome di Bergson e in fondo anche ai nomi di Simmel e di Scheler, i quali per altri motivi gli erano cari e dai quali ora deve prendere le distanze, visti gli esiti nefasti della trasformazione. Perché nefasti? Il guaio di quest'empirismo spiritato sta nel fare della filosofia una galleria di visioni-del-mondo, corrispondenti ad altrettante prospettive esistenziali, quasi che per fare filosofia basti narrare se stessi, abbozzando dottrine che esprimono un personalissimo punto di vista e senza bisogno di fare i ragioneri sulla correttezza dei passaggi. La sintassi logica lascia allora il posto alla paratassi *et pour cause*, non essendoci motivo che i controlli ci siano, dato che ovviamente ognuno sa quel che prova. Così, «il filosofo diventa una specie di *viveur intellettuale*» [5, p. 32], lontanissimo da esigenze di rigore e oggettività, che Preti giudica inderogabili, facendo già intravedere il senso *etico* che a tali esigenze darà in *Praxis ed empirismo*.

Il termine usato, «spiritualismo», non è detto fosse il più adatto a indicare una simile praxis e relativa poetica, perché lo stesso Preti era consapevole che sotto quel termine si raccoglievano tipi molto diversi di «atteggiamento»: dalle «anime belle» che disprezzano la realtà, sporca e vile, in nome di una purezza intima, fatta di sentimento più che di pensiero, agli spiriti che non avvertono alcuna cesura tra sé e il mondo perché

interamente assorbiti dalla propria esperienza-del-mondo. Se ardita era la confluenza tra idealismo e positivismo, anche una simile congrega lo era.

Preti pensava di descrivere un atteggiamento che di lì a poco, e grazie ai suoi stessi argomenti, sarebbe finito in un angolo. Non sapeva di descrivere un tipo di filosofo che avrebbe impazzato nella cultura italiana di fine XX secolo. Gli editori ne avrebbero inondato le librerie, la stampa quotidiana ce ne avrebbe ammannito i fondi e la tv le interviste: ogniqualvolta c'era un problema su cui sentire la voce della filosofia, avere un'opinione da chi ha una prospettiva più ampia di quella dell'uomo della strada, uscire dalla freddezza del discorso tecnico-scientifico, c'era lì pronto il filosofo-vate, sacerdote del profondo, a dispensare verità (noumeniche) e a disprezzare ogni altra verità (non-noumenica), il tutto senza il minimo banale centimetro di sintassi logica.

Beh, e se Preti lo avesse saputo? Sulle prime, credo che si sarebbe intristito perché significava che i suoi sforzi erano stati vani. A mente fredda, non avrebbe dovuto stupirsi. Dal '43 in poi egli stesso si trovò costantemente di fronte questo tipo ideale (...) di filosofi e negli ultimi anni della sua vita lanciò strali ripetuti contro i «filosofi in minigonna» e il più impudico sbrodolamento di visioni-del-mondo, tanto generiche e paratattiche quanto all'apparenza dotte. Evidentemente, gli argomenti da lui adottati nel disegnare un ideal-positivismo quale cornice del rinnovamento della cultura italiana non avevano attecchito.²⁰

Ma c'era anche un secondo pericolo: quello di perseguire l'empirismo con tale abnegazione da non riuscire a trovar più posto per l'indagine propriamente filosofica. Vedi i tanti scienziati che trattano la filosofia alla stregua delle opinioni sulla formazione tipo della nazionale di calcio (e certo, se prendono a esempio gli «spiritualisti», hanno buon gioco). Preti nota che in questo modo l'empirismo, senza rendersene conto, si taglia l'erba sotto i piedi ignorando come Kant abbia già indicato la via per evitare un tale esito: c'è uno scarto tra ragione ed esperienza, l'una non può ridursi all'altra, ma l'una non può reggersi senza l'altra. L'errore di Kant è stato, a giudizio di Preti, l'aver cercato di ricondurre la rete di rapporti fra ragione ed esperienza alla «presunta» attività di un «io» che è solo «un mito metafisico e psicologico»: da quest'errore è scaturita la metafisica idealistica, a partire da Fichte.

Per liberarsi del mito, non occorre rinunciare alla filosofia. Anzi, l'idealismo che resta è quello che ha aiutato il positivismo a trovare la sua più genuina dimensione, vale a dire, quella di autentico *razionalismo*. Conclusione e riassunto [5, p. 33]: «L'idealismo e il positivismo non sono dunque due filosofie contrarie, ma contrarie, almeno in apparenza, sono le metafisiche relative». Le due metafisiche sono sì contrarie ma sono

20 La presente esposizione voleva aiutare a capire i ragionamenti condotti nel capitolo I di *Idealismo e positivismo*. Se è, in qualche misura, attendibile eppure è difficile da capire per chi non abbia mai masticato un po' di filosofia, possiamo immaginare che non meno difficile fosse comprendere questo capitolo (e i successivi) nel '43. Almeno chi allora insegnava filosofia non avrebbe dovuto incontrare difficoltà. Invece, evidentemente, l'incontrò. Niente è più difficile da capire di quel che non vogliamo capire... a meno che faccia difetto la facoltà richiesta.

anche portate a convergere nello spiritualismo. Sta proprio in questa convergenza, e nel pericolo che essa costituisce, il motivo dell'insistenza di Preti sulla necessità di depurare dalle scorie tanto l'idealismo quanto il positivismo. Che la toponimia filosofica dovesse essere, di conseguenza, ridisegnata, faceva parte di una battaglia antimetafisica.

Eliminate le scorie, sparisce l'antinomia fra idealismo e positivismo. La vera antinomia è un'altra, che ora si rivela essere quella fra «razionalismo» e «dogmatismo», così come intesi da Banfi. La positività del razionalismo sta nell'essere pensiero dialettico che coglie il divenire dei rapporti fra Ragione e Realtà; la negatività del dogmatismo sta nell'essere ipostasi di un particolare «momento», estratto da questo divenire e assolutizzato, di fronte al quale ogni altro «momento» è da sopprimere, perdendo così di vista la partecipazione di tutti i «momenti» alla formazione sempre *in fieri* della ragione umana.

10. Terribile colpo di scena

La domanda ora è: una positività così mirabilmente consapevole, fino ad apparire ... ecumenica, non impedisce forse una qualunque ascrizione di verità e realtà a qualcosa piuttosto che a qualcos'altro? Non è che, entro i confini della positività, *anything goes*? Preti voleva mantenere verità e realtà come principi-guida (Kant avrebbe detto "regolativi") e gli premeva quindi separare il carattere formale di tali principi dai contenuti determinati in cui si calano ma, se separati da ogni contenuto, ogni contenuto ci può rientrare.

Alla fine del capitolo, Preti puntualizza: non ci si può attenere da cima a fondo a tale separazione, abbiamo bisogno di "mitologizzare", altrimenti non avremmo modo di accorgerci della limitatezza di ogni specifica identificazione tra l'idea/forma/principio di verità e una sua qualsiasi concretizzazione storica. A titolo di contro-esempio, basti pensare a uno di quegli scienziati che parlano della verità scientifica come se fosse destinata a restare tale per l'eternità. Allora – Preti conclude –, anche alla metafisica che bisognava riporre in soffitta va riconosciuta una funzione positiva. Ecco il senso del razionalismo *integrale*: tanto il movimento incessante del pensiero quanto le sue fermate sono indispensabili. E le fermate aiutano a capire il movimento più di quanto il movimento aiuti a capire le fermate. Entrambi sono comunque oggetto della filosofia (che dunque è autoreferenziale) e di entrambi occorre cogliere la funzione.

Con ciò, per franchezza, temo che Preti stia proponendo una sorta di hegelismo al quadrato che, volendo abbracciare troppe cose, rischia di vanificare il lavoro fatto. Per evitare paradossi da autoriferimento, la sua strategia avrebbe successo solo se il movimento del pensiero, nel momento in cui è tematizzato, si collocasse su un piano iperuranico, ancor più formale di quel che Preti era disposto ad ammettere. Soprattutto, nel momento in cui anche le ipostasi si vedono ascrivere, iper-astutamente, un ruolo positivo, tutta la polemica contro le scorie di metafisica risulta eccessiva, semmai legata a un "momento", e perde di mordente; e allora neanche lo spiritualismo meritava la condanna inflitta, a meno di ulteriori distinguo (che Preti omette). Se invece non ci

facciamo scrupoli sull'autoriferimento, la stessa polemica diventa un elemento della partita e quindi la condanna può anche esser meritata, ma solo in virtù della funzione che la condanna ha nel movimento-del-pensiero, la quale funzione non è detto che sia accessibile a chi gioca la partita e quindi dovrebbe essere scusato. In tal caso, tutto il discorso fatto fin qui finirebbe per ospitare un'antinomia radicale, nascosta dietro alla convergenza, che si proponeva di avvalorare, tra linee di pensiero solitamente considerate antitetiche.

C'è un modo per sfuggire a questa conclusione? Se c'è, l'unica via per stabilirlo passa per la formalizzazione logica di questo come dei precedenti schemi argomentativi di Preti. Un proficuo esercizio, ma ovviamente non oggi. Mi limito perciò a osservare che il suggerimento iper-hegeliano sarà poi lasciato cadere, sia nei successivi capitoli di *Idealismo e positivismo* sia nei libri e negli articoli che poi Preti avrebbe scritto.

Forse non ebbe bisogno di molto tempo per rendersi conto che il suggerimento era difficile da 'gestire'. Forse arrivò a considerarlo come un'altra di quelle scorie di cui liberarsi. In realtà, era la spia di un problema sul quale Preti più volte ritornerà, un problema mai giunto a piena soluzione e, così com'è impostato da due secoli, probabilmente destinato a non giungervi: quello di una ragione formale che si fa nella storia e che riconosce il suo farsi storico ma che non può esserne riassorbita. Tanti dibattiti a noi più vicini, come quello che ha opposto i sostenitori di una filosofia della scienza come metodologia e i sostenitori di un'epistemologia interamente storicizzata, non hanno fatto che riformulare il problema in altri termini, riportandoci esattamente lì dove Preti lo aveva lasciato.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Peruzzi, A., *Noema*, F. Angeli, Milano 1988.
- [2] Peruzzi, A., È morale la filosofia della morale?, in Minazzi, F. (a cura di), *Il pensiero di Giulio Preti nella cultura filosofica del Novecento*, F. Angeli, Milano 1990, pp. 307-320.
- [3] Peruzzi, A., From Kant to Entwined Naturalism, *Annali del Dipartimento di Filosofia*, Università di Firenze, IX, 2004, pp. 225-334.
- [4] Preti, G., *Fenomenologia del valore*, G. Principato, Milano-Messina 1942.
- [5] Preti, G., *Idealismo e positivismo*, Bompiani, Milano 1943.
- [6] Preti, G., *Praxis ed empirismo*, Einaudi, Torino 1957.
- [7] Preti, G., *Retorica e logica*, Einaudi, Torino 1968.

Storia e filosofia della medicina

IL DISACCORDO MORALE NELLA BIOETICA¹

SERGIO FILIPPO MAGNI

Università di Pavia

1. Il disaccordo morale

La riflessione bioetica ha dedicato grande attenzione al tema del dilemma morale, in cui ci si può imbattere sovente in relazione alle più delicate questioni pratiche (aborto, fecondazione assistita, ingegneria genetica, eutanasia e così via). Altrettanta attenzione andrebbe riservata al tema del disaccordo morale, argomento di questo intervento.

Innanzitutto, occorre chiarire la distinzione tra dilemma morale e disaccordo morale. Il dilemma morale riguarda un conflitto di valutazione interno allo stesso soggetto, che si trova scisso tra una valutazione morale positiva o negativa della stessa situazione.

I dilemmi non sono situazioni in cui due considerazioni meramente collidono, ma in cui queste collisioni pesano fortemente sul cuore dell'agente e lo minacciano. Egli sperimenta sentimenti di impotenza e indecisione, un senso di incapacità di sapere quale corso di azione seguire. Il riferimento all'agente è dunque essenziale nel caratterizzare una situazione come un dilemma morale [22, p. 5].

Il disaccordo morale riguarda invece un conflitto di valutazione morale fra soggetti diversi, uno dei quali valuta una certa situazione positivamente, e un altro negativamente.

Disaccordi e dilemmi possono essere apparenti o genuini a seconda del fatto che siano o meno possibili strade di risoluzione. Un disaccordo apparente, ad esempio, è un disaccordo risolvibile attraverso considerazioni di carattere morale (mostrando che le due parti in realtà condividono gli stessi principi morali fondamentali), o attraverso considerazioni di carattere fattuale o semantico (mostrando che una delle due parti si basa su una conoscenza errata o fraintende il significato delle parole); mentre un disaccordo genuino è un conflitto non risolvibile sulla base di considerazioni morali, fattuali o semantiche.

Uno dei tratti caratteristici della riflessione bioetica è l'osservazione che sulla soluzione di molti dei problemi su cui essa si concentra non c'è un accordo di carattere generale. Si è anzi in presenza di un disaccordo persistente tra i punti di vista e tra le valutazioni rilevanti, che solo in certi casi riesce a trovare posizioni di incontro e di

¹ Testo dell'intervento in occasione dell'incontro "Storia e filosofia della medicina", svoltosi presso il Palazzo dei Vescovi, a Pistoia, nell'ambito dell'edizione 2011 di Pianeta Galileo.

mediazione. Un disaccordo che riguarda non solo gli appartenenti a contesti sociali e culturali differenti (il disaccordo per il quale è stato sollevato il tema del relativismo etico [12, 13], ma spesso anche gli appartenenti al medesimo contesto sociale e culturale, e che interessa tanto il dibattito filosofico accademico quanto la più ampia discussione pubblica delle società occidentali.

Ha scritto Hugo Tristram Engelhardt:

Lungi dal condividere un'unica morale noi conviviamo con visioni morali concrete sorprendentemente diverse e con diverse concezioni degli obblighi, dei diritti e dei valori morali. Ogni posizione protesta la propria priorità. Secondo alcuni, eutanasia e suicidio assistito sono pratiche mediche moralmente corrette; secondo altri sono decisamente immorali. Alcuni giudicano del tutto immorale la maternità surrogata a pagamento; altri vi vedono un modo di riconoscere la dignità delle donne come liberi agenti morali. Alcuni ritengono che ai ricchi non si debbano consentire trattamenti salva-vita inaccessibili ai poveri; altri ribattono che tutti devono essere liberi di procurarsi tutte le terapie che possono permettersi. E quando si tratta di giustificare prospettive morali così diverse, alcuni chiamano in causa le conseguenze, mentre altri fanno appello ai principi del giusto e dell'ingiusto del tutto indipendenti dalle conseguenze [5, p. 25].

Come emerge dalle ultime righe della citazione, il disaccordo sulla valutazione dei singoli casi corrisponde a un disaccordo filosofico più generale su quale sia la migliore teoria in base alla quale stabilire quando una azione sia giusta o ingiusta, doverosa o non doverosa, ecc. (la migliore teoria etica normativa). Questo disaccordo è caratteristico dell'etica filosofica, ed è condiviso dalla bioetica e in generale dall'etica applicata [1, 14, 15, 16]. Vi si tornerà nel paragrafo 3.

2. La disponibilità e la non-disponibilità della vita

Ma il disaccordo tra differenti impostazioni normative non esaurisce il disaccordo presente in bioetica: un disaccordo ancora più generale può essere individuato tra due prospettive complessive riguardanti il modo di affrontare le questioni bioetiche. Una prospettiva condivide un atteggiamento che ritiene che la vita umana non sia disponibile all'uomo, l'altra prospettiva condivide un atteggiamento che ritiene invece che l'uomo abbia piena disponibilità della propria vita. L'adozione dell'uno o dell'altro atteggiamento si accompagna ad altri assunti etici e valutativi, tanto che la distinzione tra le due prospettive viene a volte considerata come la distinzione tra due vere e proprie 'etiche': un'«etica della non-disponibilità della vita» e un'«etica della disponibilità della vita» [11, p. 54]. I due atteggiamenti sono tuttavia solo prospettive generali: le posizioni interne a ciascuna non sono necessariamente uniformi e coerenti e anzi esse racchiudono al proprio interno notevoli diversità e pluralità di impostazioni (come si vedrà nel prossimo paragrafo).

La prospettiva della non-disponibilità della vita sostiene che l'uomo non ha a disposizione la propria vita e ha dunque il dovere di rispettarla, in qualunque fase essa

si trovi. Questa tesi è spesso formulata col riferimento a un principio di sacralità (o di santità) della vita umana; tanto che la denominazione più comune per indicare questa posizione è proprio quella di “etica della sacralità della vita”.

Scrive Helga Kuhse:

Se “vita” in medicina significa “vita umana corporea”, “santità de” o “rispetto per” la vita significa che tutta la vita umana corporea, indipendentemente dalla sua qualità o dal suo genere, è ugualmente dotata di valore e inviolabile. Questo significa che, in base a questa concezione, le decisioni sulla vita e sulla morte non devono essere fondate su considerazioni intorno alla qualità della vita. [...] Il principio di santità della vita afferma esplicitamente ciò che è implicito nella concezione secondo cui la vita umana ha “santità”: che è assolutamente proibito porre termine intenzionalmente alla vita perché tutta la vita umana, indipendentemente dalla sua qualità o dal suo genere, è ugualmente dotata di valore e inviolabile [10, pp. 4 s].

Il richiamo alla nozione di sacralità rimanda implicitamente a una dimensione trascendente e religiosa; tuttavia, non necessariamente la prospettiva della non-disponibilità della vita umana assume una caratterizzazione religiosa, essendo talvolta sostenuta anche in una prospettiva secolarizzata. Come nota ad esempio Ronald Dworkin, nel definire qualcosa come “sacro” si può intendere semplicemente che è dotato di valore intrinseco, utilizzando il termine soltanto per la sua forza retorica e dunque senza implicare necessariamente un riferimento a Dio: «una cosa è sacra e inviolabile quando la sua distruzione deliberata disonorerebbe ciò che dovrebbe essere onorato» [4, p. 101].

La versione prevalente è comunque quella religiosa, in Italia quella sostenuta dal magistero cattolico. Rifacendosi a un’impostazione filosofica di carattere neo-tomistico, questa versione concepisce la natura come ordinata finalisticamente secondo un progetto divino: nella natura vi è un ordine costitutivo di carattere finalistico, e ci sono leggi di natura in cui questo ordine si manifesta in quanto progettato da un legislatore divino. Le azioni dell’uomo sono dotate di valore morale, cioè giuste o doverose, se rispettano la legge e l’ordine naturale. In questa impostazione, il principio morale supremo prescrive il rispetto dell’ordine e del finalismo naturale. La natura ordinata secondo il progetto divino è donata da Dio all’uomo, che ne è il custode ma non il signore, non potendo interferire con le sue leggi. E poiché ogni essere deve agire conformemente al fine che è stato ad esso assegnato, e il finalismo intrinseco dell’organismo umano è la conservazione e la riproduzione della vita, dal principio del rispetto dell’ordine naturale viene dedotto un principio morale subordinato che prescrive il rispetto della vita umana, la sua sacralità e quindi la sua non disponibilità all’uomo.

Scrive Dionigi Tettamanzi:

L’uomo è “signore” solo se e nella misura in cui è “ministro” del disegno stabilito del Creatore. [...] La signoria ministeriale dell’uomo sulla vita è da attuarsi secondo la *legge morale naturale*, che chiede il rispetto intelligente e responsabile delle strutture, dinamismi e finalità della natura umana, della

natura della persona umana. [...] [È] essenziale, nei più diversi problemi di bioetica, il riferimento al rispetto della natura umana e quindi alla legge morale naturale. [...] La legge morale naturale facendo riferimento all'ordine della creazione, e quindi ai "significati" oggettivi che costituiscono l'uomo stesso e che lo precedono e si impongono a lui come appello per la sua signoria responsabile, salva la persona dai pericoli del soggettivismo e del relativismo [24, p. 112 s.].

Il principio del rispetto della vita è comunque solo un principio derivato; come viene spesso osservato, la prospettiva della non-disponibilità della vita non è una forma di vitalismo assiologico che prescrive di tutelare in maniera assoluta la vita umana. Essa riconosce, infatti, circostanze in cui è legittimo porre fine alla vita umana, qualora si tratti della vita di un individuo non innocente (come si argomenta per giustificare moralmente la pena di morte o la guerra) [6, p. 32].

La prospettiva della disponibilità della vita umana sostiene invece che la vita è disponibile all'uomo: e ciò soprattutto quando non sia più «degnata di essere vissuta» [7, p. 51]. Quello che conta non è dunque la vita umana in quanto tale, quella che è stata chiamata la mera «vita biologica», ma la *qualità* della vita umana, quella che è stata chiamata «la vita biografica». Ciò spiega l'espressione "etica della qualità della vita", comunemente usata per designare questa posizione:

vita umana può significare cose differenti: può significare l'esistenza di processi vitali e di funzionamento metabolico senza stati di coscienza ("mera vita"), e può significare la vita di un soggetto che ha esperienze, cioè di un essere umano consapevole o auto-consapevole. Un'etica della qualità della vita [...] distingue tra differenti tipi di vita e li considera rilevanti per giudicare se il mettere fine alla vita sia ingiusto [10, pp. 210 e 215].

Questa prospettiva solitamente assume una caratterizzazione non religiosa, venendo escluso ogni riferimento a presupposti trascendenti e metafisici, ed è quindi presentata come una forma di etica laica (e bioetica laica si chiama comunemente in Italia la bioetica che vi fa riferimento) [6, 19]. Tuttavia, la prospettiva della disponibilità della vita non è necessariamente non religiosa, potendosi anche dare impostazioni religiose che accettano la tesi della disponibilità della vita umana e il riferimento alla qualità. Così, ad esempio, si legge in un documento della Chiesa riformata d'Olanda:

Come risulta dai primi capitoli del libro della Genesi, Dio ha chiamato all'esistenza tutte le cose preordinandole in modo che vi fosse un luogo in cui l'uomo potesse vivere. Qui *vivere* è da intendersi nel senso più profondo della parola, cioè non soltanto nel suo significato di animalità biologica ma anche nella sua dimensione religiosa e sociale. [...] Morte, perciò, è ben più del cessare biologico della vita; e vita è ben più di un esistere vegetativo. In altri termini le parole vita e morte non sono intese quantitativamente nella Bibbia, ma qualitativamente. La *qualità* della vita è più importante della sua *durata*, benché ambedue stiano in stretto rapporto tra loro, secondo la tradizione dell'Antico Testamento [*Guida Pastorale*, in 3, pp. 62 s.].

Un'ulteriore precisazione va fatta sull'uso dell'aggettivo "laico". Esso non va confuso con "ateo": definire "laica" una concezione etica o bioetica non significa negare l'esistenza di Dio, ma solo negare che il riferimento a Dio possa essere impiegato nella costruzione di un'argomentazione filosofica. Come ha scritto Uberto Scarpelli:

laico è chi ragiona fuori dell'ipotesi di Dio, accettando i limiti invalicabili dell'esistenza e della conoscenza umana. Una bioetica laica è una bioetica elaborata come se non ci fosse un Dio (*etsi Deus non daretur*) [19, pp. 9 s.].

Un problema che si apre all'interno di questa impostazione è cosa intendere con "qualità della vita". Sono possibili infatti diversi modi di caratterizzare la qualità della vita:

le valutazioni sulla qualità della vita, sia quelle personali, sia quelle formulate da un osservatore [...] riflettono le idee, i valori, i gusti personali di chi esprime il giudizio. La domanda da porsi è se ci sia qualche criterio obiettivo sul quale tutti concorderebbero [9, p. 151].

Alcune concezioni individuano tale criterio facendo riferimento a parametri soggettivi; altre facendo riferimento a parametri oggettivi.

Per le prime concezioni, la qualità della vita è una funzione degli stati mentali del soggetto la cui vita si deve giudicare: essa si identifica col benessere dell'individuo in questione, benessere concepito a sua volta come uno stato mentale di piacere e non sofferenza o di soddisfacimento dei suoi desideri e preferenze. Per le seconde, invece, questo stato soggettivo da solo non è sufficiente e occorre aggiungere ad esso anche una caratterizzazione oggettiva della qualità della vita, non legata agli stati mentali del soggetto: ad esempio il possesso di determinate funzioni fisiche e psichiche, il raggiungimento di un determinato livello di capacità fondamentali per agire e scegliere, e così via [17].

3. L'uomo e la natura

Occorre, tuttavia, non irrigidire troppo la separazione tra la prospettiva della disponibilità e quella della non-disponibilità della vita umana. Esse, anzi, come si è già accennato, racchiudono al proprio interno una notevole diversità di impostazioni.

Questa diversità si riscontra tanto nell'individuazione dei criteri fondamentali di valutazione dell'azione (nelle cosiddette questioni normative): se ad esempio un'azione debba essere giudicata giusta in ragione delle conseguenze (come sostenuto dalle teorie etiche consequenzialistiche), in ragione del rispetto di determinati principi, norme e diritti (come sostenuto dalle teorie etiche deontologiche), o dell'estrinsecazione di particolari virtù (come sostenuto dalle etiche della virtù). Quanto nella individuazione dei criteri di fondazione dei giudizi morali (nelle cosiddette questioni metaetiche): se un giudizio morale possa, ad esempio, essere derivabile dall'osservazione della natura e del suo ordine (come sostenuto dal cognitivismo naturalista), o se debba essere fondato in base ad altri parametri, indipendenti dall'osservazione della natura (come il riferimento all'espressione delle scelte del soggetto, ad una sua intuizione razionale e così via, come sostenuto dal non-cognitivismo o dal cognitivismo intuizionista).

Sia la prospettiva che si richiama alla tesi della disponibilità della vita umana sia quella che la rifiuta possono dunque presentarsi nelle più disparate versioni normative e metaetiche. Solo laddove è presente una concezione dottrinale unitaria può essere individuato un orizzonte teorico ben definito e coerente. È questo il caso, ad esempio, della versione cattolica della tesi della non-disponibilità della vita umana.

Da un punto di vista normativo, essa si presenta come una concezione deontologica, legata a un principio fondamentale da cui possono essere derivati gli altri: il rispetto del finalismo del processo vitale (ogni intervento contrario al finalismo del processo vitale è un intervento non lecito da un punto di vista morale); e, da un punto di vista metaetico, come una concezione cognitivista: vi è, come si è osservato, una legge di natura su cui tali principi possono essere metafisicamente fondati. Così presenta i fondamenti metaetici di questa dottrina Elio Sgreccia:

I non cognitivisti ritengono che i valori non possono essere oggetto di conoscenza e di affermazioni qualificabili come “vere” o “false”. Al contrario i cognitivisti ricercano una fondazione razionale e “oggettiva” ai valori ed alle norme morali. Giustificare l’etica e, quindi, la Bioetica, vuol dire allora discutere anzitutto sulla possibilità di superare la “grande divisione” o “fallacia naturalistica”. Come meglio avremo modo di spiegare, tutto il problema sta nel significato che si conferisce alla parola “essere” che indica la fattualità conoscibile. Se per “essere” si intende la mera fattualità empirica, certamente la legge di Hume è giustificata: ad es. per il fatto che molti uomini rubano, uccidono o bestemmiano non si può certo concludere che furto, omicidio e bestemmia siano moralmente leciti, e se vogliamo dimostrare che rappresentano degli illeciti, dobbiamo ricorrere ad un criterio che non sia la semplice indagine sui fatti. Ma l’idea di “essere” sottostante ai fatti si può intendere in modo non semplicemente empirico, ma più profondo e comprensivo, come ad es. “essenza” o “natura”, e cioè in senso “metafisico”. Allora il dover essere può trovare un fondamento nell’essere, in quell’essere che ogni soggetto cosciente è chiamato a realizzare. [...] Questa osservazione [...] presuppone l’istanza metafisica, la necessità e capacità per la nostra mente di andare “oltre” il fatto empirico e di cogliere in profondità la ragione d’essere delle cose e la “verità” dei comportamenti, la loro conformità alla dignità della persona [20, pp. 76 s.].

Le prospettive della disponibilità e della non-disponibilità della vita umana sono dunque atteggiamenti estremamente generali, e come si è detto non si deve irrigidire troppo la loro separazione. Non sempre essa è chiaramente ravvisabile e non è esente da posizioni intermedie e da proposte di riduzione della distanza, tese a individuare principi comuni ai quali le due prospettive possono essere riportate.

Scrive Massimo Reichlin:

Né la sacralità della vita deve essere intesa come un principio assoluto, il che porterebbe a forme di vitalismo incompatibili con il rispetto della persona, né la qualità della vita può essere concepita come principio di un’etica radicalmente alternativa a quella tradizionale, secondo lo schema semplificatorio proposto dai teorici dell’etica della qualità della vita. Piuttosto, entrambi i principi o le

considerazioni morali sono relativi al principio fondamentale del rispetto della persona, o dell'umanità come fine in sé [18, p. 201].

Tuttavia, quando è chiaramente ravvisabile, tale separazione non si limita ai fondamentali principi etici, ma si accompagna ad altre divisioni su questioni più specifiche. Innanzitutto nella concezione della natura: da una parte, si tende a considerare la natura come un qualcosa provvisto di armonia e di senso oggettivo, in quanto ordinata in senso teleologico e quindi tale da contenere in sé l'indicazione su come agire. Nella natura, come detto, vi è un ordine costitutivo di carattere finalistico, e ci sono leggi di natura in cui questo ordine si manifesta in quanto progettato da un legislatore divino (ricorrendo così ad un concetto antropomorfo di legge, per cui ogni legge rimanda a un legislatore). Dall'altra la natura si presenta come un qualcosa di complesso e disarmonico. Conformemente alla concezione scientifica della natura, l'unico ordine in essa rintracciabile è quello derivabile dalle leggi che spiegano il comportamento dei fenomeni, leggi puramente descrittive e prive di significato morale e valutativo (leggi, dunque, di carattere non antropomorfo).

Una seconda divisione è nella concezione dell'individualità umana. Generalmente, i sostenitori della prospettiva della non-disponibilità della vita umana propongono l'identificazione fra l'*individuo umano* e la *persona morale*: l'individuo è persona e in quanto persona è intrinsecamente dotato di valore (e lo è, nella sua versione prevalente, fin dal concepimento, fin dal momento in cui i gameti si uniscono nell'atto della procreazione). Il termine "persona" è, in questo senso, un termine intrinsecamente valutativo. L'individuo come ente fisico e biologico è quindi persona nella sua essenza, in quanto ontologicamente capace di consapevolezza morale, e perciò dotato di valore intrinseco. È la concezione "sostanzialista" della persona, detta anche *personalismo ontologico* (o *personalismo realista*).

Osserva Sgreccia:

La persona anzitutto è un corpo spiritualizzato, uno spirito incarnato, che vale per quello che è e non soltanto per le scelte che fa. Anzi, in ogni scelta la persona impegna ciò che è, la sua esistenza e la sua essenza, il suo corpo e il suo spirito; in ogni scelta esiste non soltanto l'esercizio di scelta, la facoltà di scegliere, ma anche un *contesto* di scelta: un fine, dei mezzi, dei valori. Il personalismo realista vede nella persona un'*unità*, come la si chiama frequentemente, la *unitotalità* di corpo e spirito che rappresenta il suo valore oggettivo, di cui la soggettività si fa carico, e non può non farsi carico, sia rispetto alla propria persona sia rispetto alla persona altrui [20, p. 89].

Secondo la prospettiva della disponibilità della vita umana, invece, la nozione di individuo è separata da quella di persona morale, dato che si sottolinea come l'individuo divenga persona solo all'interno di un processo di sviluppo fisico e psichico che lo porta ad assumere la consapevolezza morale e generali capacità cognitive. Solo quando sorgono queste particolari funzioni cognitive, all'individuo può essere attribuita una personalità morale. Una concezione della persona che viene detta "funzionalista": per essa

tutti e solo gli enti che mostrano in atto le caratteristiche proprie delle persone sono davvero persone; quando le funzioni personali mancano, anche in un individuo che le svilupperà in seguito o le ha definitivamente perdute, non siamo di fronte a una persona [16, p. 29].

Ma un tale riconoscimento della personalità è indipendente dal grado di tutela e di valore che deve essere riconosciuto all'individuo nelle varie fasi di sviluppo: il termine "persona", in questo caso, è un termine descrittivo e avalutativo.

Da questa diversità nella considerazione del nesso individuo-persona deriva anche la diversa collocazione riservata all'uomo rispetto agli altri animali e alla natura. Da una parte l'uomo è concepito come il vertice dell'ordine naturale, signore delle altre creature viventi; dall'altra l'uomo è oggetto di una particolare attenzione morale, ma senza riconoscere ad esso una separazione ontologica rispetto agli animali e al resto della natura. Conformemente ai risultati dell'evoluzionismo delle specie darwiniano, la specie umana è risultato dell'adattamento per selezione naturale di una particolare specie animale all'ambiente circostante. L'uomo è un animale accidentalmente più evoluto.

4. La filosofia e il disaccordo morale

Il principale problema filosofico che sorge in relazione al disaccordo morale presente nella bioetica, è quello di stabilire se sia a disposizione un metodo per la sua risoluzione razionale; di stabilire, cioè, se esistano disaccordi morali non risolvibili. La risposta a questo problema dipende da quale teoria sulla fondazione dell'etica, cioè da quale teoria metaetica, venga assunta come punto di riferimento.

Alcune teorie metaetiche (come il cognitivismo naturalista) ritengono che l'etica possa fare affidamento su un metodo di carattere razionale; e intendono come metodo razionale standard quello che fa ricorso all'osservazione empirica, a regole di inferenza induttiva e al ragionamento logico-deduttivo: il metodo della conoscenza scientifica. Come, ad esempio, si può giudicare la verità di due affermazioni conflittuali (ad esempio "la stanza è quadrata" e "la stanza non è quadrata") attraverso una procedura che fa ricorso all'osservazione empirica (la misurazione dei lati della stanza), il ricorso ad un metodo di ragionamento affidabile potrebbe consentire di dirimere anche questioni etiche e risolvere il disaccordo tra giudizi morali in conflitto (ad esempio tra chi sostiene "l'aborto è giusto" e chi sostiene "l'aborto è ingiusto").

Altre teorie metaetiche (come il cognitivismo costruttivista) ritengono che tale criterio standard di razionalità non sia applicabile all'etica e sottolineano la peculiarità del ragionamento morale rispetto al ragionamento scientifico. In contrapposizione al metodo razionale standard, vengono proposti metodi di ragionamento meno impegnativi, maggiormente legati alle diverse procedure di risoluzione dei problemi morali nella vita ordinaria:

Citare fatti, chiarire il significato degli enunciati pronunciati nelle dispute, fissare un giudice competente per decidere la questione o per decidere questioni subordinate rilevanti, appellarsi all'immaginazione di ogni parte della disputa

per pensare come si sentirebbe nella posizione della parte opposta o nella posizione di una terza parte coinvolta nella situazione in questione, riferirsi a principi o norme accettabili da entrambi i disputanti, ecc. [23, p. 504].

Altre teorie metaetiche (come la maggior parte delle teorie non-cognitviste), infine, negano l'esistenza di un metodo di ragionamento in grado di superare disaccordi morali tra principi fondamentali, a sua volta non riconducibili ad altri principi più fondamentali. Questo non significa, però, che non venga riconosciuto uno spazio per la discussione razionale in etica: sono possibili discussioni razionali intorno ai valori strumentali (riguardanti l'accertamento se un determinato valore sia un mezzo adatto alla realizzazione di un altro valore); discussioni razionali intorno all'interpretazione dei fatti (riguardanti ad esempio l'accertamento se una determinata azione sia qualificabile come omicidio, in relazione al giudizio di valore che l'omicidio è sbagliato); discussioni razionali intorno alla coerenza e all'implicazione tra valori fondamentali (riguardanti l'accertamento se un principio possa essere correttamente derivato da un altro principio, se un principio possa avere certe conseguenze, e così via). Ma non c'è garanzia che questi ambiti di ragionamento riescano a risolvere un disaccordo morale tra principi fondamentali. Secondo tali prospettive, il disaccordo morale potrebbe restare aperto non solo di fatto, ma anche in linea di principio.

Non è valida la tesi che l'argomentazione morale possa stabilire principi generali che ogni persona razionale e informata debba accettare. Il controllo di un insieme coerente di credenze morali sta nelle risposte di ognuno. Poiché differenti persone hanno spesso risposte differenti, non tutti saranno d'accordo su quando una credenza generale è stata messa in discussione. C'è sempre la possibilità, e qualche volta la realtà, di un disaccordo ultimo. Ci sarebbe poco da fare nella discussione e nell'argomentazione pubblica se le risposte delle persone non coincidessero quasi mai su niente. Ma sebbene un tale stato di anarchia morale non esista, le risposte di differenti persone variano più frequentemente e fondamentalmente di quanto è spesso riconosciuto [7, p. 35].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Baccarini, E., *Bioetica. Analisi filosofiche liberali*, Trauben, Torino 2002.
- [2] Beauchamp, T. L., Childress, J. F., *Principles of Biomedical Ethics*, 1979, trad. it. *Principi di etica biomedica*, Le Lettere, Firenze 1999.
- [3] Berlendism, A., *L'eutanasia. Il diritto a vivere dignitosamente la propria morte*, Claudiana, Torino 1981.
- [4] Dworkin, R., *Life's Dominion*, 1993, trad. it. *Il dominio della vita. Aborto, eutanasia e libertà individuale*, Comunità, Milano 1994.
- [5] Engelhardt, H.T. Jr., *The Foundations of Bioethics*, 1986, trad. it., *Manuale di bioetica*, Il Saggiatore, Milano 1999.
- [6] Fornero, G., *Bioetica cattolica e bioetica laica*, Mondadori, Milano 2005.
- [7] Glover, J., *Causing Death and Saving Life*, Penguin, Harmondsworth 1977.
- [8] Hare, R. M., *Essays on Bioethics*, Clarendon, Oxford 1993.
- [9] Jonsen, A. R., Siegler, M., Winslade, W. J., *Clinical Ethics. A Practical Approach to Ethical Decisions in Clinical Medicine*, 2002, trad. it. *Etica clinica. Un approccio pratico alle decisioni etiche in medicina clinica*, McGraw-Hill, Milano 2003.
- [10] Kuhse, H., *The Sanctity-of-life Doctrine in Medicine. A Critique*, Clarendon Press, Oxford 1987.
- [11] Lecaldano, E., *Bioetica. Le scelte morali*, Laterza, Roma-Bari 1999.
- [12] Macklin, R., *Against Relativism. Cultural Diversity and the Search for Ethical Universals in Medicine*, Oxford University Press, Oxford-New York 1999.
- [13] Magni, S. F., *Il relativismo etico. Analisi e teorie nel pensiero contemporaneo*, Il Mulino, Bologna 2010.
- [14] Magni, S. F., *Bioetica*, Carocci, Roma 2011.
- [15] Mordacci, R., Il dibattito sul metodo nella bioetica anglosassone. Linee per un'analisi critica, in P. Cattorini, R. Mordacci, M. Reichlin (a cura di), *Introduzione allo studio della bioetica*, Europa Scienze Umane Editrice, Milano 1996.
- [16] Mordacci, R., *Una introduzione alle teorie morali. Confronto con la bioetica*, Feltrinelli, Milano 2003.
- [17] Nussbaum, M., Sen, A., *The Quality of Life*, Clarendon, Oxford 1993.
- [18] Reichlin, M., *L'etica e la buona morte*, Edizioni di Comunità, Torino 2002.
- [19] Scarpelli, U., *Bioetica laica*, Baldini e Castoldi, Milano 1998.
- [20] Sgreccia, E., *Manuale di bioetica*, Vol. I., Vita e pensiero, Milano 1988.
- [21] Singer, P., *Practical Ethics*, 1979, trad. it. *Etica pratica*, Liguori, Napoli 1979.
- [22] Statman, D., *Moral Dilemmas*, Rodopi, Amsterdam-Atlanta (GA) 1995.
- [23] Taylor, P. W., Four Types of Ethical Relativism, *Philosophical Review*, 63, 1954, pp. 500-16.
- [24] Tettamanzi, D., *Nuova bioetica cristiana*, Piemme, Casale Monferrato 2000.

Arte e cosmologia

LA VISIONE SCIENTIFICA E LE IMMAGINI DELLA RICERCA¹

FEDERICO BRUNETTI

Politecnico di Milano, Dipartimento In.D.A.Co (Industrial Design, Arts & Communication)

La conoscenza è un atteggiamento, una passione. [...] Non è vero che il ricercatore insegue la verità, è la verità che insegue il ricercatore.

ROBERT MUSIL, *L'uomo senza qualità*,

Se cerchiamo di osservare lo specchio in sé, alla fine non scopriamo che le cose su di esso; se vogliamo afferrare le cose, non torniamo a trovare altro che lo specchio. Questa è la più generale storia della conoscenza

FRIEDRICH NIETZSCHE, *Aurora*

1. Introduzione

La ricerca scientifica si avvale di metodologie di rappresentazione normalmente già acquisite nei linguaggi comunicativi consueti ma, dovendo evolvere e decifrare i risultati di esperimenti e aprendo nuovi scenari di indagine, predispone anche modi di figurazione innovativi per ottenere le più appropriate visualizzazioni dei fenomeni indagati.

In via di collaudo o di calibrazione sperimentale, le immagini generate per tali visualizzazioni sono configurate per poterne verificare l'efficacia in fase di raffigurazione effettiva dei dati acquisiti ed entrano a far parte di un immaginario iconografico della contemporaneità, anticipando e prefigurando, analogamente alle sperimentazioni dell'arte contemporanea, i codici visivi che entreranno a fare parte del possibile patrimonio dei futuri linguaggi condivisi.

In una sommaria suddivisione di competenze, si potrebbe affermare che

la scienza si occupa di *scoperte*

ovvero: di trovare leggi e oggetti che non sono conosciuti ma già esistono in natura, o dei quali, se già conosciuti, non è ancora stato possibile trovare una soddisfacente collocazione tassonomica, mentre

l'arte si occupa di *invenzioni*

¹ Il presente contributo è una versione estesa della conferenza tenuta giovedì 3 novembre 2011 nell'ambito dell'incontro organizzato da Pianeta Galileo su "Arti visive e nuove frontiere della cosmologia", presso l'Accademia delle Arti e del Disegno. Alcuni estratti della conferenza sono stati presentati in seguito dall'autore anche nella Plenary Lecture del congresso internazionale APLIMAT 2012, presso la Faculty of Mechanical Engineering of Technology a Bratislava, all'interno di una relazione dal titolo "Scientific iconography between mathematics and arts in the age of digital visualization. first outlines", cfr. www.aplimat.com/General_Information/zoznam_prijatych_clankov.php 2012.02.04

ovvero di realizzare artefatti ricomponendo elementi già noti, ricombinandone le parti al fine di proporre una diversa relazione di significati e funzioni tra le parti, che innovi e possa modificare lo stato di natura pre-esistente.

Tale schematica partizione lascia evidentemente un ampio margine d'ibridazione, rintracciabile in diversi ambiti del sapere. Un esempio per tutti: la tecnica (*techne*) – e la progettazione in generale – si colloca come una *cross-science* tra le discipline dello *scoprire* e quelle dell'*inventare*, in quanto mette a frutto le conoscenze sulle proprietà della materia e cerca di ricombinarne i componenti al fine di realizzare artefatti finalizzati alla ri-creazione della natura².

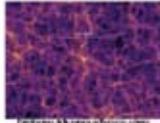


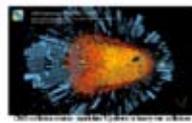


PIANETA GALILEO 2011
ACCADEMIA DELLE ARTI DEL DISEGNO
in collaborazione con
GABINETTO SCIENTIFICO LETTERARIO G.P. VIEUSSEUX
OSSERVATORIO ASTRONOMICICO DI ARCETRI
SOCIETÀ ITALIANA PER LO STUDIO DEI RAPPORTI TRA SCIENZA E LETTERATURA (SISL)

Giovedì 3 novembre 2011, ore 16-19
Accademia delle Arti del Disegno, Sala delle Adunanze
Via Orsanmichele 4, Firenze

**Arti visive e nuove frontiere
della cosmologia**



Intervengono
Federico Brunetti
Politecnico di Milano
Dept. In.N.D.A.Co.
Edvige Corbelli
Osservatorio Astronomico di Arcetri
Raffaella Schneider
Osservatorio Astronomico di Roma

Coordina
Pietro Greco
Città della Scienza, Napoli

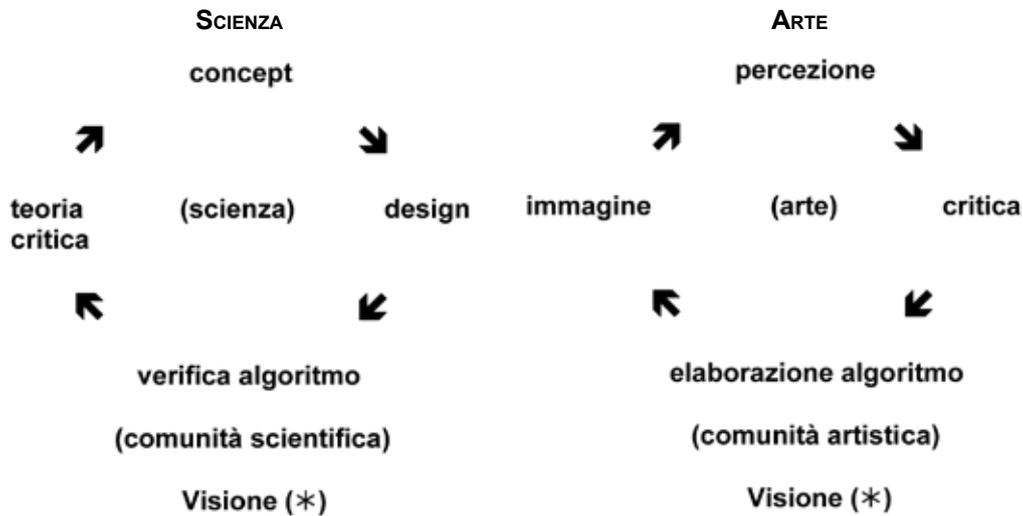
Nella mattinata avrà luogo un incontro con le scuole sul tema
a cura della Società Filosofica Italiana

Informazioni
Accademia delle Arti del Disegno, Via Orsanmichele 4, 50123 Firenze
Tel. 055.219642, Fax: 055.288164, email: info@aedd.it

Questi due processi cognitivi possono essere resi con due corrispondenti diagrammi³:

2 Come emerso nel 5° Seminario *Internacional Arquitectonics Network en América: La Investigación como Proyecto, el Proyecto como Investigación*. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga (Colombia), svoltosi dal 30 maggio al 1 giugno 2012. Vedi anche: la rivista internazionale *ARQUITECTONICS: Mente, Sociedad y Territorio*, www.arquitectonics.com e in particolare *Progettopassante: Meta-projectual prefigurations in the hypogean* di F. Brunetti e J. L. Chacón

3 Il termine "visione" e l'asterisco che lo segue saranno chiariti nel successivo § 6.



SCIENZA. Il diagramma a sinistra delinea un ciclo entro il quale si svolge il percorso della ricerca scientifica: partendo dalla definizione di una *teoria* si identifica la possibilità del *concept* di un nuovo esperimento che potrà – immediatamente o nel corso di progressive evoluzioni tecnologiche – verificarne le ipotesi. Il *design* operativo e l’esecuzione dell’esperimento permetteranno di verificare la teoria tramite l’elaborazione dei dati alla luce di specifici *algoritmi*, appositamente configurati per valutare gli obiettivi della ricerca; la verifica avviene nel contesto della *comunità scientifica* deputata a stabilire se la *teoria* di partenza è stata confermata o è stata confutata, cfr. [33], e in questo secondo caso si rende necessario elaborare una nuova *teoria*.

ARTE. Analogamente, il diagramma a destra delinea un ciclo entro il quale si svolge il percorso della ricerca artistica: ogni opera si comunica attraverso la proposta di un’*immagine*, implicitamente motivata da una teoria interpretativa dell’esperienza del reale; ogni nuova immagine altera lo stato dei linguaggi consolidati, innovando la *percezione* del contesto in cui l’opera è inserita, cfr. [2]. Il ruolo della *critica* artistica è (o dovrebbe essere) quello di comprendere il senso di tale innovazione, [43], originariamente implicito nell’immagine, permettendo di elaborarne l’*algoritmo* trasformativo e rendendone condivisibili i contenuti innovativi. Ciò avviene nel contesto della *comunità artistica* deputata a recepire, condividere e confutare l’immagine da cui tale percorso ha avuto origine, cfr. [59]. Nel caso in cui si generi un riconoscimento percettivo e intellettuale nei confronti dell’opera, si creano le condizioni per una nuova *immagine*.

In entrambi i casi il percorso della ricerca approda e riparte da un’esperienza di nuova visione (come si proporrà nel § 6) che si evolve dalla proposta di una nuova teoria/immagine fino al compimento esplicito del suo paradigma interpretativo (algoritmo), cfr. [28]. La ricerca scientifica e quella artistica sono riconosciute come elaborazioni (o sublimazioni) diverse del senso comune, o immagine manifesta del mondo, [40], orientandosi verso quell’area di idee definita da Karl Popper come “Mondo 3” in cui, a

partire dal dato concreto del “Mondo 1” e dalle esperienze sensoriali e rappresentazioni soggettive definite come “Mondo 2”, si trovano teorie, come insieme di congetture (ovvero ipotesi falsificabili), astratte ed invero progettuali, in grado di modificare il dato originario del “Mondo 1”.

Entrambi i percorsi ciclici sono implicitamente mossi da una ricerca della bellezza: nell'intuizione di un'armonia, quale ordine sotteso alla natura, [57], così come nell'indagine matematica che permetta agli esseri umani di indagarne le leggi sottese [03]; ed entrambi si collocano in un contesto storico-sociale che – pur lasciando al ricercatore ogni sua necessaria autonomia – resta lo scenario referenziale delle sue esplorazioni. Accanto a questi punti di simmetria sono rintracciabili anche punti di continuità tra i due ambiti [18].

2. Tre diversi aspetti della comunicazione nell'iconografia scientifica: disegno, immagini e metafore⁴

2.0 Vedere e dire

«Un desiderio, un'idea, un'azione, una materia, si fondono in ogni opera» – scriveva Paul Valery. Ogni disciplina prende origine da un ambito di interesse e ne individua il contorno di competenze dando un nome, attraverso specifiche definizioni, al sistema di oggetti che la riguardano. Le parole identificano le cose del “mondo” di cui ci s'intende occupare e il sistema semantico entro il quale rappresentiamo il “mondo” diviene partecipe delle procedure e dei metodi descrittivi, interpretativi e prefigurativi specifici della disciplina [20]. Le parole della scienza sono spesso, più che espressioni linguistiche, *percorsi logico-matematici* in formule, veicolano tassonomie alternative all'immagine “manifesta” e nascono da ipotesi teoriche che partono dall'osservazione [58] o che dall'osservazione di nuovi fenomeni necessitano di essere convalidate. In questi *percorsi* assume particolare importanza la componente iconica che, pur in forma di apparato para-testuale, se adeguatamente progettata ha un ruolo decisivo per far capire il pensiero che le ha generate, [12]. In una sommaria classificazione di tali espressioni iconiche si possono riconoscere tre principali modalità: *disegno, immagine e metafora*.

2.1 Disegno

L'impronta dei gesti, come le cifre alfanumeriche, come gli elaborati grafici dei progetti, come le tracce impresse dagli eventi fisici sui rivelatori, imprimono in forma grafico-visiva secondo specifici codici descrittivi, i concetti e le memorie da rielaborare in successive attività progettuali o interpretative, [36], [43], [46]. Nel *di-segno* si esplicita una procedura di formalizzazione che rende visibili eventi o concetti precedentemente invisibili, secondo modalità di ordinamento compositivo che già di per sé stabilizzano e rendono condivisibile l'analisi dell'oggetto di una ricerca. Analogamente alle procedure geometriche del segno grafico, nella descrizione dei fenomeni fisici si assume il punto come elemento essenziale del tracciamento degli eventi e, a partire da questo

4 Per alcune osservazioni presenti in questo paragrafo, si veda [10, pp. 42-43] e [11, pp. 63-64].

riferimento minimo, si rende possibile indagare e sviluppare lo svolgimento dinamico, [26], [29], [30], [31].

2.2 Immagine

La produzione di artefatti visivi elabora il dato raccolto per renderne possibile l'interpretazione, orientandone la percepibilità e integrando l'informazione con valori contestuali e significati estetici, che permettono un'acquisizione più profonda e condivisa, [42]. L'immagine è riconosciuta, nella fase euristica della ricerca scientifica (non meno che in quella artistica, [60]), come la configurazione mentale, ancor prima che visuale, [22], di una modalità sintetica nella comprensione di un problema e dei suoi dati, tale da rendere ulteriormente possibile l'approfondimento logico-formale dell'interpretazione, [32], [15]. La rappresentazione di un dato concreto, o di un assunto ipotetico, trova nella realizzazione di un'immagine la sua forma percettivamente più recettibile, pur sempre espressione in un sistema di codici comunicativi condivisi, [43], [1], [41], [28], [27].

Le caratteristiche di verosimiglianza e “fotorealismo”, oppure di espressività schematica/allusiva, possono caratterizzare in maniera duplice un'immagine, a seconda dell'intenzionalità descrittiva oppure evocativa che le si vuole attribuire, [7], [21].

In fisica, una questione cruciale nell'odierna immagine del mondo è l'estensione progressiva di scale dimensionali. La nostra comprensione dei fenomeni non può che partire dal livello percepibile della materia, ma si affina nel microscopico e si espande nell'infinitamente grande. La procedura retorica e figurativa della *sineddoche* pare venire incontro a tale polarità. Nel trattamento digitale dei dati, la produzione di immagini virtuali – incluse le “renderizzazioni” di modelli tridimensionali – assume importanza strategica, non solo per l'impegno delle procedure di calcolo coinvolte nella visualizzazione simulata, ma anche e soprattutto per la versatile possibilità di restituire, con modalità *qualitative* (sul piano percettivo), dati e misure originariamente *quantitativi*, favorendone l'interpretazione, [56], [52].

2.3. Metafora

La remota origine classica di questa figura retorica e il suo uso nell'espressione poetica, pur non ignorando la considerazione che il pensiero filosofico occidentale ne ha offerto [05], ha tenuto distante l'epistemologia della prima modernità da questa forma di “concezione”, più recentemente rivalutata nell'analisi di fenomeni che si distaccano significativamente dalla possibilità diretta dell'esperienza, come avviene con i fenomeni indagati dalla fisica quantistica, [16]. La metafora è una fondamentale modalità cognitiva, prima che comunicativa, che utilizza una procedura linguistica per definire, in modo traslato, la forma o il concetto di un oggetto, introducendo e riferendosi alla figura di un altro già noto o più noto. Questa modalità cognitiva e comunicativa, [48], presente sia in forma testuale sia in veste iconografica, adotta volontariamente un modello non solo per facilitare la rappresentazione della struttura formale dei fenomeni, ma anche per proporre la comprensione del dato secondo un'ipotesi che ne interpreti il

significato, mettendo in evidenza quegli elementi che ne riconducano la comprensibilità al livello dell'esperienza condivisa, [14].

2.4. Direzioni di sintesi

Disegno, immagine e metafora, dunque, possono essere una prima guida orientativa per intendere l'atlante di immagini utilizzate nella comunicazione scientifica, elaborate dai ricercatori per comprendersi reciprocamente. Al di là dei singoli casi fin qui campionati, in molti rigorosi protocolli della ricerca sono riscontrabili esempi di ibridazioni tra queste categorie, proposte come una prima tassonomia iconologica dell'universo di pensiero visuale, [19]. La stessa comunicazione finalizzata a "divulgare" l'attività scientifica non può che avere specifici argomenti e linguaggi disciplinari come oggetto del proprio discorso, ma deve acquisire le competenze necessarie per trovare gli strumenti espressivi [9] per tradurre senza ridurre, tramandare senza travisare, far comprendere senza imporre.

Diversamente dall'epitaffio SEE-SHOW-SELL (Vedi-Mostra-Vendi), suggerito laconicamente da Wim Wenders in *Lisbon story* quale epilogo creativo del racconto cinematografico mercificato, la scienza deve trovare le vie e i modi per comunicare i propri risultati e i metodi usati per conseguirli, nella ricerca della comprensione e del consenso sociale, non come mera strategia di approvazione da parte della *polis*, ma come impegno a offrire alla pubblica condivisione i percorsi della ricerca, [17].

2.5. Bellezza

Una costante estetica è presente come dimensione qualitativa nella ricerca scientifica [16]: nell'ordine della natura [55], nello stupore indagatore che muove l'osservazione [6], nell'eleganza dell'espressione matematica [35], nella razionale complessità della tecnica, nella macchina come involontaria allusione d'arte, nelle simmetrie del pensiero teorico che indaga le simmetrie della materia [10], [12].

3. Immagini tra scienza ed arte

La ricerca scientifica contemporanea eredita dalla propria storia – e ragionevolmente dalla *forma mentis* umana – un'attitudine a raccogliere in una sintesi percepibile le forme della propria indagine e dunque a tradurle in figurazioni ed immagini [4]. Analogamente, ma in modo più immediato, le immagini sono la modalità sintetica ed espressiva con cui l'arte realizza le proprie opere [25].

SCIENZA → immagini ← ARTE

Occorre però segnalare che il punto di vista della ricerca scientifica circa l'approccio iconico è stato [61] e tuttora resta sensibilmente critico. Le procedure logico-deduttive e le più astratte formulazioni matematiche presidiano infatti il campo del sapere scientifico, tanto che risultati puramente sintattico-formali dovrebbero essere comprensibili per i ricercatori a prescindere dalla loro possibile visualizzazione o comunicazione iconica. Ma, in alcuni casi, gli scienziati stessi dichiarano apertamente di esser giunti alla piena comprensione di un problema o a intendere il significato di un sistema di

fenomeni, utilizzando processi intuitivi molto simili alla “visione” di una forma, intesa come percezione sintetica (nel senso di una *Gestalt*) di un insieme di dati, [8].

Se questa polarità tra sintattico-formale e intuitivo-visivo è stata, in passato, terreno di aspre diatribe epistemologiche, oggi le indagini delle neuroscienze possono descrivere e mappare le competenze delle diverse “aree della conoscenza” nel cervello e le loro mutue relazioni: quelle del pensiero logico-formale, quelle del linguaggio verbale, quelle delle abilità numeriche, quelle iconico-percettive, quelle teorico-intuitive. Ma alcune questioni epistemologiche potranno difficilmente essere affrontate, e tanto meno risolte, limitandosi a osservare le mappe cerebrali, bensì richiederanno lo sviluppo di nuove e più integrate forme di rappresentazione, in termini delle quali ripensare il concetto di apprendimento e perfino il concetto di autocoscienza⁵.

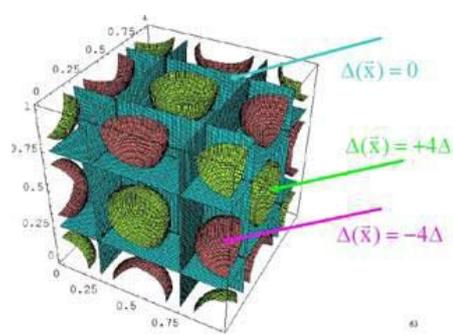


Figura 1. Roberto Casalbuni, “NGB and their parameters”, http://theory.fi.infn.it/casalbuoni/Barcellona_3.pdf, p.63.

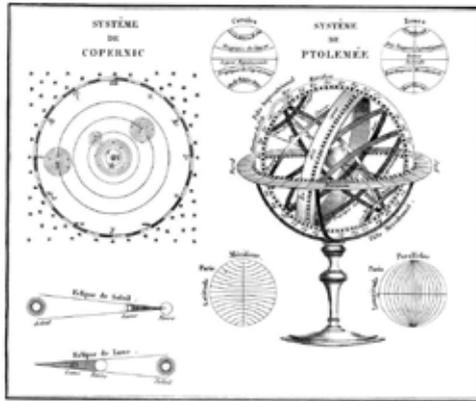


Figura 2. Jeff Gallant, “Come decodificare il cervello” www.brainforum.it/forum_on_demand.php.
Da: “Il colore del pensiero”,
Brainforum convention, Milano 2011
<http://www.brainforum.it/brainforum-2011.html>

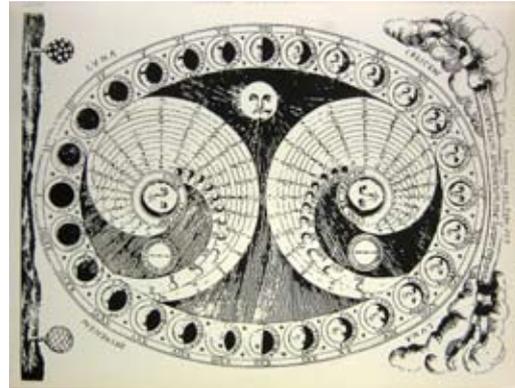
Le nuove tecnologie informatiche stanno proponendo processi integrati che trasfigurano reciprocamente dati computazionali in immagini qualitative (cromatiche o multidimensionali) permettendo di esplorare fenomeni o eventi non altrimenti percettivamente accessibili, attraverso le rilevazioni di potenti strumenti di misura (macro- o micro-scopici, nelle scale sia dello spazio che del tempo) amplificandone il segnale ottenuto per poi elaborarlo in fase di postproduzione.

L'estensione cognitiva ottenuta grazie alla nuova precisione [34] degli strumenti di ricerca è stata fondamentale nello sviluppo della scienza moderna. Basti pensare all'ottica applicata al telescopio e in seguito al microscopio; ma la potenza di amplificazione e di trattamento che è divenuta possibile tramite le tecnologie digitali sta aprendo scenari di rappresentazione ed euristica prima inconcepibili.

⁵ Mi sia consentito segnalare l'intervista che, in occasione di Brainforum Convention 2011 a Milano ho fatto a Giacomo Rizzolatti: www.ilsussidiario.net/News/Scienze/2011/4/6/NEUROSCIENZE-Rizzolatti-non-e-normale-essere-narcisista-l-uomo-e-relazione/print/165307/.



Sistema copernicano vs sistema tolemaico.



Athanasius Kircher, Ars magna lucis et umbræ, 1646.

In particolare, si verifica un interessante intreccio nella ricerche di fisica, dal momento che questioni relative alla micro-scala delle particelle si sono rivelate strettamente connesse a questioni cosmologiche, sollecitando la raffigurazione di scenari finora solo teoricamente ipotizzati, [37].

Infatti, alle frontiere della ricerca scientifica contemporanea, stanno emergendo inattese, quanto significative, correlazioni tra indagini sull'universo a grande scala, riguardanti l'antimateria e la materia oscura, e indagini in microscala (collisioni di particelle, bosone di Higgs, stati iniziali dello spazio-tempo, mediante LHC, presso il CERN di Ginevra), passando per l'osservazione multispettrale dei fenomeni cosmici relativi al rapporto tra materia ed energia. Tali questioni sono diventate un termine di paragone fondamentale per la comprensione non solo della materia e dell'universo, ma anche per la validità dei criteri generali d'interpretazione finora accettati, come ad esempio il *Modello Standard*. In questo senso, ci ritroviamo in un inaspettato continuum di domande aperte e possibili soluzioni incrociate, dallo *Zepto-spazio*, [24], al cosmo.

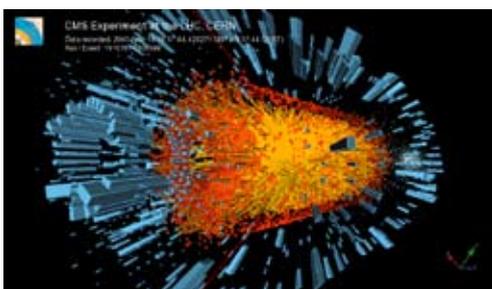


Figure 5 e 6. A sinistra: esperimenti CMS. A destra: ATLAS, LHC, Ginevra 2010 – immagini di collisioni di particelle (per gentile concessione del CERN).

È evidente come tali avanzamenti della ricerca sarebbero stati impossibili senza un congruo avanzamento tecnologico, [44]; va notato peraltro come i fondamenti teorici che hanno portato alle ipotesi di lavoro su cui ora si opera si sono basati su esperimenti di precedenti generazioni e di precedenti tecnologie (pre-digitali).



Figura 7. Max Bill, scultura e ricerca topologica, 1974. Francobollo svizzero Helvetia-Europa.

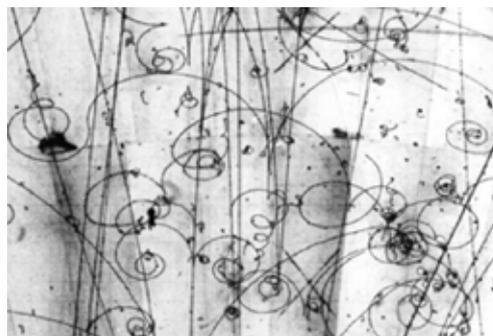


Figura 8. Immagini di tracce in una camera a bolle (intorno al 1970).

A rispettivo commento di queste figure bastino le seguenti parole di Max Bill (architetto, pittore, scultore, designer e grafico svizzero) e David Brisson (artista, docente di disegno, esperto di iperoggetti e curatore nel 1977 di una mostra di *hypergraphics*):

La matematica non è soltanto uno dei mezzi essenziali del pensiero primario, e quindi una delle risorse necessarie per la conoscenza della realtà circostante, ma anche, nei suoi elementi fondamentali, una scienza delle proporzioni e del comportamento, da oggetto a oggetto, da gruppo a gruppo, da movimento a movimento. E poiché questa scienza ha in sé questi elementi fondamentali e li mette in relazione significativa, è naturale che simili fatti possano essere rappresentati – trasformati in immagini.

Max Bill (The Mathematical Way of Thinking in the Visual Art in our time, 1949)

In conclusione, credo che non esista concezione fisica o matematica che non sia aperta alla rappresentazione grafica e che il pensiero visivo e verbale siano isomorfi l'uno all'altro.

David Brisson, Rhode Island School of Design, Providence (Stati Uniti)

4. Iconografia scientifica nell'era della visualizzazione digitale

È abbastanza agevole verificare come nello scenario della modernità, che via via si definisce fra Rinascimento e Rivoluzione Industriale, le ricerche condotte da un lato nelle scienze sperimentali e dall'altro nelle sperimentazioni delle arti visive [23] abbiano anticipato, talvolta di diversi lustri e ciascuna per suo conto, diverse figurazioni divenute poi convenzionali nel linguaggio comune. Forme, immagini e modalità di rappresentazioni finalizzate a specifiche esigenze sono poi servite nella scoperta di modelli interpretativi di fenomeni naturali e nell'invenzione di nuovi formalismi.



Figura 10. Arte-Design-Desenho-Técnica-Ciencia.

Un analogo fenomeno può essere rilevato, per quanto ci riguarda più da vicino, nelle reciproche influenze tra le immagini generate per scopi scientifici e le ipotesi elaborate dalla cultura artistica contemporanea, con echi e riverberi inattesi, grazie anche all'ampia implementazione delle tecnologie digitali.⁶ Ovviamente, la quantità di "opere" di entrambi i tipi, scientifico e artistico, da esaminare sarebbe tale da superare ogni possibile vaglio in questa sede, ma desideriamo almeno proporre all'attenzione questa tematica per il suo interesse, così come emerge da alcuni casi di studio iconografici che, più specificamente, riguardano la ricerca delle relazioni tra matematica e arte, [38], [39].

⁶ Tale dinamica sinergia è stata esplorata da una nostra preliminare indagine retrospettiva *Arte-Design-Desenho-Técnica-Ciencia*, con la quale ha preso avvio l'intreccio di interessi iconografici, in un seminario tenuto nel 2006 presso il Campus Santiago, Università di Aveiro (Portogallo) e successivamente nel corso "Drawing as language in design project: a course of analysis via Vesely and Perez-Gomez", tenuto nell'ambito del secondo forum internazionale "Design as a Process", 2010, svoltosi presso la stessa università.

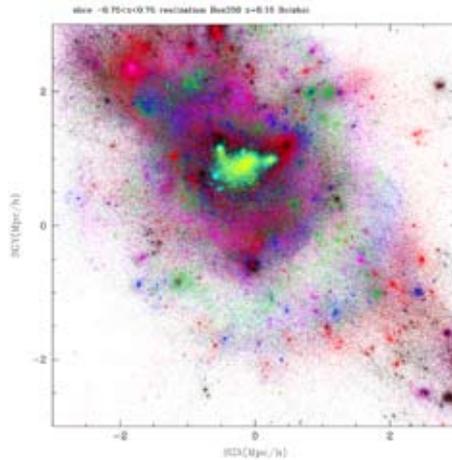


Figura 11. Da hipacc.ucsc.edu/Bolshoi. Particelle di materia oscura in una sezione. Particelle colorate in ragione della loro velocità, una porzione dell'insieme 250Mpc box. Realizzata da Stefan Gottlober (AIP) con IDL.

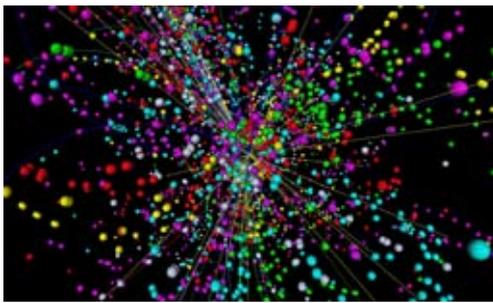


Figura 12. Simulazione di un rilevamento di Hidden Valley Z' che decade in jets nell'esperimento CMS del gennaio 2007, Generato da Matt Strassler con il supporto di Peter Skands. Elaborato da Albert De Roeck, Christophe Saout and Joanna Weng. Visualizzato da Ianna Osborne. (Per gentile concessione del CERN).

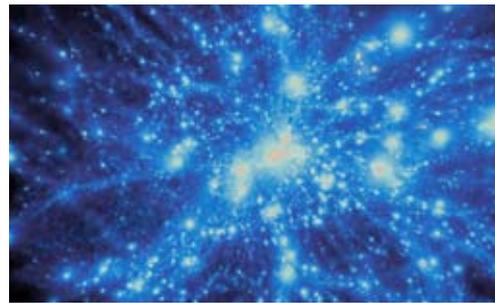


Figura 13. Densità di distribuzione del gas dell'ammasso di galassie più massiccio (Cluster 001) in una resimulation ad alta risoluzione, proiezione xy (Kristin Riebe, PMviewer). Vedi: hipacc.ucsc.edu/Bolshoi.

5. Tre questioni correlate

Prima di avviarcì a concludere queste riflessioni, pare doveroso accennare ad almeno tre questioni relative alle ricerche in corso.

5.1 Una concorde aspettativa

In questo tempo d'incertezze, c'è un'aspettativa che accomuna scienziati di indubbia affidabilità operanti sul fronte di diverse esperienze: le ricerche in corso apriranno una nuova era della fisica.

Si trova quel che si cerca è un aforisma che non riguarda soltanto le metodologie d'indagine proprie dell'archeologia. Certamente, non si può scoprire ciò che non si fosse neppure in grado di riconoscere e nondimeno gli scienziati sono consapevoli an-

che di un diverso e paradossale punto di vista, così espresso da Fabiola Gianotti: «Dalle risposte che avremo da LHC capiremo meglio quali domande poter fare».

Nel caso di LHC si è proceduto ricreando le condizioni estreme corrispondenti a stati originari della materia, partendo da tutti gli elementi già noti e incrementando progressivamente le energie di sperimentazione fino a raggiungere la massima intensità possibile per la raccolta dei dati.

Sulla base del Modello Standard si dovrebbe avere riscontro, finora solo teorizzato ma ancora in via di conferma sperimentale, dell'esistenza del bosone di Higgs, essenziale per la comprensione della materia sia nel *micro-* sia nel *macro-*cosmo, e questa particella dovrebbe essere riconoscibile nelle condizioni di LHC.⁷ Le conseguenze per la fisica del Novecento sarebbero rivoluzionarie se tale previsione non trovasse l'atteso riscontro e si rintracciassero, invece, altri fattori fino ad ora poco noti.

L'evidenza storica mostra come le scoperte della scienza, al pari delle intuizioni dell'arte, abbiano posto le basi, ciascuna sul suo versante, dell'immagine della natura che da una data epoca passa a quelle successive. La natura che ci circonda è sempre la medesima, ma la nostra consapevole rappresentazione della sua "forma" è continuamente in evoluzione e con essa lo è anche la nostra identità come osservatori. Di quest'evoluzione l'iconografia scientifica è esplicita fenomenologia. Ai cambiamenti in uno schema rappresentativo che sono indotti da ogni grande scoperta si accompagnano, infatti, cambiamenti nella nostra stessa autocoscienza.

5.2.1 "Big Science"

L'attuale ricerca "di base", grazie al numero degli scienziati coinvolti e all'entità dei finanziamenti, ha strutturato esperimenti – sia nella microscala della fisica delle particelle che nella macroscala delle reti di rilevazioni telescopica – che hanno dimensioni (e costi) finora inconcepibili. La collaborazione scientifica internazionale nella "ricerca di base" ha avuto come obiettivo il potenziamento degli strumenti e delle loro dimensioni, convergendo su alcuni progetti selezionati, ai quali partecipano numerosissimi scienziati di diversa nazionalità. A ciò si è giunti grazie anche ad un particolare intreccio di necessità e contingenze, ma alle condizioni esterne restano sempre affiancate le condizioni interne alla scienza: trasparenza del sapere, rigore metodologico, necessità di garantire la trasmissione, da una generazione all'altra, delle conoscenze acquisite in esperimenti di lunga durata. Né vanno sottovalutati i numerosi *fall-out* tecnologici che le ricerche di base hanno avuto: risultati celermente condivisi dalla società civile (pensiamo alle risonanze magnetiche, al *web*, alla telefonia cellulare) che sono scaturiti da invenzioni inizialmente motivate dalla pura ricerca scientifica.

La generazione di nuovi dati, provenienti da dimensioni del micro-spazio (accele-

7 Nell'imminente 36° convegno internazionale sulla fisica della alte energie (*36th International Conference on High Energy Physics*, ICHEP2012) che si svolgerà a Melbourne, in Australia, 4-11 luglio 2012 verrà fatto il punto sulle ricerche in corso e sulle più recenti evidenze. Per ulteriori informazioni, vedi: <www.ichep2012.com.au>.

ratori e rivelatori di particelle) e del macro-spazio (reti di telescopi sensibili a differenti bande elettromagnetiche), è resa oggi possibile dal monitoraggio remoto degli strumenti di rilevazione e dall'elaborazione digitale delle osservazioni, grazie alle tecnologie informatiche applicate alla fisica, ma paradossalmente la scala dimensionale dell'osservatore è sempre più "lontana" dalla scala dei fenomeni indagati.

5.2.2 Orrori pleni

Oltre all'accuratezza delle rilevazioni e all'immediata condivisione ed elaborazione delle informazioni relative, è da segnalare l'imponente e automatica proliferazione di dati. Ci si trova a considerare tutti i dati come potenzialmente significativi, per poi doverne progressivamente selezionare una percentuale limitata, con il rischio di "perdere" informazioni utili. D'altra parte la raccolta sistematica dei dati e la loro ricomposizione (che si traduce in immagini) non può che essere orientata dai parametri che definiscono un esperimento.

5.2.3. *Forma mentis* o condizioni di natura?

Nuove *famiglie di teorie* che prescindono dalla nostra scala percettiva esplorano condizioni dell'energia in spazi di dimensione $\gg 3$. Le dinamiche di stabilità/instabilità così descritte in formule matematiche si lasciano intendere mediante espressioni il cui senso è affidato a metafore visive: come Jaques Monod osservò ne *Il caso e la necessità*,

Tutti gli uomini di scienza hanno dovuto, io credo, prendere coscienza del fatto che la loro riflessione, ad un livello profondo, non è verbale: è un'esperienza immaginaria, simulata attraverso le forme, le forze, le interazioni che compongono a malapena un'immagine nel senso visivo del termine.

Del resto, già l'iconografia delle cosmologie antiche testimonia il ricorso a intuizioni metaforiche per raffigurare la possibile unità concettuale dell'Alfa e dell'Omega come estremi inscindibili, di fronte alla difficoltà di "dire" la totalità dell'universo. Lungi dal solo farci vedere "meglio" quel che già possiamo vedere, le immagini usate per rappresentare condizioni spaziotemporali e stati morfo/logici della materia del tutto eterogenee da quelle della nostra comune esperienza acquistano un rilievo molto maggiore; ed è difficile distinguere quanto di meta-forico o di meta-fisico, nell'originario senso di ciò che *va oltre* la fisica (nota), ci sia nella sfida rivolta dai recenti dati sperimentali all'intelligenza umana – che oggi è esplorata con analoghe tecnologie di rilevazione dalle neuroscienze.

5.3 Eventi, più che oggetti

Il limite cognitivo si è spostato dall'esperienza sensoriale (a scala umana) al limite del potere computazionale delle reti, ma la capacità intellettuale è richiesta, oltre che nel raccogliere, nell'interpretare i dati, che sono sempre più dati circa *eventi*, piuttosto che dati circa *oggetti*. Questa distinzione, in effetti già colta dall'epistemologia del Novecento, pare essere l'inevitabile conseguenza di indagini su fenomeni al limite stesso della dicibilità.

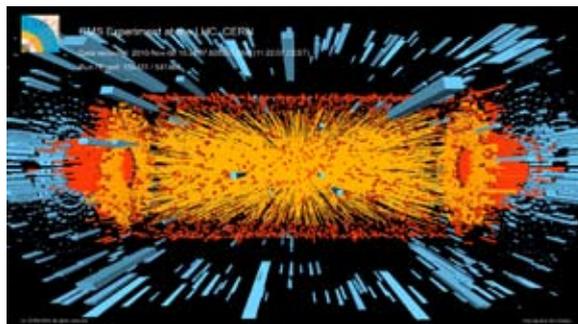


Figura 14. Visualizzazione di eventi di collisione tra ioni pesanti. Esperimento CMS, 8 novembre 2010 (per gentile concessione del CERN); www.interactions.org, press.highenergyphysicsmedia.com/image-library.

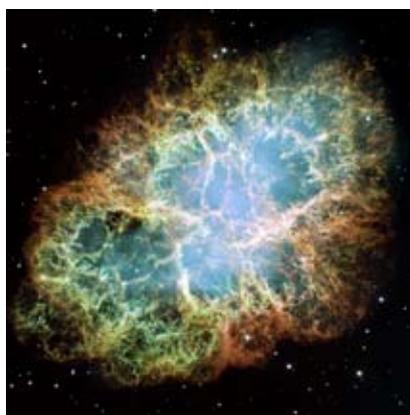


Figura 15. Il 6 gennaio 2011, due brevi impulsi di raggi gamma provenienti dalla Nebulosa del Granchio, precedentemente ritenuta emettere radiazioni a tasso molto costante, sono stati prodotti dalle particelle più energetiche finora riconducibili a un oggetto astronomico. Per gentile concessione: NASA/ESA, www.interactions.org, press.highenergyphysicsmedia.com/image-library.

Particelle “elusiv”, “buchi neri”, protoni “sterili”, materia o energia “oscura”: queste denominazioni metaforiche suggeriscono l’attuale condizione, in cui la ricerca si sporge oltre il noto e rintraccia nelle “mancanze” (lacune) dei modelli precedentemente condivisi i sintomi di fenomeni ignoti di cui si presume l’esistenza, ben prima di poterne constatare l’osservazione, per quanto mediata possa essere. Peraltro, questa stessa *ricerca per mancanze* non è affatto una caratteristica nuova della scienza: basti pensare agli elementi “mancanti” nella tavola periodica di Mendeleev.

Questa forma di pensiero “per assenza” ha profonde assonanze con la ricerca artistica ed è stato proprio un fisico come Nicola Cabibbo a notarlo in un’intervista:

La scienza mira a fornire un’immagine del mondo priva di ombre. È vero, ma nel disperdere una ad una le ombre se ne svelano di nuove, cosicché lo scienziato si trova perennemente – e in questo non è differente dal letterato o dall’artista – a vivere *in between*, nella zona di confine tra luce ed ombra. Zona di confine ben rappresentata dai *Concetti Spaziali* di Lucio Fontana, quadri in cui un taglio su una tela bianca suggerisce l’esistenza di un mondo ulteriore i cui dettagli restano da scoprire. Nelle parole del celebre esploratore Giuseppe Tucci “la scienza, sappiamo, è continuo trascolorare del certo nel dubbio, ed

ogni suo avanzamento si misura non dalla luce che esso fa, quanto piuttosto dal maggior rilievo delle zone d'ombra che viene additando".⁸

La tela bianca dell'artista e la messe sterminata di dati dello scienziato esigono il medesimo rigore e la medesima determinazione compositiva per essere affrontate, ma ogni intervento ne dischiude altri e ne preclude altri, relegandoli nel passato o demandandoli a una successiva esplorazione. Le ombre rendono visibili le impalpabili rilevanze che altrimenti sfuggono, lasciando aperto l'interrogativo su che cosa, e quando, ne abbia generato l'impronta.

Nell'ultimo decennio i confini dell'umana ragione sembrano diventati instabili, estendendosi in modo prima inimmaginabile, e in più direzioni. Resta stabilissima la presenza di quella siepe leopardiana «che dell'ultimo orizzonte il guardo esclude».



Figura 16. *La nuova fisica conterrà, approfondirà o ribalterà quanto finora noto sulle particelle? Contenitori in legno sagomato di strumenti scolastici da disegno geometrico. (Portogallo, seconda metà del Novecento.)*

6. “visione” (vision) (*)

Alcune riflessioni di Einstein inquadrano bene la questione:

Che cos'è precisamente il “pensiero”? Quando, sotto lo stimolo di impressioni sensoriali, affiorano alla memoria certe immagini, questo non è ancora “pensiero”. E quando queste immagini formano un insieme di successioni in cui ciascun termine ne richiama un altro, nemmeno questo è ancora “pensiero”. Ma quando una certa immagine ricorre in molte di queste successioni, allora proprio attraverso questa iterazione – essa diventa un elemento ordinatore, poiché collega tra loro successioni che di per sé non sarebbero collegate. Un elemento simile diventa uno strumento, un concetto. Io ritengo che il passaggio dalla libera associazione, o “sogno”, al pensiero sia caratterizzato dalla funzione più o meno dominante che assume in quest'ultimo il “concetto”. Non è affatto necessario che un concetto sia connesso con un segno riproducibile e riconoscibile coi sensi (una parola); ma quando ciò accade, il pensiero diventa comunicabile. (*Autobiografia scientifica*)

8 La citazione è tratta da F. Gábici, Il fisico che mise all'«angolo» i quark, *Avvenire*, 18 agosto 2010.

Per me non c'è dubbio che il nostro pensiero proceda in massima parte senza far uso di segni (parole), e anzi assai spesso inconsapevolmente. Come può accadere, altrimenti, che noi ci meravigliamo di certe esperienze in modo così spontaneo? Questa "meraviglia" si manifesta quando un'esperienza entra in conflitto con un mondo di concetti già sufficientemente stabile in noi. Ogniquale volta sperimentiamo in modo aspro e intenso un simile conflitto, il nostro mondo intellettuale reagisce in modo decisivo. Lo sviluppo di questo mondo intellettuale è in un certo senso una continua fuga dalla "meraviglia". [...] La convinzione che esista un mondo esterno, indipendente dal soggetto che lo percepisce, è la base di tutta la scienza naturale. Poiché, però, la percezione sensoriale ci fornisce solo un'informazione indiretta su questo mondo esterno, o "realtà fisica" noi possiamo, afferrare quest'ultima solo con mezzi speculativi. [...] Ne deriva che le nostre nozioni di realtà fisica non possono mai essere definitive. Noi dobbiamo sempre essere pronti a cambiare queste nozioni – cioè la struttura assiomatica della fisica – per poter considerare i fatti percepiti in modo sempre più perfetto, da un punto di vista logico. (*Come io vedo il mondo*)

L'attenzione alle raffigurazioni impiegate nella scienza può essere motivata anche per cogliere come tali immagini siano conseguenti a una precedente fase di "visione" (*vision*) che non dipende da un processo di percezione ottica del fenomeno esplorato. Piuttosto, la fase di "visione" precede la capacità di comprendere, di razionalizzare e di sintetizzare la molteplicità di fattori e dati *in ragione* di una nuova intuizione interpretativa in grado di rivelare in essi una "forma", [9], [44], [50], [54].

Dunque, tale capacità di "visione" non solo precede ma addirittura rende possibile la percezione, talvolta al punto tale da pregiudicarne la veridicità (si pensi al caso di Schiapparelli, [13], [51]): si presenta come una sorta di domanda in cui il dato oggettivo è atteso come una sorta di risposta.

Le rappresentazioni scientifiche portano alla condivisione concettuale [53] e percettiva di ciò che la mente del ricercatore ha potuto "vedere" in un fenomeno o in un insieme di dati che ha raccolto sperimentalmente, per questa via giungendo a comprenderne la struttura *morfo-logica*. La "visione" di una totalità di oggetti e di ciascun oggetto indagato anticipa e orienta la ricerca sperimentale, fino a precludere la sequenza logica (pur sempre una configurazione) che porta a una *teoria*, e a delineare gli elementi di un modello in rapporto al quale si possa definire un esperimento convalidante la teoria medesima.

Le differenze tra arte e scienza tendono a ridursi se prestiamo maggiore attenzione alle affinità tra i rispettivi percorsi, benché possano apparire notevoli se consideriamo esclusivamente la metodologia, [4], [49].

Di quest'avvicinamento sono esempio e occasione di conferma almeno tre acquisizioni dell'odierna ricerca scientifica.

A. *FUSIONE ALGORITMICA*. Resa possibile dai procedimenti digitali, la fusione algoritmica rende possibile realizzare immagini e oggetti (virtuali?) che simulano *la genesi di forme*

naturali, raggiungendo, grazie alle nuove matematiche e alle inedite potenzialità di calcolo dei computer, modelli verosimili di morfogenesi spontanee e caotiche, configurazioni in precedenza non rappresentabili e ritenute sfuggenti, marginali o parassitiche rispetto a una definizione di arte o di scienza come “ordine” statico o deterministico. Grazie all’integrazione di topologia e tecniche informatiche, la natura si lascia intercettare in dinamiche ri-generabili: diventa una sorta di *neo-natura* che, presentandosi attraverso “artefatti iperrealistici”, può apparire in forma di ibride chimere – configurazioni lasciate in sospeso tra l’intelligenza dello scienziato e la ri-creazione dell’artista. In questo senso, sono da segnalare le nuove opportunità dischiuse dall’incremento di potenza computazionale e modellazione figurativa, e pre-figurativa, di oggetti n-dimensionali, per $n \gg 3$, attuate tramite tecniche digitali (emblematiche le applicazioni nell’ambito della biologia molecolare e nell’ambito delle nanoscienze). A tali opportunità e ai relativi scenari tecnologici sono associate anche problematiche di grande portata etica ed ecologica.

B. *INTROSPEZIONE NEUROSCIENTIFICA*. Le recenti possibilità di visualizzare l’attività del cervello integrano procedure digitali e tecniche di acquisizione – come risonanza magnetica e PET – nell’esplorare le dinamiche funzionali che si collocano tra l’organico e l’imateriale (il “pensiero”). Sta venendo alla luce una profonda contiguità tra ciò che le discipline scientifiche e umanistiche hanno finora presentato come quadri concettuali, e linguistici, nettamente separati. La mappatura delle aree cerebrali si presta a essere interpretata come anche mappatura delle “aree” del pensiero e permette così di rendere “visibile” quanto ritenuto finora “invisibile”, dilatando ulteriormente il sapere-potere della *scienza* fino a far rientrare nell’indagine, come legittimo oggetto di studio scientifico, quelle capacità intuitive e creative finora delegate all’*arte*.

C. *RICOSTRUZIONE PREVISIONALE*. Attraverso algoritmi e reti dotate di capacità di calcolo fino ad ora inimmaginabili (GRID ecc.) sono attualmente disponibili sistemi previsionali di eventi remoti. Ne sono esempio le simulazioni di collisioni tra particelle mediante LHC e le configurazioni nell’universo nel progetto Bolshoj.⁹ È diventato possibile prevedere configurazioni di sistemi di cui possiamo solo ipotizzare le dinamiche, prescindendo dalla descrizione analitica della loro effettiva morfologia. Grazie a tali modelli previsionali lo scienziato può valutare i dati effettivi rilevati come elementi di conferma o di sconfirma delle ipotesi in relazione alle quali un esperimento è stato progettato.

L’artista può qui confrontarsi con raffigurazioni di oggetti/eventi spazio-temporali negati a qualsiasi percezione, ma non per questo meno rappresentativi del reale concreto. Statistica e arti del fantastico s’incontrano attorno a oggetti e rappresentazioni immaginarie, suscettibili di conferma scientifica e quest’incontro permette di addentrarsi nel processo stesso della comprensione dell’umano e del mondo.

Saremo sempre più indotti ad avvicinare le dinamiche della creatività nella scienza e le pro-vocazioni immaginifiche dell’arte. Nell’instabile riflesso, solo apparentemente

9 Vedi <hipacc.ucsc.edu/Bolshoi>.

stagnante, dello specchio d'acqua delle immagini, due inguaribili Narcisi si vedranno l'un l'altro, ritenendo di guardare solo sé stessi, ma restando prodigiosamente *due*, mentre la Natura, pacata o tumultuosa, permane: insiste a lasciarsi osservare.

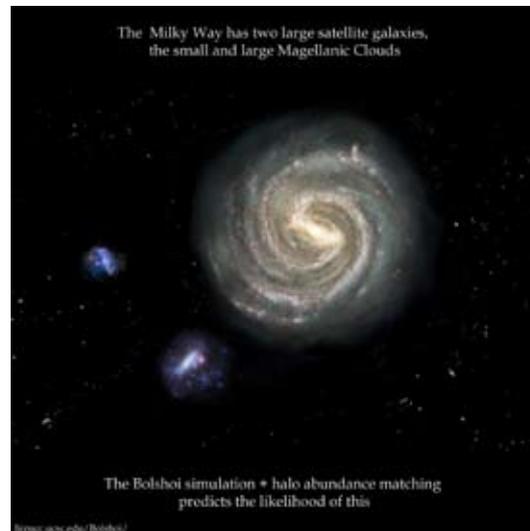


Figura 17. Visualizzazione della materia oscura in 1/1000 della gigantesca simulazione cosmologica Bolshoi, zoomando su una regione centrata sulla alone di materia oscura di un gruppo molto grande di galassie. La Via Lattea dispone di due grandi galassie satellite, le nuvole piccole e grandi Megallaniche. Simulazione Bolshoi combinata con halo abundance. Visualizzato da Chris Henze, NASA Ames Research Center. Credits: collage di Nina McCurdy, inclusa Nick Risinger "Artist's conception of the Milky Way galaxy" (25 June 2009) [source wikipedia], adattato da NASA illustrations e "the NASA images of the Large and Small Magellanic Clouds".

L'artista in realtà rappresenta spesso la parte dell'inventore o dello scopritore scientifico: tutti e tre cercano nuovi rapporti fra l'uomo e il suo mondo. I rapporti scoperti dall'artista sono emotivi invece che pratici o conoscitivi. L'artista creativo non vuol, per un verso, copiare quanto lo circonda, e neppure, dall'altro, mostrarcelo attraverso i suoi occhi. Egli è uno specialista che ci permette di scorgere nella sua opera, come in uno specchio, ciò che per nostro conto non siamo stati capaci di afferrare: la condizione della nostra anima. Egli trova i simboli esteriori per i sentimenti che in realtà ci dominano, ma che in realtà restano per noi soltanto stimoli caotici, e quindi inquietanti ed ossessivi. Questo è il motivo per cui gli artisti ci sono tuttora necessari; nonostante le difficoltà che mettono in pericolo il loro posto nel mondo moderno [23, p. 422].

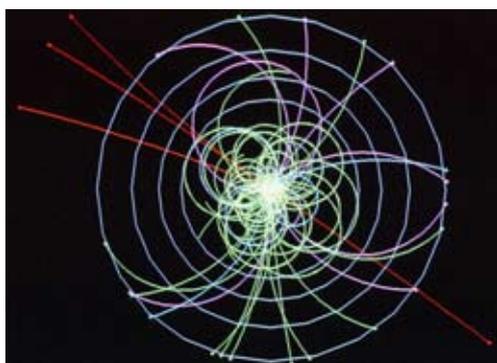


Figura 18. Queste tracce sono un esempio di dati di simulazione di un percorso di decadimento del bosone di Higgs osservato in LHC all'avvio della presa dati nel 2008. Il bosone di Higgs è prodotto nella collisione di due protoni a 14 TeV e decade rapidamente in quattro muoni – un tipo di elettrone pesante che non viene assorbito dal rivelatore. Le tracce dei muoni sono evidenziate in rosso. Le tracce rosse rappresentano 4 muoni.

Marzo 1992 CERN-EX-9203040 tirage 17 (per gentile concessione del CERN).

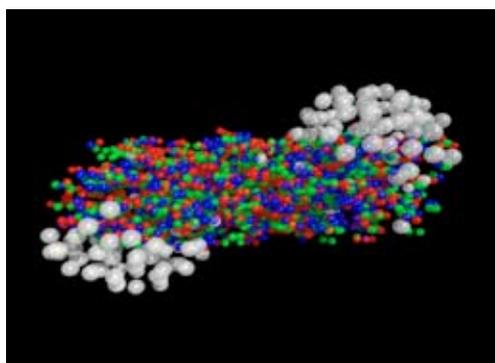


Figura 19. Istantanea di due ioni di piombo immediatamente dopo la collisione (simulazione). Esperimento ALICE CERN-EX-0002010 tirage 01, 2000 (per gentile concessione del CERN).

Ringraziamenti

Romeo Bassoli (I.N.F.N. Press Office Roma), Lanfranco Belloni (Università di Milano), Roberto Casalbuoni (Università di Firenze), Arturo Dell'Acqua (Scuola del Design, Politecnico di Milano), Aldo De Poli (Università di Parma), Franco Fabbri (I.N.F.N, Roma Frascati), Pietro Greco (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA) di Trieste e Fondazione IDIS-Città della Scienza di Napoli), Chiara Meroni (INFN, Milano), Silvano Petrosino (Università Cattolica, Milano), Silvia Piardi, Dipartimento IN.D.A.CO (Politecnico di Milano), Elisa Santinelli (stage Presidenza INFN), CERN Communication Group, Press Office: James Gillies, Renilde Vanden Broeck, Sophie Tesauri, Outreach CMS ATLAS, ALICE, LHC.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Anceschi G., *L'oggetto della raffigurazione*, ETAS, Milano 1992.
- [2] Ackerman, J., *Origins, Imitation, and Conventions: Representation in the Visual Arts*. MIT Press, Cambridge (MA) 2001.
- [3] Bairati, C., *La simmetria dinamica: scienza ed arte nell'architettura classica*, Tamburini, Milano, 1952.
- [4] Barrow, J. D., *Le immagini della scienza*, Mondadori, Milano 2009.
- [5] Bertelè F., Olmi A., Salucci A. e Strumia A., *Scienza, analogia, astrazione. Tommaso d'Aquino e le scienze della complessità*, Il Poligrafo, Padova 1999.
- [6] Bersanelli M e Gargantini Mario, *Solo lo stupore conosce. L'avventura della ricerca scientifica*, Rizzoli, Milano 2003.
- [7] Bettettini Gianfranco, *La simulazione visiva: inganno, finzione, poesia, computer graphics*, ETAS Milano, 1991.
- [8] Bohr, Niels, *Atomic physics and human knowledge*, Wiley, New York 1958.
- [9] Boyens Wilhelm F., Mertens Ulrike, *Visionaries and Architects*, Egon Zender International, Düsseldorf 2001.
- [10] Brunetti F., (a cura di) *Gli anelli del sapere. INFN x LHC. Il contributo italiano alla più grande ricerca sulla fisica delle particelle al CERN di Ginevra / The rings of knowledge. INFN x LHC The italian contribution to the world's largest particle physics research project at CERN, Genève*, Abitare Segesta RCS, Milano 2009.
- [11] Brunetti F., Disegno, Immagini e metafore nella comunicazione scientifica, in: *Comunicare fisica e altre scienze*, a cura di F. Longo ed E. Novacco, (pp. 63-64) Frascati Physics Series - Italian Collection – Scienza Aperta, vol. II, Trieste 2007. http://comunicarefisica.ts.infn.it/allegati/CF07_proceedingsLR_REV18062010.pdf
- [12] Brunetti, F., La fisica come progetto. Bellezza, rappresentazione, visione, in [10] pp. 18-37; www.theringsofknowledge.info
- [13] Canadelli, E., "Some Curious Drawings". Mars through Giovanni Schiaparelli's Eyes: between Science and Fiction, *Nuncius*, 2009, 24 (2), pp. 439-464. <hdl.handle.net/10281/9174>.
- [14] Cares, M.-H., Zanartu, N. M., *Image de pensée*, Reunion de Musées Nationaux, Parigi 2011.
- [15] Castellani, E., *Simmetria e natura. Dalle armonie delle figure alle invarianze delle leggi*, Laterza, Roma-Bari 2000.
- [16] Castellani, E., Verità e scienze fisiche, in *La verità. Scienza, filosofia, società*, a cura di S. Borutti e L. Fonnesu, Mulino, Bologna 2005, pp. 13-33.
- [17] Castelfranchi, Y., Pitrelli, N., *Come si comunica la scienza?*, Laterza, Bari 2007.
- [18] Chandrasekhar S., *The Beauty and the Quest for Beauty in Science*, "Physics today", July 1979, pp. 25-30; tr.it.: Chandrasekhar, *Verità e bellezza. Le ragioni dell'estetica nella scienza*, Garzanti, Milano 1990.

- [19] Dirac, P.A.M., The evolution of physicist's picture of nature, *Scientific American*, 208 (1963), n. 5, p. 45-63.
- [20] Foucault, M., *Le parole e le cose. Un'archeologia delle scienze umane*, Il Saggiatore, Milano 1988.
- [21] Galassi, P., *Before Photography: Painting and the Invention of Photography*, Museum of Modern Art – McGraw-Hill, New York 1981.
- [22] Gibson, J., *The ecological approach to visual perception*, Houghton Mifflin, Boston 1979.
- [23] Gideon, S., *Space, time, and architecture: the growth of a new tradition*, Harvard University Press, Cambridge (MA) 1941; trad. it, Id., *Spazio, tempo ed architettura. Lo sviluppo di una nuova tradizione*, Hoepli, Milano 1984.
- [24] Giudice, G. F., *A Zeptospace Odyssey: A Journey into the Physics of the LHC*, Oxford University Press, Oxford 2010.
- [25] Gombrich, E., Hochberg, J., Black, M., *Arte percezione e realtà: come pensiamo le immagini*, Einaudi, Torino 1992.
- [26] Kandinskij, V., *Punto, linea, superficie. Contributo all'analisi degli elementi pittorici*, Adelphi, Milano 1968.
- [27] Kanizsa, G., *Grammatica del vedere: saggi su percezione e gestalt*, Il Mulino, Bologna 1995.
- [28] Kemp, M., *Immagine e verità. Per una storia dei rapporti fra arte e scienza*, Il Saggiatore, Milano 1999.
- [29] Klee, P., *Das bildnisches Denken*, Schwabe, Basel 1956.
- [30] Klee, P., *Teoria della forma e della figurazione*, vol. I, Feltrinelli, Milano 1959.
- [31] Klee, P., *Teoria della forma e della figurazione. Storia naturale infinita*, vol. II, Feltrinelli, Milano 1970.
- [32] Kosslyn, S., *Le immagini nella mente. Creare e utilizzare immagini nel cervello*, Giunti, Firenze 1989.
- [33] Kuhn, T., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1969.
- [34] Koyré, A., *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi, Torino 1992.
- [35] Lamouche, A., *La théorie harmonique. Le principe de simplicité dans les mathématiques et dans les sciences physiques*, Gauthier-Villars, Parigi 1955.
- [36] Leroy-Gourhan, A., *Le geste et la parole*, Albin Michel, Parigi 1964-1965.
- [37] Maiani L. (a cura di), *Campi, forze e particelle*, Le Scienze, Milano 1991.
- [38] Mandelbrot, B. *La geometria della natura. Sulla teoria dei frattali*, Theoria, Roma-Napoli 1989.
- [39] McAllister, J.W., Truth and beauty in scientific reason, *Synthese* 78 (1989), pp. 25-51.
- [40] Marsonet, M., Visione scientifica e senso comune, in *Atti di Pianeta Galileo 2010*, Consiglio regionale della Toscana, Firenze 2011, pp. 127-136. www.consiglio.regione.toscana.it/news-ed-eventi/pianeta-galileo/atti/2010/13_marsonet.pdf.

- [41] Massironi, M., *Vedere con il disegno*, Franco Muzzio, Padova 1982.
- [42] Merleau-Ponty, M., Maurice *L'œil et l'esprit*, Gallimard, Parigi 1964.
- [43] Panofsky, E., *Meaning in the Visual Arts*, Garden City, New York 1955-1957.
- [44] Peitgen, H., Richter, P., *La bellezza dei frattali*, Bollati Boringhieri, Torino 1987.
- [45] Piaget, J., in collaborazione con Inhelder, B., e Szemika, A., *La geometria spontanea del bambino*, Giunti e Barbera, Firenze 1976.
- [46] Piaget, J. *La rappresentazione dello spazio nel bambino*, in collaborazione con Inhelder, B., Giunti e Barbera, Firenze 1979.
- [47] Panofsky E., *Galileo critico delle arti*, Cluva, Venezia 1985.
- [48] Peruzzi, A., *La metafora come struttura del pensiero*, Appunti del corso di Filosofia a.a. 2005-2006, Facoltà di Psicologia, Università di Firenze 2006. <http://www.sc-form.unifi.it/docenti/peruzzi/documenti/metaforaperuzzi.pdf>
- [49] Petrosino, S., *Piccola metafisica della luce*, Jaca Book, Milano 2004.
- [50] Prigogine I., Nicolis G., *La complessità. Esplorazioni nei nuovi campi della scienza*, Einaudi, Torino 1991.
- [51] Schiapparelli, V. G., *La vita sul pianeta Marte*, Mimesis, Milano 1998.
- [52] Van Fraassen, B., *The Scientific Image*, Oxford University Press, Oxford 1980.
- [53] van Straten, R., *Introduzione all'iconologia*, Jaca Book, Milano 2002.
- [54] Thom, R. *Stabilità strutturale e morfogenesi. Saggio di una teoria generale dei modelli*, Einaudi, Torino 1980.
- [55] Thomson D'Arcy, *On Growth and Form*, Cambridge (1917); ed. it. parziale, *Crescita e forma*, Torino 1992.
- [56] Unali, M., Sacchi, L., *Architettura e cultura digitale*, Skira, Roma 2003.
- [57] Von Weizsäcker, C., *Die Einheit der Natur*, Hanser, Monaco (Baviera) 1987.
- [58] Weyl, H., *La simmetria*, Feltrinelli, Milano 1975.
- [59] Zecchi, S., Franzini, E., *Storia dell'estetica*, 2 voll., Il Mulino, Bologna 1995.
- [60] Zevi Bruno, *Saper vedere l'architettura. Saggi sull'interpretazione spaziale dell'architettura*, Torino 1989.
- [61] Zucchi L., Image, language and knowledge: iconophobia and iconophilia in the epistemological debate in: *Self-referentiality in epistemology and the social world*, Centre for Advanced Study of Sofia, Sofia 2006; Estratto da: *Reflection*: Riva Publishers, 2008. Sofia (pp. 157-180).

SUGGERIMENTI DI LETTURA

- Arecchi, T., e Arecchi, I., *I simboli e la realtà*, Jaca Book, Milano 1990.
- Artigas, M., Sanguineti, J. J., *Filosofia della natura*, Le Monnier, Firenze 1989.
- Bertola F. et. al. (a cura di), *La bellezza nell'universo*, Il Poligrafo, Padova 1996.
- Cantore, E., *L'uomo scientifico. Il significato umanistico della scienza*, EDB, Bologna 1987.
- Cimoli A. C., Irace F. (a cura di), *La divina proporzione. Riflessioni su saggi inediti del congresso del 1951*, Electa, Milano 2007.
- Cini, M. *Un paradiso perduto. Dall'universo delle leggi naturali al mondo dei processi evolutivi*, Feltrinelli, Milano 1994.
- De Broglie L., Schrödinger E., Heisenberg W., *Onde e particelle in armonia. Alle sorgenti della meccanica quantistica*, Jaca Book, Milano 1991.
- Einstein Albert, *Autobiografia scientifica*, Boringhieri, Torino 1979.
- Feynman, R., *QED. La strana teoria della luce e della materia*, Adelphi, Milano 1989.
- Gregory, L. R., *Occhio e cervello: la psicologia del vedere*, Raffaello Cortina, Milano 1991.
- Golubitsky M., Stewart, *Terribili simmetrie. Dio è un geometra?*, Torino 1995.
- Hofstadter, D., *Gödel, Escher, Bach: un'eterna ghirlanda brillante*, Adelphi, Milano 1984.
- Huntley H.E., *The Divine Proportion. A Study in Mathematical Beauty*, Dover, New York 1970.
- Jacquard, *L'equazione della Ninfea*, Piemme, Casale Monferrato 1999.
- Jammer, M. *Storia del concetto di spazio*, Feltrinelli, Milano 1966.
- Ladriere, J. Presentazione e rappresentazione. Un confronto fra le modalità di significanza dell'arte e della scienza, in *Estetica 1995. Le arti e le scienze*, Il Mulino, Bologna 1996, pp. 41-60.
- Maritain, J., *La filosofia della natura*, Morcelliana, Brescia 1974.
- Mason. R., Morphet, T., Prosalendis, S., *Reading Scientific Images, the iconography of evolution*, Human science research council, Cape Town 2006.
- McAllister, J.W., Dirac and aesthetical evaluation of theories, *Methodology and Science*, 23 (1990), pp. 87-100;
- Mitchell W., *The Reconfigured Eye. Visual Truth in the Post-Photographic Era*, MIT Press, Cambridge (MA) 1997.
- Montù Aldo, *Fi = 1.61803398875... Appunti e annotazioni su Natura e geometria: progressione aurea e forme pentagonali*, Melocchi, Milano 1970.
- Pais, A., *Sottile è il Signore*, Boringhieri, Torino 1986.
- Peitgen, H.O., Richter, P. H. *La bellezza dei frattali*, Bollati Boringhieri, Torino 1987.
- Penrose, R. *Ombre della mente. Alla ricerca della coscienza*, Rizzoli, Milano 1996.
- Poincaré H., *Geometria e caso. Scritti di matematica e fisica*, Boringhieri, Torino 1995.
- Russell, R. Murphy, Peacocke N. A. (a cura di), *Chaos and Complexity. Scientific Perspectives*

- on Divine Action*, LEV and Center for Theology and The Natural Sciences, Città del Vaticano - Berkeley 1995.
- Salam, A., *L'unificazione delle forze fondamentali. Lo sviluppo e gli obiettivi della fisica moderna*, Rizzoli, Milano 1990.
- Sanguineti, J. J. *La filosofia del cosmo in Tommaso d'Aquino*, Ares, Milano 1986.
- Schilpp, P.A. (a cura di), *Albert Einstein scienziato e filosofo*; Boringhieri, Torino 1958.
- Selleri, F., *La casualità impossibile. L'interpretazione realistica della fisica dei quanti*, Jaca Book, Milano 1987.
- Shea William R., *Science and the Visual Image in the Enlightenment* Watson Publishing International LLC, Canton (MA) 2000.
- Sober E., *Simplicity*, Clarendon Press, Oxford 1975;
- Tiezzi, E. *La bellezza e la scienza. Il valore dell'estetica nella conoscenza scientifica*, R. Cortina, Milano 1998;
- Van Fraassen, B. C., *Laws and Symmetry*, Oxford University Press, Oxford 1989.
- Van Fraassen, B. C., *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, Oxford University Press, New York 2008.
- Von Balthasar H. U., *Gloria. Un'estetica teologica*, vol. I: *La percezione della forma* (1961), Jaca Book, Milano 1985;
- Weisskopf V.F., *Conoscenza e meraviglia. La descrizione umana del mondo della natura*, Zanichelli, Bologna 1966;

PREMIO GIULIO PRETI

Quinta edizione



MOTIVAZIONE PER IL CONFERIMENTO DEL PREMIO GIULIO PRETI (2011) A JEAN PETITOT

La storia del pensiero scientifico e filosofico ospita grandi figure di filosofi-scienziati, i quali hanno dato un contributo *sia* alla filosofia *sia* alla scienza, così come oggi, distintamente, intese. Grandi figure il cui numero, però, non è grande rispetto al numero dei filosofi o al numero degli scienziati; eppure esse punteggiano alcuni dei momenti di maggiore cambiamento prospettico nell'immagine scientifica del mondo. Ancor più rare sono state le figure di filosofi-matematici, o matematici-filosofi. Eppure, di nuovo, è proprio a essi che si debbono importanti teoremi, nuove linee di ricerca e alcune delle più profonde riflessioni sulla natura e sulle basi della conoscenza umana.

Nel Novecento, il costituirsi di un'autonoma area di studi denominata "filosofia della scienza" è stata accompagnata dalla necessità, per i filosofi, di competenze scientifiche: se intendevano affrontare seriamente i problemi connessi allo sviluppo della fisica, della biologia e delle scienze cognitive, con riferimento a specifiche teorie e metodologie che richiedono l'impiego di linguaggi formalizzati, i filosofi dovevano disporre degli appropriati strumenti concettuali. Parimenti, per gli scienziati che intendevano riflettere sul discorso, sulla pratica e sul senso stesso dell'impresa scientifica si è delineata la necessità di avere una non superficiale familiarità con il linguaggio filosofico.

Il Novecento è stato anche il secolo in cui, come forse mai prima, il linguaggio, in tutti i suoi aspetti, è diventato tema centrale d'indagine. La filosofia si è trovata non solo a fare i conti con gli sviluppi della linguistica, della semiotica e della semantica formale, ma ha anche contribuito alla stessa identificazione dei temi di ricerca e alla formulazione di ipotesi esplicative nei confronti di fenomeni, evidenze, dati, fatti in cui il linguaggio è coinvolto. Anche in questo caso c'è stata la fioritura di una vasta area di studi che richiedeva strumenti appropriati: dalla logica matematica alla teoria algoritmica delle grammatiche fino all'impiego odierno dell'informatica nella modellizzazione dei processi cognitivi inerenti al linguaggio.

L'interesse di Giulio Preti per i temi della filosofia della scienza è sempre stato congiunto al suo interesse per le nuove indagini sul linguaggio, considerato sotto il profilo logico, semiotico e fenomenologico. Nel suo intendimento, questo interesse congiunto non preludeva però a una progressiva specializzazione della filosofia né a un generico sincretismo, forzato e privo di effetti pratici, bensì era tratto caratteristico del modo in cui intendeva l'attività filosofica nei confronti della cultura.

Il compito che Preti attribuisce a chi voglia fare della filosofia il suo "onesto mestiere" impone un distacco dalle ideologie e dalle mode ed è un compito, facile soltanto col senno di poi, che non si esaurisce in tale distacco. La raccomandazione implicita è: non prendere automaticamente per buona l'immagine del mondo offertaci dalla scienza recente e per valida la spiegazione di un fenomeno offertaci dalla più condivisa teoria scientifica. Ma il distacco richiesto impedisce anche di cercare rifugio in una nostalgica

visione del mondo, che tipicamente finisce per risultare debitrice di concetti e principi scientificamente obsoleti.

Fra distacco e partecipazione si tratta dunque di trovare un equilibrio, che non esenta i filosofi da ogni altro onere; semmai, li impegna ancora di più nel compito di ordinare il sapere del proprio tempo in una cornice che sia la più ampia e unitaria possibile, esercitando così un'influenza a lungo termine – e sarà, per Preti, un'influenza *positiva* se aiuterà alla diffusione di una *forma mentis*: quella di una razionalità aperta, consapevole delle sue potenzialità e dei suoi limiti, che trova riscontro nel metodo scientifico e da qui passa a nutrire il confronto di idee in una società democratica. In un simile spirito di rinnovato illuminismo si mossero anche altri della generazione di Preti, impegnandosi in un'opera di svecchiamento della cultura italiana che passava per la valorizzazione della scienza, ma a differenza di altri alfieri del neo-positivismo in Italia, l'attenzione di Preti verso le idee di frontiera nel campo della matematica e delle scienze naturali andava sempre di pari passo con l'attenzione verso il linguaggio come insieme di strutture semiotiche; ed entrambi i tipi d'attenzione avevano bisogno, per Preti, di essere inquadrati in una più generale *filosofia della cultura*, che fosse consapevole della genesi storica delle idee.

È infatti percorrendo questa via, che passa per la storicità della conoscenza e della molteplicità dei linguaggi, che Preti giunse a una vivida e appassionata concezione neo-illuministica, dando corpo all'idea di quel “razionalismo critico” che è stato forse l'apporto più significativo e originale dato dalla filosofia italiana nella prima metà del Novecento: un apporto che nel suo mentore Antonio Banfi – ma anche nei modi di raccoglierne l'eredità che altri avevano coltivato – Preti non vedeva pienamente realizzato.

Dai tratti che caratterizzano la linea pretiana, così com'è stata qui brevemente descritta, emerge una consonanza profonda con alcuni tratti del pensiero francese del Novecento ed è quanto mai significativo che fuori dall'Italia, a testimoniare la maggiore sensibilità verso il progetto di Preti e a dividerne gli aspetti su richiamati, sia stato più d'ogni altro un illustre studioso francese: Jean Petitot.

Nato a Parigi nel 1944, Jean Petitot è uno dei rari filosofi-matematici del nostro tempo. Membro di numerose società scientifiche internazionali, ha ricoperto e ricopre importanti cariche in alcune delle più prestigiose istituzioni della ricerca europea: è oggi direttore al Centro di analisi e matematica sociale, presso l'École des Hautes Etudes en Sciences Sociales, dopo esser stato direttore al Centre de Recherche en Épistémologie Appliquée (CREA), presso l'École Polytechnique, dal 2000 al 2006. Nel 1998 è stato insignito del titolo di cavaliere dell'Ordre nationale du Mérite.

Oltre ad aver dato contributi scientifici che affrontano alcuni fra i maggiori nodi del pensiero contemporaneo specialmente per quanto riguarda la linguistica e l'epistemologia, Petitot ha prospettato soluzioni originali le quali permettono di valorizzare l'apporto della matematica in ambiti dai quali essa era rimasta esclusa o il suo uso era ancora marginale, giungendo infine ad inquadrare le proprie ricerche in una cornice

che può ben dirsi “neo-illuministica”, ove tale carattere è da mettere direttamente in relazione con l’eredità del pensiero di Preti, a proposito della quale basti ricordare l’essenziale impulso dato da Petitot affinché Preti fosse conosciuto all’estero, dedicando all’analisi delle sue idee una serie di studi penetranti e favorendo la prima traduzione in francese di una selezione di testi di Preti.

La ricerca di Petitot iniziò mettendo a frutto nell’ambito della semiotica strutturale la sua formazione di matematico e oggi è soprattutto a lui che va il merito di aver mostrato come impiegare la teoria delle singolarità, andando oltre l’impostazione che le aveva dato René Thom, al fine di elaborare modelli morfodinamici di strutture linguistiche (in fonologia, sintassi e semantica). La tesi che Petitot presentò e discusse all’École des Hautes Etudes en Science Sociales nel 1982 s’intitolava appunto *Pour un Schématisme de la Structure: de quelques implications sémiotiques de la théorie des catastrophes*. Numerosi sono i contributi che in seguito Petitot ha pubblicato su temi semiotici: qui basti ricordare i due volumi *Morphogenèse du sens* (1985; trad. it. *Morfogenesi del senso*, 1990) e *Physique du sens. De la théorie des singularités aux structures sémio-narratives* (1992).

Per capire l’importanza dell’opera di Petitot in ambito semiotico, è sufficiente dire che sono state le sue ricerche a permettere di collegare, in maniera approfondita e sistematica, l’ambito dei modelli matematici per la fisica, l’ambito della morfogenesi in biologia e l’ambito delle scienze cognitive, incrinando così una duplice presunta dicotomia di status e di metodo: quella che tradizionalmente separa la fisica dalle scienze del vivente, e quella che separa le scienze naturali dalle scienze dell’uomo.

Anche l’approccio strutturalista di partenza si è venuto modificando in modo originale ad opera di Petitot, perché proprio la sua attenzione ai processi di formazione di una struttura gli ha consentito di riproporre in nuovi termini una filosofia “trascendentale” delle basi del linguaggio e della conoscenza (*La philosophie transcendante et le problème de l’objectivité*, 1991). La stessa attenzione alla morfogenesi lo ha portato poi a una rinnovata indagine, in termini di sistemi dinamici complessi, su temi propri della fenomenologia, ripensati in una prospettiva naturalistica: basti qui ricordare il processo di costituzione della Gestalt percettiva e del significato di un’espressione verbale. Della fecondità di un simile approccio è testimonianza l’organica presentazione offerta nel volume *Cognitive morphodynamics*, redatto in collaborazione con R. Doursat e pubblicato nel corso di questo stesso anno (2011).

La vasta produzione scientifica di Petitot interessa molte aree di ricerca oltre alla semiotica, spaziando dalla teoria dei sistemi dinamici alla geometria differenziale, dalla logica alle neuroscienze, con particolare riguardo ai modelli dell’architettura neurale della visione. Non meno vasta è stata la sua produzione in ambito filosofico sia per quanto concerne l’epistemologia della fisica sia per quanto concerne la filosofia della matematica. Infine, se è significativo che il matematico Petitot si sia ritrovato a lavorare su temi che appassionarono Preti, è altrettanto significativo che il filosofo Petitot abbia voluto dare alla sua riflessione sul rapporto tra scienza e società un senso quanto mai

“pretiano”, riassunto programmaticamente nel titolo di un volume del 2009, che suona infatti: *Per un nuovo illuminismo. La conoscenza scientifica come valore culturale e civile.*

Per questi motivi, sinteticamente espressi, il comitato scientifico di Pianeta Galileo è stato unanime nell’attribuire a Jean Petitot il Premio Giulio Preti per l’anno 2011.

GIULIO PRETI E LA CIVILTÀ DELLE SCIENZE

JEAN PETITOT

École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris

Porgo il mio saluto alla Regione Toscana, nelle persone del Presidente del Consiglio regionale, Alberto Monaci e del Vicepresidente, Giuliano Fedeli.

Ringrazio molto il comitato organizzatore di Pianeta Galileo così come i membri della giuria del Premio Preti. Mi sia anche consentito salutare gli amici Alberto Peruzzi, Paolo Parrini e Luca Scarantino che insieme ad altri colleghi delle università di Firenze, Milano e Pavia hanno organizzato il convegno internazionale, ospitato nel programma di Pianeta Galileo, per il centenario della nascita di Giulio Preti.

Essere insignito di questo premio è non solo un grande onore ma anche una grand'emozione. Giulio Preti rappresenta per me una figura ideale di filosofo, la figura commovente di uno scienziato erudito, eroe morale, che si è consacrato alle più importanti tradizioni del pensiero mantenendo coraggiosamente un distacco tragico e ironico in confronto a parecchi intellettuali della sua epoca, così zelanti verso la politica. Ha diagnosticato con lucidità i problemi della nostra modernità e ha difeso con convinzione, senza illudersi, l'umanesimo di un illuminismo liberale.

Il mio titolo: "Giulio Preti e la civiltà delle scienze" viene di una frase di *Pluralità delle scienze e unità eidetica del mondo* (1965) dove Preti spiega che

«La filosofia della scienza [...], come sempre la filosofia, ha per oggetto le forme e le condizioni di una civiltà: in questo caso, la *civiltà delle scienze*.»

Per onorare la memoria di Preti vorrei parlare dell'*attualità* del suo "razionalismo critico" che considero come "*nuovo illuminismo*", per riprendere il titolo del mio libro pubblicato nella collana diretta da Umberto Eco presso l'editore Bompiani. Il sottotitolo è "La conoscenza scientifica come valore culturale e civile" ed è bene in sintonia con la nozione di "civiltà delle scienze".

Nel *Cacodemone neoilluminista*, Fabio Minazzi, che mi ha fatto scoprire Preti e la filosofia della scienza italiana nel 1985, che ha tradotto il mio libro, e che ha anche organizzato un importante convegno internazionale per il centenario, insiste sul fatto che, per Preti, la missione deontologica del filosofo è quella di dire la verità, e la fedeltà alla verità è per lui una responsabilità etica:

«il filosofo non può e non deve rimaner legato ad alcuna 'morale', ma solo alla verità, [...] questa è la sua vera 'missione'». (*Bios theoretikós*, p. 45)

Questo legame, caratteristico dell'illuminismo, fra quello che Immanuel Kant chiamava ragione pratica e ragione teorica era per Preti, come lo spiega in *Praxis e empirismo*,

la condizione di possibilità della libertà e di una *cultura democratica*. Si potrebbe dire che per il razionalismo critico, il soggetto della libertà è identicamente il soggetto della conoscenza.

Razionalismo critico, *Aufklärung*, neo-illuminismo, civiltà delle scienze, verità in tutti i domini dell'esperienza umana, cultura democratica garantita dalle conoscenze scientifiche: com'è ancora possibile difendere tutto questo in un'attualità post-moderna dominata da una permanente critica delle scienze e dell'umanesimo liberale?

La ragione del pessimismo catastrofista attuale è abbastanza chiara. Mi ricordo di quando partecipai nel 1988 al dibattito «Dialogo per un'epoca di crisi» organizzato dal giornale «Le Monde», tra Jean-François Lyotard, che quasi dieci anni prima aveva pubblicato *La condizione postmoderna*, e un certo numero di scienziati. Noi difendevamo tesi neo-illuministe sul ruolo umanistico ed emancipatore del progresso, e Lyotard rispondeva a questo «bilancio di conquista» con un «bilancio di disastro della speranza». Spiegava che «il tentativo di ripristinare oggi gli obiettivi umanistici dell'illuminismo si basa su una completa ignoranza di ciò che accade. La scienza non persegue i fini dell'uomo».

Penso che Lyotard si sbagliasse, ma metteva il dito sul punto fondamentale: «la scienza non persegue i fini dell'uomo».

Infatti, ciò che è dibattuto oggi è la caratteristica dell'ottimismo razionalista, che è quella di legare la conoscenza ai fini dell'uomo. Kant lo ha formulato benissimo. È riuscito ad articolare in maniera coerente e sistematica, “architettonica” come si dice, tre ordini di razionalità e d'esperienza. Primo, l'ordine del sapere scientifico e dell'operatività tecnica, dove dominano l'esperienza empirica, la verità teorica e l'efficacia pragmatica. Secondo, l'ordine deontologico e giuridico dell'etica, della giustizia e delle regole comunicazionali intersoggettive. Infine, l'ordine dell'emancipazione, dell'autenticità esistenziale e della speranza. Questi tre ordini corrispondono rispettivamente alle tre famose domande kantiane: «che cosa posso sapere?», «che cosa devo fare?», «che cosa mi è lecito sperare?».

Da Hegel in avanti queste tre finalità, che Jürgen Habermas chiamava “interessi della ragione”, si sono allontanate e rese autonome ponendo le basi per una crisi del razionalismo. In particolare, se si considera il primo ordine (scientifico e tecnico) come dominante e si pretende di sottometergli gli altri due, si approda a dispotismi razionalistici *non critici*, un po' come nella *Repubblica* di Platone. Pensiamo all'ideologia tecnocratica di Saint-Simon e di Auguste Comte, fino al costruttivismo amministrativo e pianificatore dei regimi totalitari. Questa violenza politica del razionale farà allora apparire l'oggettività come reificazione e la verità come dominio – è appunto l'argomento sviluppato a partire dalla *Dialettica dell'Illuminismo* di Horkheimer e Adorno fino ad oggi.

Ma, nell'altro senso, se si cerca di far dominare contro la scienza l'idealismo (*à la* Croce), il puro pensiero dell'essere (*à la* Heidegger) o le palingenesi della speranza (la rigenerazione e la ricostruzione di un nuovo mondo dopo catastrofi apocalittiche), si produce sempre l'inverso di quello che si sperava perché la realtà è sempre più forte dei

miti. Le utopie politiche alienano sempre l'autonomia della libertà nell'eteronomia di grandi racconti di liberazione.

Incontriamo qui un'antinomia della ragione. Il razionalismo *non* critico, incondizionato, non è sostenibile. Ma neanche l'antirazionalismo. È per questa ragione che si deve sostenere un razionalismo *critico* che *auto-limita* il suo dominio di operatività.

Ed è molto importante perché, come l'ha ben spiegato Gilbert Simondon, la contrapposizione divenuta classica dopo Wilhelm Dilthey tra scienze-tecniche e cultura "è falsa e priva di fondamenti". Crea una "distorsione fondamentale" della società e costituisce "la causa maggiore d'alienazione nel mondo contemporaneo".

Ma, nelle critiche attuali alla potenza delle tecno-scienze, quel che si critica non è l'illuminismo, bensì un'ideologia scienziata ed una deriva tecnocratica. L'illuminismo, l'abbiamo visto, non è solo scienza, ma anche ricerca della giustizia e proposta di speranza. Afferma solo che giustizia e speranza passano necessariamente attraverso un confronto cognitivo con la realtà.

Come dunque riarticolare fra loro i tre ordini del sapere, del dovere e della speranza? Vorrei spiegare brevemente perché penso che il razionalismo critico di Giulio Preti può servirci di guida in questa grand'avventura.

Nel suo articolo del 1950 *Due orientamenti nell'epistemologia*, Preti definisce l'epistemologia come «una 'riflessione' della scienza su se stessa» (p. 54). L'epistemologia è un'"auto-riflessione" della scienza e, in quanto tale, ha anche un valore culturale ed etico.

Ma l'auto-riflessione deve affrontare il problema "centrale" e "vitale" dell'*unità* delle scienze. Considerata la loro tecnicità, le scienze specializzate sono non solo diversificate ma frammentarie e spezzettate. Ora, solo la loro unità sistematica può conferire l'*autorità*.

Senza autorità la conoscenza stessa perde di senso, la cultura si vuota di valori.
(p. 56)

Questa perdita di senso e di valore era molto grave per Preti, perché difendeva la tesi del pragmatista americano John Dewey che la scienza è "l'unica autorità democratica".

La questione è dunque la seguente:

Come può dare unità ciò che non ha in sé tale unità?
(p. 55)

Quali possono essere il principio e il motore del progetto d'unificazione? Non possono essere quelli di una super-scienza. Secondo Preti:

l'unità della scienza non può essere data che da un'epistemologia unitaria.
(p. 59, corsivo nel testo)

Non sono quindi i contenuti concreti specifici delle scienze particolari a dover essere unificati, ma il *concetto* stesso di scienza. E, sulle orme d'Antonio Banfi, Preti concepisce qui l'unità delle scienze come l'unità *trascendentale* di una *metodologia critica*.

L'unità del sapere è solo trascendentale, consiste unicamente nell'unità del processo teoretico mediante il quale si formano le varie forme del sapere stesso, ossia il processo di risoluzione razionale dell'esperienza. (p. 60)

La tesi che la scienza è una "risoluzione razionale dell'esperienza" viene dai *Principi di una teoria della ragione* (1926) d'Antonio Banfi. Si tratta della traduzione progressiva e indefinita di linguaggi descrittivi d'oggetti empirici in linguaggi scientifici formalizzati (dunque in matematica). La "risoluzione" è funzionale. Autonomizza la matematizzazione teoretica dai dati immediati del vissuto. Ed è analoga alla generalizzazione del kantismo operata dal neo-kantismo della scuola di Marburg, e in particolare da Ernst Cassirer nella sua grande opera *Sostanza e funzione* (1910).

Ed è addirittura così, secondo Preti, che si reintroduce il tema *trascendentale*. In questa prospettiva, gli a priori kantiani (categorie e principi) operano come *scelta* di un sistema convenzionale di regole di traduzione.

Connessi coi 'principi' [...] sono quei peculiari termini [...] che da Kant in poi i filosofi chiamano *categorie*. Principi e categorie costituiscono la dimensione trascendentale di un linguaggio scientifico. (p. 66)

Preti sviluppa profondamente l'idea che le scienze particolari non sono solo sistematizzazioni di descrizioni di dati empirici ma sono anche costruzioni teoriche matematizzate. Lo sviluppo che Preti dà a quest'idea s'inserisce nelle tradizioni trascendentaliste della costituzione delle *oggettività* scientifiche: da un lato la tematica del neo-kantismo, dall'altro quello che Edmund Husserl chiamava "*ontologie regionali*", con, in più, una forte prossimità con il positivismo logico del circolo di Vienna, in particolare Carnap.

Ma rimane quello che considero essere il problema centrale; ed è un problema che è stato sviluppato con un genio particolare dai grandi filosofi della scienza italiani come Banfi, Preti o Ludovico Geymonat. Ed è proprio per questa ragione che m'interessa tanto a questa tradizione italiana e che ho cercato di farla conoscere meglio in Francia.

La questione è quella, così complessa e profonda, del *divenire storico dei processi di costituzione delle oggettività*. È la possibilità di sviluppare ciò che Preti nel 1950 definisce ottimamente come

la dinamica storica della scienza nella sua unità formale.
(*Due orientamenti dell'epistemologia*, p. 72)

Che cosa può essere un'epistemologia che sia nello stesso tempo trascendentale e storica?

Evitando da un lato gli eccessi speculativi di un idealismo dialettico neo-hegeliano e dall'altro lato i limiti dello storicismo, bisogna comprendere come le ontologie regionali possono essere *in quanto tali* delle costruzioni «storicamente mobili» (p. 486). Bisogna comprendere che la storia profonda delle scienze è una *storia trascendentale delle ontogenesi oggettive*, una storia delle stesse regole eidetico-costitutive, un

variare dei parametri fondamentali logico-formali e logico-trascentali.
(p. 77).

La questione, della quale Preti è un grande precursore, è dunque quella di un *trascendentalismo evoluzionista*.

Le epistemologie trascendentali evoluzioniste trovano oggi ampio sviluppo. Citerò per esempio il libro *Dynamics of Reason* di Michael Friedman (CSLI Publications, Stanford 1999) che sviluppa l'idea che i principi a priori possono essere generalizzati, relativizzati e storicizzati:

Quella a cui arriviamo [...] è dunque una concezione relativizzata e dinamica dei principi a priori fisico-matematici, che cambiano e che si sviluppano con lo sviluppo delle stesse scienze fisiche e matematiche, ma che ciononostante mantengono la loro funzione costitutiva in maniera tipicamente kantiana.
(p. 31)¹

È esattamente il problema della dinamica della scienza nella sua unità formale. Per approfondire questo tema si potrà guardare il recente libro *Constituting Objectivity. Transcendental Perspectives in Modern Physics* (Springer, 2009) che ho pubblicato con Michel Bitbol and Pierre Kerszberg. C'è un bell'articolo di Paolo Parrini su "Carnap's relativised a priori and ontology".

Concluderò dunque su quello che costituisce per me il principale interesse dell'epistemologia italiana, ossia il fatto di avere approfondito lo statuto *della conoscenza obiettiva come valore storico*, e questo molto prima dell'epistemologia evoluzionista di Stephen Toulmin – in *Human Understanding*, (1972) Toulmin attaccava la tesi *relativista* di Thomas Kuhn sulle trasformazioni concettuali "rivoluzionarie" nelle scienze e ritornava ad una concezione evoluzionista più popperiana spiegando che il cambiamento concettuale risulta da processi darwiniani di revisioni concettuali, ossia d'innovazione e di selezione –, di Toulmin dunque o del trascendentalismo evoluzionista di Friedman.

Poiché ha concepito le ontologie regionali come delle costruzioni "storicamente mobili", Preti ha potuto pensare «la dinamica storica della scienza nella sua unità formale», evitando le difficoltà, da un lato, dei positivismi che hanno pensato solo l'unità formale senza la dinamica storica, e, dall'altro lato, degli idealismi neo-hegeliani o dei materialismi che hanno pensato solo la dinamica storica senza l'unità formale.

Sono convinto che è proprio questo razionalismo nello stesso tempo *critico ed evoluzionista* che è la migliore risposta al «disastro della speranza». È vero che "la scienza non persegue *intenzionalmente* i fini dell'uomo". Non è finalista, non è teleologica. È evoluzionista, teleonomica, nel senso più profondo. Ma è proprio questo che le dà tutto il suo valore storico, culturale e civile.

È per questo che, fedelmente al pensiero di Giulio Preti, si può difendere l'idea della "civiltà delle scienze", l'idea di un nuovo illuminismo per le società democratiche

1 «What we end up with (...) is thus a relativized and dynamical conception of a priori mathematical-physical principles, which change and develop along with the development of the mathematical and physical sciences themselves, but which nevertheless retain the characteristically Kantian constitutive function.»

moderne, l'idea della conoscenza come eticamente regolatrice e culturalmente emancipatrice, come una forza che permette all'umanità di far progredire la sua capacità di risposta alle sfide della natura e della storia.