

Storia, Didattica, Scienze Pavia 1975-2010

Atti del convegno Università di Pavia, 7 maggio 2010

a cura di

Fabio Bevilacqua – Patrizia Contardini

Pavia University Press Editoria scientifica







Storia, Didattica, Scienze Pavia 1975-2010

Atti del convegno

Università di Pavia, 7 maggio 2010

a cura di

Fabio Bevilacqua - Patrizia Contardini



Storia, didattica, scienze: Pavia 1975 - 2010 : atti del convegno, Università di Pavia, 7 maggio 2010 / a cura di Fabio Bevilacqua, Patrizia Contardini. - Pavia : Pavia University Press, 2012 . - [XII], 287 p. ; 24 cm. - (Editoria scientifica)

ISBN 9788896764381

- 1. Pavia Università Storia Congressi 2010
- I. Bevilacqua, Fabio <1948-> II. Contardini, Patrizia

978.45291 CDD-22 - EDUCAZIONE SUPERIORE, Pavia

© Fabio Bevilacqua – Patrizia Contardini, 2012 – Pavia ISBN: 978-88-96764-38-1

Nella sezione "Editoria scientifica" Pavia University Press pubblica esclusivamente testi scientifici valutati e approvati dal Comitato scientifico-editoriale.

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento anche parziale, con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i paesi.

La fotoriproduzione per uso personale è consentita nei limiti e con le modalità previste dalla legislazione vigente.

In copertina: Docente in cattedra. Lapide di Francesco Corti – 1495. Cortile di Alessandro Volta, Università degli Studi di Pavia

Virtual URL http://purl.oclc.org/paviauniversitypress/atti/bevilacqua-contardini-2012

Prima edizione: novembre 2012

Pubblicato da: Pavia University Press – Edizioni dell'Università degli Studi di Pavia Via Luino, 12 – 27100 Pavia http://www.paviauniversitypress.it

Stampato in Italia da Digitalandcopy SaS, Segrate (Mi) Printed in Italy

Sommario

Premessa	
Fabio Bevilacqua	IX
Introduzione	
Angiolino Stella	XI
La storia del Centro Studi per la Didattica della Facoltà di Scienze	
Mario Ferrari	1
La formazione degli insegnanti come problema	
Anna Bondioli	9
Note sul pensiero scientifico medievale. Storiografia, questioni, ricerche	
Chiara Crisciani	21
Strumenti, idee e pratiche nella didattica della scienza a scuola tra Otto e Novecento: esperienze di ricerca <i>in progress</i>	
Monica Ferrari	37
Immagini tra arte e scienza: compresenze e configurazioni	
Gabriele Albanesi	49
L'insegnamento della didattica e della storia delle scienze all'Università di Pavia	
Antonella Berzero	61
Alcune collaborazioni fra Ufficio Scolastico Regionale per la Lombardia e Università di Pavia	
Vittoria Cinquini	67
Insegnamento e apprendimento della matematica: studio di processi cognitivi, analisi di pratiche didattiche e formazione degli insegnanti	
Samuele Antonini, Angela Pesci, Maria Reggiani	71

VI Sommario

La ricerca in didattica della fisica, dallo studio delle concezioni spontanee all'elaborazione di percorsi d'apprendimento	
Ugo Besson	87
Ricerca in didattica della fisica: temi e problemi	
Lidia Borghi, Anna De Ambrosis	105
Didattica chimica a Pavia: esperienze di formazione	
Elisa Fasani	123
La radiochimica a Pavia: il contributo del Prof. Mario Alberto Rollier	
Massimo Oddone	131
Didattica e divulgazione della micologia sul territorio pavese	
Elena Savino, Solveig Tosi, Chiara Buratti, Sofia Florio	137
La tradizione degli studi geo-mineralogici a Pavia e la storia delle scienze della Terra (da Spallanzani a Stoppani e Taramelli)	
Lamberto Laureti	143
Comunicazione e apprendimento della scienza: la Sezione di Fisica del Museo per la Storia dell'Università e il Sistema Museale d'Ateneo	
Lidia Falomo	161
La catalogazione degli strumenti scientifici del Sistema Museale di Ateneo	
Carla Garbarino	171
Insegnare storia con gli strumenti della fisica. Le testimonianze del Museo per la Storia dell'Università di Pavia	
Gabriella Fusi	181
Valorizzazione del patrimonio librario e strumentale	
Lea Cardinali	199
Galileo, Bruno e il copernicanesimo	
Enrico R. A. Giannetto	213
Galileo e la difesa del copernicanesimo	
Gianni Bonera	221

Storia, Didattica, Scienze: Pavia 1975-2010	VII
Caro Gianni	
Fabio Bevilacqua	283
English Abstract	288

Premessa

Nel 1975 la Facoltà di Scienze dell'Università di Pavia ha fondato il Seminario Didattico, rinominato dal 1980 Centro Studi per la Didattica. Molti ricercatori che hanno svolto le loro ricerche nel campo della Didattica e della Storia delle Scienze hanno partecipato alle attività del Centro e all'importante esperienza della SILSIS (1999-2008).

Nel 2010 la Facoltà di Scienze ha rinnovato il proprio impegno nel settore con la fondazione del Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze, che ha raccolto la tradizione del Centro Studi precedente, impegno particolarmente importante alla vigilia dell'approvazione ministeriale delle nuove lauree e del 'tirocinio' per l'insegnamento nelle scuole. A questo nuovo Centro hanno aderito numerosi dipartimenti, anche delle Facoltà Umanistiche.

Il 7 maggio 2010 il nuovo Centro Interdipartimentale di Ricerca ha organizzato un convegno per illustrare e dibattere la tradizione 'pavese' nel settore, le collaborazioni locali, nazionali e internazionali che si sono sviluppate, i risultati raggiunti e i progetti in corso. Una parte della giornata, introdotta dal Magnifico Rettore Angiolino Stella, è stata dedicata a un 'festeggiamento' per Gianni Bonera, primo direttore del Seminario Didattico e Preside della Facoltà di Scienze dal 1976 al 1979.

I numerosi contributi presentati il 7 maggio 2010 si trovano qui raccolti e vengono pubblicati dalla Pavia University Press sia online (scaricabili gratuitamente in formato PDF) sia con la modalità del 'print on demand'. Speriamo che questo possa facilitarne la diffusione e possa incoraggiare giovani ricercatori a impegnarsi in questo settore di grande rilevanza scientifica, culturale e sociale nel momento in cui vengono finalmente istituzionalizzate in Italia le nuove procedure di accesso alla docenza scolastica.

Fabio Bevilacqua Direttore del Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze

Introduzione

Mi fa piacere festeggiare Gianni Bonera, un amico e collega da lunga data, in occasione della rinascita del Centro Studi per la Didattica della Facoltà di Scienze come Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze. Rinascita che vede la partecipazione di numerosi docenti di Dipartimenti di varie Facoltà, e che sottolinea la continuità dell'impegno dei docenti del nostro ateneo nei confronti del rinnovamento dell'apprendimento scientifico.

Gianni Bonera e io, a partire dalla fine degli anni '50 e negli anni '60, abbiamo partecipato a un periodo glorioso della ripresa della ricerca in Fisica in Italia, periodo che ha visto Pavia svolgere un ruolo importante. Rita Brunetti aveva diretto l'Istituto di Fisica dal 1936 al 1942, con lei avevano iniziato le ricerche Luigi Giulotto (1911-1986) e Piero Caldirola (1914-1984). Si laureano a Pavia Alberto Gigli Berzolari (con Giulotto nel '46), Roberto Fieschi (con Caldirola nel '50), Gianfranco Chiarotti (con Giulotto nel '51), Franco Bassani (con Caldirola e Fumi nel '52) e Gianni Bonera (con Giulotto nel '58).

Gianni Bonera e io siamo stati studenti del Collegio Borromeo mentre Caldirola, Fieschi, Bassani, Camagni e Chiarotti del Ghislieri. Gianni Bonera, giovanissimo, ha diretto dopo Giulotto sia l'Istituto di Fisica Superiore (1960) che l'Istituto di Fisica Generale (1981). Abbiamo poi partecipato insieme alla costituzione del Dipartimento di Fisica "A. Volta" (1982). Dopo una serie di ricerche in Risonanza Magnetica Nucleare con Giulotto, Rigamonti, Borsa e Lanzi, negli anni '70, che lo hanno visto Preside della Facoltà di Scienze, Gianni ha iniziato delle ricerche, allora pioneristiche, in didattica e poi storia della fisica.

Nel 1975 Gianni Bonera è stato tra i fondatori e primo Presidente del Centro Studi per la Didattica della Facoltà di Scienze. Una innovazione importante nella nostra Facoltà, innovazione che nel corso degli anni ha rafforzato i legami dell'Università con i docenti della Scuola, ha prodotto risultati scientifici e ha avuto una serie di importanti ricadute istituzionali sia per l'Università di Pavia sia a livello nazionale che internazionale. Ricordo solo il Gruppo Nazionale di Didattica della Fisica, il Gruppo Nazionale di Storia della Fisica, le sezioni di Didattica e Storia della Società Italiana di Fisica e dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica, la fondazione dell'Interdivisional Group of History of Physics della European Physical Society, l'esperienza della SILSIS, il Sistema Museale d'Ateneo, gli innumerevoli corsi di aggiornamento per i docenti delle scuole.

Oggi queste tematiche sono di grandissima attualità e importanza per un buon avvio dei tirocini e delle nuove lauree per l'insegnamento, un nuovo impegno e una nuova sfida per il nostro Ateneo.

Angiolino Stella Magnifico Rettore dell'Università di Pavia

La storia del Centro Studi per la Didattica della Facoltà di Scienze

Mario Ferrari, Dipartimento di Matematica

Abstract: Si traccia una breve storia del Seminario Didattico della Facoltà di Scienze, divenuto poi Centro Studi per la Didattica, basata sui ricordi personali dell'autore e su alcuni documenti della Facoltà di Scienze.

The contribution is a short description of the history of the Seminario Didattico della Facoltà di Scienze, subsequently transformed into the Centro Studi per la Didattica. The history is based on personal memories of the author and some documents of the Science Faculty of Pavia University.

1. Introduzione

In questa breve storia, che sono stato incaricato di raccontare, intervengono tre 'entità':

- Il Seminario Didattico della Facoltà di Scienze
- Il Centro di Studi per la Didattica della Facoltà di Scienze
- Il Centro di Ricerca Interdipartimentale per la Didattica e la Storia delle Scienze

Quest'ultimo non fa parte della storia, ma della cronaca. È stato, infatti, costituito ufficialmente con D. R. 756/2010 del 19.05.2010 con l'adesione di 11 dipartimenti. Io non ne parlerò. Dirò, invece, qualcosa dei primi due.

2. Il Seminario Didattico della Facoltà di Scienze

Con la riforma del 1960, le varie lauree che riguardavano la matematica e la fisica sono state ridotte a due: laurea in matematica e laurea in fisica. In tutte e due si prevedeva un 'indirizzo didattico' destinato alla formazione dei futuri insegnanti. Nelle due lauree prima ricordate fu subito istituito e avviato l'indirizzo didattico con corsi specifici e obbligatori per chi sceglieva tale indirizzo. Per la matematica, per esempio, i due corsi fondamentali erano quelli di Matematiche complementari 1 e di Matematiche complementari 2.

La convinzione predominante allora, a livello universitario, era che «chi sa, sa insegnare» e, di conseguenza, i corsi specifici dell'indirizzo didattico, erano corsi culturali come tutti gli altri corsi. Non si pensava ancora alla convenienza di una seria e guidata attività di tirocinio con elaborazione di materiale innovativo fatto a livello universitario e sperimentato nelle classi da parte di laureandi sotto la guida di insegnanti esperti; non si pensava ancora alla convenienza di istituire corsi di didattica specifica (di matematica, di fisica, di biologia, ecc.) che implicassero un'attività di ricerca.

2 Mario Ferrari

Il cambiamento, per la matematica, è incominciato all'inizio degli anni settanta quando abbiamo incominciato ad assegnare tesi di laurea legate al tirocinio. Questo tirocinio richiedeva materiale innovativo elaborato in università, un certo monte ore di insegnamento da parte del laureando sotto la guida di un insegnante esperto e con l'intervento anche di personale dell'istituto di psicologia. Il primo articolo, di Ferrari, M. – Pesci, A. – Bazzini, L. – Reggiani, M., *La teoria della misura nella scuola media inferiore. Resoconto di un'esperienza*, vol. 5, N. 1-2, pp. 13-47, fu pubblicato su «L'Insegnamento della Matematica», la rivista del Centro Ricerche Didattiche "Ugo Morin" e risale al 1974.

Potrei sbagliare, ma non mi pare che nello stesso periodo gli altri corsi di laurea della Facoltà abbiano svolto analoghe attività.

La proposta di costituire un Centro Didattico da inserire nel piano di sviluppo della Facoltà di Scienze è stata fatta da Gianni Bonera con lettera del 21/6/1974, dopo essersi consultato con un po' di colleghi. La Facoltà nominava una Commissione «per lo studio delle possibili iniziative nel campo della didattica delle scienze nella scuola secondaria», composta dai professori G. Bonera, A. Bolognani, G. Cantaluppi, A. Coda, M.V. Crivelli, G. De Stefano, M. Ferrari, P. Mosconi Bernardini, E. Nascimbene, V. Riganti, A. Piazzoli, A. Sartori e G. Vecchi. Questa Commissione, nel corso di varie riunioni, elaborava alcune proposte come:

- Denominare il Centro "Seminario Didattico della Facoltà di Scienze" e presentare alla Facoltà una Bozza di Statuto
- Istituire gruppi misti di docenti universitari e docenti di scuola secondaria
- Impegnarsi nei corsi abilitanti e in attività di formazione continua degli insegnanti
- Costituire una biblioteca specializzata
- Organizzare un convegno nazionale sul ruolo dell'Università nello sviluppo dell'insegnamento delle scienze nella scuola media

Nella seduta di Facoltà del 12/11/1974 Crosignani presentava un'articolata mozione per l'istituzione del Seminario Didattico che mi piace riportare:

La Facoltà ritiene quanto mai necessaria e indilazionabile una partecipazione attiva dell'Università nell'aggiornamento del personale insegnante e nella ricerca di nuovi programmi e di nuove metodologie di insegnamento. Ritiene che tutte queste attività debbano essere affrontate da un punto di vista interdisciplinare, e inquadrate e programmate all'interno di un'Istituzione che, pur operando nell'ambito e sotto controllo della Facoltà, abbia una propria autonomia scientifica ed amministrativa. Decide pertanto a partire dal corrente anno accademico la costituzione di un Centro, denominato Seminario Didattico della Facoltà di Scienze, la cui attività sarà regolata da apposito statuto che verrà approvato dalla Facoltà stessa. Scopo del Seminario Didattico deve essere quello di promuovere lo sviluppo delle conoscenze, degli studi e delle ricerche nel campo delle metodologie dell'insegnamento delle Scienze, nonché l'aggiornamento degli insegnanti e la loro qualificazione professionale. L'attività del Seminario Didattico dovrà inoltre svolgersi attraverso un'organica collaborazione tra Università e Scuola Media e pertanto si ritiene necessaria una partecipazione attiva degli insegnanti di scuola media anche a livello decisionale nei limiti che verranno previsti dallo statuto.

La mozione viene approvata con nessun voto contrario e due sole astensioni (Ciferri e G. Sacchi). Nel verbale della stessa seduta figura anche la Bozza di Statuto elaborato dalla Commissione, bozza che non viene discussa. Nella seduta del 19 novembre la Facoltà assegna a Bonera la responsabilità amministrativa del Seminario Didattico.

Nella seduta di Facoltà del 22 marzo 1975 viene nominato il Consiglio Direttivo del Seminario della Facoltà di Scienze. Nessuna difficoltà per la nomina dei rappresentanti ufficiali di Matematica (M. Ferrari), Fisica (G. Bonera), Scienze Naturali (P. Trivelli Ricci), Scienze Geologiche (G. Marchetti), Chimica (C. Castellani Bisi). Difficoltà, invece, per le Scienze Biologiche. Dato che le loro strutture sono «già sovraccariche a causa dell'alto numero di studenti» il C.C.L. accetta che qualche suo membro, come la Mosconi Bernardini, collabori con il Seminario a «livello personale» e non ufficiale. Si scatena una vivace discussione per indurre i biologi a un cambiamento di posizione, almeno in un prossimo futuro. Alla fine i professori prima ricordati sono nominati nel Consiglio Direttivo.

La prima uscita ufficiale e pubblica del Seminario è stata l'organizzazione del Convegno Nazionale su Le scienze nella scuola e il ruolo dell'università svoltosi a Salice Terme dall'1 al 3 maggio 1975. Questo Convegno è stato un indubbio successo per l'elevatezza delle relazioni generali, la vivacità delle discussioni, per l'alto numero di partecipanti (circa 300 tra universitari e docenti secondari), per la presenza dei più qualificati esponenti universitari che allora si interessavano, in qualche modo, di didattica, per la presenza di pedagogisti e psicologi con relazioni generali, per la forza e la sensatezza delle mozioni finali approvate. Chi vuol farsi un'idea di quello che ho detto può consultare gli Atti del Convegno pubblicati dalla rivista «Scuola e Città» della Nuova Italia nel numero 5-6 (maggio-giugno) del 1976. I due documenti conclusivi, riguardanti l'insegnamento delle scienze nella scuola media inferiore e nella scuola media superiore, sono stati trasmessi a tutte le Facoltà di Scienze delle Università italiane, al Ministero della Pubblica Istruzione, a tutti i Componenti delle Commissioni parlamentari per la pubblica Istruzione della Camera e del Senato e a tutte le scuole della provincia di Pavia. Questi documenti sono stati discussi anche nei C.C.L. della Facoltà e nella Facoltà stessa nella riunione dell'8 luglio 1975.

Piccola nota finanziaria: il convegno è terminato con un attivo di 2.040.000 lire.

Il Seminario non ha dormito sugli allori del successo del Convegno. Ciascun Istituto rappresentato nel Consiglio direttivo ha continuato, o iniziato, le sue attività di studio, di sperimentazione, di ricerca, di aggiornamento. Il Seminario, però, serviva soprattutto come cappello nel senso che ciascuno diceva che le sue attività si svolgevano nell'ambito del Seminario Didattico. Per darvi un'idea voglio riportare alcune espressioni di una lettera che ho scritto a Bonera in vista di una riunione del Consiglio programmata per il 7 novembre 1975.

Noi come Seminario Didattico della Facoltà di Scienze non esistiamo.

Manca, infatti, un'attività interdisciplinare. So che la cosa non è facile, ma dovremmo pur tentare di fare qualcosa, magari a livello di scuola media dove gli insegnamenti scientifici sono attribuiti a una sola persona.

4 Mario Ferrari

Manca qualsiasi coordinamento fra le nostre attività, anzi neppure sappiamo ciò che gli altri fanno. Io, per esempio, non so che cosa state facendo a fisica. Non so se ci siano e quali siano le attività didattiche di altri istituti. Voi non sapete quello che facciamo noi. Non sapete nulla del Corso di aggiornamento, del gruppo di Ricerca Didattica finanziato dal CNR, delle nostre sperimentazioni.

È una situazione insostenibile cui bisogna porre rimedio attraverso una programmazione collegiale di tutte le attività del Seminario Didattico, senza mortificare o far sparire le attività dei singoli istituti. Questa programmazione va fatta in tempo utile e, quindi, al massimo all'inizio di ottobre. Voglio insistere sulla collegialità decisionale e operativa anche, ma non solo, per non alimentare le voci, abbastanza diffuse, fra biologi e naturalisti, soprattutto, che il Seminario Didattico lo vogliono i fisici perché non sanno che cosa fare.

Non sono in grado di dire se questa lettera ha prodotto qualche effetto. Intanto, però, i fisici aprivano un nuovo fronte fino allora non previsto nelle attività del Seminario: il fronte della scuola elementare. Se ne può avere un'idea leggendo l'articolo: *Note sull'insegnamento delle scienze nella scuola elementare* di Bonera, G. – Borghi, L. – De Ambrosis, A. – Massara, I., pubblicato su «L'Insegnamento della Matematica», vol. 8, N.9-10-11-12, nel 1977 con la presentazione,durante l'annuale seminario del Centro Morin, di alcune unità didattiche elaborate a Pavia e delle unità del progetto COPES, unità che saranno poi pubblicate sulla rivista «L'educatore» nell'anno scolastico 1978-1979 e, dopo una revisione, nell'anno scolastico 1979-1980. Siamo ormai entrati nell'era del Centro Studi per la didattica.

Le altre scienze sperimentali sembra che abbiano lavorato di più insieme, almeno stando all'intervento fatto al Seminario del Centro Morin prima ricordato e scritto in una relazione, pubblicato sul numero della rivista prima ricordato: *Una proposta di sperimentazione nell'ambito dell'insegnamento delle scienze matematiche fisiche chimiche e naturali: studio di un tratto di fiume* di Mara Miradoli Zatti. L'equipe che ha preparato il materiale e condotta la sperimentazione, oltre che dalla Miradoli Zatti, era composta da G. Marchetti, L. Pellegrini, P. Mascheretti, C. Bisi Castellani, P. Mosconi Bernardini, P. Trivelli Ricci.

E i matematici? Hanno proseguito, devo confessarlo, per la loro strada, lungo tre direttrici:

- Scuola media inferiore, con tesi di laurea e alcuni articoli pubblicati sulla rivista del Centro Morin
- Scuola elementare con una sperimentazione di geometria in una seconda elementare condotta dalla maestra G. Crivelli descritta in una serie di articoli, negli anni 1979 e 1980, pubblicati sulla rivista «L'insegnamento della matematica e delle scienze integrate», articoli confluiti poi in un Quaderno didattico
- Scuola media superiore. Nel 1975, con un notevole finanziamento del CNR, proseguito fino al 1983, si sono costituiti i Nuclei di Ricerca Didattica di Pavia, Pisa e Trieste che hanno elaborato e sperimentato il progetto *Matematica come scoperta* con testi per gli studenti e relative guide per insegnanti

 Formazione continua degli insegnanti con corsi di aggiornamento e con la mostra Le isometrie piane pubblicata poi (1988) in un quaderno del CNR

Prima di chiudere questo paragrafo voglio ricordare che una relazione, preparata da Bonera, sulle attività didattiche del Seminario svolte negli anni 1975 e 1976, comprese tesi di laurea, date e partecipazione a convegni e congressi nazionali e internazionali, è contenuta nel verbale della riunione del 14 aprile 1976 della Facoltà di Scienze.

3. Il Centro di Studi per la Didattica della Facoltà di Scienze

In base alla documentazione in mio possesso, ma non so se essa sia completa, il Seminario Didattico ha sempre funzionato, fino a tutto il 1979, come 'organismo' della Facoltà di Scienze, senza uno statuto da essa approvato e senza approvazione formale da parte degli organi universitari. A un certo punto, ma non so in quale seduta, la Facoltà ha deliberato di chiedere, agli organi universitari, un'approvazione formale del Seminario. Sono intervenute una delibera del Senato Accademico del 6/11/1979 e una del Consiglio di Amministrazione del 13/11/1979. In base a queste delibere, il Rettore Alberto Gigli Berzolari scriveva al «Sig. Preside della Facoltà di Scienze MM. FF. NN.», in data 11 febbraio 1980, la seguente lettera:

«Oggetto: Istituzione Centro "Seminario Didattico della Facoltà di Scienze"

Con la presente si comunica che con decreto n. 84 del 6/2/80 si è provveduto a formalizzare l'istituzione del Centro denominato "Centro di studi didattici della facoltà di scienze" approvata dal Consiglio di Amministrazione nella seduta del 13/11/79». Segue il decreto formato da vari articoli.

- Art. 1 Istituzione e finalità: qualche diversità terminologica: Centro di studi per la didattica. Si parla esplicitamente di Centro di ricerca didattica
- Art. 2 Sede: Istituto di fisica generale
- Art. 3 Organi: Comitato di amministrazione, Direttore, Comitato scientifico. I loro compiti sono descritti negli Artt. 4, 5, 6
- Art. 7 Adunanze e deliberazioni
- Art. 8 Beni e attrezzature
- Art. 9 Contratti di ricerca
- Art.10 Amministrazione
- Art. 11 Bilanci
- Art. 12 Finanziamenti
- Art. 13 Modificazioni statutarie
- Art. 14 Scioglimento

La prima riunione del Comitato scientifico (Bonera, Castellani Bisi, Ferrari, Marchetti, Mosconi Bernardini, Trivelli Ricci) ebbe luogo il 23 ottobre 1980.

Queste riunioni si tennero, fino al 1983, mediamente ogni due mesi, con redazione di un sintetico verbale.

6 Mario Ferrari

Un aspetto di novità, dal punto di vista burocratico, è stato la redazione di un *Regolamento Interno* (28/11/80) con l'articolazione del Centro in:

- Settori con carattere prevalentemente disciplinare (Matematica, Fisica, Chimica, Scienze della Terra, Scienze naturali, Scienze Biologiche, Storia delle scienze), ognuno con un proprio responsabile
- Gruppi, con carattere prevalentemente interdisciplinare (scuola elementare, scuola media dell'obbligo, scuola media superiore), ognuno con un proprio responsabile

Nelle riunioni si sono discussi molti argomenti come la Biblioteca del Centro (acquisto di libri e abbonamenti alle riviste di didattica), la collaborazione con associazioni di insegnanti (AIF e Centro Morin), la collaborazione con enti pubblici (IRRSAE Lombardia, Provincia e Comune di Pavia), richiesta di comandi al Ministero, istituzione di corsi di perfezionamento *post lauream*, programmi della scuola elementare.

Sono continuate le attività di sperimentazione di materiale elaborato dai gruppi, di aggiornamento, di diffusione del materiale prodotto attraverso articoli su riviste per insegnanti.

Un resoconto delle attività del Centro per gli anni 1979-1981 è stato presentato da Bonera al convegno del marzo 1981 organizzato dalla Facoltà di Magistero dell'Università di Torino su *Università e aggiornamento degli insegnanti*. Questo resoconto è stato pubblicato nel volume *L'università e l'aggiornamento degli insegnanti*. *Esperienze, problemi, prospettive* curato dal Comitato universitario per l'aggiornamento dell'Università e Politecnico di Torino, edito da Tirrenia-Stampatori nel 1982. La relazione di Bonera segue lo schema:

- a. Settore scienze sperimentali con i gruppi: Scuola elementare Scuola media dell'obbligo – Scuola media superiore
- b. Settore matematico con gli stessi gruppi
- c. Settore di didattica e Storia delle scienze

La vera novità nell'attività del Centro è stata l'elaborazione e la sperimentazione su vasta scala di un progetto interdisciplinare per il primo ciclo della scuola elementare denominato *Progetto di educazione matematico-scientifica per il primo ciclo elementare*. Chi vuole conoscere la storia, sintetica, del progetto, il metodo di lavoro, l'articolazione del progetto, gli obiettivi, i contenuti, le osservazioni, di vario tipo, al progetto e i membri del gruppo di lavoro (8 universitari e 55 insegnanti elementari) può consultare l'articolo: Ferrari, M. – Bazzini, L. – Borghi, L. – De Ambrosis, A. – Isella, C. – Massara, I. – Mosconi Bernardini, P. – Trivelli Ricci, P. – Vittadini Zorzoli, M. – Germani, L., *Un progetto di educazione matematico-scientifica per il primo ciclo elementare*, «L'insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», vol. 5, n. 1, febbraio 1982.

Gli stessi autori, tranne la Germani, fra il 1982 e il 1984, hanno pubblicato sulla stessa rivista 10 articoli del progetto, ciascuno relativo a una proposta.

Con il 1984 finisce l'avventura del Centro Studi per la didattica. Di quest'anno io conservo una sola convocazione, per il 25 settembre, dei membri del Consiglio scientifico e dei responsabili dei Settori «per discutere le attività future del Centro». Non credo ce ne

siano state altre, anche perché incombevano nuovi problemi come i nuovi programmi didattici per le scuole elementari, la formazione dei formatori dei maestri elementari, il Piano Pluriennale di Aggiornamento per le scuole elementari. I matematici hanno costituito un nuovo gruppo per lo studio dei nuovi programmi elaborando e sperimentando nel corso degli anni un nuovo progetto solo per la matematica e dedicandosi al Piano Pluriennale di Aggiornamento con più di 100 corsi in tutto il Nord Italia.

Voglio concludere con una nota manoscritta che ho ritrovato per il Consiglio del 25/9/1984 e che in qualche modo si aggancia a "Il Centro di Ricerca Interdipartimentale per la Didattica e la Storia delle Scienze". Scrivevo: «Difficoltà di vita del Centro non essendo un Centro Interdipartimentale. Si potrebbe fare un Centro interdipartimentale di problemi educativi».

Forse questo auspicio si sta avverando.

La formazione degli insegnanti come problema

Anna Bondioli, Dipartimento di Studi Umanistici

Abstract: Questo contributo presenta alcune linee di indagine sviluppate dal gruppo di ricerca pedagogica del Dipartimento di Filosofia dell'Università degli Studi di Pavia che appaiono più attinenti alle finalità del Centro Interdipartimentale per la Didattica e la Storia della Scienza. I temi di ricerca, che hanno ricevuto una spinta allo sviluppo parallelamente alla realizzazione della SILSIS (Scuola di specializzazione lombarda per la formazione degli insegnanti di scuola secondaria) sono: a) l'elaborazione di strumenti utili nella formazione iniziale e in servizio degli insegnanti, b) lo studio delle strategie di comunicazione insegnante-allievi e di gestione della classe, c) la creazione di un modello e di strumenti per sviluppare e mettere in atto procedure e processi di valutazione formativa nelle scuole. Il contributo presenta sinteticamente i risultati prodotti dal gruppo di ricerca inserendoli entro una prospettiva teorica che propone una connessione forte tra teoria e pratica e incoraggia gli insegnanti a diventare professionisti riflessivi e ricercatori della scuola.

The present proposal provides some lines of inquiry – developed by the pedagogical research group of the Department of Philosophy of the University of Pavia – that are most relevant to the purposes of the Centro Interdipartimentale per la Didattica e la Storia delle scienze. The research topics, which received a boost to development thanks to the implementation of the SILSIS (Lombard Postgraduate School for Teachers' training) are: a) the development of tools to be employed in the initial and in-service teachers' training, b) the study of teacher-pupils communication strategies and classroom management, c) the creation of a model and instruments to develop and implement procedures and processes of formative evaluation in schools. The contribution also summarizes the results produced by the research team by placing them within a theoretical perspective that suggests a strong connection between theory and practice and encourages teachers to become reflective practitioners and school researchers.

1. Introduzione

Chi si occupa di formazione sa bene che, per fare un buon insegnante, non basta la preparazione disciplinare: occorre un ampio ventaglio di competenze pedagogiche e didattiche attraverso le quali trasformare le conoscenze in strumenti di crescita culturale. Se ho parlato di competenze e non di 'doti' è perché sono convinta che si tratti di un sapere professionale che può essere appreso e vada coltivato. Ma i contenuti, le modalità, le circostanze e gli strumenti di un tale apprendimento e arricchimento non sono per nulla scontati. Richiedono di essere individuati ed anche, per diventare parte di un sapere condiviso, di essere sottoposti a indagine. È ciò che il gruppo di ricerca pedagogica del Dipartimento di

10 Anna Bondioli

Filosofia dell'Università di Pavia¹ ha tentato di fare nel corso di un ventennio assumendo la formazione degli insegnanti come problema anche in relazione all'attivazione della scuola di specializzazione all'insegnamento (SILSIS).² Va detto anticipatamente che l'attinenza della prospettiva e degli studi, che presenterò nei paragrafi seguenti, alle tematiche proprie del Centro Interdipartimentale di Didattica e Storia della scienza, non è immediata ma indiretta. Indiretta in quanto gli ambiti di ricerca cui mi riferisco non hanno a che fare tanto con la messa a punto e la verifica di esperienze o metodologie didattiche nell'ambito delle discipline scientifiche, ma riguardano, piuttosto:

- la cornice entro cui le esperienze didattiche hanno luogo il curricolo, la scuola, la classe, il team docente
- le modalità e gli stili tramite i quali le diverse esperienze di apprendimento possono essere proposte, realizzate, verificate – la gestione della classe, le strategie comunicative e dialogiche, la valutazione delle acquisizioni degli studenti
- le competenze professionali richieste agli insegnanti per pianificare e verificare il proprio intervento educativo e didattico – competenze di progettazione, verifica, osservazione, valutazione

Si tratta di ambiti d'indagine che, come abbiamo già accennato e come vedremo meglio nei paragrafi seguenti, istituiscono a problema la formazione iniziale e l'*empowerment* professionale degli insegnanti e vedono nella coniugazione dialettica di teoria e pratica educativa un'opportunità sia per il ricercatore che per l'operatore della scuola.

2. Formare insegnanti 'riflessivi'

Un primo filone di studio assume come oggetto di indagine, e, dunque, come problema, la formazione, iniziale e in servizio, degli insegnanti e si concretizza soprattutto nella messa a punto di dispositivi e griglie di analisi che si configurano come guide per l'osservazione di quanto avviene nella quotidianità delle classi scolastiche e come strumenti di riflessione sulle pratiche educative.

L'idea di fondo, espressa in più luoghi dal gruppo di ricerca (Bondioli 2003; Ferrari 2003 e 2006; Gusmini 2004; Savio 2011), è che occorra trovare una connessione tra il sapere teorico sull'insegnamento e l'esperienza nella classe e che tale connessione possa essere individuata in una postura 'riflessiva' che assuma la pratica educativa come problema. Tale postura riflessiva, già teorizzata da Dewey in *Come pensiamo* (1933) e successivamente ripresa da Schön ne *Il professionista riflessivo* (1983), consiste nel prendere

¹ Il gruppo, coordinato inizialmente da Egle Becchi, successivamente dalla scrivente, risulta composto da Monica Ferrari, attualmente docente ordinario di Pedagogia generale e sociale, Donatella Savio, attualmente ricercatrice del medesimo settore scientifico-disciplinare, e da dottori di ricerca che nel corso di una ventina d'anni hanno fornito contributi scientifici originali: Paola Livraghi, Antonio Gariboldi, Maria Paola Gusmini, Gabriella Nigito, Daniele Pitturelli, Valerio Ferrari, Armida Sabbatini, Filippo Ledda.

² Un convegno, organizzato nel 2003 dai coordinatori dell'Area 1 e dai supervisori di tirocinio della SILSIS pavese, dal titolo *Formare gli insegnanti. Saperi teorici e funzioni del tirocinio* (Bondioli – Ferrari – Marsilio – Tacchini 2006) ha più volte proposto la modalità riflessiva come fondamentale strategia di formazione degli insegnanti e ribadito la necessità di strumenti che la promuovano.

le distanze da una posizione immediata e guardare alla propria pratica da una prospettiva decentrata che consenta di assumere l'azione educativa (propria, altrui) come oggetto deliberato di studio. È presente in Dewey, come in Schön, l'idea che il fare irriflesso sia per lo più frutto dell'improvvisazione, dell'abitudine, del dogma e del pregiudizio; ritengo che ne consegua che chi ha il compito di educare e insegnare abbia anche il compito di tornare sull'azione intrapresa e compiuta per giudicarla. Un tale giudizio, frutto di un pensiero mediato, avrà delle ricadute sull'azione futura che, a sua volta, andrà sottoposta a vaglio e valutazione in un percorso a spirale aperta.

Non basta. Riflettere significa anche intraprendere un percorso in grado di trasformare le situazioni di disagio in problemi da risolvere. Le difficoltà incontrate nell'insegnare e nell'imparare, non sottoposte a riflessione, raramente trovano soluzione. Solo un percorso, che può essere a pieno titolo detto 'di ricerca', e che si avvale dell'osservazione come strumento di localizzazione della difficoltà e di mediazione tra l'azione e la decisione, consente di istituire la pratica educativa a problema da risolvere. La postura riflessiva si specifica dunque anche come disposizione a percepire la problematicità dell'esperienza e a sottoporre quest'ultima a indagine intelligente (Dewey 1933; Savio 2000).

L'atteggiamento riflessivo, che induce a pensare la pratica educativa come problema, invita inoltre alla verifica dell'esperienza. Riflettere significa formulare un'ipotesi di lavoro (progetto) prima di agire e verificarla valutando, alla fine del percorso realizzato, se i mezzi utilizzati sono stati efficaci rispetto agli obiettivi prospettati. Come sottolinea Becchi in un saggio del 2002:

Per progetto pedagogico di un contesto educativo intendiamo un piano che, dopo aver declinato in maniera specifica i traguardi formativi che si vogliono raggiungere – ciò che si auspica che i destinatari dell'offerta formativa diventino alla fine de percorso ipotizzato in termini di capacità, competenze, atteggiamenti, apprendimenti specifici –, dichiari attraverso quali mezzi (esperienze, attività, strategie) e risorse è possibile realizzare tali traguardi e specifichi le modalità di valutazione degli esiti (Becchi – Bondioli – Ferrari 2002, p. 165).

Un'ulteriore argomentazione a favore della postura riflessiva nella formazione degli insegnanti deriva dal concetto di 'pedagogia latente', formulato da Becchi (1978, 2005) e così definito da Bondioli:

Accanto a una 'pedagogia' razionale, consapevole delle proprie scelte, esplicita nell'individuare finalità e mezzi per raggiungerle, coesiste una più estesa, diffusa e multiforme 'pedagogia' implicita, non tanto imputabile all'improvvisazione o al caso, quanto all'accettazione acritica di regole abitudinarie, setting precostituiti, modalità operative usuali. Tale 'pedagogia', iscritta nella disposizione degli ambienti e degli arredi, nella sequenza delle situazioni offerte, nelle 'norme 'indiscusse che regolano la vita quotidiana, è 'latente' [...] nella misura in cui, pur avendo una forte ricaduta in senso educativo, non è soggetta a deliberazione cosciente (Bondioli 1993, p. 2).

12 Anna Bondioli

Ridurre il più possibile l'implicito' dell'insegnamento, ponendosi domande del tipo: «perché faccio quello che faccio?» e «che cosa, di fatto, ottengo con quello che faccio?» fa parte anch'esso dei compiti dell'insegnante riflessivo e, dunque, anche, della sua formazione che, da quanto detto, si profila come un compito non facile, delicato e, soprattutto, bisognoso di metodologie e strumentazioni.

È all'interno del quadro appena delineato che il gruppo di ricerca pedagogica dell'ateneo pavese ha lavorato per mettere a punto strumenti che sostengano gli insegnanti nel lavoro di riflessione sulla pratica educativa in vista di una sua più intenzionale e deliberata definizione e attuazione.

Nella prospettiva fin qui presentata, infatti, la professionalità dell'insegnante si arricchisce di nuove competenze, di secondo livello rispetto a quelle spese nella interazione educativa diretta – osservare, progettare, documentare, sperimentare, valutare –, competenze che vanno sostenute e promosse.

Presenterò sinteticamente alcuni strumenti, elaborati dal gruppo di ricerca pavese, sia a fini di ricerca sia come supporti al lavoro dell'insegnante e sia, soprattutto, come dispositivi di analisi di ciò che avviene nella classe, guide per l'occhio di chi, nel tirocinio osservativo, sta imparando a diventare un insegnante riflessivo.

La Griglia di osservazione della giornata educativa, dispositivo messo a punto inizialmente a fini di ricerca in un'indagine sulle scuole dell'infanzia di un comune lombardo (Insegnamenti pedagogici del Dipartimento di Filosofia dell'Università di Pavia, 1993), utilizzato in diversi studi nei quali ha subito successivi rimaneggiamenti (Bondioli 2000 e 2002; Ferrari 2003), perfezionato nel corso di una tesi di dottorato (Ferrari 2007), ha guidato gli specializzandi SILSIS alla sistematica rilevazione e analisi degli eventi che costellano il quotidiano scolastico secondo le dimensioni (marche) di SPAZIO, PARTECIPANTI, RAGGRUPPAMENTI, ATTIVITÀ, MODALITÀ DI GESTIONE. Lo strumento richiede, come punto di partenza, la realizzazione di un 'protocollo di osservazione', la descrizione puntuale, condotta secondo la modalità 'carta e penna', e in forma narrativa, seguendo cioè gli avvenimenti secondo l'ordine temporale del loro accadere, di quanto avviene nell'aula in un dato periodo di tempo (ora, mattinata, giornata). Successivamente, l'applicazione della griglia al protocollo di osservazione consente di individuare gli 'eventi' educativi sulla base della particolare combinazione delle cinque marche. La riflessione sui dati della codifica delle situazioni osservate aiuta poi a riflettere su «ciò che è accaduto», sulle motivazioni degli attori - insegnante e allievi -, su quelle dimensioni del 'fare scuola' solitamente trascurate ma fortemente incidenti sui processi di insegnamento-apprendimento. Nella sua forma più aggiornata lo strumento consente di annotare, senza la necessità della stesura del protocollo, gli aspetti relativi alle cinque marche, rendendo così più agevole l'utilizzo ai fini della formazione non solo iniziale ma anche in servizio degli insegnanti.

Finalizzato alla formazione degli insegnanti, iniziale e in servizio, l'ERVIS (Elementi per Rilevare e Valutare l'Integrazione Scolastica) (Bondioli – Domimagni – Nigito – Sabbatini 2009), è un altro dispositivo, messo a punto e alla prova nel tirocinio osservativo degli specializzandi del corso di sostegno della SILSIS, che consente di mettere a fuoco quegli aspetti del contesto scolastico che hanno a che fare con il processo di integrazione sollecitando processi di riflessione e interventi di miglioramento. Lo strumento

consta di 41 item, suddivisi in cinque aree di interesse: a) la struttura, b) la formazione, c) le attività professionali, d) i rapporti tra gli adulti, e) il processo di integrazione, per ciascuno dei quali, attraverso una check-list, è possibile rilevare gli aspetti che qualificano la scuola dal punto di vista dell'integrazione e quelli che necessitano modifiche, integrazioni o ripensamenti. Utilizzando l'ERVIS nel corso del tirocinio osservativo gli specializzandi del sostegno hanno la possibilità di prendere visione dell'articolazione degli aspetti che fanno di una scuola una 'scuola inclusiva', dei compiti e dei ruoli dei diversi soggetti che partecipano al processo di integrazione degli alunni disabili, degli obblighi cui sono tenuti sulla base della normativa, e, svolgendo anche un'osservazione in classe, di rendersi conto di quali risorse e opportunità godano i soggetti portatori di handicap e come effettivamente vivano e apprendano nella scuola che frequentano.

Oltre alla messa a punto e alla prova di strumenti che aiutino i futuri insegnanti a 'vedere' ciò che accade nelle aule scolastiche e a riflettere sui fattori che occorre mettere in gioco per organizzare al meglio le attività educative, il gruppo di ricerca è impegnato anche su un altro fronte. Si tratta di indagini rivolte alla individuazione di percorsi formativi peculiari rivolti agli insegnanti, diversi da quelli tradizionali basati sulla trasmissione di contenuti e/o di specifiche abilità. In particolare si sta sperimentando, verificandone l'efficacia, un approccio formativo di 'promozione dall'interno' volto a sollecitare forme collegiali di autoanalisi e percorsi riflessivi condivisi in chi opera in contesti educativi (Bondioli 2004a).

Caratteristica metodologica di tale approccio, che abbiamo chiamato anche 'maieutico', è quella di essere un compito aperto, come un'indagine 'che si fa mentre si fa', di cui
si conoscono gli obiettivi e i modi ma non i percorsi di senso che si imbastiranno né gli
esiti 'culturali' che si raggiungeranno, cioè quali idee, convincimenti, teorie, valori, insomma quali 'identità educative' si andranno a definire e quali progetti di interventi migliorativi ne deriveranno. In altre parole, ogni gruppo di lavoro coinvolto in un percorso
formativo 'maieutico' giungerà a definire una sua propria identità educativa, o aspetti di
essa, del tutto specifica e diversa da quella di qualsiasi altro gruppo, radicata nella storia
del servizio sul territorio e in quella dei singoli che realizzano il servizio in quel dato
momento storico.

Di questo approccio, già sperimentato in esperienze che hanno coinvolto interi collegi di docenti, si è tentata una modellizzazione attraverso un'analisi puntuale dei diversi aspetti del processo formativo innescato. Una modellizzazione che assegna un ruolo e delle funzioni particolari al formatore dei formatori, non più portatore di un sapere indiscusso ma guida verso forme di pensiero riflessivo e progettuale. (Bondioli 2008; Bondioli – Savio 2008 e 2010; Savio 2008 e 2011).

Nonostante il carattere 'aperto ' si tratta di un approccio che si avvale di strumenti e strategie precise⁴ che sono state evidenziate e messe alla prova sul campo, e che vede il

³ Il formatore non insegna, non spiega, non fornisce suggerimenti ma, come una levatrice, facilita l'emergere di idee e significati.

⁴ Le strategie comunicative che utilizza sono: a) l'ascolto attivo, b) la sollecitazione all'esplicitazione, c) la sottolineatura e l'evidenziazione selettiva, d) la richiesta di esemplificazioni, e) la proposta di ulteriori elaborazioni, f) la messa in luce di coerenze e incoerenze, g) il suggerimento in via ipotetica di connessioni tra punti di vista diversi o in conflitto.

14 Anna Bondioli

formatore porsi in relazione a gruppi di insegnanti in un ruolo di tutoring, ⁵ e cioè in una posizione di condivisione e partecipazione attiva al compito comune del gruppo di riflettere sul senso del proprio fare per svelarlo, ripuntualizzarlo, negoziarlo, condividerlo. (Bondioli in Bondioli – Ferrari 2006).

3. Gestione della classe e strategie comunicative

La creazione di un clima di classe positivo, basato sul rispetto, e su valori democratici, che susciti motivazione all'apprendimento, prevenga i conflitti e sostenga la cooperazione tra insegnanti e allievi e tra compagni, è considerato, nella letteratura di ricerca pedagogica, un aspetto cruciale del contesto educativo e una condizione pregiudiziale a qualsiasi intervento didattico. La gestione della classe, nella complessità dei suoi compiti – organizzazione dello spazio, creazione di gruppi di lavoro, definizione di regole e procedure, attenzione alle relazioni interpersonali – è un ambito di ricerca pedagogica piuttosto recente che ha visto, tra gli anni '60 e '70 del secolo scorso inaugurare un filone di studio sul 'comportamento insegnante', uno studio cioè relativo alle modalità comunicative adottate nei confronti del gruppo classe e dei singoli allievi e alla gestione delle dinamiche di gruppo. Ripreso in Italia soprattutto da Lumbelli (1981) tale filone, nell'ambito pedagogico di indagine, si è, negli ultimi anni, come esaurito nonostante una serie di riferimenti teorici, dalla pragmatica della comunicazione alla teoria rogersiana della non direttività, dall'approccio sistemico a quello relativo alle dinamiche dei gruppi, abbia contribuito ad aprire nuovi orizzonti.

È proprio a partire da queste suggestioni teoriche che il gruppo di ricerca pavese ha lavorato e sta lavorando per rilevare le modalità di conduzione della classe da parte degli insegnanti e, più in particolare, la qualità della comunicazione insegnante-allievi dal punto di vista relazionale e pragmatico.

In particolare il colloquio non direttivo di stampo rogersiano è stato proposto nel tirocinio formativo degli insegnanti di sostegno della SILSIS pavese e si è rivelato uno strumento utile alla conduzione di conversazioni in classe su argomenti mirati di apprendimento. La proposta richiede che l'insegnante si appropri di una tecnica comunicativa specifica basata sul 'rispecchiamento', ⁶ la riproposizione cioè di quanto detto dall'allievo senza l'aggiunta di alcuna valutazione sia positiva sia negativa (lodi o rimproveri). Si tratta di un approccio dialogico che non solo aiuta l'insegnante a indagare entro la 'scatola nera' che sta tra ciò che è stato spiegato e quello che l'allievo dimostra di aver appreso ma che aiuta anche l'allievo a chiarire a se stesso il proprio procedimento mentale, conducendolo talora a forme di autocorrezione. È quanto viene messo

⁵ Si veda il paragrafo *Verso un modello formativo per il tirocinio: pedagogia dell'esempio e tutoring*, in Bondioli – Ferrari 2006, pp. 21-26.

⁶ Sull'applicazione delle teorie e delle tecniche della non direttività rogersiana al campo educativo e didattico si veda in particolare Lumbelli 1972 e Kanizsa 1993. In particolare, per quanto riguarda la formazione dell'insegnante di sostegno nella SILSIS pavese, il corso di *Metodologia della ricerca educativa* prevedeva che ciascun specializzando realizzasse un colloquio non direttivo con un insegnante di sostegno o con un genitore di un ragazzo disabile inserito in una classe e che, analizzandone i contenuti tematici e i 'vissuti', riflettesse sulle problematiche relazionali, emotive ed educative del lavoro cui si stava preparando.

in evidenza in una ricerca condotta dal gruppo pavese (Bondioli – Gusmini – Schietroma 2006) nella quale un'insegnante, che si era addestrata alla tecnica del colloquio non direttivo rogersiano nel corso per la formazione degli insegnanti di sostegno presso la SILSIS di Pavia, ha utilizzato tale tecnica per sollecitare conversazioni in classe su argomenti di scienze che erano stati precedentemente spiegati e presentati: l'evoluzione naturale e la fotosintesi clorofilliana. Dallo studio delle conversazioni è emerso: a) che parecchi ragazzi non avevano compreso le idee chiave relative ai concetti che l'insegnante aveva esposto; b) che parecchi degli errori di comprensione risultavano derivare dall'intreccio tra le informazioni ricevute dall'insegnante e concezioni più vecchie e sedimentate di cui l'insegnante progressivamente poteva rendersi conto; c) che la discussione tra gli allievi gestita dall'insegnante con la tecnica del colloquio non direttivo portava in più di un caso a forme di autocorrezione attraverso la progressiva comprensione sollecitata dagli interventi dei compagni e dalle richieste di chiarimento e approfondimento dell'insegnante.

Considerare il gruppo classe come una rete di scambi comunicativi e studiare come insegnanti e allievi definiscono la propria relazione e i propri ruoli costituiscono un altro ambito d'indagine che prende le mosse dalla pragmatica della comunicazione di Bateson e Watzlavick (Watzlavick – Beavin – Jackson 1967) e accoglie come *framework* di riferimento l'approccio sistemico. La 'lettura' in questa chiave della lezione in classe e della giornata scolastica, proposta nella formazione degli insegnanti della SILSIS,⁷ ha consentito di meglio problematizzare la ricerca relativa all'approccio maieutico nella formazione degli insegnanti presentata nel paragrafo precedente. Un nuovo studio, tuttora in corso, indagherà le caratteristiche della 'comunicazione facilitante' in contesti educativi.⁸

4. Per una cultura della valutazione nella scuola

Un altro filone di ricerca, intrecciato ai precedenti, è quello relativo alla *evaluation* di contesti formativi, un ambito di ricerca ispirato a un modello ecologico (Bronfenbrenner 1979) che individua criteri e modalità di apprezzamento della qualità degli ambienti educativi in un'ottica formativa, orientata al miglioramento. A partire dai primi anni '90 il gruppo di ricerca pavese si è impegnato su questo fronte lavorando per individuare un modello di valutazione partecipato e orientato al miglioramento e, soprattutto, basato su criteri e procedure appropriati alle realtà educative (Bondioli 2004b). In quegli anni – ma anche in seguito – la carenza di una cultura della valutazione a livello sia accademico che scolastico aveva indotto ad avvalersi, per la valutazione della scuola, di strumenti e approcci mutuati dal mondo dell'industria diffondendo una 'cultura' estra-

⁷ Nel corso di *Gestione della classe* per la formazione degli insegnanti di sostegno, tenuto da Donatella Savio nell'a.a. 2009-2010, è stata proposta una griglia di analisi 'sistemica' mediante la quale mettere a fuoco lo scambio relazionale insegnante-allievi in termini di 'conferma ', 'rifiuto' e 'disconferma'.

⁸ Si tratta di un progetto di ricerca internazionale *Análisis de las competencias y el rol de los profesionales en los programas de apoyo a la parentalidad en la primera infancia: un estudio comparado* tra le Universita di Pavia, Firenze, Isole Baleari, e Barcellona, all'interno del quale il gruppo di ricerca pavese ha il compito di elaborare una griglia di analisi dei processi comunicativi.

16 Anna Bondioli

nea e per lo più inappropriata. Il modello messo a punto dal gruppo pavese si ispira a un filone di indagine internazionale che da cinquant'anni dibatte e approfondisce il tema della *evaluation* educativa interrogandosi sulla sua specificità (Nevo 1983; Wolf 1987; Stufflebeam – Madaus – Kellaghan 2000). Liberamente ispirato alla 'valutazione di quarta generazione' di Guba – Lincoln (1989) e alle forme di valutazione democratica e partecipata (cfr. Bondioli 2010), il modello messo a punto dal gruppo pavese (Bondioli – Ferrari 2000 e 2004) enfatizza maggiormente il carattere 'riflessivo' proprio della pratica valutativa in campo educativo. Nella nostra accezione la valutazione formativa è una pratica riflessiva che promuove l'assunzione di maggiore consapevolezza circa le scelte educative, aiuta a verificare la congruenza tra progetto e sua realizzazione, favorisce l'elaborazione di identità pedagogiche locali e condivise e la realizzazione partecipata e cooperativa di azioni migliorative. È un processo partecipato, continuo, a spirale aperta, che si avvale di strumenti adeguati e attendibili i cui criteri vanno condivisi e richiede dei soggetti mediatori che facilitino la comunicazione e il confronto tra i soggetti implicati.

Particolare attenzione viene data in questo processo agli strumenti di valutazione che si configurano, per i gruppi di insegnanti che se ne avvalgono, di guide per l'individuazione, la verifica e il giudizio di aspetti rilevanti del contesto scolastico in cui operano. Tali strumenti, infatti, precisano quali informazioni vadano raccolte, dichiarano, per ciascun aspetto, standard di ottimalità, definiscono i criteri sulla cui base compiere l'apprezzamento. La valutazione si configura così come un'operazione trasparente e democratica nella misura in cui valori e criteri di valutazione vengono discussi e negoziati tra i componenti del gruppo di persone che intendono intraprendere l'esperienza valutativa.

Tutti gli strumenti, adattati o messi a punto dal gruppo pavese, sono dispositivi di autovalutazione, che consentono agli operatori interni di formulare un giudizio sul contesto in cui lavorano e sono stati elaborati attraverso forme di consultazione e discussione con gruppi di insegnanti verificandone così l'appropriatezza e la *usability*. L'oggetto di valutazione – la scuola – vi viene presentato articolato in diversi aspetti (*item*) per ciascuno dei quali vengono proposte situazioni possibili ordinate gerarchicamente, da una di qualità inadeguata a una di qualità eccellente.

È così possibile, per il gruppo che valuta, collocarsi, dopo aver raccolto le informazioni necessarie, in uno dei livelli di qualità proposti dallo strumento per ciascun item, e, alla fine del processo, discutere collegialmente i risultati ottenuti per prospettare progetti di miglioramento. Qui di seguito si elencano gli strumenti messi a punto o adattati dal gruppo pavese che interessano la scuola dell'obbligo: il QUAFES (Questionario per l'analisi del funzionamento educativo della scuola) (Darder – Lopez 1980), tradotto e adattato da M. Ferrari e M.P. Gusmini e applicato in diverse scuole lombarde, il GAQUIS (Griglia di Analisi della Qualità Intrinseca della Scuola) elaborato da un gruppo di ricerca coordinato da Monica Ferrari (2001), utilizzato in circa 200 istituti comprensivi della Lombardia nel corso di una ricerca-formazione (Becchi – Bondioli – Ferrari 2005), il SASI-S (Strumento di Autovalutazione della Scuola Infanzia-Secondaria) (Ferrari – Pitturelli 2008) realizzato e validato nel corso di una tesi di dottorato. L'ultimo della famiglia è il VIP.DOC.FACILE, un questionario elaborato e vali-

dato nel corso di un lavoro di dottorato da Armida Sabbatini (2010), che consente di rilevare il grado di competenza professionale auspicato e percepito dai docenti e, a partire da tale forma di autoanalisi, di individuare il quadro dei bisogni formativi di singoli insegnanti e di interi collegi scolastici.

5. Formazione, pratica educativa e ricerca: un intreccio necessario

Riprendendo il filo della trattazione dall'enunciazione di partenza, e cioè la necessità di istituire la formazione degli insegnanti a problema, dunque a oggetto d'indagine, la rassegna degli studi presentata conduce alla conclusione che anche la pratica educativa – ciò che gli insegnanti fanno in classe, nelle scuole, con gli allievi e con i colleghi – vada istituita a problema. La postura riflessiva, che Dewey ritiene essenziale in qualsivoglia processo di indagine, riguarda a ugual titolo il ricercatore di professione in campo pedagogico e l'insegnante. Il modo di concepire il sapere pedagogico, che questo saggio propone, non è assiomatico; al contrario è un sapere che si costruisce e si elabora a partire dalla esperienza educativa concreta e storica, e ciò vale sia per il pedagogista sia per l'insegnante. Se da un punto di vista sociale si tratta di ruoli differenti non è così da un punto di vista epistemologico. Ambedue le figure appaiono impegnate in un lavoro riflessivo che intreccia sapere teorico e dati esperienziali. Ma non si tratta di semplice analogia o di un 'gioco di specchi' poiché è solo dall'intreccio del sapere dell'uno e dell'altro e delle rispettive pratiche, e da una riflessione su di essi, che si dà la possibilità di elaborare una conoscenza condivisa veramente utilizzabile.

Bibliografia

- Becchi, E. (1978), Il sapere che entra nella scuola, «Riforma della scuola», 6/7, pp. 9-11.
 Becchi, E. (2002), Per un progetto pedagogico del nido, in La qualità negoziata. Il progetto pedagogico del nido e la sua valutazione, a cura di Bondioli, A., Azzano S. Paolo (BG), Edizioni Junior, pp. 63-87.
- Becchi, E. (2005), *Pedagogie latenti: una nota*, «Quaderni di didattica della scrittura», 3, pp. 105-113.
- Becchi, E. Bondioli, A. Ferrari, M. (2002), Elementi per una valutazione del progetto pedagogico del nido, in La qualità negoziata. Il progetto pedagogico del nido e la sua valutazione, a cura di Bondioli, A., Azzano S. Paolo (BG), Edizioni Junior, pp. 165-174.
- Becchi, E. Bondioli, A. Ferrari, M. (a cura di) (2005), *Scuole allo specchio. Ricerca-formazione con un gruppo di istituti comprensivi lombardi*, Milano, Franco Angeli.
- Bondioli, A. (1993), *Uno strumento per l'analisi delle attività alla scuola materna*, in *La giornata educativa nella scuola dell'infanzia*, a cura degli Insegnamenti pedagogici del Dipartimento di Filosofia dell'Università di Pavia, Bergamo, Edizioni Junior, pp. 1-16.

18 Anna Bondioli

Bondioli, A. (2000), Riflettere sulla giornata scolastica: uno strumento e un percorso di valutazione formativa, in Manuale di valutazione del contesto educativo, a cura di Bondioli, A. – Ferrari M., Milano, Franco Angeli, pp. 345-369.

- Bondioli, A. (a cura di) (2002), *Il tempo nella quotidianità infantile*, Edizioni Junior, Azzano S. Paolo (BG).
- Bondioli, A. (2003), *Fare ricerca nella scuola: problemi e metodologie*, in *Insegnare riflettendo*, a cura di Ferrari, M., Milano, Franco Angeli, pp. 21-35.
- Bondioli, A. (2004a), *Promuovere dall'interno*, in *Educare la professionalità degli operatori per l'infanzia*, a cura di Bondioli, A. Ferrari, M., Azzano S. Paolo (BG), Edizioni Junior, pp. 61-76.
- Bondioli, A. (2004b), *Valutare*, in *Verso un modello di valutazione formativa*, a cura di Bondioli, A. Ferrari, M., Azzano S. Paolo (BG), Edizioni Junior, pp. 11-58.
- Bondioli, A. (2008), Promuovere esperienze di educazione e formazione per bambini e adulti, in Infanzia: tempi di vita, tempi di relazione, a cura di Zerbato, Z., Azzano S. Paolo (BG), Edizioni Junior, pp. 177-182.
- Bondioli, A., Domimagni M. Nigito, G. Sabbatini, A. (2009), *ERVIS (Elementi per Rilevare e Valutare l'Integrazione Scolastica)*, Azzano S. Paolo (BG), Edizioni Junior.
- Bondioli, A. (2010), *Co-costruire la qualità: il contributo degli* stakeholders, in *Partecipazione e qualità*, a cura di Bondioli, A. Savio, D., Bergamo, Edizioni Junior, pp. 16-35.
- Bondioli, A. Ferrari, M. (a cura di) (2000), *Manuale di valutazione del contesto educativo*, Milano, Franco Angeli.
- Bondioli, A. Ferrari, M. (a cura di) (2004), *Verso un modello di valutazione formativa*, Azzano S. Paolo (BG), Edizioni Junior.
- Bondioli, A. Ferrari, M. (2006), *Il supervisore: una figura in un gioco di specchi*, in *I saperi del tirocinio. Formare gli insegnanti nelle SSIS*, a cura di Bondioli, A. Ferrari, M. Marsilio, M. Tacchini, I., Milano, Franco Angeli, pp. 17-34.
- Bondioli, A. Gusmini, M. P. Schietroma, E. (2006), *La comunicazione non direttiva: dalla formazione dell'insegnante di sostegno all'uso didattico*, in *I saperi del tirocinio. Formare gli insegnanti nelle SSIS*, a cura di Bondioli, A. Ferrari, M. Marsilio, M. Tacchini, I., Milano, Franco Angeli, pp. 163-201.
- Bondioli, A. Ferrari, M. Marsilio, M. Tacchini, I. (a cura di) (2006), *I saperi del tirocinio. Formare gli insegnanti nelle SSIS*, Milano, Franco Angeli.
- Bondioli, A. Savio, D. (2008), Empowering early childhood educators' professional development by a 'maieutic approach', 18th EECERA Annual Conference, Stavanger, Reconsidering the Basics in Early Childhood Education, 3-6 Settembre, 2008.
- Bondioli, A. Savio, D. (2010), Formare i formatori: un approccio maieutico, in Le nuove sfide della ricerca didattica tra saperi, comunità sociali e culture. Atti del VI congresso scientifico SIRD, a cura di Domenici, G. Semeraro, M.L., Roma, Monolite Editrice, pp. 373-391.
- Bronfenbrenner, U. (1979), *Ecologia dello sviluppo umano*, trad. it. Bologna, Il Mulino, 1986.

- Darder, P. Lopez, J.A. (1980), *QUAFES* (*Questionario per l'analisi del funzionamento della scuola*), trad. e adattamento italiano di Ferrari, M. Gusmini, M.P., Milano, Franco Angeli, 1998.
- Dewey, J. (1933), Come pensiamo, trad. it. Firenze, La Nuova Italia, 1961.
- Ferrari, M. (a cura di) (2001), GAQUIS (Griglia di Analisi della Qualità Intrinseca della Scuola), Milano, Franco Angeli.
- Ferrari, M. (a cura di) (2003), Insegnare riflettendo, Milano, Franco Angeli.
- Ferrari, M. (2006), *Pratiche riflessive nei processi di formazione dei formatori*, «Didatticamente. La voce della SSIS», 1-2, pp. 45-63.
- Ferrari, M. Pitturelli, D. (2008), *Strumento di Autovalutazione della Scuola (Infanzia-Secondaria)*, Milano, Franco Angeli.
- Ferrari, V. (2007), Elaborare e Costruire il DOCES (Dispositivo di Osservazione e Codifica dell'Esperienza Educativa), Tesi di dottorato in Scienze sanitarie e formative, Università di Pavia, a.a. 2007.
- Guba, E.G. Lincoln, Y.S. (1989), *Fourth Generation Evaluation*, Newbury Park (California)-London (United Kingdom)-New Delhi (India), Sage.
- Gusmini, M.P. (2004), *Riflettere*, in *Verso un modello di valutazione formativa*, a cura di Bondioli, A. Ferrari, M., Azzano S. Paolo (BG), Edizioni Junior, pp. 93-143.
- Kanisza, S. (1993), Che ne pensi? L'intervista nella pratica didattica, Roma, Carocci.
- Insegnamenti pedagogici del Dipartimento di Filosofia dell'Università di Pavia, (1993), *La giornata educativa nella scuola dell'infanzia*, Bergamo, Edizioni Junior.
- Lumbelli, L. (1972), Comunicazione non autoritaria, Milano, Franco Angeli.
- Lumbelli, L. (1981), Educazione come discorso, Bologna, Il Mulino.
- Nevo, D. (1983), *The Conceptualization of Educational Evaluation: An Analytical Review of Literature*, «Review of Educational Research», 53, (1), pp. 117-128.
- Sabbatini, A. (2010), La Valutazione della Professionalità Docente. Gestione e valorizzazione del personale nella Scuola, Tesi di dottorato in Scienze sanitarie e formative, Università di Pavia, a.a. 2010.
- Savio, D. (a cura di) (2000), La relazione educativa come processo d'indagine. Intenzionale, aperto, sistematico, controllato, Bergamo, Edizioni Junior.
- Savio, D. (2008), Promuovere autovalutazione formativa: il percorso degli asili nido della Valle d'Aosta per la definizione delle linee guida, in Infanzia: tempi di vita, tempi di relazione, a cura di Zerbato, R., Azzano S. Paolo (BG), Edizioni Junior, pp. 202-211.
- Savio, D. (2011), Riflettere sul contesto in modo partecipato, in Il gioco e l'identità educativa del nido d'infanzia, Bergamo, Edizioni Junior, pp. 50-66.
- Schön, D.A. (1983), Il professionista riflessivo, trad. it. Bari, Dedalo, 1993.
- Stufflebeam, D.L. Madaus, G.F. Kellaghan, T. (a cura di) (2000), Evaluation Models. Viewpoints on Educational and Human Services Evaluation, Boston-Dordrecht-London, Kluwer Academic Publishers.
- Watzlavick, P. Beavin, J. H. Jackson, D. D. (1967), *Pragmatica della comunicazione umana*, trad. it. Roma, Astrolabio, 1971.
- Wolf, R.M. (a cura di) (1987), Educational Evaluation. The State of the Field, «International Journal of Educational Research», 11, 1.

Note sul pensiero scientifico medievale. Storiografia, questioni, ricerche

Chiara Crisciani, Dipartimento di Studi Umanistici

Abstract: Organizzo questo contributo in tre parti: innanzitutto ho predisposto una rapida ricognizione storiografica. Si può dire infatti che la 'storia della scienza medievale' nasce propriamente all'interno di un dibattito filosofico e di una battaglia ideologica di grande rilievo; inoltre tale storia è a lungo orientata (prima di raggiungere l'attuale 'maggiore età', caratterizzata cioè da un accentuato specialismo, da riviste disciplinari e da bibliografie specifiche) dall'andamento sia di tale dibattito, sia dalle discussioni epistemologiche e di filosofia della scienza, nonché soprattutto da una storia non sua, cioè quella della rivoluzione scientifica (1). Qui descriverò anche i risultati di alcune sintesi, le cautele, le proposte cui mi pare che la ricerca recente abbia condotto (2). Proporrò poi due esempi tratti dal mio campo di ricerca relativi ai pericoli di anacronismo cui si può andare incontro, nel mio caso in ambito di storia della medicina (3).

In this paper I propose a brief historiographical review on history of medieval science. In fact, this history arises properly within a relevant historical debate and an ideological discussion; moreover, that history was for a long time deeply influenced by that debate, by epistemological discussions, and also by another history, the history of Scientific Revolution. Also, I report about some proposals for synthesis deriving from recent historical researches. Finally, I analyze two examples from my own field of research – that is from the history of medieval medicine – which show the danger of "anachronism" that should be avoided.

1. La nascita storiografica della scienza medievale

È noto che la cultura medievale nel suo insieme, il suo sapere scientifico in particolare, conoscono almeno tre feroci attacchi complessivi e critici; quello umanistico, che tra l'altro proprio sull'idea di scienza scolastica e sul suo lessico-linguaggio tecnico affila gli strali; quello illuministico, dove il conseguimento storico di una verità atemporale si misura dalla maggior o minor distanza rispetto appunto all'epoca dei lumi e della *civilization*; e quello del positivismo, che più benevolmente, nella sua concezione cumulativa e a tappe del progresso, consente di vedere nel Medioevo dominato dalla Religione e nella sua *scientia* qualche barlume, ma certo aurorale e distorto, dei risultati che solo l'epoca della Ragione conseguirà a pieno.

Non stupisce dunque che, a parte i contributi di alcuni encomiabili eruditi settecenteschi, di alcuni probi scienziati ottocenteschi in pensione alla ricerca della propria radice, e di alcuni instancabili storici-filologi positivisti, affascinati dall'indubbio accumulo che in questo settore si poteva conseguire su larga scala, la presenza stessa di un sapere scientifico medievale abbia stentato a essere percepita e addirittura pensata.

22 Chiara Crisciani

Questo è il panorama degli studi almeno fino a una congiuntura particolarmente fertile di varie componenti, che si trovano riprese e anzi vitalizzate nella ricerca storica di uno scienziato non in pensione né filologo, cioè di Pierre Duhem: egli 'inventa' nei primi decenni del Novecento la scienza medievale al tempo stesso che ne inaugura un'interpretazione storica battagliera e di parte (dalle motivazioni non solo storiografiche): in pro o contro, il quadro duhemiano influenzerà gli studi su questo nuovo oggetto a lungo.

Duhem è un fisico: la sua epistemologia, che rinvia al Poincaré di *La science et l'hypothèse*, è antipositivista e propende per una forma particolare di convenzionalismo, per il quale le teorie fisiche non hanno compiti esplicativi ma classificatori, riassuntivi, e 'salvano i fenomeni'. La scienza non è una spiegazione, ma una lingua ben fatta per coordinarli e prevederli. Questo tipo di convenzionalismo non a caso si accompagna a un fervente cattolicesimo. A sua volta il cattolicesimo di Duhem è reso più pubblicamente visibile ed efficace dal fatto che esso si colloca in una temperie più che favorevole. Infatti tra fine '800 e inizi '900 si assiste a una nuova strategia culturale della Chiesa cattolica molto impegnata anche filosoficamente, e assai attenta alla ripresa e alla valorizzazione, nella 'moderna' battaglia di valori filosofici e sociali, del proprio passato intellettuale e dottrinario.

Infine, oltre che fisico-convenzionalista e cattolico, Duhem – come sintetizza D. Durand – è fieramente francese. E la sua tesi interpretativa sul pensiero scientifico medievale esprime bene tutti questi aspetti. La tesi – espressa e articolata in molti testi – può anche essere considerata una mossa importante all'interno delle strategie di quella che, in storiografia, Ferguson ha chiamato la 'rivolta dei medievisti', quel movimento cioè che appunto si colloca – con creazione di ricchi centri di ricerca, di fondazioni, di studi e promozione di edizioni fondamentali del pensiero medievale in genere – nella rinnovata cultura cattolica antipositivista.

La proposta di Duhem, variamente sostanziata, e più o meno accentuata nei dettagli, si esprime, in una sua versione, così: «La meccanica e la fisica di cui i moderni sono fieri è frutto di impercettibili mutamenti e perfezionamenti di dottrine medievali. La rivoluzione scientifica è un'evoluzione a lungo preparata» (*Origini della statica*). Individuiamo, per semplificare, i quattro punti più rilevanti di questa affermazione: 1) i risultati scientifici del sec. XVII sono essenzialmente già presenti ed enunciati nel sec. XIV; 2) si formula una lista, per così dire canonica, di tali risultati, conseguiti nel campo della meccanica, che si possono rendere formalmente omogenei e quindi confrontabili con prospettive galileiane e cartesiane. 3) La Chiesa cattolica ha influenzato, meglio, ha promosso questo orientamento scientifico, in cui 4) Parigi e la Francia hanno intellettualmente un ruolo culturalmente egemone in questo fenomeno.

E dunque: le radici della luminosa modernità si infiggono profondamente nei secoli bui; la laica libertà di pensiero ha per madrina la Chiesa, presunta oscurantista; la rivoluzione scientifica non è tale (cioè rivoluzione), ma è il risultato di un lento raffinamento cumulativo di proposte e conseguimenti già presenti nel sec. XIV. Questa tesi è detta 'dei precursori' o più correttamente 'continuismo'. Qui mi limito a sottolineare sia il successo della tesi di Duhem, anche in versioni trasformate, sia però anche alcune più o meno forti reazioni: sono infatti queste posizioni che appunto

costruiscono la storia della scienza medievale: disciplina, come si può notare, relativamente giovane.

Le adesioni alle proposte di Duhem possono anche assumere una forma parzialmente correttiva se non critica. È il caso – sotto il profilo dell'interpretazione – di Annelise Maier, che non approva pienamente i risultati di Duhem: mantiene stabile però il suo dossier di inchiesta; vero è che lo modifica notevolmente con un approfondimento filologico e filosofico, retroterra rigoroso e disciplinare che i trionfalistici giudizi del fisico Duhem non avevano. La tesi è resa dunque storicamente più presentabile e sfumata: gli scienziati del sec. XIV – secondo Meier – non anticipano ma preparano gli eventi del sec. XVII; l'aristotelismo tardo medievale è indebolito in due tappe: una si colloca appunto nel sec. XIV sotto il profilo filosofico-metafisico e teologico; l'altra, definitiva, avviene appunto nel sec. XVII; soprattutto, per Maier, i risultati dei fisici parigini vanno collocati all'interno di uno sviluppo filosofico di linee ontologiche e metafisiche (che la studiosa indaga), e non esclusivamente valutati a un livello 'scientifico', che appare alquanto astratto.

Un'adesione critica si presenta anche nel caso – importante specialmente sotto il profilo dell'accumulo testuale – delle molte ricerche di Marshall Clagett e dei suoi vari allievi, operosi soprattutto nel campo di edizioni e traduzioni. Per valutare correttamente risultati ed eventuali anticipazioni – essi ritengono – occorre innanzitutto fondarsi su una maggior quantità di materiale, su più testi e soprattutto su testi completi. Inoltre, si potrà dire anche che ogni rivoluzione ha comunque, se non dei precursori, dei condizionamenti: in questo senso, la fisica del sec. XIV è una precondizione: si presenta infatti in quel periodo un rimaneggiamento talmente continuo di problemi e soluzioni che alla fine si richiede, quasi di necessità, un nuovo sistema meccanico, di cui appunto il lavorio precedente è condizione.

In sostanza: rimangono oggetti importanti di studio i temi su cui Duhem si è cimentato e ha fondato la sua interpretazione; perplessità di vario tipo e di diversa intensità suscitano la tesi della continuità e la portata della condanna del 1277 di tesi necessitariste 'aristoteliche' e averroiste con cui appunto la Chiesa segnerebbe l'inizio della scienza moderna; soprattutto, si rileva che le proposte di Duhem vanno meglio contestualizzate, in ogni senso: troppe volte infatti egli estrapola frasi e sentenze dal contesto che dà loro senso e usa documenti e testi con troppa disinvoltura (e, secondo molti, anche con una ovvia incompetenza).

Nel secondo dopoguerra del secolo scorso una interessante modifica del continuismo di Duhem è quella proposta da Alistair Crombie, che colloca nel pieno del medioevo non teoremi o contenuti, ma l'adozione di un metodo matematico sperimentale, che si avrebbe nella scuola di Oxford nel sec. XIII, quando Roberto di Lincoln il Grossatesta mette a punto una modifica delle linee metodiche di Aristotele e Galeno. Siccome per Crombie fondamentale nella rivoluzione scientifica è appunto la questione e la novità del metodo, e questo essendo già presente nel medioevo, si rende meno rivoluzionario lo stacco con la modernità: non per niente il provocatorio titolo del 'manuale' di Crombie suona «da S. Agostino a Galileo». Altrettanto provocatoria e fulminante è la recensione che di questa tesi e di questo libro fa Alexandre Koyré, deciso anticontinuista e studioso della prima scienza moderna e della rivoluzione scientifica più

24 Chiara Crisciani

che del medioevo. Contro Crombie, Koyré sostiene che se il metodo è decisivo, non si capisce perché con quel metodo, già ben presente – parrebbe – nel sec. XIII, non siano stati conseguiti i risultati ottenuti solo nel sec. XVII. Più in generale (ma va ricordato che la prospettiva filosofica di Koyré è molto complessa, ricca di influenze – Meyerson, Fenomenologia di Husserl, Levi Brühl – per essere ridotta solo a questa polemica), Koyré ritiene che il 'metodo' non sia così decisivo; che l'empirismo aristotelico sia quello del senso comune e non quello, carico di teoria, di Galileo; che il matematismo (platonico) e non l'esperienza siano alla base delle prospettive galileiane e cartesiane; che infine la Rivoluzione scientifica prima che 'scientifica' è un complessivo Gestaltschift, una nuova, filosofica visione del mondo.

Una critica radicale, molto documentata del continuismo, meno spettacolare certo delle frasi talora icastiche di Koyré, ma forse più incisiva e certo più pertinente alla situazione storica del sec. XIV, è quella di John Murdoch (e Edith Sylla). Decisamente non continuisti, questi storici battono innanzitutto proprio sulla pertinenza del dossier di domande di Duhem, affrontando decisamente aspetti interpretativi trascurati (volutamente?) da Duhem stesso. E dunque si rileva:

- a. non esiste solo Parigi; anzi la scuola cosiddetta mertoniana (del Merton College di Oxford) e le sue *calculationes* avanzano di molto nel senso della quantificazione (non della spiegazione quantitativa) le soluzioni parigine: e qui vengono affrontati spinosi problemi anche di datazione, disinvoltamente trascurati da Duhem. La quantificazione è una linea certo più difficile da analizzare, che si sviluppa del resto anche a Parigi e altrove, e in tutti i settori disciplinari, a partire anzi dalla teologia. È quanto viene chiamato la diffusione di 'linguaggi di misura', che costituisce la vera unità metodologica e filosofica in vari settori del sapere scientifico del sec. XIV: i cui 'scienziati' rileva Murdoch ben lungi dall'anticipare il sec. XVII e Galileo, non puntano neppure in quella direzione
- b. centrale e caratteristico di questa unità metodologica è innanzitutto il muoversi in una dimensione di traduzione logica della fisica, e nella logica del metalinguaggio
- c. la sua cifra è quella del lavorare 'secundum imaginationem', il che vuol dire talvolta fare appello alla onnipotenza divina (nel doppio registro di *potentia* absoluta e potentia ordinata: tematica, questa, che esisteva ben prima in ambito teologico)
- d. soprattutto significa elaborare una 'natural philosophy without nature'. Lacuna non da poco, a dire il vero: ma è questo un approccio che rende possibile verificare fin dove si può portare avanti una specifica argomentazione nei confini e nei termini di una teoria
- e. dunque l'interesse di questi scienziati-filosofi pare vertere non tanto sulla natura né sulla *scientia*, ma sul *modus sciendi*

È questa non corrispondenza tra verità e cose, questo iato tra agostinismo semanticolinguistico da un lato, e, dall'altro, ontologia e fisica aristotelica (su cui esso dovrebbe vertere) che rompe – più incisivamente che ogni presunta formulazione di leggi di inerzia con la tradizione aristotelica stessa, e inaugura uno stile specifico di razionalità, senza per questo portarci trionfalmente alla Rivoluzione scientifica.

Va notato – a proposito del dibattito che si è qui schematicamente ricostruito – che mentre questa discussione è vivacissima nel dopoguerra e fino agli anni Settanta del '900, è altrettanto animata l'atmosfera in cui si muovono in quegli stessi anni filosofia della scienza ed epistemologia in varie correnti (fenomenologia, neokantismo, neopositivismo, strutturalismo, marxismo). Accanto e intrecciata alla disputa sul continuismo corre infatti una discussione sul valore di scientificità e sulla verità scientifica: sicché opportunamente i contendenti pro o contro il continuismo si giovano (e rendono così anche più efficaci e variate le loro indagini) di concetti e contrapposizioni della moderna storiografia ed epistemologia. Così è, per esempio, del dibattito tra storia interna e storia esterna: per largo tratto quello del continuismo è un confronto che si svolge tutto in termini internalisti; così è – ancora – del rapporto tra teoria e tecnica quali elementi decisivi di svolte scientifiche: e c'è dunque chi studia la statica della costruzione delle cattedrali e la forza dei mulini per meglio sostenere la propria complessiva veduta (è il caso di Crombie e di vari epigoni). Così è stato per il non effimero dibattito - di larga eco anche in Italia - sulle 'due culture'. Così è infine per la definizione di 'stili di razionalità', di 'scienza normale', di 'paradigma', di soluzione di puzzle (particolarmente intuibili sono queste categorie negli studi di Murdoch e Lindberg), che rinviano ai dibattiti – solo qualche decennio fa ancora fervidi - tra Kuhn, Feyerabend e Lakatos. În certi casi, anzi, è parso che la scienza medievale e il suo rapporto con la scienza moderna fossero il miglior banco di prova anche di queste categorie interpretative più generali e di dibattiti epistemologici attuali.

Si tratta allora, complessivamente, di un dibattito che, mentre ha predisposto molti materiali per il lavoro dei medievisti, non è stato affatto e in sé un marginale episodio di disputa bizantina tra specialisti poco gratificati, quanto invece un impegno di ricerca pienamente inserito nelle più vivaci e fertili correnti dell'epistemologia contemporanea.

2. Bilanci e prospettive

Ho fatto ricorso più volte a termini come 'recentemente', 'poco tempo fa' ecc. E di fatto la bibliografia cui ho fatto riferimento è ancora, in molti casi, quella da cui si partirebbe per effettive ricerche, e non per una ricognizione storiografica. Tuttavia, si può tratteggiare anche già una sorta di bilancio. A considerarli nel loro complesso, come ad esempio fa David Lindberg nel suo *The Beginnings of Western Science* (1992), sia il dibattito sul continuismo che più in generale l'andamento delle ricerche di storia della scienza medievale lasciano insoddisfatti su vari fronti, che paiono più o meno incerti e sguarniti o forieri di complicazioni ulteriori. Sono comunque problemi aperti, ritiene Lindberg, con cui alla fine del '900 la ricerca si confronta. I problemi in questione sono parecchi: elenco qui i più generali. Innanzitutto si tratta di tener conto dell'inserzione di una 'early modern science' tra medioevo e Rivoluzione scientifica; inoltre, occorre perseguire una contestualizzazione comunque sempre più articolata delle problematiche esaminate; va anche riconsiderato il ruolo e il rilievo della religione (non necessariamente

26 Chiara Crisciani

della Chiesa o delle sue istituzioni) in questi processi 'scientifici'; infine, è necessario, come Lindberg fa, porsi di fronte all'esigenza e all'opportunità o meno di sintesi che superino l'attualmente alquanto arido specialismo.

Consideriamo queste esigenze più determinatamente.

Quanto al primo punto: si tratta di un acquisto storiografico relativamente recente, che concerne la cultura anche scientifica essenzialmente del '4-'500, e in particolare del sec. XV. A noi interessa non solo perché viene così meglio articolata una fase di transizione molto differenziata e aperta a molteplici e vari tentativi e percorsi, ma anche perché collega medioevo e rivoluzione scientifica anche in un modo inedito, cioè tramite la tradizione ermetica – questa la tesi e le indagini di Frances A. Yates – e le scienze degli *experimenta* e *secreta* più o meno magici (e con questo Yates, volente o no, si trova connessa per alcuni a una versione del continuismo di vecchio stampo, quella dell' 'accumulo' di *experientia* di Thorndike, *History of magic and experimental science*). Il che ha voluto dire, però, disporre di un nuovo filo rosso, da rintracciare come rivolo nel medioevo e che nel '4-'500 diventa fiume in piena: da qui proverrebbero – secondo alcuni – certe immagini di scienza e certe opzioni non poco influenti nel determinare – per contrasto o sinergia, a seconda dei fattori considerati – aspetti della rivoluzione scientifica.

E qui termino il riferimento, perché il dibattito storiografico sull'ermetismo in genere e tra medioevo e Rinascimento in particolare è anche più complesso di quello sul continuismo: basta segnalare che questa rinnovata attenzione per il '4-'500 – di per sé tra l'altro assai avvincente – tocca in vario modo la problematica della contestualizzazione più articolata delle ricerche scientifiche, nonché il riassetto complessivo e l'allargamento del campo delle discipline nella prima età moderna.

Perché infatti, e passando dunque al contesto, si è visto come l'intero procedere duhemiano sia internalista; si è visto anche come, però, una contestualizzazione teologica e filosofica più consistente sia fornita da Maier e Murdoch. Merito del 'modernista' Charles Schmitt, tra altri, e appunto in relazione alla early modern science, è quello di aver sottolineato, studiando gli aristotelismi rinascimentali, una vistosa lacuna degli studi sulla scienza del medioevo. Il discorso sul continuismo, infatti, oltre che essere internalista, verte completamente tutto sulla fisica, la logica e l'astronomia. La più parte, per altro e per contro, dei testi scientifici che ci restano riguarda invece quelle che chiameremmo oggi scienze biomediche. Medicina, biologia e aristotelismo, nel medioevo, stringono un patto che si potrebbe definire, ricordando un articolo celebre di Grant, di prolongevità. In questo quadro - del tutto ignorato da Duhem, un po' lumeggiato da Maier, ma veramente indagato solo in questi ultimi decenni – si hanno aggiustamenti progressivi, scambi metodologici tra galenismo, avicennismo e aristotelismo, rapporti anche istituzionali tali, per cui i vari ambiti si reggono a vicenda: si può dunque dire che, se l'aristotelismo è ben vivo ai tempi di Galileo, e non ha solo il volto di Simplicio, è anche perché è legato strettamente alle scienze biologiche, che, a loro volta, ne fanno, modificandolo, una piattaforma consolidata su cui elaborare - senza catastrofi né rivoluzioni clamorose - discussioni sul metodo e riflessioni su teorie dell'empiria. Credo, forse anche per deformazione professionale, che in questo settore molto sia ancora da fare. E credo anche che forse la più incisiva novità storiografica degli ultimi anni è stata non tanto una sintesi nuova dopo quella ormai remota di Crombie, ma l'aver valorizzato e scoperto queste forme di sapere scientifico, allargando la fisionomia della scientificità nel basso medioevo, e con ciò moltiplicando anche ovviamente i problemi: sia quelli relativi alla definizione di verità, sia quelli che concernono il ruolo dell'empiria, sia infine ponendo più prosaici ma non meno rilevanti questioni di sfasatura di periodizzazione. Ora, ma non allora, i due contesti di scientificità paiono spesso ad alcuni impermeabili, e comunque non sembra facile procedere a un'interpretazione ampia che non sacrifichi la complessità e varietà della ricerca filosofico-scientifica del tardo medioevo.

Veniamo ora al tema della 'religione'. Qui il discorso rischia di essere equivoco e sarà il caso di procedere con cura, ampliando anche quanto Lindberg propone in un numero storiografico di «Osiris» (Constructing Knowledge in the History of Science, 1995), dove egli ha scritto su Medieval Science and its Religious Context.

Duhem, si è visto, non ha affatto trascurato, anzi, il ruolo della Chiesa nella sua ricostruzione. I critici di Duhem, poi, sanno bene di leggere testi di frati e uomini di chiesa. Ma proprio perché la disamina è stata prevalentemente internalista, questa presenza è stata vista talora come un elemento sì decisivo, ma appunto esterno. Di più. Solo Maier e poi Murdoch hanno spinto l'indagine anche a tematiche teologiche che, di fatto, sono all'origine di orientamenti scientifici, e che comunque sono toccate profondamente dai 'linguaggi di misura' e dalla prospettiva *secundum imaginationem*. Per non dire che il tema dell'*onnipotentia* divina, da Duhem in poi, ha servito e serve a valutare sia la condanna del 1277, sia le soluzioni fisiche e logiche successive. Sembra dunque che questo aspetto sia stato tenuto più che presente, anzi polemicamente presente, se è vero che Gilson afferma – nella sua celebre storia della filosofia medievale – che il 1277 è la data in cui cosmologie moderne possono essere pensate in un contesto cristiano.

Credo che qui – quando si lamenta questa mancanza di interesse per il contesto religioso – si intenda far riferimento non tanto e non solo a istituzioni e decreti certamente ecclesiastici, a una cultura essenzialmente di chierici nel medioevo (fenomeni su cui tutti non possono che concordare), ma a un aspetto più profondo: il fatto cioè che, nel periodo medievale e specialmente nel primo medioevo, né pratiche sociali di qualsiasi tipo, né teorie possono essere messe in atto o pensate fuori da coordinate religiose che le determinano più o meno mediatamente: è quanto Althusser definiva – e io ritengo utile richiamarlo – la 'surdeterminazione religiosa' dell'economico nel medioevo. Il non tener in conto il peso di questa surdeterminazione può in effetti provocare autentiche incomprensioni, anche nel senso di non vedere fenomeni culturali o definirli malamente, e soprattutto può determinare anacronismi, come vedremo meglio in seguito.

Per ora registriamo che questa prospettiva volta a meglio comprendere non tanto il 'rapporto fede-ragione' ma le implicazioni tra religiosità e sapere trova, almeno nelle sue forme più superficiali ma non meno significative, e già di per sé ardue da indagare, interessanti risposte e apre a nuove ricerche: come quelle, molto recenti, per esempio di Joseph Ziegler e dei vari libri sui rapporti – intrinseci e di scambio – tra religione e medicina; come le ricerche, ancor troppo poche, sul livello di conoscenza e uso di

28 Chiara Crisciani

filosofia naturale da parte di teologi (si vedano per esempio le teorie dell'anima nella scuola francescana, gli studi sullo stato adamitico e la sua fisiologia ecc.); sulla 'retorica della scienza' che – topicamente ma proprio perciò autenticamente –, si esprime in termini religiosi non generici in testi di medici, specie nelle loro *orationes* universitarie (rituali, non poco stereotipe e perciò spesso tanto più rivelative di categorie e coordinate diffuse e condivise). Si noterà che qui non sono sotto esame i venerandi e discussi rapporti tra fede e ragione, o quelli istituzionali tra Chiesa e scienza universitaria, ma quelli tra religione/religiosità e sapere (scientifico): e allora vuol dire che si entra nell'ambito, per alcuni, anche di storia della mentalità; e per altri, nell'ambito di corpus testuali più misti di quanto si pensi, e di scambi teorici e dottrinali più fitti e vivi, tutti o quasi da indagare.

A cavallo tra questa problematica dei rapporti tra religione e scienza e quella delle sintesi che mancano si collocano due volumi che vorrebbero a entrambe le esigenze rispondere. Uno è quello ricordato di Lindberg, che mi pare un manuale abbastanza tradizionale, benché appunto di questi più larghi contesti e interrogativi tenga conto; è significativo specie nella scelta della periodizzazione, dove vede maggiormente unite scienza antica e medievale, e giudica meno significativo il rapporto tra pensiero scientifico medievale e quello della prima modernità (early modern science): appunto per questo - credo - l'analisi e le ricostruzioni di Lindberg si fermano al 1450. Più originale e anche molto più discutibile è il tentativo di Cunningham e French, provocatorio anche nel titolo che suona Before Science. The Invention of Friars' Natural Philosophy (1992). L'intento è ottimo e ottimamente espresso nel titolo stesso: chiaramente non si vuole collocare la scienza nel medioevo, ma scoprire quello che il medioevo inventa, cioè una particolare filosofia naturale. C'è da dire però che l'alto medioevo per questo motivo (cioè per l'assenza di una certa filosofia naturale) è ovviamente assente; e che le caratterizzazioni date alla filosofia naturale francescana (attenta alle nature) o domenicana (attenta invece alle proprietà delle cose) appaiono alquanto astratte, schematiche e lasciano perplessi: non si vede bene come possano comunque servire a interpretare le varie teorie scientifiche. Per non dire, infine, che non è una completa sintesi, se questa pare essere così necessaria.

Comunque questi due testi si collocano tra gli sforzi più recenti di visioni d'insieme e di caratterizzazioni di contesti più ampi che hanno fatto seguito ai dibattiti e alle ricerche degli anni '50-'70 del Novecento. Se sono un po' deludenti io penso che sia dovuto anche a fattori più generali in atto nella nostra cultura. Per esempio: dopo i vasti affreschi e i nuovi punti di vista proposti da Kuhn e Foucault mancano quelle domande forti, mi pare, che sono state rivolte alla scienza sulla metà del secolo scorso, e che hanno potuto e potrebbero essere usate anche come categorie da mettere alla prova pure in ambito storico. Direi anzi che il dibattito epistemologico si è affievolito, e si è molto spostato sul versante, per esempio, della filosofia della mente, non facilmente utilizzabile nel lavoro dello storico del pensiero scientifico, medievale o no che sia. Manca insomma – non solo, del resto, per quanto riguarda il medioevo – quella che in un convegno del 1993 è stata definita la *Big Picture*, cioè il quadro d'insieme largamente convenuto entro cui comprendere e interpretare fenomeni più segmentati e sinuosi (al riguardo si può vedere la gamma di interventi sul tema raccolta nel «British

Journal of History of Science» del 1993). Forse allora è a questo proposito utile tener presente un suggerimento di Lindberg che, pur tentando la grande sintesi, riprende anche osservazioni di Kuhn e invita a considerare i contesti disciplinari più che la grande *Picture*, e a rilevare i mutamenti a questo livello: se anche non danno luogo a rivoluzionarie modificazioni, se non ridefiniscono il quadro, sono mutazioni intrinseche del sapere scientifico medievale, quelle che gli sono proprie e dunque sono, per lo storico, della massima importanza.

3. Contesti e anacronismi

Mi pare di esprimere una ovvietà se affermo che in ogni tipo di storia, ma particolarmente nel caso della scienza medievale che è essenzialmente una pratica teorica dottrinaria e libresca (cioè: gli 'scienziati' medievali fanno riferimento innazitutto a testi; carattere, questo, distintivo, e non necessariamente un difetto di quella scientia), il principale contesto da non trascurare è quello appunto testuale. Ma evidentemente la ovvietà non è così evidente se affermazioni simili hanno dato luogo nel 2000 a una disputa tra dotti storici della filosofia medievale. Evito qui di riferire i dettagli della disputa, tipica querelle 'francese' per certi aspetti, ma non di rilevare alcune considerazioni che sono utili per il tema in questione qui. Le posizioni a confronto sono: a) per fare storia della filosofia medievale occorre tradurre il filosofo (o lo 'scienziato') medievale in modo da comprenderlo, e discutere con lui circa la verità dei suoi assunti e conclusioni; b) la storia della filosofia medievale si deve concentrare innanzitutto sulla storia di corpus letterari; cioè: è necessario leggere e comprendere una tesi non in sé ma relativamente al contesto testuale e di corpus scritti di cui fa parte: tale approccio comporta discontinuità e relativismo (perché infatti devo considerare le strutture testuali di fatto a disposizione di un pensatore medievale), ma evita l'anacronismo metafisico della 'traduzione' delle tesi: l'anacronismo consiste non solo nell'affrontare una teoria medievale a partire dai nostri problemi, ma inizia già quando si isolano enunciati dai corpus testuali di cui sono parte. Questa posizione è sostenuta da De Libera con convincenti argomenti ed esempi e viene spinta, polemicamente, all'eccesso: cos'è infatti la filosofia in quanto tale se non – dal neoplatonismo in poi – un'attività essenzialmente esegetica, che dunque è chiamata all'essere in un testo e da un testo solo se questo è letto?

Non discutiamo ora su questa pur interessante ma anche, per certi aspetti, capziosa disputa; l'aver richiamato questa accezione di contesto in quanto testualità e cogenza di corpus letterari mi serve però per introdurre uno dei due esempi di anacronismo da evitare che, studiando la medicina medievale, ho incontrato: molti altri, evidentemente, possono essere considerati.

Il primo caso relativo al mio campo di ricerca che propongo ha a che fare precisamente con contesti testuali da non trascurare, e verte su di un termine importante: *physica*. Si dimostra (meglio: Bylebyl in un magistrale saggio dimostra) che nel primo medioevo *physica* gravita attorno ad un significato medico: vuol dire infatti spiegazione di nature a partire da principi (elementi); e le prime nature da

30 Chiara Crisciani

spiegare, che spiccano anche per motivi etici, sono afferenti al corpo umano e al suo benessere. Nel sec. XII (quando testi medici sono tradotti ma non circolano ancora i libri naturales di Aristotele) medicina e physica sono in concorrenza o, meglio, appaiono intercambiabili: permane l'idea che physica è una sorta di cosmologia, ma legata principalmente al microcosmo-uomo, una cosmologia (analisi dei modi del cosmo, la cui struttura è comunque data da combinazioni di elementi) che dunque viene orientata medicalmente. Non esistono infatti altri testi in cui saperi diversi, che non siano la medicina del microcosmo, possano presentarsi come modi della physica. Emblematico di questa situazione, oltre a vari testi della scuola di Chartres, è il commento alla Isagoge di Ioannizio scritto nella scuola di Salerno. Qui 'fisica' è teoria dei quattro elementi e delle loro possibili manifestazioni e combinazioni, che sono due: a) metereologia (studio di elementi cosmici); b) medicina teorica (studio di tutti i corpi composti di quattro elementi). Cioè: da un lato non sappiamo quanto di macrocosmo possa essere contenuto in 'physica': certo però più di quanto sappiamo sulla base dei testi di quel periodo che noi abbiamo ora a disposizione; dall'altro lato, l'unico ambito testuale che di fatto articola la fisica è quello dei testi medici, già presenti o tradotti nel sec. XII; e dunque la 'physica' è medica, e come storici non possiamo che constatarlo; e la medicina è un modo – ma in realtà in questa fase il solo modo, stando ai testi – di manifestarsi della physica. Sono tradotti e si diffondono tra il sec. XII e il sec. XIII i libri naturales di Aristotele. Si scopre, ma solo allora, una filosofia naturale molto ampia e non direttamente legata a medicina o solo a medicina, anzi, assai più vasta e articolata. Con Avicenna (Liber Canonis, tradotto negli ultimi decenni del sec. XII), poi, si vede che il nesso tra il corpus testuale di filosofia naturale e quello di medicina è senz'altro presente, anzi è assai ricco e importante, ma è molto mediato. Mediato tanto da obbligare a tenere distinte le due discipline prima di raccordarle. La struttura didattica dell'università rafforza questa situazione, lasciando per altro sopravvivere l'ibrido di 'fisica-medicina', che infatti troviamo in varie lingue europee. E, va aggiunto, proprio in università accadono e vengono propiziati effetti talora fuorvianti, comunque equivoci nei rapporti tra medicina e filosofia proprio sia per il nesso istituzionale tra medicina e filosofia nella Facoltà delle arti in Italia, sia anche in virtù di tale denominazione, parzialmente ambigua. Si noti che sotto a quest'ibrido stanno certo nel sec. XII - testi che prevedono una 'physica' platonicamente attenta al benessere del microcosmo: il che non è pienamente congruente con filosofia e physica aristotelica e con i suoi valori. Questa storia 'archeologica' mi pare illustri bene il rilievo condizionante della testualità e dei corpus, e in senso forte: cioè si tratta di tener presente non solo e banalmente che appunto con libri si ha a che fare, ma che il loro esserci a un certo punto, il loro stratificarsi, la disponibilità a legarsi con certi altri corpus e non con altri, condiziona l'elaborazione delle teorie: perché naturalmente, infatti, una medicina cosmologica (nel sec. XII) sarà certo diversa da una medicina come 'habitus scientifico' (dal sec. XIII-XIV), che verte sul moto/mutamento da malattia a salute di quello speciale corpo (dotato di materia e sottoposto a mutamento), che è quello dell'uomo.

Sempre in ambito medico, ma questa volta avendo in vista certamente dei testi ma anche un contesto di antropologia religiosa, vediamo per sommi capi la situazione che allo storico presenta l'alto medioevo. Appunto qui constatiamo innanzitutto l'efficacia connotativa di quella surdeterminazione religiosa di cui si è detto: la dimensione religioso-cristiana è la condizione strutturale in cui solo si può elaborare qualunque forma di sapere e articolare una qualunque pratica sociale e dottrinale. Inoltre notiamo presto che l'ambito semantico che noi colleghiamo a salute, malattia, medicina, terapia – e benché il corpo e i suoi mali siano un dato fisiologicamente invariabile nella storia più di quanto non sia la forma e l'ortodossia di una Chiesa, per esempio –; cioè questo campo semantico che pare così ovvio, privo di storia e stabile appare invece strutturato, sia sotto il profilo materiale che sotto quello delle rappresentazioni dottrinali, non già da coordinate a qualunque titolo razionali se non 'scientifiche', ma da coordinate che vanno ascritte a un'antropologia religiosa cristiana centrata sull'*infirmitas*. Notiamo infine che i testi in cui leggere tutto ciò sono non i rari, miseri compendi medici e i modesti ricettari, ma cronache, testi agiografici, opere pastorali. Si può porre, a questo proposito, una domanda di fondo.

È questa storia della medicina? Sì, se ne manteniamo fisso l'oggetto (il corpo malato) e lo cerchiamo dov'è, cioè nelle cronache, nelle regole monastiche e soprattutto in una simbolica e in una pedagogia della sofferenza non poco ricche, articolate dottrinariamente e pregnanti. E influentissime. No, se invece teniamo fisse le nostre definizioni di terapia e salute: certo, in parte le troviamo presenti nel medioevo, ma solo dopo il sec. XII; e sono configurate in modo tale che – si noti – non possono essere ben comprese non solo se dimentichiamo i corpi testuali da cui provengono, ma anche lo sfondo, il contesto altrettanto testuale contro cui si stagliano.

Poco preme poi qui di definire puntualmente: si tratta di prospettive convenute in partenza negli studi storici. Posso infatti affermare che la 'storia della medicina' inizia nel sec. XI, se scelgo la seconda opzione; posso dire che c'è da sempre, ma con mutamenti rivoluzionari, se scelgo la prima. Essenziale però sarà che quando studio Pietro d'Abano (sec. XIII), e dunque una situazione ormai più che riconoscibile per noi, e che pare non tener in conto, e in parte vuole decisamente anzi scordare antiche posizioni ormai separate dai fini della ricerca scientifico-medica, non le dimentichi io come storico: sia per capire l'epocale capovolgimento che si è prodotto, sia per intendere meglio il senso di discussioni di Pietro e di molti altri – teologi e medici – sulla natura fisiologica di Adamo, o il peso delle prospettive di Arnaldo da Villanova sulla prolongevità.

Da evitare è l'anacronismo di cercare quel che non c'è, o di dare una definizione fuorviante di quel che c'è. Infine e soprattutto da evitare è il pericolo di non accorgersi del nesso che comunque esiste tra due situazioni apparentemente incompatibili (quella della 'medicina pastorale' e quella della medicina come *scientia*); e dunque il rischio non valutare la portata della trasvalutazione religiosa che viene operata con fraintendimenti in due direzioni: da un lato, e nell'alto medioevo, si possono male interpretare i mutamenti nei confronti di concezioni antiche-classiche relative al corpo infermo; e, d'altro lato, dopo il sec. XII, e con l'acquisizione dei testi e dottrine naturalistiche di Aristotele, si può non valutare appieno un recupero e la nuova elaborazione di quelle dottrine, presso gli Arabi prima e nell'Occidente latino poi.

32 Chiara Crisciani

Bibliografia*

Agrimi, J. – Crisciani, C. (1993), *Carità e assistenza nella civiltà cristiana medievale*, in Gremek M. (a cura di), *Storia del pensiero medico occidentale*, Roma-Bari, I, pp. 217-259.

Agrimi, J. – Crisciani, C. (1988), 'Edocere medicos'. Medicina scolastica nei secoli XIII-XV, Milano-Napoli.

Agrimi, J. - Crisciani, C. (1978), Medicina del corpo e medicina dell'anima, Milano.

Agrimi, J. - Crisciani, C. (1978), Malato, medico e medicina nel Medioevo, Torino.

Agrimi, J. – Crisciani, C. La medicina scolastica. Studi e ricerche (1981-1991), in L. Bianchi (a cura di) (1994), Filosofia e teologia nel Trecento. Studi in ricordo di Eugenio Randi, Louvain-la-Neuve, pp. 381-412.

Beaujouan, G. (1997), L'histoire des sciences est-elle, pour le Moyen Age, porteuse d'anachronisme psychologiques?, «Bulletin de philosophie médiévale», 39, pp. 23-28.

Bianchi, L. (2003), Studi sull'Aristotelismo del Rinascimento, Padova.

Biller, P. – Ziegler J. (eds.) (2001), Religion and Medicine in the Middle Ages, York.

Biller, P. – Minnis A.J. (eds.) (1997), Medieval Theology and Natural Body, York.

Brooke, J. – Mclean, I. (eds.) (2005), *Heterodoxy in Early Modern Science and Religion*, Oxford.

Butterfield, H. (1962), Le origini della scienza moderna, tr. it, Bologna.

Bylebyl, J.J. (1990), The Medical Meaning of 'Phisica', "Osiris", 2nd s., 6, pp. 16-41.

Caroti, S. (ed.) (1989), Studies in Medieval Natural Philosophy, Firenze.

Clagett, M. (1959), The Science of Mechanics in the Middle Ages, Madison.

Crisciani, C. (2005), Aspetti del dibattito sull'umido radicale nella cultura del tardo medioevo (secoli XIII-XV), in Perarnau, J. (ed.), Actes de la II Trobada Internacional d'estudis sobre Arnau de Vilanova, Barcelona, pp. 333-380.

Crisciani, C. (2001), Fatti, teorie, 'narratio' e i malati a corte. Note su empirismo e medicina nel medioevo, «Quaderni storici», 36, pp. 695-718.

Crisciani, C. – Ferrari, G. (2010), *Introduzione* a: Arnaldo da Villanova, *De humido radicali*, Arnaldi de Villanova Opera Medica Omnia (AVOMO) V.2, Barcelona.

Crisciani, C. (2007-2008), Medicina e filosofia nel Medioevo: aspetti e fasi di un rapporto discusso, «I castelli di Yale», Ferrara, pp. 9-35 (con ampia bibliografia).

Crombie, A.C. (1953), Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science, 1100-1700, Oxford.

Crombie, A.C. (1970), Da S. Agostino a Galileo. Storia della scienza dal V al XVII secolo, tr. it., Milano.

De Libera, A. (2000), Archéologie et reconstruction. Sur la méthode en histoire de la philosophie médiévale, in Un siècle de philosophie. 1900-2000, Paris, pp. 552-87.

Duhem, P. (1903-1916), Etudes sur Léonard de Vinci, 3 voll., Paris.

Duhem, P. (1913-1959), Le système du monde, 10 voll., Paris.

Duhem, P. (1905-1906), Les origines de la statique, 2 voll., Paris.

* Questa scheda bibliografica non ha alcuna pretesa di esaustività; si segnalano solo alcuni studi e ricerche rilevanti circa i temi trattati nel mio intervento.

- Durand, D.B. (1941), *Nicole Oresme and the Medieval Origins of Modern Science*, «Speculum», 16.
- Eamon, W. (1994), Science and the Secrets of Nature. Books of Secrets in Medieval and Early Modern Culture, Princeton.
- «Early Science and Medicine». A Journal for the Study of Science, Technology and Medicine in the Pre-modern Period, Leiden.
- Federici Vescovini, G. (1989), *Il pensiero scientifico del secolo XIV nella storiografia contemporanea*, «Studi storici», 2, pp. 279-320.
- Feingold, M. (ed.) (2006), Universities and Science in the Early Modern Period, Dordrecht.
- Ferguson, W.K. (1969), Il Rinascimento nella critica storica, tr. it. Bologna.
- French, R. Cunningam, A. (1996), *Before Science: The Invention of Friars' Natural Philosophy*, Aldershot.
- Funkestein, A. (1996), *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento*, tr. it. Torino.
- Garin, E. (1981), Aristotelismo veneto e scienza moderna, Padova.
- Giard, L. (1990), Charles Schmitt (1933-1986): reconstructor of a history of Renaissance Learning, in Henry, J. Hutton, S. (eds.), New Perspectives on Renaissance Thought, London.
- Gilson, E. (1973), La filosofia nel Medioevo, tr. it. Firenze.
- Grafton, A. Siraisi, N. (eds.) (1999), *Natural Particulars. Nature and the Disciplines in Renaissance Europe*, Cambridge MA.
- Grant, E. Murdoch, J. E. (eds.) (1987) Mathematics and its Applications to Science and Natural Philosophy in the Middle Ages: Essays in Honor of Marshall Clagett, Cambridge.
- Grant, E. (1978), Aristotelianism and the Longevity of the Medieval World View, «History of Science», 16, pp. 93-106.
- Halleux, R. (2009), Le savoir et la main. Savants et artisans dans l'Europe préindustrielle, Paris.
- Jacquart, D. (1993), *La scolastica medica*, in Gremek, M. (a cura di), *Storia del pensiero medico occidentale*, Roma-Bari, I, pp. 261-322.
- Jacquart, D. (1997), La science médicale occidentale entre deux renaissances (XIIe s.-XVe s.), Aldershot.
- Jaki, L. (1987), Uneasy Genius: The Life and Work of Pierre Duhem, Dordrecht-Boston.
- Koyré, A. (1970), Dal mondo chiuso all'universo infinito, tr. it. Milano.
- Koyré, A (1967), Dal mondo del pressapoco all'universo della precisione, tr. it., Torino.
- Koyré, A (1973), Etudes d'histoire de la pensée scientifique, Paris.
- Koyré, A (1939), Etudes galiléennes, 2 voll., Paris.
- Koyré, A (1956), *The Origins of Modern Science: A New Interpretation*, «Diogenes», 16, pp. 1-22.
- Le Goff, J. Truong, N. (2003), Une histoire du corps au Moyen Age.
- Lindberg, D.C. (ed.) (1978), Science in the Middle Ages, Chicago.

34 Chiara Crisciani

Lindberg, D.C. (1990), Conceptions of Scientific Revolution from Bacon to Butterfield: A Preliminary Sketch, in Lindberg, D.C. – Westman, R. S. (eds.), Reappraisals of the Scientific Revolution, Cambridge, pp. 1-13.

- Lindberg, D.C. (1995), Medieval Science and Its Religious Context, «Osiris», 10, pp. 61-79.
- Lindberg, D.C. 1992, The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, 600 B.C to A.D. 1450, Chicago.
- Lucentini, P. Parri, I. Perrone Compagni, V. (a cura di) (2003), Hermetism from Late Antiquity to Humanism. La tradizione ermetica dal mondo tardo-antico all'Umanesimo, Turnhout.
- Maier, A. (1943), An der Grenze von Scholastic und Naturwissenschaft, Essen.
- Maier, A. (1964), Ausgehendes Mittelalter, Roma.
- Maier, A. (1949), Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert, Roma.
- Maierù, A. (1991), Annelise Maier e la filosofia della natura tardo scolastica, in Imbach, R. Maierù, A. (a cura di), Gli studi di filosofia medievale fra Otto e Novecento, Roma, pp. 303-330.
- McVaugh, M. (1975), *Introduzione* alla sua edizione di Arnaldi de Villanova Opera Medica Omnia (AVOMO), II, *Aphorismi de gradibus*, Granada-Barcelona.
- Medicina e filosofia tra Medioevo e Rinascimento, «I castelli di Yale», Ferrara, (2007-2008).
- «Micrologus. Natura, Scienze e Società Medievali», SISMEL, Firenze (rivista a volumi tematici annuali).
- Murdoch, J. (1974), *Philosophy and the Enterprise of Science in the Later Middle Ages*, in Elkana, Y. (ed.), *The Interaction between Science and Philosophy*, Atlantic Hights, pp. 51-74.
- Murdoch, J. (1991), Pierre Duhem and the history of late medieval science and philosophy in the latin West, in Imbach, R. Maierù, A. (a cura di), Gli studi di filosofia medievale fra Otto e Novecento, Roma, pp. 253-302.
- Murdoch, J. (1982), The Analytic Character of Late Medieval Learning: Natural Philosophy without Nature, in Roberts L.D. (ed.), Approaches to Nature in the Middle Ages, Bighamton, pp. 171-213.
- Murdoch, J. Sylla E. (eds.) (1975), *The Cultural Context of Medieval Learning*, Dordrecht-Boston.
- Nardi, B. (1958), Saggi sull'aristotelismo padovano dal secolo XIV al XVI, Firenze.
- Newman, W.R. Sylla E. (Eds.) (2009), Evidence and Interpretarion: Studies on Early Science and Medicine in Honor of J. E. Murdoch, «Early Science and Medicine», 14, 1-3.
- North, J.D., *Introduzione* (cap. I, sez. II), in *Storia della scienza Treccani*, vol. IV, Roma, pp. 75-92.
- Park, K. Daston, L. (eds.) (2006), Early Modern Science (The Cambridge History of Science, vol. 3), Cambridge.
- Parodi, M. (1987), *Congettura e metafisica*, in Fumagalli Beonio Brocchieri, M.T., *Le bugie d'Isotta. Immagini della mente medievale*, Bari, pp. 109-150.

Pomata, G. – Siraisi, N. (eds.) (2005), 'Historia'. Empiricism and Erudition in Early Modern Europe, Cambridge MA.

Quinto, R. (2001), 'Scholastica'. Storia di un concetto, Padova.

Randall, J.H. (1961), The School of Padua and the Emergence of Modern Science, Padova.

Rossi, P. (1962), I filosofi e le macchine (1400-1700), Milano.

Rossi, P. (1977), Immagini della scienza, Roma.

Schmitt, C. (1985), Problemi dell'Aristotelismo rinascimentale, Napoli.

Schmitt, C. (1981), Studies in Renaissance Philosophy and Science, London.

Schmitt, C.B. (1983), Aristotelianism in the Veneto and the Origins of Modern Science: Some Considerations on the Problem of Continuity, in Olivieri, L. (a cura di), Aristotelismo veneto e scienza moderna, Padova, vol. I, pp. 104-23.

Siraisi, N. (2001), Medicine and the Italian Universities, 1250-1600, Leiden.

Siraisi, N. (1990), Medieval and Early Renaissance Medicine, Chicago-London.

Siraisi, N. (1981), Taddeo Alderotti and his Pupils. Two generations of Italian Medical Learning, Princeton.

Smith, P.H. – Schmidt, B. (eds.) (2007), *Making Knowledge in Early Modern Europe. Practices, Objects, and Texts*, 1400-1800, Chicago-London.

Stabile, G. (1991), Bruno Nardi storico della filosofia medievale, in Imbach, R.– Maierù, A. (a cura di), Gli studi di filosofia medievale fra Otto e Novecento, Roma, pp. 379-390.

Thorndike, L. (1923-1958), History of Magic and Experimental Science, New York.

Thorndike, L. (1967), Science and Thought in the Fifteenth Century, New York-London.

Tiorynoja, R.Y – Ebbesen, S. (eds.) (1990), *Knowledge and the Sciences in Medieval Philosophy*, Helsinki.

Yates, F. (1969), Giordano Bruno e la tradizione ermetica, tr. it., Bari.

Ziegler, J. (1998), Medicine and Religion c. 1300. The Case of Arnau de Vilanova, Oxford.

Strumenti, idee e pratiche nella didattica della scienza a scuola tra Otto e Novecento: esperienze di ricerca *in progress*

Monica Ferrari, Dipartimento di Studi Umanistici

Abstract: In questo contributo si intende presentare brevemente – in coerenza con gli intenti del seminario in cui è stato discusso, ove si voleva, tra l'altro, sottolineare le convergenze tra piste di indagine in progress – una ricerca (i cui risultati sono stati di recente pubblicati in un volume), svolta in autonomia e che, tuttavia, incrocia, per diverse ragioni, alcune delle attività del Centro di Ricerca Interdipartimentale dell'Università di Pavia per lo studio e la valorizzazione dei beni culturali scolastici ed educativi, nato poi negli stessi anni in cui si sviluppava tale indagine. A partire da uno studio di caso in un contesto circoscritto, relativo a strumenti, idee e pratiche nella didattica della scienza in tre scuole secondarie cremonesi tra età moderna e contemporanea, si vorrebbero così illustrare le sinergie, i problemi e le questioni di metodo che stanno alla base di un lavoro sulla 'cultura della scuola'. Tale indagine ha impegnato diversi ricercatori, al di là degli steccati disciplinari, nella convinzione che questo sia il modo opportuno per spiegare e comprendere fenomeni complessi, quali, appunto, quelli relativi alle proposte didattiche, teorizzate e agite nel concreto, dalle agenzie educative del passato, come del presente.

In this paper we will briefly present a research (recently published in a book), conducted independently and that, however, crosses, for several reasons, some of the activities of the Interdepartmental Research Centre of the University of Pavia for the study and promotion of the school's cultural heritage (Centro di Ricerca Interdipartimentale dell'Università di Pavia per lo studio e la valorizzazione dei beni culturali scolastici ed educativi), which was born in the same years this investigation was developed. Starting from a case study in a limited context, concerning tools, ideas and practices in the teaching of science in three secondary schools in Cremona between the modern and contemporary age, this essay discusses the synergies, the problems and questions of method which are the basis of a work on "school culture". This investigation has involved a number of researchers, beyond the disciplinary fences, under the belief that this is the appropriate way to explain and understand complex phenomena, such as, precisely, those related to educational proposals, theorized and acted in practice, in the educational agencies of the past as those of the present.

Cercherò di illustrare, seppur in estrema sintesi, come mi è stato chiesto in questa sede – in cui diversi ricercatori sono stati chiamati a confrontarsi, presentando percorsi di indagine compiuti e *in progress*, anche al fine di sottolineare le convergenze tra esperienze foriere di nuove sinergie tra differenti attori –, un itinerario di riflessione su strumenti, idee e pratiche nella didattica della scienza iniziato poco prima della nascita di un Centro di Ricerca Interdipartimentale dell'Università di Pavia istituito per promuovere attività di

38 Monica Ferrari

studio e valorizzazione dei beni culturali scolastici ed educativi. Si è scelto di partire dalla discussione di un'esperienza, svoltasi indipendentemente rispetto alle attività del Centro interdipartimentale di cui si è detto, perché, nei suoi presupposti e nel suo farsi, si riscontrano taluni aspetti delle ragioni che lo orientano e che qui si vogliono ribadire. Mi auguro di riuscire a mettere in rilievo, almeno in parte, alcune questioni di metodo. Credo, infatti, che alla base di un'indagine sulla 'cultura della scuola' stia anzitutto il lavoro comune di diversi ricercatori ed esperti, coinvolti, al di là degli steccati disciplinari, in un percorso complesso tanto quanto i fenomeni culturali relativi alle proposte didattiche, tra teoria e pratica, tra dover essere delle intenzioni e quotidianità del fare, nelle agenzie educative di ieri e di oggi. I risultati raggiunti, seppur sempre e necessariamente parziali e suscettibili di ulteriori approfondimenti, inducono a riflettere sui meccanismi di acculturazione che attraversano le generazioni, tra passato e presente, e con uno sguardo al futuro.

Il tema della *culture scolaire* è caro ad André Chervel che, già nel 1998, dedicava a tale argomento un volume, volto a far riflettere sulla storia delle discipline scolastiche e sui modi di una produzione culturale della scuola, spesso ritenuta, da molti, minore e, pertanto, poco indagata. E tuttavia le proposte didattiche agite nel quotidiano di tante istituzioni formative si sono tradotte nel passato – e si traducono nel presente – in una serie di produzioni e di pratiche relative a (e talora inscritte in) un preciso *outillage*. L'agire educativo (tra intenzioni e prassi) ha a che fare con determinate modalità di utilizzo di uno strumentario, meritevole di ricerche approfondite, oltre che con, più o meno dichiarate, idee di allievo e di insegnante. Anche per questo alcuni ricercatori, poi confluiti in parte nel Centro interdipartimentale pavese, si sono confrontati, negli anni, su talune questioni, in relazione a un dibattito più vasto³ e a singoli studi di caso, arrivando a costruire, ad esempio, come si vedrà, una collezione digitale. 4

1. Lo strumentario per la didattica della scienza: uno studio di caso

Nel corso di un progetto di ricerca iniziato nel 2004, realizzatosi grazie ai finanziamenti della legge 6/2000⁵ e alla collaborazione di ricercatori, archivisti, insegnanti e dirigenti

¹ Il Centro, istituito nel 2006, detto anche Becuscuola, esplicita le sue finalità nel Regolamento (ora in rete al sito http://www-3.unipv.it/becuscuola). Ne elenco alcune: «il censimento dei beni culturali degli istituti scolastici primari e secondari [...], lo studio delle soluzioni di descrizione, tutela e conservazione dei beni [...], la progettazione e la realizzazione di un sistema informativo in rete [...], la collaborazione con le amministrazioni locali, le istituzioni culturali scolastiche e i loro operatori [...], la promozione di iniziative ed eventi culturali».

² Chervel, A. (1998), La culture scolaire. Une approche historique, Paris, Belin.

³ Si rimanda al numero monografico della rivista «Annali di storia dell'educazione e delle istituzioni scolastiche» curato, oltre che da me, da Giorgio Panizza e Matteo Morandi ed edito nel 2008.

⁴ Penso, ad esempio, alla collezione relativa agli strumenti per la didattica della scienza in tre scuole cremonesi, online, URL: http://www.strumentiscientificicremona.com>.

⁵ Si tratta della legge dedicata alla diffusione della cultura scientifica. Il progetto, dal titolo *Musei virtuali per la storia della cultura scientifica*, di cui era responsabile in prima istanza Pietro Bellisario, nel ruolo di dirigente del Liceo "D. Manin" di Cremona, scuola capofila, includeva i dirigenti delle tre istituzioni, la dirigente dell'Archivio di Stato di Cremona e una serie di esperti. Uno dei frutti del progetto è il volume citato di seguito: Bellardi, A. – Falomo, L. – Ferrari, M. (a cura di) (2009), "*Per dissipare le loro tenebre ed errori...*". *Strumenti, modi, ragioni della formazione scientifica nelle scuole di Cremona tra età moderna e contempo-*

scolastici di tre scuole cremonesi (il liceo classico "D. Manin", il Seminario Vescovile, l'Istituto Tecnico "P. Vacchelli"), ⁶ si è riflettuto, con approccio attento alle interconnessioni che esistono tra i fenomeni culturali, su alcune importanti questioni relative alla storia delle istituzioni educative e delle collezioni di strumenti scientifici in esse contenuti.

A partire dalle vicende che hanno portato alla costituzione delle collezioni di strumenti scientifici, giunti a Cremona in diverse *tranches* (soprattutto dalla fine del Settecento), si è discusso di una didattica della scienza che ha avuto notevole diffusione nelle istituzioni educative proprio dall'ultimo ventennio del XVIII secolo. A Cremona, come in altre realtà lombarde, ⁷ con la soppressione dei Gesuiti, inizia un percorso che conduce dapprima il ginnasio e poi il liceo, dopo il 1802, a modificare l'itinerario formativo delle classi dirigenti. Tali vicende sono fortemente intrecciate con la storia delle collezioni per la didattica della scienza in un'istituzione, il ginnasio-liceo, appunto, che, per lungo tempo, condivide l'edificio⁸ con le altre più giovani realtà formative della città che si andranno individuando nel corso del lungo Ottocento e dopo l'Unità (penso alla Scuola tecnica). Anche gli allievi del Seminario Vescovile (che, nel primo Ottocento, per impulso del Vescovo Offredi e di alcuni suoi collaboratori, docenti dello stesso istituto, tra cui mi preme

ranea: il Liceo Ginnasio "D. Manin", il Seminario Vescovile, l'Istituto Tecnico "P. Vacchelli", Cremona Fantigrafica. Prezioso riferimento per tale lavoro è stato il volume: Bellodi, G. – Bevilacqua, F. – Bonera, G. – Falomo, L. (a cura di) (2002), Gli strumenti di Alessandro Volta. Il gabinetto di fisica dell'Università di Pavia, Milano, Hoepli.

⁶ L'attuale liceo ginnasio "D. Manin" occupa la sede del collegio gesuita, fondato nei primi anni del XVII secolo. Dopo la soppressione della Compagnia di Gesù (1773), è soggetto, dapprima, alle riforme austriache e poi a quelle napoleoniche, che, tra l'altro, nel 1803, inaugurano il liceo. Il Seminario di Cremona viene istituito il 1° dicembre 1566, ma fino alla soppressione della Compagnia di Gesù i chierici vengono, di fatto, istruiti nel collegio Gesuita. A seguito delle vicende relative alla costituzione, nel 1786, del "Seminario Generale" a Pavia (chiusura dei Seminari diocesani) e a una serie di vicissitudini di varia natura, nel 1791 esso riapre, all'esordio dell'episcopato Offredi. Nel 1887, grazie al Vescovo Bonomelli, il Seminario viene trasferito in una nuova sede, dove ancora si trova. La Storia dell'Istituto tecnico coincide con quella di tante altre istituzioni analoghe del nostro Paese, infatti è figlio dell'Unità, potremmo dire, e viene fondato con r.d. 30 ottobre 1862, n. 940 per impulso del Consiglio provinciale di Cremona. Esso condivise la sede con il Liceo e la Scuola tecnica e dunque, inizialmente, anche con la collezione di strumenti scientifici. Per queste e altre notizie, oltre che per una bibliografia, rimando al volume di Bellardi – Falomo – Ferrari (2009), "Per dissipare le loro tenebre ed errori...", e alle notizie sulle tre scuole nel sito, URL: http://www.strumentiscientificicremona.com.

⁷ Per un approfondimento e una bibliografia cfr.: Ferraresi, A. (1998), La fisica sperimentale fra Università e Ginnasi nella Lombardia austriaca, «Studi settecenteschi», 18, pp. 279-319; Bianchi, A. (a cura di) (2007), L'istruzione in Italia tra Sette e Ottocento. Lombardia-Veneto-Umbria, Brescia, La Scuola, con particolare riferimento ai seguenti saggi: Polenghi, S., La riforma del Gymnasium austriaco dall'età teresiana al 1819 e la sua applicazione nella Lombardia della Restaurazione (1818-1835), pp. 15-63; Pagano, E., Ginnasi e Licei (Lombardia e Veneto, 1802-1848), pp. 269-302); Brambilla, E. (2008), I licei e l'Université impériale. Un confronto tra Italia e Francia e Pagano, E. (2008), I licei italici tra iniziativa statale e realtà urbane, in Istituzioni e cultura in età napoleonica, a cura di Brambilla, E. – Capra, C. – Scotti, A., Milano, Franco Angeli, rispettivamente pp. 431-453 e pp. 454-474. Sul caso cremonese si veda anche, nello specifico, Ferrari, M. (2005), La scuola e l'istruzione: problemi, momenti e figure, in Storia di Cremona. L'Ottocento, a cura di Betri, M. L., Bolis, Azzano San Paolo (BG), Junior, pp. 204-249; Piseri, M. (2009), La scuola a Cremona nell'età delle riforme, in Storia di Cremona. Il Settecento e l'età napoleonica, a cura di Capra, C., Bolis, Azzano San Paolo (BG), Junior, pp. 188-213, e il volume di Bellardi – Falomo – Ferrari (2009), "Per dissipare le loro tenebre ed errori..." Sui Seminari si rimanda al saggio di Toscani, X. (I seminari, pp. 211-234) nel volume curato da Bianchi, A., L'istruzione in Italia tra Sette e Ottocento.

8 L'imponente struttura dell'ex-collegio gesuita che ancora oggi occupa un intero isolato del centro cittadino e che è sito quasi di fronte al Collegio della Beata Vergine, fondato agli inizi del XVII secolo. 40 Monica Ferrari

ricordare Ferrante Aporti, ⁹ rivede radicalmente il piano degli studi dei chierici) frequentano, almeno nel primo decennio del secolo, il laboratorio del liceo e condividono con i liceali l'uso degli strumenti scientifici e degli apparati per la didattica della scienza in esso contenuti.

Lo studio delle fonti – almeno di quelle finora consultate e conservate negli archivi delle istituzioni educative, nella Biblioteca statale e nell'Archivio di Stato della città, nell'Archivio di Stato di Milano – ha consentito di comprendere la ricchezza di un patrimonio culturale sommerso, relativo alla vita delle tre scuole oggetto prioritario d'indagine in questo caso, ma non solo.

Negli ultimi anni, per impulso di vari progetti culturali di ampio respiro promossi da soggetti differenti (uno di questi progetti ha condotto alla pubblicazione, in più volumi, della storia della città; altri itinerari di ricerca di diversa natura hanno interessato lo stesso territorio – penso alla storia dell'editoria scolastica¹⁰ e a un fiorire di studi di storia locale e di microstoria sulle questioni connesse alla vita delle istituzioni educative),¹¹ si è messo in rilievo che a Cremona, come altrove, le scuole producono cultura, sono e sono state propositive in termini di riflessione politica, pedagogica, civile.

Non a caso, nel volume che rappresenta uno degli esiti delle ricerche (sempre suscettibili di approfondimenti) del gruppo di lavoro cui prima si faceva allusione, interessato alle collezioni di strumenti per la didattica della scienza in tre scuole cremonesi, si ribadisce quanto afferma un docente del Seminario cremonese ai primi dell'Ottocento, sottolineando la complessità delle ragioni sottese ai processi di acculturazione alla scienza per diverse tipologie di destinatari, in questo caso i futuri sacerdoti. Antonio Ludenna, professore di matematica e fisica nel Seminario Vescovile di Cremona nel 1810, sostiene infatti: «[...] dopo la mia spiegazione s'interrogano gli scolari per dissipare le loro tenebre ed errori e per far loro ben conoscere i principi su cui poggiano le verità scientifiche [...]». ¹² Si vuole insomma che gli allievi imparino ad «analizzare, esporre e presentare le idee».

a

Ome sottolinea Massimo Marcocchi in un suo recente contributo: cfr. Marcocchi, M. (2009), L'insegnamento della teologia nel seminario di Cremona tra Settecento e Ottocento, in Formare alle professioni. Sacerdoti, principi, educatori, a cura di Becchi, E. – Ferrari, M., Milano, Franco Angeli, pp. 119-161.
Intrapresa, anche a Cremona, per impulso di Giorgio Chiosso e ora depositata in due diversi volumi, TE-

¹⁰ Intrapresa, anche a Cremona, per impulso di Giorgio Chiosso e ora depositata in due diversi volumi, *TE-SEO. Tipografi e editori scolastico-educativi dell'Ottocento*, diretto da Chiosso, G., Milano, Bibliografica, 2003. Successivamente, nel 2008, è uscito anche il volume relativo al Novecento (*TESEO '900. Editori scolastico-educativi del primo Novecento*). In particolare, in questi anni, in Italia, si segnalano un crescente interesse per l'editoria scolastica e un fiorire di studi e di ricerche in questa direzione. A mero titolo esemplificativo, oltre ai volumi citati, rimando al numero monografico degli «Annali di storia dell'educazione e delle istituzioni scolastiche», 16, 2009 (dedicato a *Cultura, religione e editoria nell'Italia del primo Novecento*), per una bibliografia al riguardo.

¹¹ Mi permetto di ricordare, anche per una bibliografia, il volume di Ferrari, M. – Morandi, M. (a cura di) (2007), *Documenti della scuola tra passato e presente. Problemi ed esperienze di ricerca per un'analisi tipologica delle fonti*, Azzano San Paolo (BG), Junior. Segnalo il censimento degli archivi scolastici delle scuole secondarie cremonesi intrapreso da Matteo Morandi nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dalla Regione Lombardia e coordinato dal Centro di ricerca interdipartimentale per lo studio e la valorizzazione de beni culturali scolastici ed educativi dell'Università di Pavia e inoltre Morandi, M. (2009), *L'istruzione elementare a Cremona e a Pavia nella seconda metà dell'Ottocento*, «Storia, amministrazione, costituzione», 17, pp. 155-202.

¹² Si fa qui riferimento al piano d'istruzione del 30 agosto 1810, in Archivio di Stato di Milano, Studi p.m., b. 1106. Cfr. Ferrari, M. (2009), *Gli strumenti scientifici del Seminario Vescovile di Cremona nell'Ottocento*, in Bellardi – Falomo – Ferrari (a cura di) (2009), "Per dissipare le loro tenebre ed errori...", p. 48.

Lo stesso Aporti, conosciuto soprattutto per le sue scuole dell'infanzia, ma docente di teologia nel Seminario cremonese, ¹³ propone, nel suo Manuale di addestramento per i maestri delle scuole per i piccoli fanciulli dai due anni e mezzo ai sei, pubblicato proprio a Cremona nel 1834, di costruire il giudizio dei più piccini, sottolineando l'importanza di una capacità di discernere che si basa su idee chiare e distinte. L'eco delle riflessioni sul metodo, proprie del razionalismo francese seicentesco, fortemente mediato dal giansenismo e soprattutto dal giansenismo lombardo, arriva nel Seminario cremonese, ma non solo in esso, alla fine del Settecento e agli inizi dell'Ottocento. 14 Si contamina con altre influenze e con una particolare attenzione alla lingua della scienza e a nuovi problemi di metodo nella didattica che sottendono, tra l'altro, importanti questioni politiche per un'Italia che si vuole unita. Fatto si è che nel Seminario, come testimoniano le solenni esercitazioni accademiche del 1828, l'insegnamento della scienza si fa in italiano. Se il testo della Solemnis academica exercitatio del 1828 è in latino, le note sono in italiano perché «dovendosi parlare in queste note di Machine e strumenti fisici, pei quali sono adottati i termini tecnici italiani, si è creduto meglio usare il linguaggio italiano, e non il latino...». E poi l'Italia viene definita, d'altro canto, nel testo latino dell'esercitazione, pari alla Grecia perché, come la Grecia in un altro periodo della storia europea, è stata la patria di tanti talenti che diedero impulso alle scienze.

Le ricerche condotte e relative al caso cremonese, per tre istituti che si sono distinti nel corso dell'Ottocento per le loro collezioni approntate in vista della didattica della scienza, hanno dimostrato che c'è ancora molto da fare in questo settore oltre che in questa città.

Non a caso si è iniziato a riflettere sulla formazione delle maestre nella scuola magistrale cittadina, divenuta poi "Normale" alla fine del secolo, nel confronto con altri laboratori dell'educare ancora poco noti, eppure sorti anche altrove in Italia. Si tratta delle scuole superiori femminili, ¹⁵ istituite dai Comuni in alternativa alle scuole femminili delle *élites* e ai collegi gestiti da personale religioso. In queste scuole, qui come altrove, insegnano personaggi illustri, e, sia qui sia nella scuola magistrale della città, ci si pone – dopo l'Unità – il problema dell'insegnamento della scienza alle giovani donne, perché anche nel loro caso, se si vuole che siano madri e maestre dei figli loro e degli altri, è necessario «dissipare tenebre ed errori». Al riguardo, le parole di Guglielmo Calderoni, professore di fisica nel liceo cremonese alla fine del secolo, illustrano l'importanza di una proposta culturale che ripensa anche il ruolo delle donne all'interno della società civile.

¹³ Sulla vita e l'opera di Aporti cfr., anche per una bibliografia, Sideri, C. (1999), Ferrante Aporti. Sacerdote, italiano, educatore, Milano, Franco Angeli; Piseri, M. (2008), Ferrante Aporti nella tradizione educativa lombarda ed europea, Brescia, La Scuola.

¹⁴ Al riguardo cfr. Perego, G. (1997), Un ministero "tutto spirituale". La teologia del ministero ordinato nel giansenismo lombardo tra illuminismo e liberalismo (1755-1855), Roma, Pubblicazione del Pontificio Seminario Lombardo in Roma; inoltre, sull'episcopato Offredi, cfr. Moruzzi, S. – Capuzzi, A. (1998), Fine dell'ancien régime e Restaurazione, in Diocesi di Cremona, a cura di Caprioli, A. – Rimoldi, A. – Vaccaro, L., Brescia, La Scuola, pp. 249-276. Su questi temi in riferimento alle scuole infantili cfr. Piseri, M. (2002), Tra pietismo e tardo-giansenismo: le fonti delle scuole aportiane, «Annali di storia dell'educazione e delle istituzioni scolastiche», 9, pp. 205-225.

¹⁵ Mi permetto di rimandare a due miei contributi al riguardo: Ferrari, M. (2007), *Insegnamenti scientifici per le maestre cremonesi nel secondo Ottocento: una breve nota*, «La Scuola classica di Cremona», Annuario 2007, pp. 175-184; Ferrari, M. (2008), *Scuole superiori femminili e scuole magistrali a Cremona alla fine dell'Ottocento. Uno studio di caso*, in *L'altra metà della scuola*, a cura di Ghizzoni, C. – Polenghi, S., Torino, Sei, pp. 171-184.

42 Monica Ferrari

Nel 1818, nelle *Tesi da difendersi pubblicamente dagli studenti dell'I.R. Liceo di questa città in tutte le facoltà cui sono rispettivamente addetti*, si sottolinea che la fisica sperimentale «è specialmente commendata come quella che non più a principi chimerici [...] ma bensì alle recenti scoperte, che vanno sempre più di giorno in giorno avanzando, con facili esperienze allo sguardo presenta gli arcani della natura». Non mancano riflessioni analoghe di insegnanti di altre istituzioni. Ad esempio il Seminario Vescovile, agli esordi del secolo, le scuole magistrali e le scuole superiori femminili, dopo l'Unità, testimoniano (con programmi, relazioni di fine anno, atti di adunanze, esercitazioni e opuscoli pubblicati o conservati presso gli archivi cittadini, oltre che con gli strumenti scientifici ancora presenti in alcuni casi) una notevole attenzione alla didattica della scienza che si inserisce in un più radicale ripensamento degli scopi dell'istituzione stessa e, complessivamente, del sistema formativo, non solo locale.

2. Questioni aperte

Come sempre accade, parlando di formazione tra progetto ed esperienza didattica, si parla – lo ricorda Bruner nel suo volume *La cultura dell'educazione*¹⁶ – dell'idea di mente, e dunque di allievo, che si possiede. E l'idea di allievo porta con sé, inevitabilmente, un'idea di maestro e di società civile, soprattutto. Anche per questo lo studio delle varie tipologie di fonti e dello strumentario didattico, conservato a Cremona in alcune di queste istituzioni che ancora continuano a operare, è preludio di altre e più approfondite riflessioni sul dibattito politico e culturale della città, prima e dopo l'Unità d'Italia. E tante questioni affiorano grazie agli spunti offerti da una riflessione sullo strumentario relativo alla didattica della scienza. Vediamone alcune che meritano approfondimento in ottica microstorica, nei rapporti con un quadro più ampio.

- Il ruolo dei sacerdoti nelle istituzioni formative per le *élites*. Si tratta di un impegno che dura a lungo, ben oltre la soppressione dei Gesuiti, se il barnabita Vismara insegna fisica e vive nel liceo cremonese nel 1827, restando per molto tempo la figura di riferimento per la didattica della scienza in città insieme ad alcuni suoi colleghi del Seminario
- Il divenire dei Seminari, tra Sette e Ottocento, nel turbine delle questioni politiche che travagliano il nostro Paese. Tali questioni invitano a riflettere, ad esempio, sulla nascita di nuove figure di sacerdoti, nel cambiamento di una professione che si farà più marcato nel lungo Ottocento e in particolare, a mio avviso, nel
 nostro Paese, a causa delle peculiari vicende politiche che conducono all'Unità
- Il tema della formazione delle donne, prima e dopo il 1861, specialmente delle maestre e delle madri degli allievi espressione delle *élites*
- Vorrei sottolineare, inoltre, che l'articolarsi della proposta pedagogica nella scuola elementare e nelle scuole popolari e festive è ancora in larga misura da esplorare, a Cremona, se pure si è iniziato a riflettere su di una certa didattica delle
 scienze per i più umili, per i contadini, utile a rinnovare le tecniche del lavoro

¹⁶ Trad it Milano Feltrinelli 1997

dei campi.¹⁷ Va detto che nel liceo classico cremonese si conservano riproduzioni in miniatura, a probabile uso didattico, di innovative macchine artigianali e agricole della fine del XVIII secolo (ad esempio modello di sega ad acqua, modello di pila da riso)

Approfondite analisi merita, tra Otto e Novecento, l'istruzione tecnico-professionale, con particolare riferimento all'articolarsi della proposta pedagogico-didattica in questo territorio. Ma molte altre sono le questioni aperte, suscettibili di ulteriori ricerche attente al farsi della cultura della scuola, ai progetti educativi, alle testimonianze sulle pratiche della quotidianità¹⁸

Non è questo il momento e il luogo di entrare nel dettaglio delle questioni relative a ogni specifica istituzione cremonese sopra menzionata; mi preme, piuttosto, sottolineare alcuni temi, all'incrocio di diversi settori scientifico-disciplinari, che emergono, qui e altrove, in studi di caso che affrontino, in prospettiva storico-pedagogica, ma con uno sguardo al futuro, il tema della didattica della scienza, in un momento epistemologicamente cruciale. Credo che sia importante continuare in questa direzione, prendendo le mosse dalle vicende di alcune istituzioni educative in una realtà locale.

Gli archivi scolastici, ancora largamente da censire e valorizzare, non tutti depositati negli Archivi di Stato e piuttosto ancora in maggioranza siti presso le istituzioni che li hanno prodotti, sono (non solo a mio avviso), nell'incrocio con una pubblicistica da troppo tempo considerata minore, la fonte imprescindibile cui fare riferimento, insieme alla ricerca di uno strumentario e dei suoi inventari. Anche per questo, nel caso di Pavia e di Cremona, un progetto di ricerca del Centro interdipartimentale sopra menzionato, in collaborazione con la Regione Lombardia e svolto con la supervisione scientifica di Giorgio Panizza, si è concentrato di recente in questa direzione, ¹⁹ cercando di censire gli archivi delle scuole secondarie, nella consapevolezza dell'importanza della documentazione ivi conservata per differenti itinerari di indagine. Si tratta, quindi, di una convergenza non casuale tra diversi progetti di ricerca, ideati e realizzati in sinergia tra diverse istituzioni negli ultimi anni, che volevo sottolineare.

3. La cultura della scuola: problemi di metodo

Quanto poi alla storia della strumentazione scientifica e delle sue pratiche d'uso nella concretezza della didattica quotidiana, possiamo dire che si tratta, anche in questo caso, di un *work in progress*. I risultati emersi dal percorso di riflessione intrapreso a Cremona,

¹⁷ Rimando al contributo di Matteo Morandi nel volume Bellardi – Falomo – Ferrari (2009), "Per dissipare le loro tenebre ed errori...", dal titolo Una battaglia nel nome del progresso: istruzione popolare e divulgazione scientifica a Cremona in epoca postunitaria, pp. 149-161.

 ¹⁸ Cfr. Lacaita, C.G. (a cura di) (2009), La leva della conoscenza. Istruzione e formazione professionale in Lombardia fra Otto e Novecento, Lugano-Milano, Giampiero Casagrande editore.
 19 Cfr. Morandi, M. (2008), Il censimento degli archivi delle scuole secondarie di Cremona e Pavia: una

¹⁷ Cfr. Morandi, M. (2008), *Il censimento degli archivi delle scuole secondarie di Cremona e Pavia: una prima riflessione*, in *I beni culturali della scuola: conservazione e valorizzazione*, a cura di Ferrari, M. – Panizza, G. – Morandi, M., «Annali di storia dell'educazione delle istituzioni scolastiche», 15, pp. 85-88. Nel numero qui ricordato della suddetta rivista si pubblicano gli atti del convegno realizzato nel 2007 per impulso del Centro di ricerca interdipartimentale pavese proprio su queste tematiche.

44 Monica Ferrari

ricordato in apertura del presente saggio, rimandano a un quadro più vasto, di cui vorrei illustrare, in estrema sintesi, alcune delle questioni di fondo. Il tema è assai complesso, anzitutto perché, a partire dai Manuali, dai programmi, dalla programmazione e dalle relazioni degli insegnanti, dalla loro produzione culturale è ancora da tracciare nel nostro Paese, ma anche altrove, come suggerisce Chervel, la storia delle discipline scolastiche, la storia, cioè, del farsi delle discipline scolastiche nelle istituzioni educative. Occorre riflettere, secondo lo studioso francese, su di «una forma di cultura che non sarebbe accessibile senza la mediazione della scuola». A suo avviso le istituzioni educative non sono soltanto un 'mezzo' di trasmissione culturale e, potremmo dire, di traduzione di un sapere più complesso in uno più semplice. Occorre immaginare, insomma, che il sistema educativo possa «essere all'origine di insegnamenti che eccedono largamente le intenzioni dei responsabili» e che possa creare «nuovi contenuti», introducendo «modificazioni considerevoli» in quelle che egli chiama «discipline».

Al lemma 'disciplina' egli dedica nel suo volume del 1998 un saggio, riedizione, come si diceva, di un articolo pubblicato nel 1988, di grande interesse. A partire da un'analisi 'lessicologica', egli sottolinea la necessità di una storia delle discipline scolastiche, situata all'incrocio di tematiche di storia dell'educazione e di storia culturale, perché essa concerne le modalità di trasmissione dei saperi in specifici momenti della vita delle istituzioni educative. Su questi stessi temi insiste Bruno Belhoste in un saggio pubblicato anni dopo, nel 2005, e discusso durante un convegno svoltosi a Brescia nel 2004. Egli sottolinea che Chervel ha saputo mettere in luce come una disciplina scolastica sia «un sistema complesso di saperi e di pratiche, inerenti l'insieme delle procedure didattiche in gioco». Dagli studi di Belhoste e dall'articolo citato emerge quanto sia opportuno, inoltre, riflettere sulle contaminazioni della cultura delle istituzioni formative e delle discipline con il mondo dei saperi professionali, anch'essi in divenire nei diversi momenti e contesti della nostra storia culturale, sociale, politica.

Lo studio di caso a cui si è fatto riferimento all'inizio di questo breve saggio, relativo a tre scuole cremonesi, ha mostrato, quindi, a mio avviso, la complessità di un'indagine sulle pratiche d'uso dello strumentario per la didattica non solo della scienza, intesa in

²⁰Introduction, in Chervel, A.(1998), La culture scolaire, p. 6. La traduzione dei passi di Chervel è mia.

²¹ Chervel, A.(1998), p. 7.

²² Belhoste, B. (2005), *Culture scolaire et histoire des disciplines*, «Annali di storia dell'educazione e delle istituzioni scolastiche», 12, pp. 213-223. La traduzione dei passi di Belhoste è mia.

²³ Per una bibliografia e uno sguardo d'insieme al mondo delle professioni rimando all'*Atlante delle professioni* curato da Malatesta, M., e pubblicato nel 2009, oltre che al volume *Università e professioni*. *Formazione, saperi e professioni per un nuovo millennio*, a cura di Festi, D. – Malatesta, M., Bologna, Bononia University Press, 2010. Si veda, al proposito, anche il saggio di Becchi, E. – Ferrari, M. (2009), *Professioni, professionisti, professionalizzare: storie di formazione*, in *Formare alle professioni*. *Sacerdoti, principi, educarori*, a cura di Becchi – Ferrari, pp. 7-27. Quanto al caso di Cremona, si segnala il volume, curato da Matteo Morandi e Valeria Leoni sulla storia delle professioni e dei professionisti cremonesi, dal titolo *I professionisti a Cremona*. *Una storia pluricentenaria*, Cremona, Edizioni Libreria del Convegno, 2011. Quanto al tema della formazione tecnico-professionale e per una bibliografia recente cfr. Lacaita (a cura di) (2009), *La leva della conoscenza*; Lacaita (2010), *La cultura tecnico-scientifica nell'Ottocento: problemi e percorsi di ricerca*, in *Rileggere l'Ottocento*. *Risorgimento e Nazione*, a cura di Betri, M.L., Roma, Carocci, pp. 441-456. Si veda, su di un caso specifico, Rosa, V. (2006), *L'età progettuale*. *Scienza, arte e industria a Casalmaggiore* (1820-1911), Casalmaggiore (CR), Biblioteca A. E. Mortara. Si è svolto nell'ottobre 2011, a Milano, il convegno di studi dal titolo *L'istruzione secondaria nell'Italia unita (1861-1901)*, che ha affrontato queste tematiche.

riferimento all'istruzione che oggi definiamo secondaria, del passato come del presente. Lo sottolineano, in diverse occasioni, Lidia Falomo e Paolo Brenni, ²⁴ ricordando, ad esempio, il ruolo svolto dagli strumenti scientifici – non solo a uso didattico – come «mediatori culturali» tra saperi che si muovono, ieri come oggi, a velocità differenti. ²⁵

Sempre Chervel pone l'accento (in un saggio del 1988, ripubblicato nel 1998) sulle questioni di metodo che stanno alla base della storia (e – aggiungerei – del farsi anche nell'oggi) delle discipline scolastiche; per questo egli sottolinea, inoltre, il ruolo di rottura epistemologica che ha avuto nel XIX secolo, in Francia, il tema della *leçon de choses* nella scuola infantile e primaria, pur nella persistenza di certe pratiche e nella mediazione con quanto accadeva di fatto. Si tratta, nelle intenzioni di alcuni di coloro che l'hanno ideata e sostenuta, di una proposta pedagogica e didattica fondata sull'intuizione, a partire dalla concretezza dell'oggetto e sull'esperienza sensibile, non sulla parola del maestro che detta la *lectio* ad allievi reputati insipienti. ²⁶ A questo tema vorrei dedicare, partendo dalle suggestioni di Chervel, una breve riflessione.

Sappiamo che, in Francia come altrove, la didattica basata sulle cose e sulle lezioni di cose (anche in vista dell'acculturazione al mondo della natura e ai primi rudimenti delle competenze scientifiche) non inizia, ieri come oggi, nella scuola secondaria, ma, ad esempio, variamente, dopo l'Unità, nel nostro Paese, nella scuola di base. Se vogliamo limitarci a una riflessione relativa alla seconda metà dell'Ottocento (lo stesso periodo in cui si costituisce in un'istituzione secondaria cremonese, l'Istituto "Vacchelli", l'ultima in ordine di tempo delle collezioni studiate), nella scuola di base (dell'infanzia ed elementare) di questa città, come in altri luoghi, si realizza un intreccio di metodi e strumenti didattici di grande interesse, in riferimento alle lezioni di cose e alla didattica della natura e della scienza. Penso ai materiali approntati alla fine dell'Ottocento per le "lezioni di cose" nelle scuole dell'infanzia ed elementari, penso ai musei didattici di quel tempo.²⁷ Dalle lezioni di nomenclatura di matrice aportiana (dell'inizio del XIX secolo) basate sulle cose semplici (e sulle immagini delle cose), fino alle lezioni di cose, di cui si discute nel Dictionnaire di Buisson e nel Dizionario di Martinazzoli e Credaro tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento, la strada è complessa, articolata e molto interessante anche ai fini del nostro discorso sulla didattica della scienza, ma non solo.

Tali pratiche sono connesse, infatti, nella seconda metà del XIX secolo e non soltanto in Italia, a una 'ginnastica dei sensi', che vuole dare rilievo alle cose prima che alle

²⁴ Brenni, P. (2008), Le collezioni di strumenti scientifici nelle scuole, in I beni culturali della scuola: conservazione e valorizzazione, a cura di Ferrari, M. – Panizza, G. – Morandi, M., «Annali di storia dell'educazione delle istituzioni scolastiche», 15, pp. 145-148; Falomo, L. – Brenni, P., Una premessa, in Bellardi – Falomo – Ferrari (2009), "Per dissipare le loro tenebre ed errori...", pp. 165-169.
²⁵ Sul concetto delle diverse velocità culturali nella società europea del passato cfr., ad esempio, Chartier, R.

²⁵ Sul concetto delle diverse velocità culturali nella società europea del passato cfr., ad esempio, Chartier, R. (1985, sous la direction de), *Pratiques de la lecture*, Marseille, Rivages; Roggero, M. (1999), *L'alfabeto conquistato*, Bologna, il Mulino.

²⁶ Chervel, A., L'histoire des disciplines scolaires, in Chervel, A. (1998), La culture scolaire, p. 34.

²⁷ Su questi temi cfr. Ferrari, M. – Morandi, M. – Platé, E. (2008), *La lezione delle cose. Oggetti didattici nelle scuole dell'infanzia mantovane tra Ottocento e Novecento*, Comune di Mantova, Mantova, Publipaolini. Si veda inoltre il *focus* della rivista «Infanzia», XXXVI/4, 2009 e in particolare Ferrari, M., *La lezione delle cose, un percorso* in fieri *e le sue ragioni*, pp. 243-246. Al riguardo si veda il volume di Monica Ferrari, Matteo Morandi, Enrico Platé, dal titolo, *Lezioni di cose, lezioni di immagini. Studi di caso e percorsi di riflessione sulla scuola italiana tra XIX e XXI secolo*, Parma, Spaggiari-Junior, 2011.

46 Monica Ferrari

parole. Vorrei ricordare, tuttavia, che non di rado ci si lamenta, in quegli anni, di una metodologia a tratti innovativa che sembrerebbe irrigidirsi e impoverirsi, quasi smentirsi, traducendosi nell'operare irriflesso di alcuni docenti. Le finalità di tale proposta sono molteplici. Ne ricorderò una. In alcune realtà del nostro Paese, ad esempio, si vuole far leva sull'efficacia dell'insegnamento 'oggettivo', nelle nuove scuole di base, anche perché dalle cose - semplici - trae origine un processo di significazione che porta alle parole della nuova lingua comune e che si auspica condiviso nelle scuole dell'Italia unita per i figli del popolo. Forse anche perché da lì si possa partire per la costruzione di un senso morale nei nuovi cittadini che ci si prefigge di costruire. ²⁸ La proposta rimanda, non a caso, nelle parole di Giuseppe Sacchi, ²⁹ uno dei pionieri della scuola e dei nidi d'infanzia lombardi, a una metodologia didattica che egli definisce «sperimentale». Per «sperimentale» si intende qui il fare riferimento, nella proposta formativa, all'esperienza concreta delle cose del mondo, in una prospettiva pedagogica latamente definita «positivista».³⁰ Nelle sue diverse e complicate derive, tale approccio è connesso, quanto alle specifiche modalità di realizzazione con i più piccini, anche a una nuova didattica della scienza che data dalla fine del Settecento, basata sull'esperimento pubblico e a una serie di questioni più vaste. Sappiamo che alla fine dell'Ottocento si prepara una svolta, in senso propriamente «sperimentale», di alcune discipline: la psicologia, anzitutto, e poi una certa pedagogia, di marca pragmatista, che avrà fortuna nel Novecento, a partire dall'influenza di Dewey e di tanti altri. Vorrei ricordare inoltre, per l'Italia, anche l'approccio osservativo e scientifico di Maria Montessori al mondo del bambino, al 'segreto' dell'infanzia e il suo investimento sul materiale per lo sviluppo sensoriale. Si tratta, nel complesso divenire del dibattito interno alla comunità scientifica, agli esperti e ai professionisti della formazione, di una costellazione discorsiva che fa la differenza, che apre un altro orizzonte nella relazione educativa. Tra persistenza di pratiche che vengono dal passato e impulsi al cambiamento, nell'articolato e tortuoso divenire dei processi culturali, tra teorie dell'educare, dichiarazioni di principio e prassi agite ogni giorno, più o meno consapevolmente, si profilano tuttavia nuove riflessioni epistemologiche, nuove teorie della conoscenza, nuove idee della mente.31

Oggetti, strumenti, idee, pratiche d'uso per la storia della didattica della scienza – e non solo – nelle scuole di diverso ordine e grado del nostro Paese, tra passato e presen-

<www-5.unipv.it/lezcose>.

Al riguardo rimando al saggio di Matteo Morandi nel sopraccitato volume di Monica Ferrari, Matteo Morandi ed Enrico Platé. Nel volume si discute, tra l'altro, di una serie di strumenti e materiali didattici appartenenti al Comune di Mantova o comunque legati alle vicende delle scuole mantovane. Anche in questo caso il progetto di ricerca, realizzato da alcuni ricercatori del Centro interdipartimentale pavese Becuscuola, in collaborazione con il Comune di Mantova, ha portato alla costruzione di una collezione digitale, ora all'indirizzo

²⁹ Sacchi, G. (1890), I processi ed i metodi della scuola sperimentale italiana... applicati agli istituti educativi dedicati all'infanzia e alla puerizia, Milano, Pirola. Su questi temi cfr. inoltre D'Ascenzo, M. – Vignoli, R. (2008), Scuola, didattica e musei tra Otto e Novecento. Il Museo didattico "Luigi Bombicci" di Bologna, Bologna, Clueb, con particolare riferimento al primo capitolo; Zuccoli, F. (2010), Dalle tasche dei bambini... Gli oggetti, le storie e la didattica, Parma, Spaggiari-Junior.

³⁰ Per una riflessione e per un'ampia disamina bibliografica recente sul positivismo pedagogico italiano cfr. Cambi, F. (2010), *Cultura e pedagogia nell'Italia liberale (1861-1920). Dal positivismo al nazionalismo*, Milano, Unicopli.

³¹ Citerò qui soltanto il volume di Dewey, J. (prima ed. 1910, seconda ed. 1933), dal titolo (trad. it. 2000) *Come pensiamo*, qui consultato nell'edizione Milano, RCS-La Nuova Italia.

te:³² c'è molto da fare in questo campo. E questo anche perché c'è molto da fare³³ nell'ambito della riflessione sul divenire della cultura *della* scuola (cioè di quello che la scuola costruisce in termini di proposte teorizzate e realizzate, di manuali, di libri, di atti formali documentati, di testimonianze di vita di maestri e allievi) e *per* la scuola (cioè di quello che si propone e si realizza a livello di testi normativi o accademici prodotti in altri contesti).³⁴

Le nuove tecnologie ci possono aiutare al riguardo. Ad esempio, oltre ai documenti della vita delle scuole o a specifici studi di caso messi a punto e pubblicati negli ultimi anni nell'ambito di ricerche particolari, stanno nascendo collezioni digitali di strumentari per la didattica della scienza che consentono il dialogo tra diversi esperti (ricercatori di differenti settori e insegnanti), inaugurando per tutti nuove modalità di fruizione e aprendo così anche nuove piste di indagine, ³⁵ nuovi spazi di crescita culturale (e professionale). In queste collezioni digitali dobbiamo però riversare le nostre riflessioni, a mio avviso, non solo relative allo strumento o al documento in sé, ma al dialogo tra diversi tipi di fonte e, soprattutto, cercare di comprendere, sulla base delle fonti, ovviamente, le pratiche d'uso di oggetti che si presentano spesso come 'muti'. Credo allora che, sulle orme di un suggerimento che Dominique Julia lanciava qualche anno fa dalle pagine della rivista più volte sopra ricordata, ³⁶ quello che conta sia, per lo storico dell'educazione e della didattica, per il pedagogista, per l'educatore, per gli insegnanti, per il ricercatore interessato a questioni epistemologiche, per il formatore dei formatori, ³⁷ ricostruire, ove possibile, le pratiche d'uso. L'analisi pedagogica delle pratiche d'uso, infatti, ove è possibile, consente anche di smentire immagini stereotipate e/o solamente deontiche di modalità didattiche. Insomma, la presenza di una collezione di strumenti scientifici dentro una scuola ieri come oggi – non ci dice ancora nulla, di per sé, dell'uso che effettivamente veniva (e viene) fatto di tali apparati per dimostrazioni didattiche, per esperimenti, nell'ambito di una relazione educativa e delle motivazioni che stanno dietro a tale approccio.

È anche in altri documenti della prassi e nei testi programmatico-teorici che la testimoniano, oltre che nelle storie di vita di allievi e di maestri, nel dialogo con gli insegnan-

³² Sulla didattica della scienza nella scuola primaria cremonese tra XIX e XX secolo cfr. Montel, V. – Rossetti, V. (2003), *Il museo didattico del maestro Ottorino Giannetti*, Cremona, Fantigrafica.

³³ Lo si ribadisce, ad esempio, sulle pagine di riviste di settore quali gli «Annali per la storia dell'educazione e delle istituzioni scolastiche»; penso in particolare al n. 12, 2005.

³⁴ Ferrari, M. (2008), *La memoria della scuola. Documenti volontari e involontari*, in *Infanzia: tempi di vita, tempi di relazione*, a cura di Zerbato, R., Azzano San Paolo (BG), Junior, pp. 267-278.

³⁵ Per una riflessione al riguardo, per una bibliografia e una sitografia cfr. Ferrari, M. (2009), *Postfazione. Per una storia della cultura scientifica a Cremona nell'Ottocento: oggetti, strumenti, idee e pratiche d'uso*, in Bellardi – Falomo – Ferrari (2009), "Per dissipare le loro tenebre ed errori…", pp. 267-274. Si veda inoltre Platé, E. (2009), *Per una collezione digitale della "lezione delle cose" tra passato e presente*, «Infanzia», XXXVI/4, pp. 265-267. Sul tema della storiografia digitale cfr. Ragazzini, D. (2004), *La storiografia digitale*, Torino, Utet, e Bandini, G. – Bianchini, P. (2007), *Fare storia in rete*, Roma, Carocci.

³⁶ Julia, D. (1996), Riflessioni sulla recente storiografia dell'educazione in Europa. Per una storia comparata delle culture scolastiche, «Annali di storia dell'educazione e delle istituzioni scolastiche», 3, pp. 119-147.
³⁷ D.A. Schön sottolinea la necessità di una epistemologia della pratica professionale, in vista della preparazione di professionisti riflessivi: cfr. Schön, D.A (1983), Il professionista riflessivo. Per una nuova epistemologia della pratica professionale, trad. it. Bari, Dedalo, 1993; Schön, D.A. (1987), Formare il professionista riflessivo. Per una nuova prospettiva della formazione e dell'apprendimento nelle professioni, trad. it. Milano, Franco Angeli, 2006.

48 Monica Ferrari

ti, nell'osservazione sistematica del quotidiano, quando ne abbiamo la possibilità, ³⁸ che dobbiamo cercare le tracce di una didattica (in divenire) della scienza e di altre discipline. A un'analisi più ravvicinata delle fonti a nostra disposizione relative a singole istituzioni, tali percorsi di insegnamento/apprendimento si rivelano, talora, faticosi, ieri come oggi, per l'articolazione del calendario di lavoro interno a ogni specifica realtà, per la mancanza di strutture e di risorse, ma anche per le restrizioni d'orario decise altrove, magari a livello macrosistemico, come ricorda Guglielmo Calderoni, professore di fisica a Cremona nel 1895. ³⁹

³⁸ Mi permetto di citare un'esperienza di osservazione sistematica del quotidiano realizzata nella SILSIS pavese. Cfr. Ferrari, M. (a cura di) (2003), *Insegnare riflettendo. Proposte pedagogiche per i docenti della secondaria*, Milano, Franco Angeli.
³⁹ Rimando per questo al mio saggio sul liceo-ginnasio in Bellardi – Falomo – Ferrari (2009), "Per dissipare

³⁹ Rimando per questo al mio saggio sul liceo-ginnasio in Bellardi – Falomo – Ferrari (2009), "Per dissipare le loro tenebre ed errori...", p. 28. Sulla figura di Calderoni e sulla sua didattica si veda inoltre Poli, R., Costruttori e inventori di strumenti scientifici a Cremona tra XVIII e XIX secolo, in "Per dissipare...", pp. 85-147, e, inoltre, Poli, R. (2005), G. Calderoni e l'insegnamento della fisica a Cremona nella seconda metà dell'Ottocento, «La Scuola Classica di Cremona», Annuario 2005, pp. 385-402.

Immagini tra arte e scienza: compresenze e configurazioni

Gabriele Albanesi. I Circolo Didattico di Pavia

Abstract: Le rappresentazioni del suolo lunare, tracciate con mano d'artista da Galileo Galilei e affidate alle pagine del Sidereus nuncius (1610) possiedono davvero un valore emblematico: forse per la prima volta la realtà esterna è descritta oltre gli schemi di un realismo intellettuale pesantemente legato alla tradizione della cultura medioevale. Una nuova 'cultura delle immagini' invece comincia a definirsi dalle esperienze galileiane e grazie alla mediazione di specifiche competenze artistiche e pittoriche, l'occhio dell'uomo moderno prende coraggio, si fa forza di proprie intuizioni. Un anticipo, si può ipotizzare, di quella spontanea attività di 'configurazione' che permetterà in epoca contemporanea di Rudolf Arnheim di definire la visione come «...un'attività creativa della mente umana», in virtù della quale «vedere è riconoscere»... Questa assoluta, per così dire, 'modernità percettiva', è la stessa che permette all'uomo contemporaneo, all'uomo di scienza, di vivere serenamente la sua completa 'fiducia nelle immagini', a partire dalle restituzioni del telescopio Hubble, godute e accettate, nella logica configurativa, con tutta l'oggettività che esse meritano, col valore aggiunto di esaltanti suggestioni estetiche. La compresenza di valore oggettivo e valutazione estetica costituisce allora una sorta di stimolante avvicinamento tra scienza e arte... Ed è sempre questa attività configurativa, per la prima volta messa a fuoco dal debole cannocchiale galileiano, che è capace di superare forme iniziali di ambiguità visiva quando, all'oculare di un microscopio a luce polarizzata, si presentano all'analisi, per esempio, sezioni sottili di minerali. Un'ambiguità che invita alla ricerca e quindi si tramuta in arricchimento perché basata, in atteggiamento davvero 'galileiano', sulla 'credibilità'del nostro sistema percettivo.

The representations of the moon, drawn with artistic ability by Galileo Galilei and published on the pages of the Sidereus nuncius (1610), have a real emblematic value: perhaps, for the first time, the external reality is described beyond the schemes of an intellectual realism, strongly linked to the tradition of the medieval culture. A new "culture of the images" starts to be defined through the experiences of Galileo and, thanks to the mediation of specific artistic competences, the eye of the modern man gets stronger through its own intuitions. It is a hypothesis which anticipates a spontaneous activity of "configuration" ("shape") that will be later defined by Rudolf Arnheim as «... a creative activity of the human mind...», for which «seeing is recognizing». This absolute "perceptive modernity" is the same that enables the contemporary man, the scientist, to live with serenity his complete "trust in images", starting from the pictures of the Hubble telescope enjoyed and accepted, in the logic of configuration, with all the objectivity they deserve, with the addition of aesthetic suggestions. The presence both of objective value and aesthetic evaluation represents a sort of stimulating approach of science to art. This activity of configuration, for the first time focused by the weak telescope of Galileo, is able to go beyond initial forms of visual ambiguity when, for example, thin layers of minerals are observed through a microscope. This ambiguity represents an invitation to the scientific research and it turns into richness because it is based on the credibility of our perceptive system.

50 Gabriele Albanesi

1. Galileo: una nuova 'cultura delle immagini'

Quando, nella primavera del 2009, fu allestita la sezione didattica *Con gli occhi di un bambino* all'interno del laboratorio galileiano *Dalla terra al cielo*, per iniziativa del Dipartimento di Fisica "A. Volta" della nostra Università, ¹ era naturalmente noto ai curatori e agli stessi docenti degli Istituti scolastici coinvolti che la figura di Galileo si prestava in modo esemplare a una serie di rimandi di natura formativa e didattica, anche di tipo cognitivo, che fanno parte del discorso pedagogico, a partire dalla definizione di quel 'realismo visivo' che è tanta parte delle riflessioni sulla 'rappresentazione del mondo' (Piaget) nell'età evolutiva.

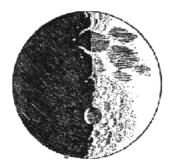




Figura 1. La luna disegnata da Galileo nel Sidereus nuncius (1610)

L'occhio del grande pisano, che ci piace immaginare appoggiato all'obiettivo del 'suo' cannocchiale rivolto alla luna in 'quelle' notti del 1609 è alle prese con emblematiche ambiguità: in questo scarno campo visivo, ridotto a circonferenza, dalla problematica messa a fuoco, equivoca e vaga, macchie, riflessi, sovrapposizioni generano dubbi e mascherano certezze... Eppure è proprio in questo convergere simultaneo, come possiamo immaginare, di antichi schemi e intuizioni geniali, prepotenti convinzioni consolidate e anticipi visivi e percettivi che l'immagine 'della luna' si 'staglia' decisa, seppur di difficile lettura, e'si differenzia' oggettivamente dalla 'luna vera'.

Piace pensare che su una triplice definizione/concezione/distinzione di *corpo visibile* (la luna 'vera', l'immagine della luna all'occhio di Galileo e l'immagine mentale stereotipa e schematica della luna aristotelica) abbia cominciato a crescere una prima definizione di 'immagine moderna', alla quale si è potuto affidare il compito di iniziare l'osservazione moderna dell'universo.

¹ Dalla terra al cielo/il laboratorio di Galileo, San Genesio ed Uniti, 2 marzo-24 maggio 2009 (a cura di Falomo, L., Dipartimento di Fisica "A. Volta", in collaborazione con il Sistema Museale d'Ateneo dell'Università degli Studi di Pavia); Con gli occhi di un bambino tra arte e scienza: laboratorio di osservazione e rappresentazione, (interventi: Scuole d'Infanzia, Primarie e Secondarie di I grado del territorio).

Quale delle tre lune è dunque quella 'vera'? Una domanda stupefacente e impossibile, quando è rivolta da un insegnante di Scuola d'Infanzia al suo piccolo allievo, il quale non trascina con sé schemi aristotelici, ma è già permeato di luoghi comuni visivi, dai quali gli sarà difficile, senza aiuto, liberarsi.

Ad aiutare Galileo invece, come sappiamo, ci pensò l'arte visiva, particolarmente la pittura: «...fu eccellente disegnatore», ci riferisce Erwin Panofsky,² «predilesse e comprese con 'gusto perfetto' tutte le arti derivate dal disegno».

«Se dobbiamo credere ai suoi biografi», precisa l'autore, «egli fu dapprima incline a studiare pittura anziché matematica...». Dove per quel 'gusto perfetto' si dovrà forse far riferimento a categorie quattro/cinquecentesche. Prima di tutte la prospettiva, alla cui conoscenza si attribuisce tradizionalmente tutta la potenza e la verità delle 'discoperte' galileiane. In un passaggio tratto da un testo di Martin Kemp,³ con l'intenzione di chiarire se e quanto, guardando attraverso il telescopio, Galileo abbia in qualche maniera creato nuovi rapporti tra visione e conoscenza, la faccenda della 'competenza prospettica' viene descritta così:

La prima delle controversie riguardava l'interpretazione delle luci e delle zone d'oscurità chiaramente distinguibili sulla Luna, in particolare nell'interfaccia tra la porzione pienamente illuminata e quella in ombra. Galileo, ben versato nella scienza della prospettiva e nella teoria artistica della proiezione delle ombre, fu in grado di argomentare che il modo più razionale d'interpretare le mutevoli configurazioni di luce e oscurità era quello di ritenerle causate dal gioco delle ombre proiettate dai giganteschi lineamenti topografici, fra i quali le montagne. Il secondo episodio concerne le chiazze che si vedevano muovere attraverso l'immagine del sole, la cui superficie era ritenuta perfettamente omogenea. Galileo, considerando lo scorcio prospettico delle macchie nel loro approssimarsi ai bordi del sole, sostenne che esse costituivano parte integrante della superficie, e non ombre causate da corpi interposti. Il suo metodo di argomentazione, come spiegò lui stesso, era 'in virtù di prospettiva'.

L'avanzata comprensione da parte di Galileo dei principi della rappresentazione artistica, che ha ispirato il suo metodo di analisi ed esposizione di questi due casi, è indubbiamente in modo ancor più generale importante per la sua teoria e la sua pratica dell'osservazione...

Citazioni come questa avallano la tradizionale concezione del contributo che il mondo dell'arte visiva e delle tecniche relative ha avuto in queste specifiche esperienze galileiane. Questo innegabile incontro tra arte e scienza può ancora, tuttavia, essere approfondito ed esplicitato:

Indubbiamente quello che Galileo vide puntando il telescopio sulla Luna fu influenzato dal suo cervello e dalle sue conoscenze nel campo dell'arte.

² Panofsky, E. (2008), Galileo critico delle arti, a cura di Mazzi M.C., Abscondita Ed., p. 20.

³ Kemp, M. (1999), *Immagine e verità, Per una storia dei rapporti fra arte e scienza*, Il Saggiatore, pp. 101-102.

52 Gabriele Albanesi

È significativo che le osservazioni astronomiche di Galileo e la loro interpretazione, che diedero origine a una svolta epocale nelle conoscenze dell'uomo, furono rese possibili dall'incontro delle due culture, umanistica e scientifica, in un uomo di grande ingegno.⁴

Grande ingegno, in che senso? C'è probabilmente uno scarto, nella genialità galileiana, che ha arricchito ulteriormente il convergere di competenze diverse (artistiche e
scientifico/matematiche) nell'osservazione al telescopio e che porta, come pensiamo,
ad una definizione di immagine sensibilmente più aggiornata, anche rispetto a queste
stesse competenze: questa 'autonomia dell'immagine' dall'oggetto rappresentato,
questa definizione certamente più 'moderna' della rappresentazione visiva, sono il
frutto della caparbia decisionalità di mantenere la ricerca oltre il dualismo tra realismo visivo e realismo intellettuale; questa fiducia nell'osservazione si comprende con
più facilità se si riconosce nella cultura galileiana l' anticipo appena accennato, perfino inconsapevole, di alcune regole fondamentali che appartengono a quella che nella
cultura contemporanea definiamo 'percezione visiva', una categoria di riferimenti
oggettivi che Galileo non poteva conoscere, ma che la sua genialissima intuizione ha
potuto in qualche modo prevedere. E ci riferiamo, in modo specifico, alla struttura
percettiva che tra i primi Rudolf Arnheim, e dopo di lui l'intera letteratura di studi
sulla percezione, sono soliti riunire sotto la categoria della 'configurazione'.

'Configurare': distinguere, rapportare, confrontare e quindi definire le singole forme all'interno di un campo visivo comune e dunque giustificare le singole parti tra loro e queste con lo sfondo. La configurazione è la modalità stessa della visione e, nello stesso tempo, la condizione di essa, senza alcun altro intervento di natura non percettiva. Aggiungeremo: senza l'intrusione di schemi visivi predefiniti, preconcetti, pregiudizi di sorta.

Che la 'visione', per dirla appunto con Arnheim⁵ sia 'un'attività creativa della mente umana' e dunque una'organizzazione' degli stimoli visivi, seguendo le indicazioni necessitanti di specifiche 'strutture percettive', che 'vedere' significhi prima di tutto 'riconoscere' e che, in generale, tutta l'attività percettivo/visiva implichi contemporaneamente specifiche strutture e una considerazione 'globale' dell'atto visivo nei confronti del 'mondo' visibile, questa è una concezione assolutamente a noi contemporanea. Galileo sembra anticiparne alcune dinamiche, a partire dunque da quella capacità di 'configurare' che è attività complessa, che procede per confronti, rapporti, deduzioni e abbandoni e che, prima ancora delle forme simboliche della prospettiva quattrocentesca, si affida a specifiche strutture di base 'concetti rappresentativi' come il rapporto figura/sfondo, il raggrupparsi delle forme semplici in agglomerati significativi, ecc.

L'osservazione galileiana sembra anticipare, ed è questa un'ipotesi di sconcertante modernità, non solo l'applicazione ermeneutica, ma anche l'intuizione della stessa definizione di quella 'buona forma', per esempio, che è uno dei cardini della lettura percettiva. Dunque: l'osservazione galileiana procede per tentativi, con l'intenzione

_

⁴ Maffei, L. - Fiorentini A. (1995), Arte e cervello, Zanichelli, p. 33.

⁵ Arnheim, R. (1988), *Arte e percezione visiva*, Feltrinelli, p. 59.

chiara, tesa non solo ad eliminare schemi antichi e preconcetti, ma con la precisa consapevolezza che l'osservazione come metodo ha un riferimento specifico nell'autonomia interpretativa della mente umana, a partire dai meccanismi stessi dell'osservazione, della visione e della percezione visiva che acquistano, in questo senso, un assoluto valore di verità e di autonomia. E di libertà di analisi.

Il vasto e ricco bagaglio di competenze di natura teorico/artistica o tecnico/artigianale di cui Galileo andava probabilmente fiero, tanto da indicarlo come punto di riferimento per numerosi artisti dell'epoca, si mette dunque a confronto, a disposizione della necessità della scoperta, dell'interpretazione del vago e dell'indistinto
secondo strutture e meccanismi che qualche studioso di scuola gestaltica definirebbe
'innati'(con il consenso di Arnheim); questo lavorio nel contempo elaborativo e strutturante della macchia, dell'ombra informale, della figura insignificante... ha radici
lontane e non è certo prerogativa della superficie lunare!

È l'eterno gioco elaborativo e fantastico che riconosce da sempre (e non solo nei bambini) figure, volti, animali e costrutti nelle nuvole, così come settant'anni fa qualcuno credeva di indovinare nei crinali in controluce delle colline del Monferrato il profilo di Benito Mussolini e oggi, come ieri, nelle macchie di umidità delle antiche mura dei borghi medioevali il sorridente e bonario volto di San Pio da Pietrelcina. Naturalmente, per chi li vuol vedere.

Il gioco era stato già svelato da Leonardo da Vinci, quando nel suo *Trattato sulla pittura*, ⁶ invitava i giovani di bottega a prestare attenzione e studio a muri scrostati e macchie di umidità:

[...] Non resterò di mettere fra questi precetti una nuova invenzione di speculazione, la quale, benché paia piccola e quasi degna di riso, nondimeno è di grande utilità a destare l'ingegno a varie invenzioni. E questa è se tu riguarderai in alcuni muri imbrattati di varie macchie o in pietre di vari misti.

Se avrai a invenzionare qualche sito, potrai lì vedere similitudini di diversi paesi, ornati di montagne, fiumi, sassi, alberi, pianure grandi, valli e colli in diversi modi; ancora vi potrai vedere diverse battaglie ed atti pronti di figure strane, arie di volti ed abiti ed infinite cose, le quali tu potrai ridurre in integra e buona forma; che interviene in simili muri e misti, come del suono delle campane, che ne' loro tocchi vi troverai ogni nome e vocabolo che tu t'immaginerai. Non isprezzare questo mio parere, nel quale ti si ricorda che non ti sia grave il fermarti alcuna volta a vedere nelle macchie de'muri, o nella cenere del fuoco, o nuvoli, o fanghi, od altri simili luoghi, né quali, se ben saranno da te considerati, tu troverai invenzioni mirabilissime, che destano l'ingegno del pittore a nuove invenzioni si di componimenti di battaglie, d'animali e d'uomini, come di vari componimenti di paesi e di cose mostruose, come di diavoli e simili cose, perché saranno causa di farti onore: perché nelle cose confuse l'ingegno si desta a nuove invenzioni [...].

_

⁶ Leonardo da Vinci, Trattato della pittura, § 63.

54 Gabriele Albanesi

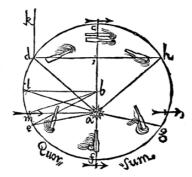


Figura 2. Johannes Kepler, Immagine di un'orbita in analogia a una barca nella corrente, da *Astronomia nova*, Heidelberg, 1609

Ciò che vale per i muri scrostati, ha senso forse anche per le immagini confuse e offuscate offerte dal cannocchiale di Galileo, il cui ingegno, appunto, s'è ben destato e a quali... 'nuove invenzioni'! Attribuiremo infine volentieri al genio galileiano una duttilità di lettura e di confronto tra immagini e tra concetti che ritroviamo con buona facilità in quelle forme di *pensiero analogico* che procedono per somiglianze, estensioni e riduzioni di significato, perfino per metafore, forme e atteggiamenti che sono prevedibili in chi, per la prima volta, osserva con uno strumento nuovo un corpo fisico con l'intendimento chiaro e deciso di fare affidamento solo sui propri strumenti d'osservazione. Un inciso:l'iconografia d'ispirazione analogi-co/simbolica non finisce naturalmente col Medioevo, ma prosegue, come accade spesso per gli schemi consolidati, continua e sopravvive mescolandosi ad altre immagini ritenute più 'realisticamente corrette', cambiando spesso funzione e spessore.

2. Macrocosmo: le immagini 'belle' con gli occhi di Hubble



Figura 3. Nuvole in controluce

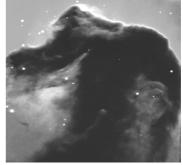


Figura 4. La nebulosa 'Testa di cavallo' nella costellazione di Orione, ripresa dal telescopio Hubble

Dalle macchie sui muri, all'evanescente mutevolezza delle nuvole «che vanno e vengono e a volte si fermano» (Fabrizio De Andrè), dagli acquerelli lunari di Galileo, tra le pagine del *Sidereus nuncius*, agli splendori delle galassie e costellazioni restituite dai potenti telescopi della generazione Hubble: a quattrocento anni dalle esperienze galileiane, le competenze e le suggestioni della lettura delle immagini si sono affinate, sono consapevoli, appartengono alla cultura iconica di base (si imparano a scuola), mentre è vero che anche oggi i bambini continuano a sognare figure e mostri e animali strappati dalle nuvole (ma anche gli adulti e gli uomini di scienza sensibili), e c'è ancora qualcuno che si ostina a voler intravvedere tra le umidità dei muri e delle porte socchiuse entità, ectoplasmi, fumi e ombre furtive, mentre l'uomo di scienza, il fisico, l'astronomo con entusiasmo si perdono volentieri nelle fantastiche profondità e colori dell'universo.

Le immagini da Hubble, per esempio, sono di una vivacità e di una qualità assolutamente 'moderne'; si può immaginare, così, per gioco, lo stupore e lo sconcerto che avrebbe potuto provare, alla loro improbabile vista, lo stesso occhio di Galileo. Una qualità di visione da mettere in imbarazzo (forse) la stessa Sacra Inquisizione. Una qualità non confrontabile con i parametri visivi e percettivi dell'uomo del '600. E tuttavia il meccanismo della loro fruizione, 'al netto' delle strategie dell' elettronica e di una tecnologia sempre più raffinata, continua anche oggi a passare attraverso identiche strutture configurative e percettive: l'identificazione della colomba (o di un cuore) nella nuvola di Figura 3 è frutto della stessa natura configurativa che dà nome alla costellazione 'Testa di cavallo', nella Figura 4. Le stesse figure zodiacali non sono il risultato di configurazioni visive che eliminano le distanze e s'imbellettano di analogie di natura simbolica a metà strada tra la mitologia e la zoologia?

Ancora e sempre 'vedere' significa dunque 'riconoscere'... con l'aggiunta, ai nostri giorni, di una 'malizia visiva' del tutto estranea all'occhio di Galileo, costretto a dover combattere contro visioni, per così dire,ultraterrene. Una malizia perfino inconsapevole, che cresce sull'acquisizione veloce e disordinata di una moltitudine di immagini che i media riversano sull'occhio accogliente dell'uomo contemporaneo. Crescono in lui, di conseguenza, capacità di lettura e di interpretazione del mondo delle immagini che, inevitabilmente, per una sorta di economia di sopravvivenza, si traducono in più sottili competenze di natura percettiva e in potenziamento delle abilità di tipo configurativo. Televisione e computer, soprattutto, raffinano quotidianamente il loro linguaggio visivo, per una logica di esasperante competitività. Basta, per esempio, confrontare le inserzioni pubblicitarie, schiacciate in modo fulmineo, affollato e nevrotico negli interstizi di ogni palinsesto: ritmi, colori, sovrapposizioni, sequenze, suoni e rumori, vengono offerte allo spettatore nella logica della fruizione immediata. Lo spettatore, involontariamente, si aggiorna, snellisce le proprie capacità di organizzare le immagini, di rapportarle tra loro e al'racconto' che le contiene, insomma, impara a raffinare le proprie capacità di interpretazione. Su queste, di nuovo, i media imposteranno nuove modalità di immagine in una sorta di circolo vizioso nel quale fanno fatica oggi a riconoscersi perfino persone di una certa età, che hanno vissuto itempi delle prime trasmissioni televisive in bianco e nero, le cui modalità di fruizione oggi paiono lente, impacciate, poco comunicative.

56 Gabriele Albanesi

L'occhio di Galileo è, in questo senso, ancora primordiale, poco 'allenato'e tuttavia, ancora una volta, premonitore: l'uomo contemporaneo sta infatti acquisendo, appunto per la sua dimestichezza con il mondo delle immagini, una chiara ed evidente 'fiducia nelle immagini'. Nessuno oggi metterebbe in dubbio che le sequenze di un filmato della National Geographic 'non corrispondano al vero'! Non si hanno incertezze sul realismo delle immagini, il che è atteggiamento molto *galileiano*, fatte le debite proporzioni.

E tuttavia una contraddizione ci aspetta dietro l'angolo (o sotto lo schermo, come preferiamo): le stesse immagini su schermo della cui corrispondenza al vero non è lecito dubitare, accontentano il realismo visivo, ma pagano un prezzo, per farlo! È il prezzo della perdita di quella specificità percettiva (fisiologica, psicologica...) che solo la visione diretta dell'originale ci può offrire. Come nella citazione d'obbligo all''aura'di Benjamin, è la visione diretta dell'unico esemplare reale di un' opera d'arte che viene perduta! Quante Gioconde pullulano in rete! E sono tutte copie mediatiche dell'unica appesa al Louvre per la gioia di frotte di giapponesi entusiasti. Questo distacco tra immagine e oggetto reale allontana la realtà, la costringe sullo sfondo. E questo è davvero poco galileiano. È come se il mondo delle immagini andasse per conto suo, con le sue regole percettive e le sue suggestioni con figurative.

E con le sue suggestioni estetiche. Che ci ricordano un altro prezzo da pagare. Questa volta alla cultura umanistica: l'attribuzione di categorie di tipo comunemente definito 'estetico', come 'bellezza', 'piacevolezza' (il 'piacere di vedere'), perfino l'utilizzo di enfasi valutative ('immagini sublimi, magnifiche, perfette, suggestive, indescrivibili'), questo ampliamento semantico che offre l'impressione di ingigantire le suggestioni offerte, per esempio, ancora una volta dal telescopio Hubble o da microscopi altrettanto aggiornati (come vedremo più avanti) sono in fondo un cedimento a quel background romantico che ci trasciniamo dai tempi del liceo, alimentato dalla suggestione di tramonti infuocati, tanto veri' da sembrare 'artefatti', dipinti da quella inquietudine metafisica dello spazio infinito che ci piace ammirare, per esempio, nelle tele di C.D. Friedrich (tanto per citare un romantico 'vero').

Questa vera e propria estensione della 'sindrome di Stendhal' dalla sacralità della Cappella Sistina alla costellazione di Orione, con tutti i suoi splendori elettronici, può certo entusiasmare ed emozionare. Le parole vanno naturalmente usate con la necessaria parsimonia,perché il rischio di accreditare le immagini dell'universo alla contestualità artistica è facile e spontanea, ma non priva di ambiguità!⁸ È un'estensione che ci concediamo anche quando chiamano 'arte infantile' la grafica dei nostri figli e nipoti.

⁷ Il rimando va al citatissimo saggio: *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*, Einaudi, N. Politecnico, 1966.

⁸ Questo accredito appare più giustificabile se riferito a quella che può essere definita la 'cultura dell'astrazione e dell'informalità': l'arte contemporanea ha definitivamente offerto diritto d'ospitalità, nell'ultimo cinquantennio, a forme espressive di tipo non figurativo, che sono andate così ad aggiungersi all'arte decorativa e a forme di creatività visiva che alle generazioni precedenti apparvero insignificanti o 'brut', comunque prive di valori formali, artistici, poetici ed estetici, come per esempio le arti dei popoli primitivi o dei bambini. I parametri estetico/espressivi dell'uomo contemporaneo invitano ad accettare le suggestioni del segno puro, del colore libero, del gesto grafico spontaneo, anche in assenza di riferimenti realistici. In questo senso siamo predisposti ad allargare i confini dell'arte, facendovi entrare immagini di natura diversa, purché ricche di suggestioni formali e cromatiche, come le immagini dell'universo offerti da Hubble. Le quali, in aggiunta ai valori formali, posseggono anche tutte le garanzie della veridicità.

A questo punto, il richiamo alla figura di Galileo e alla sua duplice competenza artistico/scientifica, zoppica un poco, perché il grande pisano resta, sostanzialmente, uomo di scienza anche quando si occupa di rappresentazione visiva.



Figura 5. Caspar David Friedrich, (1774-1840), Viandante sul mare di nebbia, 1818, Amburgo, Kunsthalle

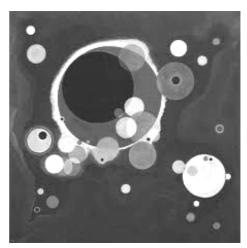


Figura 6. Wassily Kandinsky, dipinto del 1913

2. Microcosmo: ambigue sezioni sottili al microscopio

Stando ai commenti di alcuni studenti delle scuole dell'obbligo in visita al Museo di Mineralogia, presso il Dipartimento di Scienze della Terra della nostra Università, per la prima volta messi a confronto, e con infinito entusiasmo, con le suggestioni di *sezioni sottili* al microscopio a luce polarizzata, nella infinita variabilità di queste sezioni 'così uguali e così diverse' sembra non essere percepito immediatamente un ordine, una conformazione, una forma o struttura o costrutto come quelli che denotano una galassia nell'universo conosciuto: se 'mescolo' una galassia, ipotizzava disinvoltamente un allievo, non la riconosco più, riconosco i componenti (stelle e altri corpi) ma non, traducendo in termini adulti, la configurazione generale. Ed è una sensazione che prende anche gli adulti, naturalmente non 'specializzati nel settore'. Ogni

⁹ Si tratta di una serie di laboratori e di visite guidate ai Musei del Sistema museale dell'Ateneo pavese, da parte di classi di alunni e studenti delle Scuole dell'Infanzia, Primarie e Secondarie di primo grado che hanno lavorato nel corso dell'anno scolastico 2010/2011 al Progetto *L'isolachenonc'è*, nel contesto delle manifestazioni a celebrazione dei 650 anni dell'Università di Pavia, per iniziativa del CEM (Centro Educazione ai Media) di Pavia cui hanno collaborato il Centro per la Storia dell'Università, Pavia Musei, le Scuole dell'obbligo coordinate dal I Circolo Didattico di Pavia e alcuni Istituti Secondari di secondo grado della città, con presentazione di elaborati di natura grafico/pittorica e filmica (maggio 2011), ispirati a docenti, studiosi e personaggi 'illustri' nella storia plurisecolare dell'Ateneo pavese.

58 Gabriele Albanesi

sezione sottile dello stesso elemento o minerale si presenta come una medesima micro-galassia rimescolata la cui configurazione varia ad ogni esposizione di luce, ad
ogni singola visione. È anche vero che ogni elemento o minerale presenta, in sezione
sottile, grazie alle sue specifiche componenti una medesima tipologia con figurativa
in virtù del fatto che le singole parti si articolano tra loro 'in un modo specifico', con
modalità molto particolari, per la compresenza ad esempio di specifici elementi differenti per forma, colore e struttura interna.

Abbiamo evidentemente, in questo tipo di immagini, una definizione di configurazione più debole, dal punto di vista visivo, che gioca tra il denotativo (descrittivo) e il connotativo (confronti, analogie e ampliamento di significato)e altrettanta ambiguità.

Sono immagini, si direbbe, che offrono vastissime possibilità di confronti e in particolare:

- con immagini di tipo naturalistico (topografie, paesaggi, fiori, ecc.)
- con immagini di tipo materico/informale (greto di un torrente, corteccia, textures diverse)
- con immagini di tipo geometrico/decorativo
- con immagini di tipo artistico informale e astratto

Nel caso delle immagini artistiche, non è raro imbattersi in opere d'arte, e relative immagini, assai simili a sezioni sottili, in qualche caso a vere e proprie indistinguibili coincidenze. Questo accade volentieri nei confronti con l'arte contemporanea. Mentre tuttavia le analogie con l'arte astratta sono poco avvincenti e pertinenti, per l'assenza di strutture compositive significative e corrette dal punto di vista percettivo (peso,equilibrio delle forme, significato dei colori, rapporti con i confini del campo visivo/cornice), quelle con l'arte informale sono assai più frequenti e probabili, perché l'arte informale riesce (non sempre con facilità) a produrre figurazioni improntate ad una sorta di casualità operativa molto simile a quanto accade in natura (e dunque nel corpo stesso di una sezione sottile). In questi rapporti tra sezione sottile e arte figurativa vanno evidentemente messe tra parentesi le motivazioni di tipo estetico/formale, poetico e comunicativo.

Sono proprio i numerosi casi di identificazione o impossibilità oggettiva di differenziazione che ci lasciano in balia di una vera e propria ambiguità percettiva. In questi casi si possono individuare tre diverse tipologie del senso della 'configurazione':

- è il pittore che 'imita' la sezione sottile e dunque pone in atto una sorta di *configurazione imitativa*, ricalcando le stesse conformazioni e rapporti spaziali presenti nell'originale sulla sua tela o foglio di carta
- è la sezione sottile che può venir 'letta' in senso percettivo, facendo nascere nell'osservatore, che non è necessariamente un pittore, una sua *configurazione specifica*
- è la sezione sottile che viene riconosciuta, ad un lettore che non è il pittore, ma che si pone di fronte all'immagine della sezione sottile e contemporaneamente a quella dell'opera d'arte che imita la sezione, in possesso di una configurazione analoga a quella di un quadro che le assomiglia.

Un osservatore sprovveduto potrà trovarsi con buona probabilità in situazione di stallo, non essendo in grado di realizzare gli opportuni confronti e differenze. Questa ambiguità alla fine va a tutto vantaggio delle sezioni sottili, come a dire che la natura, in questo caso, in mancanza di altre informazioni, ha la stessa potenza comunicativa di un'opera d'arte!

Se abbiamo ipotizzato lo stupore di Galileo di fronte ad un fotogramma inviato da Hubble, dobbiamo con la stessa sfrontatezza immaginare il grande pisano, opportunamente aggiornato sull'arte contemporanea non figurativa, con l'occhio (l'occhio di Galileo, perbacco!) appoggiato all'oculare di un microscopio a luce polarizzata intento ad osservare la sezione sottile di un porfido che sembra un quadro di Jean Dubuffet e poi pensare di offrirgli l'immagine di un quadro di Dubuffet assai simile ad una sezione sottile di porfido (Figura 11). E chiedergli delucidazioni! Decisamente più complesso e inquietante della superficie lunare!

Ma meno rischioso.



Figura 7. Fotografia 'geoartistica' di Bernardo Cesare (Università di Padova): come spesso avviene negli organismi viventi, anche nei minerali la 'crescita' può avvenire in aggregati a disposizione raggiata, che simulano dei fiori. Un esempio molto bello si ha con questo 'girasole' proveniente da una roccia del Madagascar; in realtà i suoi petali sono minutissimi cristalli di quarzo, e le sue dimensioni non superano i 3 millimetri . Si tratta della fotografia di una sezione sottile del minerale ripresa tramite una fotocamera digitale abbinata ad un microscopio ottico a luce trasmessa e polarizzata, nella modalità a due polarizzatori incrociati

60 Gabriele Albanesi

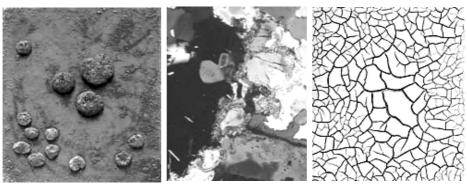


Figura 8. Opera pittorica di Yves Klein

Figura 9. Sezione sottile di roccia magmatica

Figura 10. Un'opera materica di Alberto Burri ('Cretto')

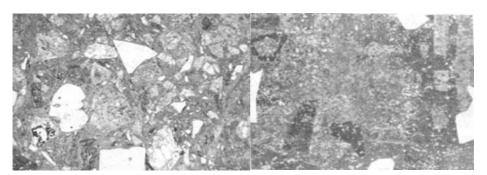


Figura 11. Difficile distinguere, nelle due immagini, una sezione sottile di porfido da un'opera pittorica di J. Dubuffet (*Topografia rossastra*, 1958)

L'insegnamento della didattica e della storia delle scienze all'Università di Pavia

Antonella Berzero, Sistema Museale di Ateneo

Abstract: Nel presente contributo si cerca di illustrare il quadro generale emerso prendendo in esame i corsi di insegnamento di storia e di didattica delle scienze attivi presso l'Università di Pavia, sia quelli presenti nei corsi di laurea che quelli nel post laurea. Di alcuni degli insegnamenti di più antica tradizione vengono inoltre forniti brevi cenni storici.

In this paper we present an overview of the courses of history of science and science education at the University of Pavia, at both undergraduate and postgraduate level. The paper also provides a brief historical account of some of the older courses.

1. Uno sguardo sul passato

Quando una giovane mente in formazione intraprende lo studio di un qualsiasi ramo della conoscenza scientifica, deve per prima cosa ripercorrere più o meno rapidamente le principali tappe che l'umanità ha dovuto superare nel passato per costruire la scienza contemporanea.

Questo scriveva nel 1960 il premio Nobel per la fisica Louis De Broglie nel suo libro *Sui sentieri della scienza*. Un'opinione certo autorevole che doveva evidentemente essere stata fatta propria, ben cento anni prima, da uno straordinario personaggio del mondo scientifico italiano ed europeo: Paolo Mantegazza.

Laureatosi in Medicina a Pavia nel 1854, trascorse il primo periodo della sua vita di medico in Argentina. Tornato in Italia, nel 1860 divenne professore ordinario di Patologia Generale a Pavia e vi fondò il laboratorio di Patologia Sperimentale, il primo in Italia, dove si sarebbero formati, tra gli altri, due altri nomi molto illustri della medicina: Giulio Bizzozzero e Camillo Golgi, futuro premio Nobel. Nell'arco di un decennio i suoi interessi si spostarono poi progressivamente verso l'antropologia, finché divenne, nel 1873, titolare della cattedra di Antropologia di Firenze.



Figura 1. Paolo Mantegazza Monza, 1831- San Terenzo, 1910

A Firenze fondò il Museo Nazionale di Antropologia ed Etnologia, la Società Italiana di Antropologia e

Etnologia e l'Archivio per l'Antropologia e l'Etnologia. Instaurò rapporti con le principali società antropologiche del mondo, con linguisti, storici delle religioni, orientalisti, statistici, paleontologi e archeologi, diventando uno dei principali animatori degli studi antro62 Antonella Berzero

pologici in Italia e strenuo fautore delle teorie darwiniane. A lui i naturalisti Sommier e Levier dedicarono una nuova pianta, un'ombrellifera gigante, scoperta nel 1890 nel loro viaggio in Caucaso (*Heracleum mantegazzianum*). A ispirarli fu forse, oltre alla loro amicizia, proprio la straordinaria vitalità della pianta, divenuta una delle più temibili invasive nell'Europa centro settentrionale.

Ingegno brillante, eclettico e poliedrico, fu sicuramente un uomo proiettato nel futuro, autore sia di studi scientifici avveniristici (come quelli sugli innesti animali) e controversi (quali quelli sugli effetti e le proprietà curative della coca, retaggio della sua esperienza in Sud America) che di romanzi fantascientifici, visto che fu anche un brillante scrittore. Appena arrivato a Pavia, Mantegazza tenne nel primo semestre dell'anno accademico 1860-61 un corso libero di Storia della Medicina agli studenti del III anno della Facoltà di Medicina e Chirurgia.

Mantegazza Paole, da Monza, Prof. Ord., darà nel I Semestre un *Corso tibero* sulla Storia della Medicina, e nel II insegnerà la Patologia generale.

(*) In luogo della Patologia generale darà la Storia della Medicina (Corso libero).

Figura 2. Annuario dell'Università di Pavia 1860-61, pp. 9, 22, 23



Figura 3. Giovanni Cantoni, Milano, 1818-

L'attivazione di questo corso fu però solo un 'flash' che non si riaccese che circa 90 anni dopo, divenendo questa volta una luce stabile, visto che la Storia della Medicina fu da quel momento un insegnamento tenuto con regolarità nella facoltà di Medicina arrivando, con qualche pausa, fino alla molto ben consolidata realtà attuale.

Anche un altro insegnamento, la Storia della Fisica, ebbe radici lontane nel tempo, grazie a Giovanni Cantoni. Nato a Milano nel 1818, dopo aver partecipato ai moti del 1848, riparò in Svizzera insegnando fisica al liceo cantonale di Lugano. Nominato nel novembre 1860 professore ordinario di fisica all'Università di Pavia, tenne la cattedra per ben trent'anni e fu più volte rettore. Sebbene principalmente dedito agli studi ed all'insegnamento non rimase estraneo alla politica: Senatore del Regno, dal 1870 al 1872 resse il segretariato generale dell'istruzione pubblica, mostrando sempre grande attenzione ai problemi didattici e organizzativi dell'Università. Nella sua lunga carriera scientifica, pubblicò numerosi scritti di fisica sperimentale e di filosofia naturale. Ebbe anche una parte molto rilevante nell'organizzazione degli studi meteorologici in Italia. Nell'A.A. 1882-1883 tenne un corso di Storia della Fisica, corso complementare istituito dal Consorzio Universitario di Pavia. Consultando l'annuario di quell'anno si può apprendere che il corso veniva tenuto la domenica e il lunedì dalle 14 alle 15 presso il Teatro fisico.

CORSI COMPLEMENTARI istituiti dal Consorzio Universitario.

-	Materie d'insegnamento	Insegnanti	Giorni di Lezione	Ore	Aula
-	Storia della Fisica	C. CANTONI	Lunedì e Domenica	2-3	Teatro fisico

Figura 4. Annuario dell'Università di Pavia 1882 - 83, pag. 175

Ma, come per la storia della medicina, si dovrà aspettare circa 100 anni prima che la storia della fisica, almeno come insegnamento, non certo come tema di ricerca, riprenda stabilmente. Se medicina e fisica avevano fatto un po' da apri-pista, altre discipline scientifiche avrebbero nel frattempo scoperto la potenziale valenza della loro storia.

Una di queste fu ad esempio la Farmacia. Nel 1939 il Senato Accademico dell'Università di Pavia assumeva infatti Carlo Pedrazzini come professore incaricato di Storia della Farmacia. L'anno successivo Pedrazzini teneva il I Corso di Cultura di Storia della Farmacia in dodici lezioni. Grazie alla sua grande competenza, alla facile dialettica e all'entusiasmo che sapeva creare intorno a sé, era riuscito, unico caso in Italia, a portare la storia della farmacia sulle cattedre universitarie.

In Vita universitaria, il prof. Mascherpa, Preside della Facoltà di Farmacia, rileva che:

merita forse di essere segnalata una iniziativa presa quest'anno all'Università di Pavia di tenere un corso di Cultura destinato ai Farmacisti e agli studenti di Farmacia, riguardante appunto la 'Storia della Farmacia'. Il progetto ha incontrato la pronta e larga adesione del Magnifico Rettore e il corso e il suo programma sono stati approvati dalle superiori Autorità Ministeriali

Continua poi sottolineando che l'affluenza degli studenti è stata massiccia e superiore a ogni previsione e questo si deve «alla regolarità con cui il corso è stato svolto, alla varietà dei temi trattati e alla facile e arguta parola dell'Espositore».

Con Regio Decreto il corso di Storia della Farmacia viene aggiunto nel 1941 ai corsi complementari per la laurea in farmacia.

Con l'A.A. 1942-43 viene registrato come Corso Libero con programma regolarmente approvato dal Consiglio di Facoltà. Il felice momento vissuto in quegli anni dalla Storia della Farmacia vede anche sorgere presso l'Ateneo pavese il Museo Storico di Farmacia.

Pedrazzini fu inoltre autore di *La Farmacia Storica ed Artistica Italiana*, un prezioso libro che, accanto alla storia di una professione, sa mostrare anche gli aspetti artistici di alcuni 'ferri del mestiere' del farmacista, come vasi e mortai.

Attualmente l'insegnamento di Storia della Farmacia è presente come modulo libero.

64 Antonella Berzero

2. Breve panoramica sull'oggi

Nel 2007 il prof. Bevilacqua, professore ordinario di Storia della Scienza dell'Università di Pavia e allora presidente del Sistema Museale di Ateneo, al mio arrivo in tale struttura, mi chiese di 'censire' un po' tutte le tessere del mosaico costituito dagli insegnamenti di storia e di didattica delle scienze allora in essere presso la nostra Università, prendendo in esame gli insegnamenti attivi sia nei corsi di laurea che nel post laurea. Il quadro che ne risultò mostrava una realtà ricca e consolidata (e chiedo fin da ora scusa per eventuali involontarie mancanze) che, a oggi, appare così articolata.

Per quanto riguarda la storia delle scienze, l'insegnamento nei Corsi di Laurea vede corsi quali:

- Storia della Matematica (per Lauree Specialistiche in Matematica e in Scienze Fisiche e per la Laurea Magistrale in Matematica)
- Storia della Fisica (per la Laurea in Fisica)
- Storia dell'Elettromagnetismo (per la Laurea Specialistica in Scienze Fisiche)
- Storia delle Scienze (per la Laurea Specialistica in Scienze Fisiche)
- Storia della scienza e della tecnica (per la Laurea in Scienze filosofiche)
- Sviluppo Storico della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni (per il Corso di Laurea in Ingegneria Civile)
- Storia della Biologia (per la Laurea triennale in Scienze Biologiche)
- Storia della Farmacia (per la Laurea in Farmacia)
- Storia della Medicina (per il Corso di Laurea in Medicina e Chirurgia, i Corsi di Laurea triennali nelle Professioni sanitarie Infermieristiche e nella Professione Sanitaria Ostetrica, nelle Professioni sanitarie Tecniche, in Tecnica della Prevenzione nell'ambiente e luoghi di Lavoro, il Corso di Laurea nelle Professioni sanitarie della Riabilitazione e il Corso di Laurea Specialistica in Scienze Infermieristiche e Ostetriche)

Accanto ai corsi di storia delle scienze va poi ricordato il corso di Filosofia della Scienza (per i Corsi di laurea di Filosofia, di Teorie filosofiche e di Scienze filosofiche).

Un corso, questo, di cui fu professore incaricato, dal 1954-55 al 1960-61, uno dei grandi protagonisti della scena filosofica italiana del Novecento: il matematico e filosofo Ludovico Geymonat (1908-1991), unanimemente considerato uno dei massimi promotori dello studio epistemologico in Italia. Filosofo della scienza, studioso di logica matematica, storico del pensiero scientifico e filosofico, Geymonat si batté per il riconoscimento accademico di queste discipline e per la diffusione di una vasta cultura scientifica.

Dal quadro d'insieme fin qui tracciato sembra insomma di veder ben realizzato quanto si augurava De Broglie:

«sarebbe da augurarsi che la storia delle scienze divenisse materia di insegnamento, almeno negli studi superiori», ritenendola «un utile complemento per gli insegnamenti scientifici propriamente detti» e in grado di poter fornire un valido contributo anche nella didattica: «la storia della scienza...può darci utili indicazioni sul metodo con il quale le scienze devono essere insegnate».

A testimonianza di quanto la didattica scientifica sia importante, nella realtà universitaria pavese sono presenti diversi insegnamenti anche di didattica delle scienze:

- Didattica della Matematica, (per la Laurea Specialistica in Scienze Fisiche e le Lauree Specialistica e Magistrale in Matematica)
- Didattiche specifiche della Matematica (per le Lauree Specialistica e Magistrale in Matematica)
- Didattica della Fisica (per la Laurea Specialistica in Scienze Fisiche)
- Didattica delle Scienze Naturali (per la Laurea triennale in Scienze Biologiche)
- Preparazione di Esperienze Didattiche (per il Corso di Laurea in Fisica)

Il fatto che i musei siano da sempre utili strumenti didattici mi ha poi indotto a considerare anche gli insegnamenti relativi alla museologia. Gli insegnamenti presenti sono:

- Museologia Scientifica (per la Laurea Specialistica in Scienze Fisiche)
- Museologia (per la Laurea in Scienze e Tecnologie per la Natura)
- Realizzazione e Gestione dei Musei (per la Laurea in Scienze della Natura)

Ritengo importante ricordare in questo contesto anche il Laboratorio di Comunicazione Scientifica Divulgativa, un corso promosso dal Collegio Nuovo e accreditato dall'Università di Pavia per tutti i corsi di laurea di Scienze MM.FF.NN.

Per ciò che riguarda il post laurea, la Scuola di Scienze e Tecnologie "Alessandro Volta", nell'ambito del corso di dottorato di ricerca in scienze chimiche, vede l'insegnamento di storia della chimica. I corsi realizzati sono stati *Storia della Chimica* (anno 2007), *Chimica tra botanica e farmacia nei secoli XVIII e XIX* (anni 2008 e 2010) e *Storia della Chimica nel XX secolo* (anno 2009).

La storia della medicina è invece presente tra i corsi ordinari della Scuola Superiore IUSS, corsi che offrono itinerari formativi a carattere avanzato e interdisciplinare e integrano i curricula dei corsi di studio dell'Università degli Studi di Pavia con insegnamenti ritenuti particolarmente idonei a favorire lo sviluppo delle capacità critiche. Nella Classe accademica di Scienze Biomediche vanno ricordati i corsi: Controversie e passioni nelle scienze medico-biologiche (attivo fino al 2007-2008) e Storia della Medicina (2009-2010, corso annuale a carattere seminariale).

Nel campo della formazione degli insegnanti come non citare poi la corposa esperienza della Scuola Interuniversitaria Lombarda di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario (SILSIS), attiva dal 1999-2000 al 2008-2009.

Un altro contributo fornito alla didattica dalle strutture museali si è concretizzato nel progetto EST *Educare alla Scienza e alla Tecnologia*, proposto nel 2005 da Regione Lombardia, Fondazione Cariplo e Distretto Scolastico. Si tratta di un progetto educativo pluriennale rivolto agli alunni delle scuole lombarde di primo grado. La principale finalità del progetto è quella di sperimentare un approccio didattico informale e interattivo, avvicinando bambini e ragazzi alla cultura scientifica e tecnologica attraverso la cooperazione tra museo e scuola. Il progetto si è prefisso di avere un impatto su 1000 scuole entro il 2009, di formare 3000 insegnanti, di potenziare le capacità didattiche e di fare rete di 30 musei e di realizzare laboratori pilota sulla frontiera della didattica scientifica.

66 Antonella Berzero

Il Museo di Storia Naturale del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Pavia ha partecipato al progetto EST, sul tema della biodiversità, con il progetto *Gli animali, le piante e la terra. Le scienze raccontano passato, presente e futuro del nostro territorio*. Le attività svolte sono state attività di formazione degli insegnanti sulla didattica di laboratorio e incontri con le classi presso il Museo di Storia Naturale e presso un laboratorio appositamente attrezzato.

Bibliografia e sitografia

Annuari dell'Università di Pavia: URL: http://scienze.unipv.it/ URL: http://ingegneria.unipv.it/ URL: http://nfs.unipv.it/

Alcune collaborazioni fra Ufficio Scolastico Regionale per la Lombardia e Università di Pavia

Vittoria Cinquini, AIF – Associazione per l'Insegnamento della Fisica

Abstract: Vittoria Cinquini, Ispettore dell'Ufficio Scolastico della Lombardia, illustra alcune collaborazioni tra l'Ufficio Scolastico della Lombardia e l'Università di Pavia. Fin dal 2002 sono state assegnate Borse di Studio agli insegnanti della Lombardia che hanno condotto ricerche in classe sotto la supervisione di docenti dell'Università di Pavia.

Vittoria Cinquini, inspector in the "Ufficio Scolastico" of Lombardy, illustrates some collaborations between the "Ufficio Scolastico" of Lombardy and the University of Pavia. Since 2002 scholarships have been assigned to the teachers of Lombardy who carried out didactic research in their classes with the supervision of Pavia University professors.

Porto volentieri il mio contributo a questa giornata, come ispettore tecnico in quiescenza dell'Ufficio Scolastico Regionale (USR) per la Lombardia, come collaboratrice, a suo tempo, del Centro Studi per la Didattica, come segretaria della sezione di Pavia dell'A.I.F., Associazione per l'Insegnamento della Fisica.

Prima di tutto, oltre il mio saluto personale, voglio portare quello del Direttore Generale dell'USR Lombardia, professor Giuseppe Colosio, che ho avuto modo di incontrare nei giorni scorsi e che mi ha pregato di portare il suo saluto ufficiale, scusandosi di non poter essere presente di persona. Il professor Colosio ha un curriculum completo nella scuola italiana: docente, preside, ispettore tecnico, provveditore e adesso direttore generale.

In questo intervento parlerò di alcune collaborazioni che vi sono state in questi ultimi 10 anni fra l'USR Lombardia e l'Università di Pavia.

Nel 2001 vi è stata una radicale riorganizzazione del Ministero della Pubblica istruzione; sono state costituite le Direzioni regionali (o Uffici Scolatici Regionali). I Provveditorati, che poi hanno assunto via via diverse denominazioni, sono passati alle dipendenze delle direzioni regionali. I provveditori e gli ispettori tecnici, che fino allora dipendevano direttamente dal Ministero, sono passati a dipendere funzionalmente dal direttore regionale.

Nella nuova ottica l'allora direttore regionale dott. Mario Giacomo Dutto ha affidato specifici compiti a ogni ispettore; a me, nel settembre 2001, era stato affidato il compito di promuovere iniziative di formazione dei docenti di discipline scientifiche. Non ho però poi potuto dedicare molto tempo a questo compito, perché il mese dopo, in base al regolamento dell'USR Lombardia, sono stata eletta dai miei colleghi coordinatore regionale degli ispettori, compito che ho assolto fino alla data del mio pensionamento. Questo impegno ha assorbito molto del mio tempo, soprattutto fino al 2006, con il direttore Dutto, che assegnava molti compiti al coordinatore degli ispettori.

68 Vittoria Cinquini

Ho comunque cercato di dedicare un po' di tempo alle discipline scientifiche e, sotto la spinta del direttore Dutto, molto attento ai problemi dell'insegnamento scientifico e preoccupato del calo di iscrizioni che si era verificato nei corsi di laurea scientifici, è nato il progetto delle borse di ricerca.

Era un progetto che il direttore Dutto aveva promosso quando era al Ministero, d'intesa con l'Università di Udine, e in particolare con la prof. Michelini, e che ha voluto riprendere in Lombardia.

È stata firmata una convenzione tra l'Università di Pavia e l'USR Lombardia, per l'assegnazione di 9 borse di ricerca, destinate a docenti che facessero una ricerca didattica in classe, con la supervisione di un docente universitario. Il progetto voleva da una parte gratificare insegnanti validi e dall'altra incentivare l'innovazione nella scuola, con l'auspicio che i prodotti delle ricerche avessero poi una ricaduta nella scuola. In effetti, i risultati delle ricerche sono stati diffusi tramite il sito dell'USR Lombardia.

Nell'anno scolastico 2002-2003 sono state così assegnate 9 borse di ricerca:

- 3 per l'ambito matematico
- 3 per l'ambito fisico
- 3 per l'ambito delle scienze naturali

L'USR metteva a disposizione i fondi e l'Università garantiva, con i propri esperti, la supervisione scientifica delle ricerche.

Io ho collaborato al progetto, seguendo la stesura della convenzione e del successivo bando su incarico del Direttore generale e rappresentando l'USR nella commissione che ha fatto la selezione e che ha scelto i vincitori delle borse.

All'inizio del 2003 fra USR Lombardia e Università di Pavia è stato firmato un protocollo d'intesa, riguardante anche la formazione dei docenti e progetti di ricerca e sperimentazione.

Negli anni successivi sono state firmate altre convenzioni e assegnate altre borse di ricerca.Nell'anno scolastico 2003-2004 sono state assegnate 12 borse di ricerca:

- 3 per l'ambito matematico
- 3 per l'ambito fisico
- 3 per l'ambito delle scienze naturali
- 3 per l'ambito di lingua e letteratura italiana e latina

Nel 2006 sono state assegnate altre 8 borse:

- 4 per l'ambito matematico
- 4 per l'ambito fisico

Nell'anno scolastico 2008-2009 infine sono state assegnate 6 borse:

- 2 per l'ambito matematico
- 2 per quello fisico
- 2 per quello delle scienze naturali

In totale in tutti questi anni sono state assegnate 35 borse. I vincitori delle borse in parte sono stati docenti che già collaboravano con i gruppi di ricerca didattica dell'Università

di Pavia, in parte insegnanti che non avevano mai avuto contatti con questi gruppi di ricerca. In tal modo da una parte si è dato un riconoscimento a persone che avevano sempre lavorato nel campo della ricerca didattica, dall'altra si è data la possibilità ai gruppi di ricerca universitari di prendere contatto con nuovi insegnanti.

Nel corrente anno scolastico è in atto un progetto un po' diverso, di collaborazione tra ricercatori e insegnanti nello sviluppo di proposte didattiche innovative per la matematica e la fisica.

Sono state assegnate 12 borse, 6 per la matematica e 6 per la fisica. I vincitori collaborano con docenti universitari a due progetti di ricerca, uno per ogni ambito.

Penso che la collaborazione tra USR Lombardia e Università di Pavia, sviluppatasi in tutti questi anni, abbia dato buoni frutti. Sarebbe auspicabile, che, con la nascita di questo Centro di ricerca, possa proseguire. Purtroppo però l'USR ha sempre meno risorse da mettere a diposizione.

Insegnamento e apprendimento della matematica: studio di processi cognitivi, analisi di pratiche didattiche e formazione degli insegnanti

Samuele Antonini, Angela Pesci, Maria Reggiani, Dipartimento di Matematica

Abstract: A partire dagli anni '70 opera a Pavia un gruppo di ricerca in Didattica della Matematica che lavora in stretto contatto con gli insegnanti di tutti i livelli della scuola preuniversitaria. Il gruppo è nato con l'obiettivo di rinnovare e migliorare l'insegnamento della matematica attraverso la ricerca e la formazione continua, culturale, epistemologica e didattica dei docenti della scuola. Il coinvolgimento degli insegnanti è stato sempre considerato fondamento indispensabile per pensare ed attuare innovazioni significative, sia dal punto di vista dei contenuti disciplinari specifici che delle metodologie didattiche. In questo intervento vengono presentate in sintesi alcune delle attività più significative svolte dal gruppo e alcuni dei temi di ricerca affrontati.

A research Group in Mathematics Education has been working since the seventies at the University of Pavia in collaboration with pre-university teachers. The Group aims at rethinking and improving mathematics teaching through both research and teachers' education on cultural, epistemological and didactical issues. The involvement of teachers has been always considered a necessary condition for thinking and activating significant innovations, both from the point of view of disciplinary contents and that of methodologies. In this contribution, we summarise the most relevant activities and some of the research themes carried out by the Group.

1. Introduzione

È noto che nel corso di Laurea in Matematica, fino alla riforma del decreto 509 (del 3 novembre 1999) che ha portato al cosiddetto '3 + 2', era attivo un *Indirizzo didattico* destinato principalmente alla formazione di coloro che intendevano dedicarsi all'insegnamento della matematica.

A partire dalla metà degli anni '70 questa situazione ha favorito la nascita sul territorio nazionale e nell'ambito delle Università, dei *Nuclei di Ricerca Didattica*, finanziati per i primi anni dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, aventi come obiettivo il rinnovamento e il miglioramento dell'insegnamento della matematica nei vari ordini scolastici.

A Pavia il Nucleo per docenti di scuola media superiore è nato nel 1975 ed ha lavorato per una decina di anni in stretta connessione con l'analogo Nucleo di Trieste e, soprattutto, con quello di Pisa, coordinato dal Professor Giovanni Prodi.

In seguito si sono costituiti nella nostra sede anche il Nucleo per insegnanti di scuola media inferiore e quello per insegnanti di scuola elementare che continuano ancora oggi, con cadenze più o meno regolari, a sviluppare iniziative e progetti.

I criteri ispiratori delle attività di ricerca didattica sviluppate a Pavia, sia nell'ambito dei Nuclei che in ogni altro nostro successivo progetto, sono stati e continuano a essere i seguenti:

- una stretta collaborazione tra Università e Scuola, in modo da avvicinare i docenti universitari alla realtà della scuola e i docenti della scuola al mondo della ricerca in didattica della matematica
- la formazione continua, culturale, epistemologica e didattica dei docenti della scuola come fondamento indispensabile per pensare ed attuare innovazioni significative, sia dal punto di vista dei contenuti disciplinari specifici che delle metodologie didattiche
- la pubblicizzazione, attraverso libri, riviste, conferenze, partecipazione a Convegni e corsi di aggiornamento, di quanto elaborato dai ricercatori e dagli insegnanti sperimentatori per allargare il raggio di azione e favorire presso un pubblico più vasto l'instaurarsi di buone pratiche didattiche

Gli studi e le pubblicazioni prodotte dal nostro gruppo riguardano numerose tematiche, anche molto variegate. Cerchiamo di farne una breve presentazione in questo contributo.

2. Ricerca e pratiche didattiche per la scuola primaria

La collaborazione tra Università e Scuola elementare a Pavia e provincia è iniziata nel 1978 su iniziativa del prof. Mario Ferrari con la costituzione di un Gruppo di lavoro sorto nell'ambito del Seminario Didattico della Facoltà di Scienze (si veda anche il contributo di M. Ferrari in questi Atti). Il gruppo era costituito da universitari (matematici, fisici, biologi) e da un nutrito gruppo di insegnanti elementari e nel corso di 5 anni è stato elaborato e sperimentato un Progetto di educazione matematico-scientifica per la scuola elementare. In realtà ci si è poi fermati al primo ciclo elementare.

Le unità didattiche del filone centrale del Progetto sono state pubblicate nella rivista «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate» tra il 1982 e il 1984. Le attività esclusivamente scientifiche furono pubblicate anche nel volumetto *L'educazione scientifica nella nuova scuola elementare* dall'editore Le Monnier nel 1987.

Nel 1985, in vista dell'entrata in vigore dei nuovi programmi di matematica per la scuola elementare, si è costituito un Nucleo di Ricerca in Didattica della Matematica per la scuola elementare formato, come sempre, da universitari e docenti elementari. Dopo lo studio approfondito dei nuovi programmi, si è deciso di dare pratica attuazione ai nuovi programmi attraverso l'elaborazione e la sperimentazione di un Progetto di educazione matematica.

I criteri ispiratori nella costruzione del Progetto sono stati essenzialmente i seguenti:

protagonismo dei docenti di scuola primaria. È stato un 'protagonismo culturale', attuato attraverso lo studio personale, la frequenza alle lezioni teoriche degli
universitari, la partecipazione attiva alla stesura del Progetto; ed è stato, ovviamente, un 'protagonismo didattico' con la determinazione degli obiettivi di ap-

prendimento, la stesura delle programmazioni fini relative ai concetti matematici più importanti, l'invenzione di problemi significativi, la sperimentazione del progetto e l'esame critico degli elaborati dei bambini

- costruzione di un *Progetto di educazione matematica* aperto alle altre discipline (scienze, lingua, storia, geografia) e nel quale i concetti matematici vengono costruiti a partire da 'ambienti non matematici', cioè dal vissuto quotidiano dei bambini in modo da poter utilizzare questi concetti come strumenti di conoscenza di alcuni aspetti importanti della realtà nella quale sono immersi
- messa in risalto dei due aspetti fondamentali della matematica: l'aspetto 'conoscitivo-operativo', cioè la matematica che fornisce strumenti concettuali per capire il mondo e descriverlo; l'aspetto 'conoscitivo-contemplativo', cioè la matematica che riflette su stessa ed affronta problemi interni alla disciplina per puro desiderio di conoscere, per esclusivo godimento intellettuale
- presenza costante di problemi significativi per far nascere e sviluppare concetti matematici
- una 'didattica lunga' per puntare alla comprensione dei concetti matematici e non solo al loro apprendimento e memorizzazione
- una pluralità di approcci ai concetti e una pluralità di linguaggi per descriverli

Il Progetto è stato organizzato attorno a tre filoni tematici culturalmente significativi: Ambiente, Tempo, Economia. La costruzione del Progetto per le cinque classi ha richiesto molto tempo, molte discussioni, molte sperimentazioni e molte revisioni e il lavoro degli insegnanti elementari è stato veramente notevole. Anche se gli autori non si sono mai decisi a pubblicare integralmente il Progetto, molti sono stati gli articoli pubblicati, anche come esempi di 'buone pratiche didattiche' e relativi ad aritmetica, geometria, statistica. La descrizione generale del *Progetto* si trova in (Ferrari 1989).

Nell'ambito di questo progetto, tra il 1986 e il 1996 sulla rivista «L'insegnamento della matematica e delle scienze integrate» sono stati pubblicati 34 articoli in tutto, ciascuno dedicato all'educazione matematica in una delle cinque classi elementari.

Un'altra attività che ha impegnato il Nucleo, insieme con un gruppo di professori universitari, di insegnanti di scuola media inferiore e superiore, è stata una vasta attività di aggiornamento nell'ambito del Piano Pluriennale di Aggiornamento in tutto il territorio lombardo. Frutto di questa attività sono stati quattro quaderni della *Collana di formazione professionale* dal titolo *Aggiornarsi secondo i nuovi programmi della scuola elementare: teoria e didattica* pubblicati dall'Editore Giovanni Battagin per conto del Centro di Ricerche Didattiche "Ugo Morin". Il *Quaderno 1* è dedicato all'Aritmetica; il *Quaderno 2* alla Geometria; il *Quaderno 3* a Logica e Informatica; il *Quaderno 4* a Statistica e Probabilità.

Allo spirito del *Progetto* si sono poi ispirati cinque componenti del Nucleo (Ferrari, Bardone, Maggi, Sforzini, Trevisani) nella redazione di tre sussidiari, con relativa guida per l'insegnante, pubblicati dall'Editrice Elmedi: *Grandangolo* (1995), *Base* (1997), *Ulisse, navigare nei saperi* (2000). Questi sussidiari sono ora fuori commercio.

Ulteriori articoli, pubblicati su «L'insegnamento della matematica e delle scienze integrate», relativi alla prima, alla seconda e alla terza elementare, insieme ad altri scritti

dalla professoressa Clara Colombo Bozzolo, sono confluiti in (Colombo Bozzolo – Ferrari 2001, 2002).

All'inizio degli anni novanta, per opera soprattutto della rivista «Cabrirrsae» dell'IRRSAE Emilia-Romagna, è incominciata in Italia la diffusione del software *Cabrigéomètre* per lo studio della geometria nella scuola media inferiore e superiore. Il Nucleo di Pavia è stato il primo in Italia a utilizzare tale software nella scuola elementare soprattutto ad opera dei maestri Luigi Bardone e Marco Trevisani. Resoconti di alcune sperimentazioni in classi elementari e proposte di lavoro con Cabri sono stati pubblicati su «L'insegnamento della matematica e delle scienze integrate» a partire dal 1999. Alcuni di questi articoli, insieme ad altri di diversi autori e destinati alla scuola media, sono stati raccolti in (Bardone *et al.* 2005).

Una proposta di utilizzo di Cabri tra scuola elementare e scuola media è stata elaborata e sperimentata anche nell'ambito del progetto *SeT* e messa a disposizione in rete, con commenti e suggerimenti per gli insegnanti. Una sintetica presentazione di questa attività è raccolta in (Pesci 2003).

La pubblicazione delle *Indicazioni Nazionali per i Piani di studio Personalizzati nella Scuola Primaria* nel 2004 e poi delle *Indicazioni per il curricolo per la scuola dell'infanzia e per il primo ciclo di istruzione* del 2007 ha portato il Nucleo a un impegno continuo di rivisitazione sia di aspetti teorici, sia di aspetti metodologici e, di conseguenza, alla pubblicazione di ulteriori contributi.

Sulla rivista «L'insegnamento della matematica e delle scienze integrate», soprattutto ad opera di Mario Ferrari, si trovano le varie proposte didattiche relative all'aritmetica e alla geometria, nate, come le altre, dal lavoro di collaborazione continua con gli insegnanti del Nucleo.

3. Tematiche sviluppate per la scuola secondaria

La collaborazione con gli insegnanti della scuola secondaria è iniziata negli anni '70. Per la scuola secondaria di primo grado – allora la scuola 'media' – il lavoro è iniziato con alcune attività di sperimentazioni didattiche, svolte in collegamento a tesi di laurea in matematica, nella scuola secondaria di secondo grado con il Progetto Prodi di cui si dirà più avanti. In quegli anni si è costituito un Nucleo di ricerca didattica, in analogia a quello già descritto a proposito della scuola elementare, con una trentina di insegnanti in servizio in scuole di Pavia o provincia. In ciò che segue si descrivono, in sintesi, le tematiche affrontate.

3.1. Statistica e probabilità

Tra i temi che ci hanno visto maggiormente impegnati nell'elaborazione e sperimentazione di itinerari didattici c'erano la Statistica e la Probabilità, su cui si è lavorato soprattutto in seguito alla loro introduzione tra i contenuti di matematica previsti con i programmi Ministeriali del 1979. Dopo alcuni anni di esperienze in classe, di analisi degli esiti otte-

nuti, di riflessioni, discussioni e rielaborazioni, si è pubblicato il progetto completo, articolato nei tre anni della scuola media. Il testo (non reperibile se non nelle biblioteche) è (Pesci – Reggiani 1988) e raccoglie tutte le schede di lavoro per gli alunni, la descrizione dei temi scelti, le note didattiche per gli insegnanti e due test finali, uno di statistica e uno di probabilità, per la verifica degli apprendimenti. Può essere interessante notare che tra i temi di probabilità si è anche accennato, in modo elementare, alla 'legge dei grandi numeri', per far intendere che in uno schema di prove ripetute il caso presenta una 'crescente regolarità' e si sono affrontati alcuni collegamenti con questioni di genetica. Tra i temi di statistica si sono invece proposti, oltre agli indici più comuni di statistica descrittiva, quello della rappresentatività di un campione e quello della correlazione statistica, opportunamente collegati a situazioni problematiche semplificate.

3.2. Lo sviluppo del ragionamento proporzionale

In relazione a questo tema si è elaborata una specifica proposta didattica allo scopo di consentire agli alunni di 12-13 anni un avvio significativo della costruzione del ragionamento proporzionale (in situazioni non elementari, cioè che non richiedano semplicemente una divisione 'di ripartizione' o 'di contenenza'). L'idea centrale è che non si possa semplicemente descrivere ai ragazzi il ragionamento proporzionale ma che si debba farne nascere la necessità in situazioni problematiche adeguate; c'è inoltre l'ipotesi che gli alunni di questa fascia d'età siano in grado, se messi in opportune situazioni, di proporre modelli risolutivi, di confutare il ricorso a strategie scorrette (ad esempio il ricorso al modello additivo delle differenze costanti) e di validare invece la correttezza dell'utilizzo del ragionamento proporzionale.

La proposta didattica, dopo alcuni anni di sperimentazioni ed analisi, è stata raccolta in (Pesci 2002). Nel testo si evidenziano le tipologie di modelli risolutivi e di argomentazioni proposti dagli alunni per risolvere le situazioni problematiche; i modelli di ragionamento (in particolare ipotetico) utilizzati dagli alunni in fase di discussione delle differenti strategie emerse; il ruolo dell'insegnante nelle varie fasi di discussione collettiva e, più in generale, nella realizzazione di situazioni didattiche efficaci; infine le caratteristiche dell'esperienza didattica condotta, in relazione ad alcuni dei modelli di insegnamento-apprendimento di matrice costruttivista.

3.3. Dall'aritmetica all'algebra e all'analisi

A partire dalla fine degli anni '80 si è studiato il problema del passaggio dall'aritmetica all'algebra come necessaria premessa all'uso corretto e consapevole del linguaggio algebrico. Si sono predisposte varie attività di approccio all'algebra e si è studiato il ruolo delle convenzioni nel linguaggio algebrico e delle difficoltà degli alunni nell'apprendere a utilizzarle in modo corretto. Elemento comune delle ricerche sull'approccio all'algebra è il tentativo di focalizzare i momenti in cui, per molti alunni, si determina la frattura fra operatività e significati nella manipolazione algebrica, di identificarne le cause e di indi-

viduare strumenti per favorirne il superamento (Reggiani 1997, 2002b, 2006). Oggetto di studio è stato anche il ruolo del contesto nella costruzione del pensiero algebrico e la possibilità di valorizzare, attraverso attività opportune, l'algebra come strumento di generalizzazione. Il lavoro è stato collegato all'uso del contesto informatico come elemento motivante e vincolante all'uso corretto delle regole sintattiche e in grado di favorire la concentrazione sugli aspetti sostanziali dei problemi affrontati anziché sul calcolo. Negli anni '80 e '90 ci si è serviti di linguaggi di programmazione, successivamente di C.A.S. (Computer Algebra System) e, in tempi più recenti, di sistemi che integrano diversi ambienti quali TiNspire e Geogebra e di specifici software didattici (AlNuSet).

Su questo tema, nell'ambito dei materiali del progetto speciale per l'educazione scientifica e tecnologica denominato *SeT* (Scienza e tecnologia, C.M. 131, 2000), è stata resa disponibile in rete un'attività didattica interamente descritta, dal titolo 'Approccio all'algebra con *Derive*', che può fare da ponte fra scuola media e scuola superiore. Alla scuola superiore gli stessi software possono costituire un valido sussidio anche per la costruzione di attività finalizzate a una migliore comprensione dell'uso di variabili e parametri (Reggiani 2001, 2002a).

Per la scuola secondaria di secondo grado si è intrapreso inoltre uno studio sull'uso dei C.A.S. nell'approccio all'analisi. Si è elaborato in particolare un percorso didattico finalizzato all'introduzione del concetto di integrale, che sfrutta sia le potenzialità algebriche che quelle grafiche del software *Derive*. Nell'ambito di questo studio si è effettuato anche un confronto fra differenti software e tecnologie. In quest'ottica si è sviluppato in particolare il confronto, su una stessa unità didattica, fra l'uso di *Derive* e quello di calcolatrici grafico simboliche, evidenziando le differenze indotte dai differenti strumenti usati sia nell'organizzazione della classe e nella conseguente gestione del lavoro da parte di insegnanti e alunni, che nell'elaborazione e validazione di congetture da parte dei ragazzi in relazione ad alcune differenze nelle istruzioni e alle diverse potenzialità algebriche e grafiche (Nolli – Reggiani 2004).

Altre ricerche hanno affrontato alcuni problemi connessi all'insegnamento-apprendimento delle equazioni di primo grado e al loro uso in altre discipline e alcuni problemi didattici relativi alla fattorizzazione di polinomi. In particolare, con riferimento alle difficoltà degli alunni nella risoluzione di equazioni, si è cercato di evidenziare attraverso l'analisi di errori come lo scrivere e risolvere equazioni richieda sia la padronanza delle regole formali del linguaggio e del calcolo algebrico sia la corretta gestione dei significati dei simboli utilizzati (Bovio – Reggiani – Vercesi 1995 e 1997, Bovio – Reggiani 2000).

Ulteriori attività di laboratorio matematico su temi di aritmetica e algebra per la scuola superiore sono state recentemente proposte dal nostro gruppo nell'ambito del *Progetto Lauree Scientifiche*. In tale laboratorio si è proposta, a partire dalla risoluzione di opportuni problemi, la teoria delle congruenze aritmetiche e si è lavorato sulla costruzione, elaborazione, interpretazione e utilizzo di formule in diversi contesti (Antonini – Reggiani 2007a).

3.4. Il software didattico Cabri-Géomètre nello sviluppo di competenze geometriche

Si è studiato come a partire dagli ultimi anni della scuola elementare (si veda anche il paragrafo sulla scuola elementare) e poi nella scuola secondaria, un ricorso adeguato a tale tecnologia favorisca l'attribuzione di significato a relazioni e termini geometrici, consenta il passaggio dalla costruzione di una figura alla formulazione di una sua definizione, contribuisca a sviluppare intuizione e flessibilità di pensiero nella risoluzione di problemi e favorisca il passaggio dall'argomentazione alla dimostrazione geometrica. Si è utilizzata la versione II Plus per la geometria piana, per gli alunni di 10-13 anni e la versione 3D per lo studio della geometria dello spazio e la costruzione di poliedri con gli studenti di 16-17 anni.

Oltre al testo già citato nel paragrafo relativo alla scuola elementare si può vedere, per la geometria piana l'articolo di Bertazzoli – Pesci – Tomassini 2004.

È inoltre disponibile in rete, nell'ambito dei materiali del già citato progetto SeT, un'attività didattica dal titolo Proprietà necessarie e sufficienti per una figura con Cabri-Géomètre che descrive in modo dettagliato gli obiettivi della proposta, le attività per i ragazzi, le possibili risposte e i suggerimenti per l'insegnante. Il lavoro è dedicato agli alunni dell'ultimo anno della scuola elementare e della scuola media.

Per la geometria dello spazio si è elaborato un contributo (Angelini *et al.* 2007) nell'ambito del *Progetto Lauree Scientifiche* (2005-2009) che prevede l'utilizzo di Cabri 3D per l'esplorazione delle principali proprietà geometriche.

3.5. Il 'Progetto Prodi'

Frutto dell'attività di ricerca in didattica della matematica degli anni 1975-1985 è il Progetto *Matematica come Scoperta*, elaborato principalmente dal professor Giovanni Prodi dell'Università di Pisa, ma al quale ha partecipato, con apporti propri, anche il Nucleo di Ricerca Didattica di Pavia. Si tratta di tre volumi pubblicati dall'Editrice D'Anna (1975, 1977, 1982). Il terzo volume, *Elementi di analisi matematica per il triennio delle scuole secondarie superiori*, ha come autore, insieme a Prodi, anche Enrico Magenes del Nucleo di Pavia. Ogni volume è stato corredato da una *Guida* per l'insegnante nella quale, oltre alla soluzione ragionata dei problemi proposti nel libro di testo, si trovano suggerimenti didattici e approfondimenti teorici. Il nostro gruppo di ricerca ha collaborato in modo sostanziale alla stesura di tutte le guide e ha curato completamente la terza. La forma definitiva del progetto è il risultato di sperimentazioni in classe svolte a Pavia, Pisa e Trieste, come ricordato nell'introduzione, e di successive rielaborazioni: una descrizione completa del Progetto si trova in (Bazzini *et al.* 1995).

Qui possiamo limitarci a ricordare che i suoi contenuti anticipatori, come la probabilità, il ritorno dell'aritmetica nelle scuole superiori, la visione assiomatica della geometria e gli aspetti algoritmici della matematica con l'intervento degli strumenti elettronici, come pure la scelta metodologica fondamentale dell'insegnamento per problemi, hanno fortemente influenzato la scuola italiana a tutti i livelli scolari.

L'obiettivo fondamentale di tutto il *Progetto* era che i giovani non studiassero matematica, ma la facessero concretamente prendendovi gusto. Obiettivo di non facile raggiungimento, ma da perseguire tenacemente se si vuole che la matematica diventi uno strumento culturale.

Il Progetto, ampiamente rimaneggiato e con l'apporto di nuovi autori, ma rimasto sostanzialmente fedele allo spirito di *Matematica come Scoperta*, è stato pubblicato in anni recenti dalla Ghisetti e Corvi nella forma di 11 volumetti. Il nostro gruppo ha collaborato a questa riedizione curando un volume su calcolo differenziale e calcolo integrale (Prodi *et al.* 2006).

4. Studio di processi cognitivi e metodologie didattiche

Ormai da qualche decennio i ricercatori in didattica stanno dedicando diverse energie all'analisi dei processi cognitivi coinvolti in attività matematiche, sviluppando studi di carattere teorico considerati ormai fondamentali per ideare e per attuare innovazioni significative in campo educativo. La conoscenza dei processi e della loro complessità offre strumenti all'insegnante e al ricercatore per osservare fenomeni didattici, e per intervenire e indirizzare gli studenti verso forme di pensiero cognitivamente e culturalmente sempre più evolute.

Diverse parti degli studi descritti in ogni paragrafo del presente articolo sono state elaborate secondo questa prospettiva e hanno dato luogo a pubblicazioni e interventi a congressi nazionali e internazionali. In questa sezione esponiamo brevemente alcune ricerche prettamente teoriche condotte negli anni più recenti dal nostro gruppo di ricerca (in alcuni casi con la collaborazione di colleghi italiani o stranieri) sui processi cognitivi legati a diversi aspetti del pensiero matematico.

4.1. Processi di produzione di congetture, argomentazioni e dimostrazioni

Il tema della dimostrazione matematica è da lungo tempo uno dei più discussi in campo didattico. La rilevanza culturale di quanto gravita attorno ai sistemi di validazione matematica e le ben note difficoltà degli studenti di tutti i livelli scolari, anche universitario, hanno stimolato ricerche in cui hanno trovato un punto d'incontro riflessioni di carattere cognitivo, storico ed epistemologico. La proposta italiana (Boero *et al.* 1996) di considerare attività in cui gli studenti siano coinvolti anche nella fase della produzione dell'enunciato da dimostrare ha da sempre incontrato un ragguardevole successo nel panorama internazionale. In questo filone, il gruppo di Pavia ha dato importanti contributi nell'analisi dei processi cognitivi di studenti di scuola superiore e dell'università in attività di formulazione di congetture, produzione di argomentazioni e di dimostrazioni matematiche (Antonini 2001, 2003, 2004; Antonini – Mariotti 2008; Baccaglini-Frank – Mariotti – Antonini 2009). L'analisi ha permesso di identificare alcuni tipi di argomentazioni, spontaneamente prodotte dagli studenti, che presentano strutture logicamente molto vicine a quelle delle dimostrazioni matematiche ma che dal punto di vista cognitivo pos-

sono nascondere alcuni processi molto diversi, per esempio per quanto riguarda il trattamento delle contraddizioni o di certi oggetti matematici. Giusto per fare un esempio, l'analisi delle argomentazioni prodotte dagli studenti ha contribuito, da un lato, offrendo dati sperimentali che confermano l'ipotesi che gli studenti argomentano spontaneamente in modo indiretto in attività di produzione di congetture (Antonini 2003, Antonini – Mariotti 2008, Antonini 2010), dall'altro, permettendo di identificare alcuni processi che sembrano essere specifici del dimostrare in modo indiretto (per contronominale o per assurdo) e che pertanto possono spiegare alcune *discontinuità* nel passaggio dall'argomentazione alla dimostrazione (Antonini – Mariotti 2006, 2008, 2009).

Parte dello studio dei processi argomentativi ha riguardato anche l'uso di particolari *artefatti*, come i software di geometria dinamica (Baccaglini-Frank – Mariotti – Antonini 2009), o alcune macchine matematiche come i *pantografi* (Martignone – Antonini 2009a, 2009b), cioè sistemi articolati e biellismi per le trasformazioni geometriche (in particolare simmetria assiale, centrale, omotetia, traslazione e rotazione).

4.2. Processi di costruzione e di manipolazione di oggetti matematici

Scopo della ricerca è stato quello di analizzare i processi cognitivi coinvolti nella produzione e nella gestione di oggetti matematici. L'interesse dello studio risiede nel fatto che l'attività di produzione di un esempio specifico di certi enti matematici da parte degli studenti, oltre ad essere un buono strumento diagnostico per l'osservazione di alcuni aspetti salienti del processo di concettualizzazione (Antonini 2011), ha dato prova di essere un efficace strumento per il superamento di certi conflitti di carattere cognitivo (Antonini et al. 2007b). Uno stretto legame con lo studio descritto nella sezione precedente nasce dall'analisi delle argomentazioni e delle dimostrazioni di impossibilità proposte nel momento in cui si congettura la non esistenza di un certo oggetto matematico (Furinghetti – Morselli – Antonini 2011). Lo studio ha portato a identificare alcuni processi chiave nella costruzione di esempi, attraverso il confronto tra le attività di solutori esperti con quelle di studenti universitari (Antonini 2006). L'analisi dei protocolli ha permesso la costruzione di un primo quadro teorico (Antonini 2011), i cui principali elementi tengono conto delle interrelazioni tra le definizioni matematiche, le rappresentazioni semiotiche, le trasformazioni su e tra le rappresentazioni, l'intreccio con i processi argomentativi, il ruolo di certi prototipi e il carattere meta-cognitivo di alcuni particolari controlli per la gestione dei processi.

4.3. Il modello dell'apprendimento collaborativo nell'educazione matematica

Si è studiato come questa modalità di insegnamento-apprendimento riesca a sviluppare non solo competenze disciplinari ma anche sociali, favorisca la costruzione significativa di conoscenza e faciliti in modo notevole il confronto e la discussione in classe.

Dalle analisi svolte è emerso, inoltre, che tale modalità didattica risulta particolarmente efficace per gli alunni con difficoltà di apprendimento, che riescono a trarre beneficio sia dal loro coinvolgimento nell'attività didattica sia dall'interazione tra pari. Gli studenti più capaci sono altrettanto potenziati, dovendo sviluppare la loro capacità argomentativa ed essendo sollecitati a motivare in modo approfondito ai compagni le loro strategie. Tra i lavori di riferimento, tutti citati in bibliografia, si segnalano: Baldrighi – Pesci – Torresani 2003; Baldrighi – Fattori – Pesci 2004b; Baldrighi – Bellinzona 2004a, Baldrighi – Bellinzona – Pesci 2005, 2007; Pesci 2004, 2009b; Torresani 2007, 2008.

4.4. La valutazione di competenze matematiche

La problematica relativa alla valutazione delle competenze è notoriamente molto ampia, coinvolgendo in modo naturale sia le riflessioni sugli esiti dell'attività didattica svolta che la progettazione di interventi didattici successivi. Secondo la definizione di 'competenze' condivisa a livello europeo, esse «indicano la comprovata capacità di usare conoscenze, abilità, capacità personali, sociali e/o metodologiche, in situazioni di lavoro di studio e nello sviluppo professionale e/o personale; le competenze sono descritte in termini di responsabilità e autonomia» (da *Il nuovo obbligo di istruzione: cosa cambia? La normativa italiana dal 2007*, Agenzia nazionale per lo sviluppo dell'autonomia scolastica – ex Indire – Firenze, 2007, p. 11).

Si tratta dunque di qualcosa di molto ampio e complesso da rilevare ed è noto che la fase di valutazione si avvale di molteplici strumenti. Tra questi si collocano i test di profitto, all'elaborazione dei quali abbiamo dedicato alcuni lavori, esito di anni di esperienze didattiche svolte nella scuola elementare e media. Dopo una prima edizione (Amoretti *et al.* 1993) ne abbiamo elaborata una successiva, sulla base delle idee generali che ci avevano guidato per la prima stesura ma più aderente ai cambiamenti avvenuti sia all'interno della scuola che della società. Si sono pubblicati una serie di item proponibili a conclusione o all'inizio di ciascuno dei primi otto anni scolari, le relative griglie di soluzione, i commenti alle prove e alcuni suggerimenti per gli insegnanti (Amoretti *et al.* 2007a, 2007b).

5. La formazione degli insegnanti

Un tema di importanza cruciale nella ricerca didattica, affrontato da anni dal nostro gruppo, riguarda la questione di come debba realizzarsi la preparazione degli insegnanti di matematica sia dal punto di vista di una continua riflessione sulla disciplina di insegnamento che sul versante metodologico, perché sappiano promuovere la crescita culturale dei loro studenti in un clima di costruttiva collaborazione.

Sulla base di esperienze svolte attraverso attività laboratoriali, si è delineato ed attuato un modello di intervento sugli insegnanti che li consideri come parte integrante di una comunità che affronta problematiche comuni, condivide risorse, indaga e apprende collaborando (Angelini *et al.* 2007; Antonini – Reggiani 2007a; Pesci 2003b, 2007).

Si è anche studiato (Pesci 2008, 2009a) quali siano i compiti più adatti da proporre agli insegnanti di matematica per promuovere la loro riflessione, così da favorire lo sviluppo di competenza sui contenuti disciplinari, sulle metodologie didattiche e sulle relazioni interpersonali. Si sono sottolineate, in particolare, la rilevanza e l'efficacia della riflessione autobiografica, della riflessione sulle proprie pratiche didattiche e della riflessione epistemologica sui contenuti disciplinari oggetto di insegnamento.

Nella formazione degli insegnanti il nostro gruppo ha maturato esperienze anche nell'ambito del lavoro a distanza: alcuni componenti del gruppo sono infatti coinvolti da anni nel *Progetto Ministeriale M@t.abel* (Matematica. Apprendimenti di base con elearning), un progetto nato da un accordo tra MIUR, Unione Matematica Italiana e Società Italiana di Statistica e rivolto a insegnanti della scuola secondaria di primo grado e del biennio della scuola secondaria di secondo grado. *M@t.abel* si avvale di materiali didattici elaborati in collaborazione da ricercatori e insegnanti in servizio, resi disponibili in rete e proposti alla sperimentazione e alla discussione di gruppi di insegnanti, che si confrontano, coordinati da formatori, utilizzando modalità di comunicazione a distanza sincrona e asincrona.

Bibliografia

- Amoretti, G. Bazzini, L. Pesci, A. Reggiani, M.(1993), *Test di Matematica per la Scuola dell'Obbligo*, Firenze, O.S.
- Amoretti, G.- Bazzini, L. Pesci, A. Reggiani, M.(2007a), MAT2 Test di matematica, Scuola primaria, Giunti O.S.
- Amoretti, G. Bazzini, L. Pesci, A. Reggiani, M.(2007b), *MAT-2 Test di matematica*, *Scuola secondaria di primo grado*, Giunti O.S.
- Angelini, V. –Nannelli, P. Pesci, A. Vitali, E. (2007), *Poliedri: non solo geometria*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 30A-B/4, pp. 355-396.
- Antonini, S. (2001), Negation in mathematics: obstacles emerging from an exploratory study, in Proceedings of the 25th PME Conference (Utrecht, The Netherlands, 2001), vol. 2, pp. 49-56.
- Antonini, S. (2003), Non-examples and proof by contradiction, in Proceedings of the 2003 Joint Meeting of PME and PMENA (Honolulu, Hawaii, U.S.A., 2003), vol. 2, pp. 49-55.
- Antonini, S. (2004), A statement, the contrapositive and the inverse: intuition and argumentation, in Proceedings of the 28th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (Bergen, Norway, 2004), vol. 2, pp. 47-54.
- Antonini, S. (2006), Graduate students' processes in generating examples of mathematical objects, in Proceedings of the 30th PME Conference (Prague, Czech Republic, 2006), vol. 2, pp. 57-64.
- Antonini, S. (2008), Indirect argumentations in geometry and treatment of contradictions, in Proceedings of the Joint Meeting of PME 32 and PME-NA XXX (Morelia, Michoacán, México, 2008), vol. 2, pp. 73-80.

- Antonini, S. (2010), A model to analyze argumentations supporting impossibilities in mathematics, in Proceedings of the 34th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (Belo Horizonte, Brazil), vol. 2, pp. 153-160.
- Antonini, S. (2011), *Generating examples: focus on processes*, «Zentralblatt für Didaktik der Mathematik», , 43(2), pp. 205-217.
- Antonini, S. Mariotti, M.A. (2006), Reasoning in an absurd world: difficulties with proof by contradictio, in Proceedings of the 30th PME Conference (Prague, Czech Republic), 2006, vol. 2, pp. 65-72.
- Antonini, S. Reggiani, M. (2007a), *Il piacere di giocare coi numeri*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 30 A-B/4, pp. 315-354.
- Antonini, S. Furinghetti, F. Morselli, F. Tosetto, E. (2007b), *University students generating examples in Real Analysis: where is the definition?* in *Proceedings of the 5th ERME Conference (Larnaca, Cyprus, 2007)*, pp. 2241-2249.
- Antonini, S. Mariotti, M.A. (2008), *Indirect proof: what is specific to this way of proving?*, «Zentralblatt für Didaktik der Mathematik», 40/3, pp. 401-412.
- Antonini, S. Mariotti, M.A. (2009), Abduction and the explanation of anomalies: the case of proof by contradiction, in Proceedings of the Sixth Conference of European Research in Mathematics Education (Lyon, France, 2009), pp. 322-331.
- Baccaglini-Frank, A. Mariotti, M.A. Antonini, S. (2009), Different perceptions of invariants and generality of proof in dynamic geometry, in Proceedings of the 33rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (Thessaloniki, Greece, 2009) vol. 2, pp. 89-96.
- Baldrighi, A. Pesci, A. Torresani, M. (2003), Relazioni disciplinari e sociali nell'apprendimento cooperativo. Esperienze didattiche e spunti di riflessione, in Matematica & Difficoltà 12, "Osservare, valutare, orientare gli alunni in difficoltà", a cura di Bruno Longo, P. Davoli, A. Sandri, P., Bologna, Pitagora, pp. 170-178.
- Baldrighi, A. Bellinzona, C. (2004a), Esperienze di apprendimento cooperativo: le equazioni di secondo grado, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 27A-B/6, pp. 773-784.
- Baldrighi, A. Fattori, A. Pesci, A. (2004b), *Un'esperienza di apprendimento cooperativo nella scuola secondaria superiore: il teorema di Pitagora*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 27B/2, pp.125-146.
- Baldrighi, A. Bellinzona, C. Pesci, A. (2005), L'evoluzione disciplinare e sociale di alcuni alunni in difficoltà durante esperienze di apprendimento cooperativo, in Matematica & Difficoltà 13, "Alunni, insegnanti, matematica. Progettare, animare, integrare", a cura di Davoli, A., – Imperiale, R. – Piochi, B. – Sandri, P., Bologna, Pitagora, pp. 104-109.
- Baldrighi, A. Bellinzona, C. Pesci, A. (2007), Una esperienza sull'intreccio di linguaggi per un uso consapevole di simboli matematici, in Matematica & Difficoltà 14, "Matematica e difficoltà: i nodi dei linguaggi", a cura di Imperiale, R. Piochi, B. Sandri, P., Bologna, Pitagora, pp. 60-65.

- Bardone, L. Bertazzoli, L. Finos, G. Pesci, A. Tommasini, F. Trevisani, M. (2005), Quaderno Didattico N. 19: Fare matematica con Cabri nel primo ciclo scolastico, Paderno del Grappa (TV), Centro Ricerche Didattiche Ugo Morin.
- Bazzini, L. Pesci, A. Reggiani, M. (a cura di) (1985), Progetto matematica come Scoperta. Guida al volume G. Prodi-E.Magenes, Elementi di analisi per il triennio delle scuole secondarie superiori, Messina-Firenze, G. D'Anna.
- Bazzini, L. Ferrari, M. Pesci, A. Reggiani, M. (1995), *Il Progetto "Matematica come Scoperta": lo spirito continua*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 18 A-B/5, pp. 445-473.
- Bertazzoli, L. Pesci A. Tomassini F. (2004), Esplorare quadrilateri con Cabri: un punto di partenza per lo sviluppo di interessanti percorsi geometrici, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 27°/2, pp. 127-151.
- Boero, P. Garuti, R. Lemut, E. Mariotti, M. A. (1996), Challenging the traditional school approach to theorems: a hypothesis about the cognitive unity of theorems, in Proceedings of the 20th PME Conference (Valencia, Spain, 1996), vol. 2 pp. 113-120.
- Bovio, M. Reggiani, M. Vercesi, N. (1995), *Problemi didattici relativi alle equazioni di primo grado nel biennio delle superiori*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 18B/1, pp. 7-32.
- Bovio, M. Reggiani, M. Vercesi, N. (1997), Equazioni di primo grado nel biennio delle superiori, in La didattica dell'Algebra nella scuola Secondaria superiore, Atti del V Convegno Internuclei per la scuola secondaria superiore, a cura di Bazzini, L., pp. 54-63.
- Bovio, M. Reggiani, M. (2000), *La fattorizzazione di polinomi: osservazioni didattiche*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 23B/1, pp. 7-25.
- Colombo Bozzolo, C. Ferrari, M. (2001), *Quaderno Didattico N. 17: Problemi di matematica per la prima e la seconda elementare*, Centro Ricerche Didattiche Ugo Morin, Paderno del Grappa (TV).
- Colombo Bozzolo, C. Ferrari, M. (2002), *Quaderno Didattico N. 18: Problemi di matematica per la terza quarta e quinta elementare*, Paderno del Grappa (TV), Centro Ricerche Didattiche Ugo Morin.
- Ferrari, M. (1989), Fare matematica nella scuola elementare secondo i nuovi programmi: una proposta del nucleo di Pavia, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 12/1.
- Ferrari, M. Pesci, A. Reggiani, M. (2008), *Dalla teoria alla pratica nell'educazione matematica: alcune proposte* in *Insegnare Matematica: esempi di buone prassi in Lombardia*, a cura di Longo, A.P. Barbieri, S., Milano, Angelo Guerini e Associati, pp. 54-64.
- Furinghetti, F. Morselli, F. Antonini, S. (2011), *To exist or not to exist: example generation in real analysis*, «Zentralblatt für Didaktik der Mathematik», 43(2), pp. 219-232.
- Martignone, F. Antonini, S. (2009a), Exploring the mathematical machines for geometrical transformations: a cognitive analysis, in Proceedings of the 33rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (Thessaloniki, Greece, 2009), vol. 4, pp. 105-112.

- Martignone, F. Antonini, S. (2009b), Students' utilization schemes of pantographs for geometrical transformations: a first classification, in Proceedings of the Sixth Conference of European Research in Mathematics Education (Lyon, France, 2009), pp. 1250-1259.
- Nolli, N. Reggiani, M. (2004), From the area to the primitives: can the new technologies help the students in the construction of the meaning of mathematical objects? In ICME 10, Discussion Group 20, [online] URL: http://www.icme10.dk/>.
- Pesci, A. (2002), Lo sviluppo del pensiero proporzionale nella discussione di classe, Bologna, Pitagora.
- Pesci, A. (2003a), Geometria con Cabri. Unità didattiche in rete, in Conferenze e Seminari della Associazione Subalpina Mathesis e del Seminario di Storia delle Matematiche "Tullio Viola" 2002/2003, a cura di Gallo, E. Giacardi, L. Robutti, O., Torino, pp. 109-120.
- Pesci, A. (2003b), *Insegnanti di matematica e studenti: come migliorare il lato umano delle loro relazioni?*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 26B/4, pp. 521-545.
- Pesci, A. (2004), *Insegnare e apprendere cooperando: esperienze e prospettive*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 27 A-B/6, pp. 637-670.
- Pesci, A. (2007), From studies of cooperative learning practices towards a model of intervention on mathematics teachers, in Proceedings of CERME 5 (Larnaca, Cyprus, 2007), ed. by Demetra Pitta Pantazi& George Philippou, pp. 1945-1954.
- Pesci, A. (2008), *Promuovere la riflessione autobiografica dell'insegnante di matematica: alcune esperienze*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 31B/6, pp. 447-466.
- Pesci, A. (2009a), Developing Mathematics Teachers' Education through personal Reflection and Collaborative Inquiry: Which Kind of Tasks? in Proceedings of CERME 6 (Lyon, France, 2009), pp. 1981-1990.
- Pesci, A. (2009b), Cooperative Learning and Peer Tutoring to promote Students' Mathematics Education, in Proceedings of the 10th International Conference "Models in Developing Mathematics Education", Dresden, ed. by L. Paditz&A. Rogerson, pp. 486-490, http://math.unipa.it/~grim/21_project/21Project_dresden_sept_2009.htm.
- Pesci, A. Reggiani, M. (1988), *Statistica e Probabilità. Una proposta didattica per la scuola media*, Torino, SEI.
- Prodi, G. (1975), Matematica come scoperta 1, Messina-Firenze, G. D'Anna.
- Prodi, G. (1977), Matematica come scoperta 2, Messina-Firenze, G. D'Anna.
- Prodi, G. Magenes, E. (1982), Elementi di analisi matematica per il triennio delle scuole secondarie superiori, Messina-Firenze, G. D'Anna.
- Prodi, G. Magenes, E.– Magenes, M. R. Pesci, A. Reggiani, M. (2006), *Calcolo Differenziale e Calcolo Integrale*, Ghisetti e Corvi Editore.
- Reggiani, M. (1997), Continuità nella costruzione del pensiero algebrico, in Atti convegno UMI-CIIM, Campobasso, ottobre 1996, Supplemento al n. 7 del notiziario UMI, pp. 35-48.
- Reggiani, M. (2001), Fasci di parabole con Derive, in Matematica e scuola: facciamo il punto, a cura di Bazzini L., Milano, Franco Angeli, pp. 257-261.

- Reggiani, M. (2002a), Variabili e parametri nell'approccio alla rappresentazione di funzioni, in SFIDA XVI, Séminaire Franco-Italien de Didactique de l'Algèbre, ActesdesSéminaires, SFIDA 13 à SFIDA 16, vol. IV, Drouhard, Maureleds., IREM de Nice, XVI 27-34.
- Reggiani, M. (2002b), Dall'aritmetica all'algebra: ci può aiutare la tecnologia?, in Conferenze e Seminari della Associazione Subalpina Mathesis e del Seminario di Storia delle Matematiche "Tullio Viola" 2001/2002, a cura di Gallo, E. Giacardi, L. Robutti, O., Torino, pp. 373-380.
- Reggiani, M. (2006), Formula vo' cercando ch'è sì cara... (il linguaggio delle formule dalle "elementari" alle "superiori"), «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 29A-B/6, pp. 627-644.
- Torresani, M. (2007), Attività di tutoraggio nel recupero in itinere in matematica, in *Matematica & Difficoltà 14, "Matematica e difficoltà: i nodi dei linguaggi"*, a cura di Imperiale, R. Piochi, B. Sandri, P., Bologna, Pitagora, pp. 66-71.
- Torresani, M. (2008), *Una esperienza di Peer Education finalizzata al recupero nella scuola secondaria di secondo grado*, «L'Insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate», 31 A-B/6, pp. 573-585.

La ricerca in didattica della fisica, dallo studio delle concezioni spontanee all'elaborazione di percorsi d'apprendimento

Ugo Besson, Dipartimento di Fisica

Abstract: La didattica della fisica, e in generale di una disciplina, studia i processi di insegnamento e apprendimento in ciò che essi hanno di specifico per la disciplina stessa. I temi delle ricerche didattiche sono vari e numerosi e definiscono un campo disciplinare autonomo, distinto dalle discipline scientifiche di riferimento e dalla pedagogia generale. In questo intervento delineo un panorama sintetico dello sviluppo delle ricerche in didattica della fisica, insieme con alcuni riferimenti culturali e pedagogici. Presento quindi le ricerche recenti del gruppo di Pavia riguardanti la progettazione e sperimentazione di percorsi d'insegnamento e apprendimento su argomenti specifici. In particolare, descrivo brevemente un percorso didattico sugli effetti termici dell'interazione fra radiazione e materia e l'effetto serra.

Didactics of physics, and more generally of a discipline, studies the aspects of teaching and learning processes which are specific for the considered discipline. The themes of the didactical research are numerous and define an autonomous field of knowledge, distinct from the scientific disciplines of reference and from general pedagogy. In the present paper, I sketch a panorama of the development of the research in didactics of physics, together with some cultural and pedagogical references. Subsequently, I introduce the recent researches of the group of Pavia concerning the design and experimentation of teaching learning sequences on specific topics. In particular, I shortly describe a teaching sequence on the thermal effects of the interaction between radiation and matter and the green house effect.

1. La didattica delle scienze come disciplina autonoma

La didattica della fisica, e in generale di una disciplina scientifica, studia l'insegnamento e l'apprendimento, in ciò che essi hanno di specifico per la disciplina stessa. Si distingue dalla pedagogia e dalla psicologia dell'apprendimento, poiché tratta di fenomeni e problemi collegati con la specificità del contenuto disciplinare, non riducibili né risolubili in un quadro generale psico-pedagogico. Pone al centro del suo interesse il triangolo allievo-insegnante-sapere (Figura 1), con i lati a dominanza epistemologica (S-I, elaborazione e analisi dei contenuti), psico-cognitiva (A-S, strategie di appropriazione, concezioni e rappresentazioni mentali), pedagogica (I-A, interazioni didattiche in classe), e il problema della costruzione di efficaci situazioni didattiche.

88 Ugo Besson



Figura 1. Il triangolo didattico

La didattica delle discipline nasce in contrasto con due idee diffuse, opposte e simmetriche, sull'insegnamento: l'idea di una didattica indipendente dai contenuti o pedagogia generale, secondo cui se si sa insegnare, si sa insegnare qualunque cosa; l'idea, simmetrica, di una didattica basata solo sui contenuti, secondo cui se conosci bene la materia, la sai anche insegnare bene, «sapere è saper insegnare».

La didattica delle discipline si basa invece sull'idea che occorre studiare problemi e soluzioni relativi all'apprendimento di specifici contenuti, il che comporta i seguenti filoni principali di ricerca:

- una riflessione critica sull'organizzazione concettuale e i fondamenti del contenuto, in vista di una sua ricostruzione coerente per l'insegnamento
- lo studio dei processi cognitivi specifici necessari per l'apprendimento del contenuto, con gli ostacoli, le difficoltà, i modelli mentali, i ragionamenti...
- la definizione, sulla base delle indicazioni dei due precedenti tipi di ricerca, di un percorso cognitivo comportante obiettivi specifici graduati secondo il livello di età degli allievi
- la realizzazione e sperimentazione di percorsi di insegnamento e apprendimento su particolari segmenti curricolari, indicando contenuti, obiettivi, metodi, strumenti, strategie cognitive
- la progettazione e sperimentazione di materiali didattici particolari (dispense, schede, audiovisivi, software, esperimenti...)
- l'organizzazione di percorsi di formazione degli insegnanti coerenti con le indicazioni delle ricerche sui punti precedenti

I temi specifici delle ricerche didattiche sono numerosi: le concezioni e i ragionamenti degli allievi, le strategie di cambiamento concettuale, l'elaborazione di sequenze d'insegnamento e apprendimento, le interazioni in classe, la tutela e la mediazione, il ruolo dei fatti linguistici, le attività pratiche e di laboratorio, l'utilizzo degli strumenti informatici e dei mezzi audiovisivi, l'analisi dei contenuti disciplinari, la risoluzione dei problemi, l'analisi delle pratiche degli insegnanti, il ruolo della storia e della filosofia della scienza, l'apprendimento dei metodi e della natura della scienza,

l'elaborazione e l'analisi di programmi e curriculum, le interazioni fra discipline affini, la formazione degli insegnanti.

L'idea di ricostruzione o *trasposizione didattica* (Chevallard 1991) è centrale, come passaggio dal sapere accademico o scientifico e/o dalle pratiche sociali di riferimento, al sapere da insegnare, al sapere insegnato, che poi diventa sapere appreso o conoscenza personale. La fisica dell'insegnante è una costruzione intermedia fra la fisica del fisico e la fisica dell'allievo. Una disciplina scolastica non è mai il *calco semplificato* della disciplina universitaria o accademica. La trasposizione è inevitabile e necessaria ma è anche rischiosa, lo scarto o deformazione rispetto al modello della fisica accademica deve essere accettato, ma anche controllato e valutato, per evitare che non resti solo una somiglianza terminologica, a volte in un linguaggio approssimativo.

Un'altra idea fondamentale è che gli studenti non arrivano alla lezione di scienze con la mente sgombra di idee sui fenomeni fisici da studiare; essi già possiedono schemi interpretativi, idee e concezioni personali su molte situazioni fisiche. Questo fatto è ormai largamente verificato e accettato e la conoscenza di tali idee personali costituisce uno dei risultati più importanti e significativi della ricerca didattica.

2. Evoluzione dei temi di ricerca in didattica della fisica

2.1. Le ricerche sulle concezioni alternative

La didattica delle scienze, e della fisica in particolare, ha una svolta netta e un suo momento fondante come disciplina autonoma negli anni '70, con lo sviluppo delle ricerche sulle concezioni alternative degli studenti. Inizia un vasto e crescente movimento di ricerche sulle idee e i ragionamenti degli allievi su specifici argomenti, con una riflessione sul loro statuto conoscitivo e il loro ruolo nell'apprendimento e nell'insegnamento. Molti studiosi con una formazione scientifica si impegnano nella ricerca in questo campo. La terminologia utilizzata varia col tempo, secondo le aree culturali e i quadri interpretativi: si parla di *pre-conceptions, misconceptions, prior ideas, alternative frameworks, children science*, rappresentazioni mentali, ragionamenti spontanei, concezioni difformi...

Lo sviluppo di tali ricerche è impetuoso. L'interesse risiede nel fatto che concezioni simili si ritrovano in ambiti geografici e culturali molto differenti, così da fare pensare a una specie di 'fisica spontanea', come un risultato di ricerca fondamentale e stabile. Pur non costituendo certamente, per il singolo studente, un insieme organico e coerente, molte concezioni mostrano una stabilità e un'efficacia non trascurabili in specifici e limitati ambiti. Alcune concezioni rivelano una notevole tenacia e si ritrovano inalterate o parzialmente modificate anche dopo lo studio a scuola delle discipline scientifiche.

Nel 1989 R. Driver segnala l'esistenza di centinaia di articoli sull'argomento, mentre la bibliografia recente e periodicamente rinnovata redatta in Germania da R. Duit (2009) conta migliaia di titoli. Alcuni lavori collettivi hanno raccolto una sintesi di risultati, per esempio: Driver – Guesne – Tiberghien 1985, Grimellini – Segré 1991, Cavallini 1995, Viennot 1996. Una vera e propria topografia delle concezioni più comuni è ormai dispo-

90 Ugo Besson

nibile. Già nella prima metà del XX secolo erano emerse indicazioni in questo senso, con gli studi di Piaget e i lavori di Bachelard. I precedenti immediati possono essere individuati nel dibattito pedagogico del cognitivismo e nei lavori di Bruner, Piaget, Ausubel.

2.2. Lo sfondo culturale e psico-pedagogico

Negli anni '60-'70, con riferimento a studiosi come Bruner, Piaget, Vigotskji, Ausubel, si afferma il quadro teorico del cognitivismo, che sottolinea il ruolo attivo della mente, come sede di processi di elaborazione delle informazioni. Si sottolinea l'importanza di ciò che l'allievo già conosce, e che un nuovo apprendimento acquisisce un senso per l'allievo solo se esso s'inserisce nell'ambiente delle conoscenze già possedute.

Ausubel (1968-1978) scrive (p. VI e 447):

Se dovessi concentrare in un unico principio l'intera psicologia dell'educazione, direi che il singolo fattore più importante che influenza l'apprendimento sono le conoscenze che lo studente già possiede. Accertatele e comportatevi in conformità nel vostro insegnamento ... il sussistere di preconcetti è il fattore singolo più importante nell'acquisizione e nella ritenzione delle conoscenze in una data materia ... questi preconcetti sono sorprendentemente tenaci e resistenti all'eliminazione.

Secondo Bruner (1960-2002), il problema dell'apprendimento va posto nei termini di un processo che raccordi la struttura psicologica del soggetto con la struttura logica e scientifica dell'oggetto (la disciplina). È apprendendo la struttura di un argomento che si afferra il significato essenziale dell'argomento stesso. Da qui discende l'individuazione di due versanti per la ricerca didattica successiva: la struttura delle discipline e le rappresentazioni mentali degli allievi.

Bruner insiste sull'importanza del coinvolgimento degli esperti della disciplina nello sviluppo dei curricoli. Tuttavia, gli esperti della disciplina non hanno in modo automatico anche le competenze necessarie sulla struttura e la metodologia della disciplina stessa o sull'ambiente culturale nel quale essa s'inserisce, né sui problemi dell'apprendimento della disciplina. Saper 'di' una materia non equivale a sapere 'sulla' materia né su come essa si apprende. Per questo motivo, sviluppando la linea iniziata da Bruner, si è progressivamente affermata la necessità di una competenza e di un corpo di conoscenze peculiari che mettano insieme gli aspetti prima indicati e la conoscenza sicura della disciplina da insegnare, delineando il profilo di un campo disciplinare autonomo, che definisce appunto la didattica della fisica o di altra disciplina, con propri metodi, contenuti, linguaggi, strumenti di ricerca.

Il riferimento più diretto per lo studio delle concezioni alternative sono le vaste ricerche di Piaget e del suo gruppo sullo sviluppo cognitivo e le idee dei bambini e degli adolescenti sulla materia, la Terra e l'Universo, il movimento, le forze, i fluidi, la luce, la struttura della materia, le spiegazioni fisiche (Piaget – Inhelder 1955, Piaget – Garcia 1971). Sono importanti, per esempio, i risultati sulla conservazione del volume, della materia e del peso, sul ragionamento proporzionale, sulla causalità. Il metodo di ricerca del gruppo di Piaget, con le interviste cliniche, è assunto dalla ricerca didattica successiva.

Tuttavia, i lavori di Piaget hanno una finalità e un quadro teorico differente, cercano indicazioni sullo sviluppo dei processi logici generali, che conduce il bambino dallo stadio pre-operatorio a quello delle operazioni concrete e poi delle operazioni formali, in un processo spontaneo culminante verso quel tipo di capacità logiche formali che sono essenziali per l'apprendimento scientifico e matematico.

Un altro riferimento è G. Bachelard, che analizza in profondità e nei dettagli disciplinari (fisica e chimica soprattutto) le specificità del pensiero e dell'attività scientifica moderna, sottolineando gli aspetti di rottura fra conoscenza scientifica e conoscenza comune. Bachelard introduce l'idea di *ostacolo epistemologico* e pedagogico e sottolinea l'importanza delle conoscenze già costituite degli allievi. Il suo punto di vista è molto differente da quello di Piaget. Secondo Bachelard, l'apprendimento delle scienze moderne non avviene come uno spontaneo sviluppo, in una continuità dalle idee del bambino alle idee scientifiche, esso si costruisce piuttosto contro quello che il bambino pensa spontaneamente. Si tratta di cambiare il modo di pensare, perché il pensiero scientifico moderno non è affatto naturale, ma spesso è contro-intuitivo e contraddice le apparenze e le idee comuni.

Bachelard scrive che «gli insegnanti di scienze non capiscono perché gli studenti non capiscono» e questo costituisce un problema. Spesso gli studenti sbagliano non per distrazione o incapacità, ma perché la pensano diversamente da quanto detto dall'insegnante. Lo statuto dell'errore ne viene alterato profondamente. Non si tratta solo di sbagli, ma anche di differenti modelli interpretativi:

L'adolescente arriva al corso di fisica con conoscenze empiriche già costituite: si tratta allora non tanto di acquisire una cultura, ma piuttosto di cambiarla, di rovesciare gli ostacoli già formatisi nella vita quotidiana. Un esempio: l'equilibrio dei corpi galleggianti è oggetto di una cultura familiare che è tessuta d'errori. Più o meno chiaramente, si attribuisce un'attività al corpo che galleggia, meglio al corpo che nuota. Se si cerca di spingere un pezzo di legno sott'acqua, esso resiste. Non si attribuisce facilmente la resistenza all'acqua. È allora difficile far comprendere il principio di Archimede nella sua sorprendente semplicità matematica, se prima non si critica e non si disorganizza il complesso impuro delle intuizioni prime. In particolare, senza questa psicanalisi degli errori iniziali, non si farà mai capire che il corpo che emerge e il corpo completamente immerso obbediscono alla stessa legge (Bachelard 1938-1995, p. 17).

2.3. Le strategie di cambiamento concettuale

Una volta riconosciuta l'importanza delle rappresentazioni mentali degli allievi, si tratta di studiare possibili strategie di cambiamento concettuale, che favoriscano il passaggio dalla concezione alternativa a una concezione coerente con la scienza attuale e gli obiettivi dell'insegnamento, aprendo un nuovo importante campo di ricerca ancora molto attivo. Alcuni studiosi sottolineano gli elementi di continuità fra idee comuni e conoscenza scientifica e considerano le pre-concezioni come risorse da ristrutturare e arricchire; altri, invece, insistono piuttosto sulle rotture e il *conflitto cognitivo* e considerano necessario un

92 Ugo Besson

vero e proprio cambiamento concettuale, che si configura come una personale fase di rivoluzione scientifica. Con riferimento alle idee di Vygotsky, che attribuisce alle interazioni sociali e al linguaggio un ruolo centrale nello sviluppo cognitivo, si considera il ruolo di un *conflitto socio-cognitivo* come motore del cambiamento concettuale, suggerendo situazioni didattiche che favoriscano la creazione di un *dibattito scientifico* in classe. Un ruolo importante è attribuito alla relazione e discussione fra pari.

2.4. La progettazione di sequenze d'insegnamento basate sulla ricerca

Gli studi sulle concezioni alternative e sul cambiamento concettuale hanno contribuito a far capire perché gli studenti non capiscono e quali ostacoli incontrano; si pone allora il problema di utilizzare i risultati ottenuti per costruire situazioni didattiche che consentano agli studenti di capire e di migliorare il loro apprendimento. La ricerca didattica si è quindi particolarmente concentrata nell'elaborazione e sperimentazione di percorsi o sequenze d'insegnamento e apprendimento (*Teaching learning sequences*, TLS), basati sui risultati ottenuti dalla ricerca degli ultimi decenni sulle concezioni di senso comune e sui processi di apprendimento relativi a specifici contenuti scientifici. Ciò nell'ambito di un filone di ricerca volto allo studio di approcci migliorativi dell'apprendimento a livelli *micro* o *meso*, cioè relativi a un solo argomento o tema, trattati in una sequenza di alcune ore o settimane,mentre altre ricerche studiavano soluzioni a livello *macro*, di un intero curriculum di uno o più anni di studio.

Si realizzano sequenze con finalità puramente di ricerca, per ottenere risultati conoscitivi su particolari aspetti dei processi di apprendimento relativi a un argomento scientifico, oppure anche con obiettivi di innovazione, per esempio migliorare l'efficacia di un insegnamento particolare o introdurre nuovi contenuti e metodi in un determinato segmento del curriculum scolastico.

La progettazione di una TLS coinvolge molteplici aspetti e pone vari problemi metodologici, e su questo tema differenti approcci, metodi e soluzioni sono stati elaborati dalla ricerca didattica (si veda, per esempio, Méheut – Psillos 2004).

2.5. Il ruolo degli insegnanti e la loro formazione

Mentre la ricerca elaborava molte proposte di sequenze d'insegnamento e raffinate indicazioni didattiche su specifici problemi d'apprendimento, la pratica scolastica effettiva rimaneva tuttavia lontana da queste proposte, ponendo il problema dello scarto fra le elaborazioni della ricerca didattica e la realtà scolastica. Per esempio, in un libro edito dall'ICPE (International Committee on Physics Education of IUPAP) si legge:

Despite the results of research in science education and the innovative teaching proposals available in the literature, physics learning of secondary school students remains often unsatisfactory and science teaching maintains some traditional characteristics that research has proved to be ineffective (Pessoa – Gil-Perez 1998).

Si è quindi studiato il problema della disseminazione su larga scala delle sequenze d'insegnamento sperimentate nella ricerca didattica, e quindi della realizzazione di TLS utilizzabili effettivamente in ambienti scolastici ordinari, che tengano conto dei vincoli posti dal funzionamento reale dei contesti scolastici istituzionali di riferimento.

Per questo scopo è stata sottolineata l'importanza dell'insegnante, e molte ricerche si sono concentrate sullo studio del ruolo dell'insegnante come trasformatore delle intenzioni didattiche dei programmi o dei ricercatori (Pinto 2005, Hirn – Viennot 2000) e sull'elaborazione di progetti ed esperienze di formazione degli insegnanti (Abell 2000, Psillos et al. 2005, Besson et al. 2010c). Si individuano tre campi di conoscenze considerati fondanti della competenza dell'insegnante: la conoscenza della disciplina da insegnare (Subject Matter Knowledge SMK), le conoscenze pedagogiche (Pedagogical Knowledge PK) e una conoscenza didattica della disciplina (Pedagogical Content Knowledge PCK). Quest'ultima è una componente caratterizzante dei recenti approcci alla formazione insegnante eoggetto di molti studi, «un amalgama speciale di contenuto e di pedagogia, che è caratteristica unica dell'insegnante, una sua specifica forma di comprensione professionale» (Shulman 1986, Berry et al. 2008).

2. 6. Altri temi di ricerca in didattica della fisica

Nei paragrafi precedenti ho delineato, con qualche forzatura, una successione logicotemporale di temi prevalenti della ricerca in didattica delle scienze e della fisica in particolare:

Temi di ricerca della didattica della fisica

analogie Cambiamento concettuale Storia e filosofia Ruolo degli della scienza esperimenti STS - Scienza Risoluzione tecnica e società dei problemi Nuove tecnologie

Concezioni e rappresentazioni mentali Modelli e informatiche Sequenze d'insegnamento - apprendimento Argomentazione **NOS-Nature** scientifica Formazione degli insegnanti of science Didattica museale

Figura 2. Temi di ricerca della didattica della fisica

94 Ugo Besson

Si tratta, ovviamente, di una schematizzazione che ha lo scopo di evidenziare un'evoluzione di tendenze, tutti i temi indicati essendo sempre presenti, pur con pesi molto variabili, insieme ad altri argomenti importanti, come (Figura 2): i modelli e le analogie, i problemi, gli esperimenti, il ruolo della storia e della filosofia della scienza (HPS) e la natura della scienza (nature of science, NOS), l'argomentazione scientifica e il ruolo del linguaggio, le nuove tecnologie informatiche (ICT), i rapporti fra scienza, tecnica e società (STS), didattica informale e museale ...

La ricchezza di tematiche e l'evoluzione e la stabilizzazione di risultati, riferimenti e quadri interpretativi definiscono ormai un campo specifico di conoscenze e metodi (la *science education* o *didactics of sciences*), sostenuto da una comunità internazionale di studiosi che si esprimono e dibattono nell'ambito di associazioni, congressi, riviste e libri. Si tratta di un campo disciplinare autonomo, distinto dalle discipline scientifiche di riferimento e dalla pedagogia generale, anche se a esse è collegato e con esse interagisce.

3. La progettazione e sperimentazione di sequenze d'insegnamento e apprendimento del gruppo di ricerca in didattica della fisica dell'Università di Pavia

Negli ultimi anni il gruppo di ricerca in didattica della fisica dell'Università di Pavia ha lavorato alla progettazione e sperimentazione di sequenze d'insegnamento e apprendimento (*teaching learning sequence*, TLS), anche in connessione con la formazione iniziale degli insegnanti. L'elaborazione di una TLS basata sulla ricerca è un processo complesso che coinvolge molteplici aspetti e conoscenze. La nostra progettazione ha seguito un approccio che abbiamo chiamato 'tridimensionale' (Besson, Borghi, De Ambrosis e Mascheretti 2010a) perché richiede l'integrazione sinergica di tre aspetti (Figura 3): analisi critica dei contenuti scientifici (anche negli aspetti storici e applicativi) nella prospettiva del loro insegnamento; studio dei modi correnti di trattare l'argomento (libri di testo, pratiche di insegnamento comuni); analisi dei risultati della ricerca didattica (concezioni comuni sull'argomento e elaborazione di percorsi d'insegnamento e apprendimento).

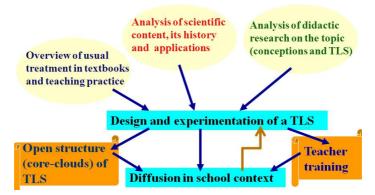


Figura 3. Approccio tridimensionale e struttura *core-clouds* per la progettazione di percorsi d'insegnamento e apprendimento

Per colmare la distanza fra il progetto di ricerca e la realtà scolastica e facilitare la riproducibilità della sequenza da parte degli insegnanti nelle loro classi, abbiamo presentato il percorso con una struttura aperta, in cui distinguiamo un *nocciolo* di contenuti, correlazioni concettuali e scelte metodologiche considerati essenziali e una *nuvola* di elementi che possono essere ridisegnati o trascurati dagli insegnanti. Questa struttura nocciolonuvola (*core-clouds* in inglese) si è rivelata utile sia per consentire agli insegnanti di introdurre cambiamenti, per vincoli pratici o per personali preferenze e attitudini, sia per controllare tali cambiamenti, evitando che alterino il senso e la logica del percorso. Questo lavoro può anche produrre un perfezionamento e arricchimento del percorso con i contributi forniti dagli insegnanti stessi.

Con questo tipo di progettazione, abbiamo sviluppato e sperimentato due sequenze d'insegnamento, la prima sui fenomeni d'attrito e la seconda sugli effetti termici della radiazione e l'effetto serra.

La sequenza sull'attrito è descritta negli articoli di Besson – Borghi – De Ambrosis – Mascheretti (2007 e 2010a) e un'analisi concettuale storica è sviluppata negli articoli di Besson (2006, 2007a, 2007b). La sequenza sugli effetti termici della radiazione e l'effetto serra sono descritti nell'articolo di Besson – De Ambrosis – Mascheretti (2010b), un'analisi concettuale è sviluppata nei lavori di Besson (2009 e 2010a) e di Onorato, De Ambrosis e Mascheretti (2011), mentre uno studio storico di alcuni aspetti è presentato negli articoli di Besson (2010b e 2011).

Come esempio, presento brevemente qui di seguito questa seconda seguenza.

4. Una sequenza d'insegnamento e apprendimento sugli effetti termici della radiazione e l'effetto serra

4.1. L'effetto serra e il riscaldamento globale come centri d'interesse didattico

L'effetto serra anomalo e le sue conseguenze sul riscaldamento globale del pianeta sono temi dibattuti nei media e da varie organizzazioni sociali e politiche da oltre vent'anni (vedi IPCC 2007). Ma spesso ad un'analisi del problema dal punto di vista socio-culturale e ambientale, non si accompagna uno studio altrettanto dettagliato degli aspetti scientifici e delle questioni fisiche coinvolte, che sono anzi trascurate. I due aspetti devono invece intrecciarsi e sostenersi l'uno con l'altro in modo che la consapevolezza della portata sociale del tema solleciti la motivazione ad approfondirne gli aspetti concettuali e la comprensione di questi ultimi fornisca gli strumenti necessari per seguire criticamente il dibattito pubblico, assumere punti di vista consapevoli, sviluppare autonomamente le proprie conoscenze e prendere decisioni. Questo tema può sollecitare la motivazione degli studenti e costituire un *centro d'interesse* attorno cui costruire progressivamente una rete di concetti e modelli fisici. Ciò può contribuire a *dare senso* ai contenuti fisici e a connetterli al mondo culturale dell'allievo e alle sollecitazioni provenienti da altre fonti. Allo stesso tempo, il percorso dedica un'attenzione particolare ai problemi concettuali, alla progressione cognitiva e alla coerenza interna e con altri settori della fisica, svilup-

96 Ugo Besson

pando in questo contesto una comprensione più approfondita dei fenomeni termici, del concetto di energia e del principio di conservazione.

4.2. Idee degli studenti sull'interazione tra radiazione e materia e l'effetto serra

L'analisi della letteratura didattica esistente sull'argomento e un'indagine da noi condotta su gruppi di studenti e di futuri insegnanti hanno evidenziato alcune concezioni e difficoltà diffuse sull'argomento, per esempio:

- il riscaldamento globale e il buco dell'ozono sono considerati aspetti dello stesso problema
- l'intrappolamento dei raggi solari da parte dell'atmosfera è il meccanismo più frequentemente citato come causa dell'effetto serra, interpretato in termini di una situazione nella quale nel sistema entra più energia di quanta ne esca
- la tendenza a dare valore assoluto alle proprietà ottiche (trasparenza, assorbività, emissività), come proprietà intrinseche di un dato materiale
- non considerazione dell'emissione di radiazione infrarossa da parte degli oggetti a temperature ordinarie nello studio degli scambi termici e dei bilanci energetici
- difficoltà a comprendere correttamente le situazioni stazionarie di non equilibrio termico, in cui le temperature si mantengono costanti grazie a flussi di energia che si bilanciano

4.3. Il percorso d'insegnamento e apprendimento elaborato

L'analisi critica dei contenuti, l'indagine sulle concezioni comuni sull'argomento e il lavoro preliminare con piccoli gruppi di studenti ci hanno portato a identificare una serie di snodi concettuali e di tappe cognitive necessari per la costruzione di una spiegazione corretta dell'effetto serra e per una comprensione più approfondita dei concetti connessi. Queste tappe cognitive corrispondono alle sei fasi in cui si articola il percorso didattico, che descrivo brevemente nel seguito.

4.3.1. Distinguere le grandezze temperatura, energia interna, calore e lavoro, mostrando come sia possibile scaldare senza fornire calore e fornire calore senza scaldare.

Si propone un'introduzione diversa alla calorimetria, che includesubito esperimenti nei quali un corpo viene scaldato compiendo su di esso lavoro (per esempio comprimendo un gas, sollecitando forze d'attrito, producendo una corrente elettrica in un filo metallico, esponendo un oggetto al sole) e l'analisi di situazioni che comportino il raggiungimento di temperature stazionarie in condizioni di non equilibrio termico, ad esempio il caso di una stanza nella quale sia presente un termosifone acceso. L'interpretazione di esperimenti di questo tipo porta ad una discussione della relazione:

Energia (che entra nel sistema)= ΔU + Energia (ceduta all'ambiente) come conseguenza del principio di conservazione dell'energia, e aiuta a differenziare le grandezze energia interna (U), calore e lavoro.

La quantità $mc\Delta T$ viene considerata quindi come un'espressione della variazione di energia interna connessa con una variazione di temperatura, nei casi in cui non ci siano cambiamenti di stato o reazioni chimiche: $\Delta U = mc\Delta T$. Un'energia che può essere fornita al sistema mediante lavoro, calore o radiazione.

4.3.2. Riconoscere e spiegare una condizione di temperatura stazionaria per oggetti esposti al sole o alla luce di una lampada.

Si discutono gli effetti della radiazione solare su organismi viventi e su oggetti, si espongono alla luce solare o di una lampada cilindretti di metallo diversamente colorati, uno bianco, uno nero, e uno lucido. In ogni cilindro è posto un sensore di temperatura (inserito in un foro del cilindro), mentre un altro sensore misura la temperatura dell'ambiente. Si registrano i grafici temperatura-tempo utilizzando data logger portatili collegati ai sensori di temperatura (Figura 4).

I grafici mostrano l'andamento della temperatura durante il processo che porta al raggiungimento della temperatura stazionaria e il successivo raffreddamento. Si discute la loro interpretazione e per spiegare la differenza tra le temperature stazionarie raggiunte dai cilindretti diversamente colorati si comincia a porre il problema di differenziare fra calore e radiazione e tra radiazione visibile e infrarossa.

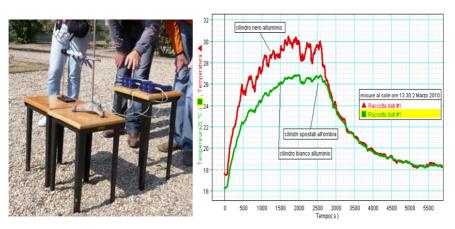


Figura 4. Misura della temperatura di cilindretti diversamente colorati esposti al sole e grafici sperimentali ottenuti dagli studenti

98 Ugo Besson

4.3.3. Differenziare calore e radiazione e riconoscere che gli oggetti emettono radiazione.

Per studiare l'emissione di radiazione da parte di corpi a temperature vicino alla temperatura ambiente si utilizza un radiometro (Figura 5), con cui si può misurare l'intensità della radiazione emessa da un oggetto al variare della temperatura. Si osserva un rapido aumento dell'intensità al crescere della temperatura. Si verifica che la radiazione IR emessa dagli oggetti è assorbita da materiali trasparenti alla luce come il vetro o la plastica. Le prove con il radiometro sono significative in quanto aiutano gli studenti a riconoscere che gli oggetti emettono radiazione, qualunque sia la loro temperatura, e a comprendere che nei bilanci energetici occorre tenere conto anche dell'energia scambiata co-

me radiazione.



Figura 5. Misura della radiazione emessa dagli oggetti

4.3.4. Comprendere che il comportamento di un dato materiale nell'interazione con la radiazione dipende dalla regione dello spettro considerata.

Si eseguono e si discutono con gli studenti alcuni esperimenti per mettere in evidenza che: lo spettro di emissione di una sorgente contiene anche radiazione invisibile; lo spettro di emissione cambia al variare della temperatura; le proprietà ottiche dei materiali dipendono dalla regione di spettro che si considera (dalla frequenza o lunghezza d'onda della radiazione); alcuni materiali sono trasparenti alla luce visibile, ma assorbono radiazione del lontano infrarosso. Si analizzano con gli studenti alcuni grafici che rappresentano lo spettro del sole. Con un prisma si produce su uno schermo bianco lo spettro di emissione della lampada di una lavagna luminosa, e per rendere osservabile la radiazione infrarossa, cioè per vedere l'invisibile, si utilizza una macchina fotografica digitale (di solito sensibili all'infrarosso vicino). Inoltre, si osserva e fotografa la radiazione IR emessa da un telecomando per televisione, come mostrato in Figura 6:





Figura 6. Due immagini dello stesso telecomando realizzate con una video-camera digitale. La foto di sinistra mostra la radiazione infrarossa emessa dal telecomando. Nella foto di destra, un fascio di radiazione infrarossa è stato emesso dalla video-camera durante l'osservazione. Si può osservare che la copertura del telecomando è opaca alla luce visibile ma è trasparente al vicino infrarosso

Si sottolinea che l'essere 'nero' o 'bianco' dipende dalla regione di spettro che si considera. Molti oggetti che vediamo di diverso colore alla luce del sole o della lampada hanno coefficienti di assorbimento e di emissione quasi uguale ad uno per il lontano infrarosso, potremmo dire che sono 'neri' per questa radiazione (Besson 2009); essi quindi assorbono in modo diverso la radiazione visibile ma emettono la radiazione infrarossa in modo quasi uguale, e così raggiungono temperature stazionarie diverse.

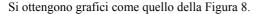
4.3.5. Organizzare e coordinare le conoscenze acquisite per comprendere l'effetto serra in una situazione modello.

Si utilizza un modello di serra consistente in una piastra di alluminio dipinta di nero posta sul fondo di una scatola fornita di un coperchio di plastica trasparente. La scatola è esposta al sole o a una lampada, prima senza il coperchio e poi con il coperchio. Per mezzo di un sensore si misura la temperatura della piastra (Figura 7).





Figura 7. Misura della temperatura della piastra metallica del modello di serra esposto al sole, senza il coperchio di plastica e con il coperchio



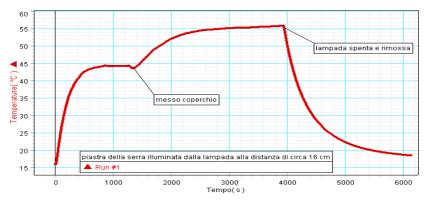


Figura 8. Grafico della temperatura in funzione del tempo della piastra di metallo della scatola illuminata da una lampada, con e senza il coperchio di plastica

100 Ugo Besson

Per interpretare i risultati ottenuti si utilizza uno schema come quello della Figura 9, rappresentante i flussi di energia in entrata e in uscita per la piastra e per il coperchio.

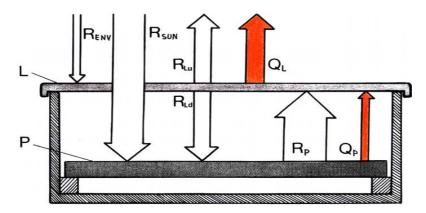


Figura 9. Rappresentazione schematica dei flussi di radiazione e di calore per il modello di serra

4.3.6. Estendere il modello al problema dell'effetto serra sulla Terra e del riscaldamento globale.

La descrizione dei flussi di energia coinvolti nel bilancio energetico del sistema Terra-Atmosfera è piuttosto complessa, ma può essere ricondotta ad una schematizzazione più semplice basata sul modello utilizzato per descrivere la situazione stazionaria raggiunta nella piccola serra-modello (Figura 10).

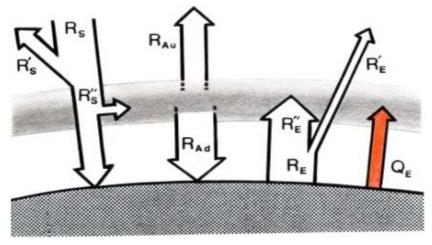


Figura 10. Bilancio energetico semplificato della Terra e dell'atmosfera

Nel modello semplificato la superficie del pianeta gioca lo stesso ruolo della piastra metallica e l'atmosfera quello del coperchio di plastica: è trasparente alla maggior parte della radiazione solare, ma assorbe la maggior parte della radiazione infrarossa emessa dalla superficie della Terra. Questo assorbimento è dovuto soprattutto al vapore acqueo, alle nuvole e alla CO_2 , mentre un contributo minore è attribuibile a O_3 , N_2O and CH_4 e ad altri gas antropogenici. Questi componenti emettono radiazione infrarossa sia verso la superficie della Terra, sia verso lo spazio. I diversi flussi di energia sono rappresentati schematicamente in Figura 10. Un aumento della concentrazione di CO_2 e degli altri gas serra nell'atmosfera provoca una variazione del bilancio energetico del sistema Terra-Atmosfera con un conseguente aumento della temperatura globale media della Terra, tale da ristabilire l'equilibrio fra l'energia entrante e uscente dal sistema: all'aumento dell'energia assorbita dall'atmosfera (R''_E) e dell'energia emessa verso la superficie della terra (R_{Ad}), deve corrispondere un aumento dell'energia emessa dalla superficie della terra (R_E) e quindi un aumento della sua temperatura.

4.4. La sperimentazione del percorso.

La sequenza è stata sperimentata in sei classi di scuola secondaria superiore, quattro del triennio (età 17-18 anni) e due del biennio (età 15-16 anni), per un totale di 121 studenti. Agli insegnanti è stato dato un documento di presentazione e descrizione del percorso e l'argomento è stato discusso in riunioni periodiche, in cui si è progressivamente precisato il piano di lavoro specifico di ciascun insegnante, con le necessarie variazioni dovute alle diversità delle situazioni scolastiche.

Anche se le situazioni scolastiche delle varie classi erano molto diverse, gli insegnanti hanno rispettato il nucleo essenziale del progetto di sequenza, la progressione cognitiva, gli obiettivi e l'impostazione concettuale e metodologica.

La sperimentazione ha mostrato che un approccio basato sull'utilizzazione di centri d'interesse attorno a cui costruire nuove conoscenze promuove un impegno verso una più approfondita comprensione concettuale e stimola ulteriori approfondimenti.

L'evoluzione delle risposte degli studenti mostra chiaramente un uso progressivamente più corretto e appropriato dei concetti di calore, conduzione termica, radiazione, temperatura, energia interna. La distinzione fra 'scaldare' e 'dare calore', e la considerazione di differenti modalità per aumentare la temperatura di un corpo è stata largamente acquisita da una larga maggioranza degli studenti.

Per quanto riguarda la comprensione dell'effetto serra, i risultati confermano l'importanza di passare attraverso tutti gli snodi del percorso dedicando un tempo sufficiente a ciascuno di essi e ritornando a quello precedente dopo un certo tempo in una situazione diversa. Presentare in un unico blocco l'intera spiegazione dell'effetto serra non è produttivo; il fenomeno è complesso e richiede un approccio graduale. Si rileva un forte aumento di ragionamenti corretti o quasi corretti, ragionamenti cioè che distinguono fenomeni di assorbimento e di emissione di radiazione visibile e radiazione infrarossa. Tuttavia, persistono interpretazioni errate basate sull'idea di intrappolamento dei raggi solari.

102 Ugo Besson

I risultati ottenuti sono positivi e confermano la validità delle scelte fondamentali del percorso cognitivo proposto. Al tempo stesso, le risposte degli studenti e le osservazioni degli insegnanti evidenziano la difficoltà dell'argomento, per le molteplici implicazioni concettuali, e suggeriscono alcuni miglioramenti. A questo scopo, con un lavoro svolto in collaborazione fra il gruppo di insegnanti e il nostro gruppo di ricerca, abbiamo introdotto alcune modifiche al percorso e abbiamo elaborato nuovi e più completi materiali didattici per gli allievi e una guida per l'insegnante. Questo tipo di collaborazione fra ricercatori e gruppi di insegnanti, basata su esperienze non episodiche di lavoro comune, costituisce probabilmente una via obbligata per colmare lo scarto, segnalato da molti autori, fra le elaborazioni della ricerca didattica e la pratica scolastica effettiva.

Bibliografia

- Abell, S.K. (ed.) (2000), Science Teacher Education. An International Perspective. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Ausubel, D. (1968), *Educazione e processi cognitive*, ed. it. 1978, Milano, Franco Angeli. Bachelard, G. (1938) *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin. Trad. italiana: *La formazione dello spirito scientifico* (1995), Milano, Raffaello Cortina Editore.
- Berry, A. Loughran, J. van Driel, J.H. (eds.) (2008), *Developments and Challenges in Researching Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge: An international perspective*, «International Journal of Science Education», 30 (10), Special Issue, pp. 1271-1416.
- Besson, U. (2006), Da Leonardo da Vinci alla nanotribologia: storia delle ricerche e delle teorie sui fenomeni d'attrito. Prima parte: Le leggi dell'attrito radente, le teorie della lubrificazione e gli studi sull'attrito volvente, «La Fisica nella Scuola», 39 (4), pp. 151-162.
- Besson, U. (2007a), Da Leonardo da Vinci alla nanotribologia: storia delle ricerche e delle teorie sui fenomeni d'attrito. Seconda parte: Le teorie dell'usura, la sintesi di Bowden e Tabor, l'attrito a livello atomico, «La Fisica nella Scuola», 40 (1), pp. 16-32.
- Besson, U. (2007b), *Du frottement à la tribologie : survol historique*, «Le BUP», n. 899, pp. 1137-1154.
- Besson, U (2009), *Paradoxes of thermal radiation*, «European Journal of Physics», 30, pp. 995-1007.
- Besson, U. (2010a), *Cooling and warming laws: an exact analytical solution*, «European Journal of Physics», 31 (5).
- Besson, U. (2010b), *The history of cooling law: when the search for simplicity can be an obstacle*, «Science & Education», DOI 10.1007/s11191-010-9324-1.
- Besson, U. (2011), The cooling law and the search for a good temperature scale, from Newton to Dalton, «European Journal of Physics», 32 (2), 343-354.
- Besson, U. Borghi, L. De Ambrosis, A. Mascheretti, P. (2007), *How to teach friction: Experiments and models*, «American Journal of Physics», 75 (12), pp. 1106-1113.

- Besson, U. Borghi, L. De Ambrosis, A. Mascheretti, P. (2010a), *A three-dimensional approach and open source structure for the design and experimentation of teaching learning sequences: the case of friction*, «International Journal of Science Education», 32, pp. 1289-1313.
- Besson, U. De Ambrosis, A. Mascheretti, P. (2010b), Studying the physical basis of global warming: thermal effects of the interaction between radiation and matter and greenhouse effect, «European Journal of Physics», 31 (2), pp. 375-388.
- Besson, U.- Borghi, L. De Ambrosis, A. Mascheretti, P. (2010c), A model of teacher preparation aimed at favouring the diffusion of research-based teaching practice, in Taşar, M.F. Çakmakcı, G. (eds.), Contemporary science education research: preservice and in-service teacher education (pp. 101-110). Ankara, Turkey, Pegem Akademi.
- Bruner, J.S. (2002), *Il processo educativo*, Roma, Armando editore. Ed. or. *The process of education*, 1960, 2nd ed. 1977.
- Cavallini, G. (1995), La formazione dei concetti scientifici. Firenze, La Nuova Italia.
- Chevallard, Y. (1991), La transposition didactique, Grenoble, FR, La Pensée Sauvage.
- Driver, R. Guesne, E. Tiberghien A. (eds.) (1985) *Children's Ideas in Science*. Philadelphia, Open University Press.
- Duit, R. (2009), *Bibliography STCSE*, *Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*, [online], URL: http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html.
- Grimellini Tomasini, N. Segré, G. (a cura di) (1991), Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti, Firenze, La Nuova Italia.
- Hirn, C. Viennot, L. (2000), *Transformation of Didactic Intention by Teachers: the case of Geometrical Optics in Grade 8 in France*, «International Journal of Science Education», 22 (4), 357-384.
- IPCC (2007), Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report (AR4), [online], URL: http://www.ipcc.ch/index.htm.
- Méheut, M. and Psillos, D. (eds.) (2004), *Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research*, «International Journal of Science Education», 26 (5), Special Issue, 515-652.
- Onorato, P. Mascheretti, P. De Ambrosis, A. (2011), 'Home made' model to study the greenhouse effect and global warming, «European Journal of Physics», 32, 363-376.
- Pessoa de Carvalho, A.M. Gil-Perez, D. (1998), *Physics Teacher Training: Analysis and Proposals*. In Tiberghien, A. Jossem, E.L. Barojas J. (eds.): *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, Ohio, IUPAP-ICPE Publications, [online] URL: http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/BOOKS.html, (Chap. D4).
- Piaget, J. Inhelder, B. (1955), De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent, Paris, PUF.
- Piaget, J. Garcia, R. (1971), Les explications causales, Paris, PUF.
- Pinto, R. (2005), Introducing Curriculum Innovations in Science: Identifying Teachers' Transformations and the Design of Related Teacher Education, «Science Education», 89, 1-12.

104 Ugo Besson

Psillos, D. – Spyrtou, A. – Kariotoglou, P. (2005), Science teacher education: issues and proposals, in Boersma, K. et al. (eds.), Research and the Quality of Science Education, Dordrecht, Springer, pp. 119-128.

- Shulman, L.S. (1986), *Those who understand: Knowledge growth in teaching*, «Educational Researcher», 15 (2), 4-14.
- Viennot, L. (1996), Raisonner en physique, Paris, De Boeck Université.

Ricerca in didattica della fisica: temi e problemi

Lidia Borghi, Anna De Ambrosis, Dipartimento di Fisica

Abstract: Vengono illustrate brevemente alcune delle linee di ricerca che hanno caratterizzato il lavoro condotto dal gruppo di ricerca in Didattica della Fisica dell'Università di Pavia a partire dalla seconda metà degli anni '70 in relazione allo sviluppo delle ricerche nella didattica delle discipline scientifiche e della matematica in ambito internazionale. In particolare ci si riferisce alle ricerche che riguardano l'insegnamento/apprendimento delle scienze nella scuola primaria; l'uso delle tecnologie informatiche integrate alle attività sperimentali e per la modellizzazione; il ruolo della storia della scienza nella didattica e la formazione degli insegnanti.

Come esempio di ricerca sulla formazione degli insegnanti, viene presentato brevemente il lavoro nato dalla collaborazione tra il nostro gruppo di ricerca e quello dell'Università di Bologna. Tale lavoro ha consentito di mettere a fuoco la complessità del processo mediante il quale insegnanti di scuola secondaria giungono a far proprie proposte di insegnamento innovative, a confrontarle con altre e a formulare in modo autonomo percorsi realizzabili in classe.

We briefly describe research strands characterizing the work carried out by the Physics Education Research Group at the University of Pavia since 1975 in the context of the international development of the research in science and mathematics education. In particular, we refer to researches dealing with teaching/learning of science in primary school; using computer technologies integrated with experiments and with modelling activities; the role of the history of science in physics teaching, and teacher education.

As an example of research on teacher education, a work carried out in collaboration with the Physics Education Research Group of the University of Bologna is presented. This research allowed focusing on the complexity of the process the teachers have to go through in order to appropriate an innovative teaching proposal, to compare it with more traditional ones and to autonomously design their own teaching paths.

1. Introduzione

La ricerca in didattica della fisica è stata avviata in Italia negli anni settanta in alcune sedi universitarie (Bologna, Modena, Pavia e Roma) da piccoli gruppi di ricercatori che si sono inseriti nel vasto dibattito in corso negli USA e in Europa sull'insegnamento delle materie scientifiche nei diversi livelli scolari.

Un'opportunità importante di confronto per i ricercatori italiani interessati ai problemi della ricerca in didattica delle scienze e della matematica è stata fornita dal primo Convegno Nazionale sul tema della ricerca sull'insegnamento delle materie scientifiche e della matematica nei diversi livelli scolari organizzato per iniziativa dei professori Gianni Bonera e Bruno Bertotti a Salice Terme nel 1975.

Nel gruppo di ricerca in didattica della fisica di Pavia il lavoro è partito con l'analisi dei progetti americani PSSC (Physical Science Study Committee, 1960) e PPC (Project Physics Course, 1970) che valorizzano, il primo, gli aspetti sperimentali, il secondo la dimensione storico culturale nell'insegnamento della fisica per la scuola secondaria superiore. Parallelamente sono stati studiati a fondo i progetti COPES (Conceptually Oriented Program in Elementary Science, 1970) e SCIS (Science Curriculum Improvement Study, 1970) i quali pongono l'accento sulla necessità di introdurre i concetti scientifici di base a partire dalla scuola elementare.

Questa fase iniziale è stata seguita immediatamente dalla sperimentazione del PSSC con insegnanti di scuola secondaria di secondo grado, in collaborazione con la sezione di Pavia dell'A.I.F. (Associazione per l'Insegnamento della Fisica) e del progetto COPES con insegnanti di scuola elementare.

L'attività svolta nel corso dello studio e della sperimentazione dei diversi progetti ci ha consentito di mettere in atto una modalità di lavoro con gli insegnanti (che dura ancora oggi) che comprende discussione di proposte innovative, approfondimento dei contenuti specifici e degli aspetti sperimentali, interazione continua anche nella fase di sperimentazione in classe, discussione degli esiti del lavoro con gli alunni, riformulazione e riaggiustamento della proposta iniziale in base ai risultati ottenuti nel lavoro in classe.

2. L'insegnamento delle scienze nella scuola dell'obbligo

Grande attenzione è stata rivolta ai problemi dell'insegnamento scientifico nella scuola dell'obbligo per la convinzione che sia importante fornire, fin dall'inizio, agli alunni basi valide su cui fondare lo studio successivo delle discipline scientifiche, in particolare quello della fisica. Era nostra ferma convinzione che a ogni età fosse importante assicurare allo studente un approccio alle idee scientifiche di base adeguato ai suoi interessi e al suo sviluppo cognitivo.

Il lavoro di ricerca è stato iniziato e svolto dai fisici anche in collaborazione con colleghi matematici, chimici e biologi e, nel caso di ricerche riguardanti la scuola elementare, con pedagogisti e psicologi della nostra Università.

La sperimentazione dei progetti COPES e PSSC e la riflessione sui risultati ottenuti dal lavoro svolto in classe con gli studenti hanno consentito di verificare direttamente quanto la ricerca internazionale andava progressivamente mostrando in modo sempre più chiaro e cioè la necessità di conoscere meglio il processo attraverso il quale lo studente acquisisce nuove conoscenze e come queste si possano inserire nell'insieme di idee e concetti che già possiede.

Per questo, dall'inizio degli anni 80, sono stati condotti in diversi contesti molte indagini sulle idee che gli studenti possiedono prima di ricevere un insegnamento specifico, cioè quelle idee, chiamate 'naïve ideas', 'conceptions', o anche 'alternative frameworks', che a volte sembrano incompatibili con una visione scientifica e che allo stesso tempo sono molto radicate e resistenti. Proprio la presenza di queste concezioni alternative fu considerata una delle cause dell'inefficacia dei modi di insegnamento tradizionali. In pochi anni sono stati raccolti da diversi gruppi di ricerca risultati importan-

ti su questo tipo di concezioni e sui modi di ragionare comuni e la bibliografia relativa è vastissima.

Nell'ambito di questa tipologia di indagine, il nostro gruppo ha svolto diverse ricerche delle quali è importante ricordare, in particolare, quelleriguardanti le concezioni di alunni di scuola elementare sul galleggiamento e sulle proprietà dell'aria da noi realizzate in collaborazione con il Dipartimento di Psicologia (Borghi *et al.* 1984a; Borghi *et al.* 1988).

Questo tipo di studi è stato condotto dal nostro gruppo sempre nell'ambito di attività sperimentali nelle quali gli alunni venivano incoraggiati a esprimere le loro idee e allo stesso tempo a intraprendere una loro indagine per l'acquisizione di nuove conoscenze. In altre parole per noi gli studi sulle concezioni non sono mai stati separati dallo sviluppo di nuove proposte di apprendimento e hanno accompagnato anche negli anni successivi ogni attività rivolta alla ricerca di nuovi approcci di insegnamento (Bonera *et al.* 1981; Bazzini *et al.* 1985).

La gran mole di risultati provenienti dalle ricerche sulle concezioni degli studenti di ogni livello di età e in ogni Paese, ha mostrato in modo chiaro come chi apprende, anche nei primi anni di scuola, non può essere considerato come una tabula rasa e che l'azione di chi insegna non può limitarsi a fornire spiegazioni chiare dei fenomeni e delle teorie scientifiche senza tener conto del ruolo attivo del suo interlocutore.

Questa nuova visione si inseriva nella prospettiva costruttivista, richiamata da innumerevoli pubblicazioni, che vede gli studenti come attori coinvolti attivamente nella costruzione della loro conoscenza. È in questo clima di cambiamento, rispetto all'impostazione tradizionale dell'insegnamento, che nel 1985 si svolge il lavoro per la messa a punto dei nuovi programmi per la scuola elementare cui Gianni Bonera contribuisce come membro della Commissione Ministeriale nominata a questo scopo. Negli anni successivi il nostro gruppo partecipa al Piano Nazionale di formazione degli insegnanti di scuola elementare e prepara, sulla base della ricerca condotta negli anni precedenti, il volume Progetto di Educazione Scientifica, pubblicato dalla SEI nel 1988 (Bonera *et al.* 1988). Intanto nel 1981 si costituisce il Gruppo Nazionale di Didattica della Fisica, di cui Gianni Bonera diventa il Presidente e la ricerca in didattica della fisica in Italia si coordina e realizza programmi di ricerca Nazionali, finanziati dal Ministero della Pubblica Istruzione e dal CNR.

L'interesse del nostro gruppo si rivolge alla ricerca sull'uso del computer nella didattica in correlazione con l'attività di tipo sperimentale e la modellizzazione.

3. Approccio sperimentale e uso delle tecnologie informatiche

Vengono realizzate e sperimentate diverse sequenze didattiche su vari argomenti di fisica nelle quali l'uso di simulazioni al computer è strettamente correlato alle attività sperimentali e ne favorisce l'interpretazione formale. Le simulazioni sono progettate come strumenti per l'apprendimento concettuale e all'interno di percorsi costruiti sulla base di risultati di ricerca (vedi ad esempio Borghi *et al.* 1984, Borghi *et al.* 1985, Borghi *et al.*

1987, Borghi et al 1989; Borghi et al 1991a; Borghi et al. 1991b; Borghi et al. 1993a; Borghi et al. 1993b).

Un altro filone di ricerca è quello che riguarda l'uso dei dispositivi MBL (Microcomputer-Based Laboratory), interfacciati al computer per il quale il nostro gruppo è tra i primi in Italia a dare un contributo significativo, anche grazie alla collaborazione con il Ronald Thornton della Tufts University, Center for Science and Mathematics Teaching, di Boston, professore a contratto a Pavia nel 1988. Nel 1989 viene organizzato a Pavia da Ronald Thornton e da Lidia Borghi il NATO Advanced Study Workshop dal titolo *Student Development of Physics Concepts: The Role of Educational Technology*. Partecipano al Workshop ricercatori, provenienti da nove paesi diversi, che approfondiscono i temi dell'apprendimento concettuale e dell'utilizzazione pedagogica delle tecnologie educative interattive nell'insegnamento e nell'apprendimento della fisica. Commentando i risultati del workshop, Thornton scrive (Thornton 2008):

there was evidence from a number of countries (Italy, Germany, UK, USA, USSR) that real-time Microcomputer-Based Laboratory tools in appropriate learning environments resulted in successful student learning of physics concepts. It was also agreed that to best develop their understanding, students need the freedom and ability to pursue interesting scientific investigations; the opportunity to interact with their fellow students; and the means to communicate their findings. (Unfortunately, most introductory courses have none of these features.).

Di fatto il workshop è stato il punto di partenza per la diffusione, almeno a livello di ricerca, di questo tipo di approcci e di strumenti.

In quest'ambito la ricerca è tuttora all'interno del nostro gruppo con la produzione e sperimentazione di sequenze didattiche incentrate sul laboratorio (si veda. per esempio, Onorato – Mascheretti – De Ambrosis 2010, e Onorato – Mascoli – De Ambrosis 2010).

4. Il ruolo della storia della fisica nella didattica

Un altro aspetto importante della ricerca svolta a Pavia è il collegamento tra didattica e storia della fisica che, realizzato da Gianni Bonera con i suoi lavori su Galileo e Volta, è sempre stato presente e considerato importante da tutti (Bevilacqua *et al.* 1990). Questo collegamento, che è un punto di forza del gruppo di Pavia, è anche un importante tema di ricerca presente a livello internazionale da molto tempo (Galili 2008). Attualmente, la nostra ricerca in questo settore si sta sviluppando intorno al tema dell'energia (Besson – De Ambrosis 2011), tema sul quale il gruppo di storia della fisica ha una lunga esperienza di ricerca e ha recentemente realizzato una mostra di carattere interattivo. Il nostro contributo riguarda in particolare la progettazione e sperimentazione di percorsi didattici basati sulla individuazione di centri d'interesse attorno cui costruire progressivamente concetti e modelli fisici. Il tema al quale stiamo lavorando è quello

dell'effetto serra e del riscaldamento globale (Besson – De Ambrosis – Mascheretti 2010; Onorato – Mascheretti – De Ambrosis 2011).

5. Ricerca didattica e formazione degli insegnanti

La ricerca in didattica della fisica ha prodotto nel corso degli anni un'ampia gamma di materiali per rinnovare l'insegnamento della fisica comprendente sia proposte specifiche su particolari argomenti sia progetti di ampio respiro.

La nostra attività è stata realizzata prevalentemente nell'ambito dei progetti nazionali ed Europei tra i quali:

- a. SeCiF (Spiegare e Capire in Fisica), collaborazione di Ricerca (PRIN 99) fra le Università di Milano, Napoli, Palermo, Pavia, Torino
- b. IMOFI (Introduzione alla Modellizzazione in Fisica)
- STEDE (Science Teacher Education Development in Europe), Rete tematica finanziata dall'Unione Europea
- d. ORA (Osservazione Riflessione Apprendimento) realizzato su finanziamento MURST ex DM, 8/10/1996 n. 623 DD, coordinato da Maria Grazia Dondi (INFM e Università di Genova)
- e. FFC (Fisica per la Formazione Culturale- Innovazione e formazione in Fisica con uso delle nuove tecnologie in classe e a distanza), progetto finanziato dal MIUR (PRIN 2001)
- f. F21 PERCORSI DI FORMAZIONE IN FISICA PER IL 21° SECOLO-Un nuovo approccio allo sviluppo di competenze in Fisica attraverso le Scuole, la Formazione degli insegnanti e la Diffusione (PRIN 2004)
- g. CON-SCIENCE (Science As A Tool For Life: Conceptual Change) Progetto Europeo Comenius Action 2.1
- h. OUTLAB (Heritage as an 'Outdoor Laboratory' for innovative Science Teacher Education) ProgettoEuropeo Comenius Action 2.1
- i. STEPS e STEPS TWO (Stakeholders Tune European Physics Studies-Two), Erasmus Academic Network

Il lavoro di ricerca è stato favorito anche dalla presenza a Pavia, in qualità di 'Professori a contratto' per il corso di Preparazione di Esperienze Didattiche, di esperti nella didattica della fisica e nella formazione degli insegnanti.

Ricordiamo Joseph Depireux dell'Università di Liegi, Ronald Thornton della Tufts University di Boston, Arnold Arons della University of Washington a Seattle, John Layman della University of Maryland, College Park, Judah L. Schwartz del M.I.T. e Harvard Graduate School of Education di Boston, Frederik E. Redish della University of Maryland, College Park e Ference Marton dell'Università di Gothenburg, Svezia.

I risultati di ricerca hanno costituito la base e il riferimento sia per la costruzione dei curricula per la formazione iniziale degli insegnanti di matematica e fisica nella Scuola di Specializzazione all'Insegnamento Secondario¹ sia per le attività di formazione degli insegnanti in servizio.²

A livello internazionale, uno sforzo di riflessione e di chiarificazione sul materiale esistente è stato fatto con la pubblicazione, nel 2004 di un numero speciale dell'«International Journal of Science Education»³ dove viene proposta una riflessione a posteriori sui prodotti di ricerca disponibili.

Da questa analisi emerge come le sequenze didattiche innovative prodotte dalla ricerca siano in generale costruzioni complesse nelle quali sono presenti molte variabili (Komorek – Duit 2004) e dimensioni (Psillos *et al.* 2004) e che risultano da un articolato processo di costruzione (Buty *et al.* 2004).

Il materiale innovativo dà origine a diversi problemi di ricerca, come ad esempio la possibilità di confrontare diversi prodotti (Lijnse – Klassen 2004) e di analizzare la loro struttura e la loro evoluzione in base a criteri generali (Psillos *et al.* 2004).

Ma soprattutto, la produzione da parte della ricerca di prodotti innovativi pone il problema del ruolo degli insegnanti in tutto il processo di innovazione didattica (nella sua progettazione, validazione, implementazione e diffusione).

A partire dagli anni '90, la ricerca ha messo in evidenza come l'implementazione in classe implichi generalmente una trasformazione delle proposte originali, a volte con la perdita di aspetti importanti dell'innovazione stessa.

Il progetto STTIS (Science Teacher Training in an Information Society), progetto finanziato dalla Commissione Europea nel 1997-2001,⁴ aveva proprio l'obiettivo di individuare e analizzare le trasformazioni tra quanto ci si aspetta e quanto viene osservato nel momento in cui gli insegnanti mettono in pratica, implementandola in classe, una innovazione (Pintò 2005).

Atri studi (Eylon – Bagno 2006) pongono il problema di come aiutare gli insegnanti a usare risultati della ricerca didattica nel progettare e implementare sequenze didattiche. In questo caso sono gli insegnanti stessi a produrre proposte di insegnamento basate sulla ricerca.

Il nostro gruppo di ricerca ha sviluppato studi di entrambi i tipi collaborando con insegnanti impegnati nella implementazione di sequenze didattiche prodotte dal nostro gruppo e nella costruzione di nuove proposte (ad esempio Borghi *et al.* 2006, De Ambrosis *et al.* 2006, Besson 2007, Besson *et al.* 2010a, Besson *et al.* 2010b)

Il progetto PRIN F21 – Percorsi di Formazione in Fisica per il 21° Secolo, e in seguito il Piano Lauree Scientifiche, hanno reso possibile la collaborazione di un numero consistente di gruppi di ricerca in didattica della fisica di diverse Università Italiane sul problema della formazione degli insegnanti. In particolare, è stato realizzato

⁴ Per maggiori informazioni sul progetto consultare: http://www.crecim.cat/projectes/websttis/index.html>.

¹ In Lombardia la SSIS, avviata nel 1999, si è costituita come Consorzio con il nome di SILSIS Scuola Interregionale Lombarda di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario, con sede amministrativa presso l'Università di Pavia. La SSIS è stata interrotta a livello nazionale nel 2008 ed è ora in fase di avvio un nuovo percorso universitario per la Formazione degli Insegnanti.
² È attualmente attivo il Piano Nazionale Lauree Scientifiche (PLS), evoluzione del Progetto Lauree

² É attualmente attivo il Piano Nazionale Lauree Scientifiche (PLS), evoluzione del Progetto Lauree Scientifiche avviato nel 2005.

³ «International Journal of Science Education», 16 April 2004, Vol. 26, No. 5.

un Master sull'insegnamento della fisica moderna: il Master Innovazione Didattica in Fisica e Orientamento (IDIFO), coordinato dall'Università di Udine.⁵

Nel prossimo paragrafo, come esempio di un tipo di ricerca particolarmente significativo sulla formazione degli insegnanti, viene presentato brevemente il lavoro che ha preso il via dalla collaborazione all'interno del Master IDIFO tra il nostro gruppo di ricerca e quello dell'Università di Bologna. Tale lavoro ha consentito di mettere a fuoco la complessità del processo mediante il quale insegnanti di scuola secondaria giungono a far proprie proposte di insegnamento innovative, a confrontarle con altre e a formulare in modo autonomo percorsi realizzabili in classe.

6. Un esempio di lavoro con gli insegnanti

Il lavoro è stato condotto in collaborazione da Anna De Ambrosis, e Olivia Levrini del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna. Ha coinvolto 20 insegnanti in un corso sull'insegnamento della Relatività Speciale nel contesto del Master IDIFO. In particolare, è stata analizzata e discussa la proposta di Taylor e Wheeler presentata nel testo *La Fisica dello Spazio-Tempo* (Taylor – Wheeler 1992 e 1996) e confrontata con quella formulata da Resnick (Resnick 1968 e 1979), ancora oggi principale riferimento per insegnanti e autori di libri di testo. ⁶ Per questo la proposta di Taylor e Wheeler si presenta come una proposta innovativa ⁷ e la sua analisi da parte degli insegnanti ha consentito di mettere in evidenza i problemi connessi con l'accettazione dell'innovazione nella fase in cui gli insegnanti prendono in considerazione una nuova proposta nella prospettiva di costruire, a partire da questa, un loro percorso didattico.

I risultati ottenuti in questo studio mostrano che i problemi noti nella letteratura di ricerca e collegati generalmente alla implementazione in classe possono essere individuati già nella fase in cui gli insegnanti si accostano alla proposta e cercano di

⁵ IDIFO è un Master universitario di II livello sull'insegnamento della fisica moderna, avviato nell'anno accademico 2005-2006 e attualmente alla sua terza edizione (IDIFO3: http://www.fisica.uniud.it/pls3.htm). Il Master è nato come iniziativa congiunta delle seguenti Unità di Ricerca in Didattica della Fisica partecipanti al progetto PRIN FIS 2: Bologna, Milano, Milano-Bicocca, Napoli "Federico II", Palermo, Pavia, Torino, Roma "La Sapienza", Udine (capofila), nonché le seguenti università cooperanti con le Unità di Ricerca: Bari, Bolzano, Lecce, Modena e Reggio Emilia, Trento, Trieste. Il Master fa parte delle attività del Piano Lauree Scientifiche.

⁶ In Italia esistono due importanti esperienze realizzate al fine di contribuire ad un miglioramento dell'insegnamento della Relatività a livello di scuola secondaria superiore: l'Iniziativa Relatività, impresa condotta da G. Cortini (1979), che ha coinvolto numerosi ricercatori e insegnanti, e la proposta formulata da Fabri (2005) In questo contesto si è scelto di limitare l'analisi alle due proposte statunitensi per la loro diffusione a livello internazionale e perché sono sufficienti ad introdurre il problema che intendiamo presentare.

La scelta di privilegiare il linguaggio geometrico è alla base della proposta. Questa proposta si configura come una vera e propria ricostruzione a-storica della teoria effettuata alla luce della relatività generale, con il fine esplicito di evidenziare gli aspetti concettuali che si sono mostrati maggiormente fecondi nello sviluppo successivo della fisica: la struttura quadri-dimensionale e gli aspetti invarianti, ra i quali, soprattutto, il quadrintervallo e il quadri-impulso. Il punto di forza della proposta risiede nella profonda ed elegante coerenza interna e nella lucidità con cui si costruiscono strumenti potenzialmente fecondi per capire la relatività generale.

farla propria (De Ambrosis – Levrini 2007, 2010). Nel seguito si riportano brevemente alcuni risultati dello studio effettuato.

6.1. Il contesto

Il Master IDIFO prevede una interazione a distanza docenti-studenti mediante una piattaforma informatica che consente lo scambio agevole di materiale, la realizzazione di forum, la scrittura collaborativa di documenti. Il corso di Relatività è stato progettato e realizzato con l'obiettivo generale di fornire ai corsisti criteri per la progettazione di interventi didattici alla luce dei principali risultati di ricerca in didattica della fisica.

Il lavoro si è articolato in tre fasi:

- Analisi del testo Fisica dello spazio tempo di Taylor and Wheeler nella versione del 1994
- 2. Analisi dell'articolo di Einstein *On the Electrodynamics of Moving Bodies* (1905) e dell'articolo di Minkowski *Space and Time* (1908)
- Studio e approfondimento, condotto dagli insegnanti organizzati in gruppi, di problemi emersi nel lavoro precedente e individuazione di criteri per la progettazione di proposte di lavoro in classe

In ciascuna fase è stata seguita la stessa modalità di lavoro:

- analisi di materiale (i capitoli del testo di Taylor e Wheeler, articoli di Einstein e Minkowski, articoli di commento ai lavori originali, articoli di ricerca didattica sull'insegnamento e l'apprendimento della Relatività) da effettuare seguendo una griglia di analisi
- produzione, nel tempo stabilito, di un breve documento con i risultati dell'analisi in forma di domande utili a focalizzare gli aspetti considerati fondamentali
- rielaborazione dei risultati in un quadro sintetico d'insieme (effettuata da due corsisti volontari)
- discussione nel Forum avviata e condotta su alcuni fili di discussione individuati da noi docenti in base alle domande emerse nei report

Questa modalità di lavoro, stabilita fin dall'inizio, ma consolidatasi via via che l'esperienza prendeva forma, aveva come obiettivi quelli di favorire la circolazione delle idee, di non forzare, ma orientare e fare evolvere la discussione mantenendo il gruppo compatto e di favorire la massima libertà di partecipazione nei forum.

Il modulo di Relatività è stato seguito attivamente da una ventina di insegnanti, di cui, prima del Master:

- 1 insegnante non aveva mai studiato relatività nel corso del suo iter di formazione universitaria e le sue conoscenze derivavano da una lettura personale di libri di testo di scuola secondaria superiore
- 1 insegnante aveva studiato relatività soltanto nell'ambito di un insegnamento della Scuola di Specializzazione all'Insegnamento Secondario

- 7 insegnanti avevano seguito un insegnamento di relatività a livello universitario
- tutti gli altri insegnanti avevano studiato relatività a livello universitario nell'ambito di insegnamenti di base non specifici di relatività (ad esempio, Fisica Generale, Meccanica Razionale o Istituzioni di Fisica Teorica)

Al termine della fase 1 e della fase 2 i corsisti hanno risposto a un questionario, da noi proposto per raccogliere le loro riflessioni sull'attività svolta e per orientare il lavoro successivo.

6.2 Lo studio

L'analisi dei dati raccolti (documenti di riflessione sul materiale proposto, messaggi di discussione nel Forum, questionari, proposte elaborate nella fase 3) ha mostrato come l'atteggiamento degli insegnanti nei confronti del problema di rinnovare l'insegnamento della relatività a scuola si sia modificato nel corso del lavoro e che si possono individuare tre passi in questa evoluzione, che noi abbiamo indicato come:

- Accettare il gioco, cioè costruire un modo comune di affrontare il problema
- Condurre un gioco comune, cioè costruire criteri comuni per capire a fondo la proposta di Taylor e Wheeler
- Esplorare il dietro le quinte del gioco, cioè trovare il terreno appropriato per confrontare una proposta innovativa con quelle più tradizionali e conosciute

Di seguito è brevemente descritta questa evoluzione che rappresenta il cammino di appropriazione della proposta di Taylor e Wheeler da parte del gruppo di insegnanti

6.2.1. Il percorso di appropriazione

Il primo passo si è realizzato sostanzialmente con l'analisi dei capitoli 1 e 2 del testo di Taylor e Wheeler durante la quale gli insegnanti passano da una tendenza iniziale a considerare la proposta in modo molto locale, a confrontarla passo per passo con la propria esperienza personale (come insegnanti e come studenti) e a proporre in modo quasi impaziente soluzioni alternative, ad un atteggiamento di esplicito e condiviso riconoscimento dell'esistenza di nodi disciplinari problematici che non ammettono soluzioni locali e immediate.

Ecco esempi del modo di guardare 'locale' e 'riluttante' mostrato inizialmente:

Una delle prime domande che mi sono fatto dopo la lettura del primo capitolo è stata quella del punto di partenza. Credo che in una classe normale sia opportuno partire da un problema reale, per esempio l'esperimento di M&M, altrimenti penso che si possa generare un bel po' di confusione soprattutto tra gli studenti meno coinvolti. In sostanza penso sia opportuno un punto di partenza 'esterno' rispetto alla discussione di Taylor&Wheeler (D).

Sarebbe interessante sviluppare percorsi didattici 'reali', unità di apprendimento in cui si esplicitano per esempio, i tempi, la classe di riferimento ed altri dettagli, che limitano poi moltissimo, l'universo delle cose che vorremmo fare e degli obiettivi che vorremmo raggiungere (F).

In questa fase avviene un cambiamento significativo nei modi con cui gli insegnanti si riferiscono agli studenti e alla propria esperienza personale come criteri di valutazione di una proposta.

Al primo impatto, il riferimento a supposte difficoltà degli studenti è, infatti, l'argomento principale per discriminare ciò che 'può funzionare' (rispetto alla propria esperienza di studente, oltre che di insegnante) da ciò che 'non può funzionare'.

[...] di solito introduco la Relatività Speciale nell'ultimo anno, dopo l'E.M. [...]. Secondo me è dannoso introdurla troppo presto, soprattutto se si vuole collegarla alla Relatività Generale come fanno T&W[...]. (A).

Un'altra convinzione largamente condivisa in questa prima fase è l'efficacia e la necessità di un approccio storico:

Posso senz'altro condividere l'approccio geometrico di T&W, ma comunque introdurrei prima l'argomento con un'cappello' storico, evidenziando le problematiche e gli esperimenti che hanno portato alla definizione della teoria (N).

Alla fine della discussione del secondo capitolo il capire/non capire degli studenti assume un altro significato: diventa la motivazione a riflettere a fondo sulla disciplina e riconsiderarla da una prospettiva diversa, cioè da una prospettiva più attenta alla crescita cultura-le complessiva degli studenti oltre che alla comprensione di singoli concetti.

[...] Come proporre la fisica moderna agli studenti? Quali esperimenti, paradossi, deduzioni matematiche, racconti, scegliere di modo che l'alunno possa seguire agevolmente facendosi anche un'idea ragionevole (e non distorta) dei metodi propri della ricerca in fisica? (F).

Nella discussione sui sistemi di riferimento inerziali gli insegnanti rivedono la loro esperienza. Essa appare a volte problematica e limitata, con incoerenze e discontinuità locali. Ad esempio, un insegnante scrive:

Vorrei chiarirmi definitivamente il problema dell'approccio newtoniano (prima legge e riferimenti inerziali) e riferimenti in caduta libera. Non ho capito bene e non voglio lasciar cadere il discorso senza aver confrontato le nostre opinioni. Arrivo alla domanda: come sono in relazione le due impostazioni? Newton è comunque una premessa al discorso oppure l'impostazione del 'sistema in volo libero' permette in qualche modo non dico di sostituirsi a tale impianto ma di superarlo? (M1).

I motori di questo cambiamento di prospettiva sono stati a nostro parere di due tipi:

- alcune caratteristiche della proposta, come la scelta di mostrare fin dall'inizio i
 concetti cruciali si cui si basa tutta la ricostruzione didattica (invarianza
 dell'intervallo spazio-temporale, riferimento in volo libero come riferimento
 inerziale) e la scelta di usare analogie e racconti per introdurre nuovi concetti e
 punti di vista
- la peculiarità della dinamica di gruppo favorita dalla comunicazione in rete. La
 discussione in rete ha fatto emergere tra gli insegnanti ruoli diversi e complementari. Cercando di valorizzare ciascun ruolo, abbiamo deciso di limitare il nostro intervento orientandolo semplicemente a dare un ritmo allo sviluppo della
 discussione e a separare problemi di soluzione immediata da quelli che richiedevano una riflessione di lungo termine

Il secondo passo nel percorso di appropriazione corrisponde al completamento dell'analisi del testo 'Fisica dello Spazio Tempo' e alla ricerca da parte degli insegnanti di parametri in grado di valutare ('misurare' quasi) la proposta nel suo complesso.

Uno dei criteri emersi dalla discussione è quello della coerenza. Gli insegnanti pongono le domande seguenti: «Che cosa significa progettare e implementare una sequenza didattica coerente? Quali caratteristiche deve avere una proposta di questo tipo? Come valutare la sua coerenza?».

Queste domande sono il risultato di un dibattito che ha mostrato la difficoltà di trovare un accordo tra i contenuti di un curriculum di fisica tradizionale e una proposta innovativa e dal quale emerge la necessità di costruire fin dall'inizio un cammino coerente.

Credo che la difficoltà più grossa che uno studente possa incontrare nell'approccio alla relatività proposto da T&W sia il fatto che moltissimi concetti che ha già appreso in precedenza, vengano proposti in modo radicalmente diverso; il lavoro che lo studente deve compiere per risistemare e riorganizzare le sue conoscenze alla luce della nuova impostazione è notevole; non ci si può attendere che una simile 'rivoluzione' passi senza difficoltà o resistenze. Come fare fronte a questo problema? Forse un'idea potrebbe essere di abituare gli studenti a guardare alle cose sempre da più prospettive differenti, a non cristallizzare le conoscenze secondo schemi prefissati, ma a imparare a interpretarle di volta in volta secondo chiavi di lettura alternative. Certo, raggiungere un simile obiettivo richiede un notevole investimento di tempo ed energie, ma potrebbe valerne la pena (S).

Il problema della coerenza non sussisterebbe se si ridefinissero tutti i concetti fisici, fin dal primo, nei termini di T&W. Bisognerebbe definire il sistema inerziale come sistema in volo libero [...] fin dalle leggi di Newton [...]. Ma tutto questo a quale prezzo? (N, A2, B).

Emergono diverse posizioni in risposta alle domande sulla coerenza:

Coerenza come longitudinalità logica. Un percorso coerente dovrebbe configurarsi come un unico percorso che attraversi la fisica, dalla fisica classica alla fisica moderna, come il risultato di una radicale ricostruzione a-storica condotta alla luce della fisica contemporanea

- Coerenza come longitudinalità storica. Nel percorso i salti concettuali presenti anche nella storia devono essere esplicitati in modo da aiutare gli studenti ad acquisire consapevolezza dell'esistenza di una pluralità di punti di vista
- Coerenza come unificabilità di tutta la fisica su base metodologica. Nel percorso l'elemento che dà coerenza è l'uso sistematico del metodo sperimentale, caratteristico dell'indagine fisica
- Coerenza come ricostruzione del contenuto fisico sulla base di concetti e categorie fondamentali come ad esempio la descrizione spaziotemporale, la causalità, il determinismo

Da questo dibattito deriva una convinzione condivisa:

Per riuscire a cogliere la coerenza di un'impostazione è necessario avere interiorizzato a fondo i significati della teoria ben al di là della loro espressione formale, comporta averli sviscerati, averne indagato le conseguenze, aver acquisito padronanza di prospettive interpretative differenti, significa avere il quadro da un lato di ciò che ha condotto a certe ipotesi e dall'altro di dove queste possano condurci. Mi pare che il compito non sia semplice per noi docenti (M2).

Al termine dell'analisi del testo, anche alla luce delle riflessioni sulla coerenza, gli insegnanti concordano sul fatto che l'approccio di T&W è affidabile e di grande rilievo, come mostrano i commenti seguenti:

Ritengo che il contributo più importante e più significativo sia quello di aver rivisitato questa teoria in un quadro organico e ben strutturato al punto tale da eliminare l'apparente 'stravaganza' degli effetti relativistici che traspare in un approccio tradizionale. (L)

Sono stato veramente colpito dalla libertà che hanno Taylor e Wheeler nell'affrontare la relatività svincolandosi dagli approcci più tradizionali (in particolare quello storico) (P).

Questo approccio dà una visione della relatività ristretta in chiave prettamente geometrica, visione che mi ha permesso di «intuire i fili successivi di sviluppo nella relatività generale. Penso che questo sia importante perché mi ha stimolato nel proseguire lo studio verso la relatività generale appunto, ambito senza il quale la relatività ristretta risulta sicuramente banalizzata» (M3).

Tuttavia è anche emerso che si tratta di una proposta basata su una serie di ipotesi (didattiche ed epistemologiche) implicite e che la non esplicitazione di tali presupposti può ostacolare un confronto diretto con altre proposte e, in un certo senso, obbliga gli insegnanti a riprodurre un unico possibile percorso.

Mi piacerebbe mettere meglio a fuoco quali sono le ipotesi su cui si basa l'approccio di T-W: ho come la sensazione che vi siano ipotesi non proprio esplicitate o che mi sono persa io lungo la strada [...]. In generale mi piacerebbe

consolidare la comprensione dell'impianto generale e metterlo a confronto con gli altri in circolazione [...] (A).

Il dibattito degli insegnanti sottolinea un punto importante: la comprensione del contenuto non è una condizione sufficiente per cogliere il significato generale di una proposta innovativa; occorre possedere anche strumenti che consentano di approfondire i suoi presupposti epistemologici e cognitivi, di confrontarla con altre possibili (specialmente con le proposte 'tradizionali') e di modellarla sulle proprie esigenze di insegnamento.

A questo punto la fase 2 del corso, incentrata sull'analisi delle memorie originali di Einstein *L'elettrodinamica dei corpi in movimento* (1905) e di Minkowski *Spazio e tempo* (1908) volta a trovare le radici storiche delle due principali proposte didattiche, ha consentito di riflettere sulle scelte di fondo della proposta di T&W per poterla confrontare con gli approcci più tradizionali.

Si è così realizzato il terzo passo nel cammino di appropriazione, la ricostruzione delle basi culturali delle due proposte di riferimento, quella di Resnick e quella di Taylor e Wheeler.

Filo conduttore dell'analisi è stato il dibattito sui concetti di spazio e tempo in fisica, e le diverse interpretazioni della relatività proposte da Einstein e Minkowski sono state rilette come contributi a tale dibattito.

Le attività di questa fase sono orientate a mostrare la coesistenza di diverse rappresentazioni della teoria fin dalla sua nascita, ma lo sviluppo di una sola di esse (quella di Resnick) a fini didattici.

La discussione con gli insegnanti ha messo in evidenza come la presenza di un approccio dominante abbia prodotto una perdita progressiva della dimensione interpretativa (*sterilizzazione* secondo la definizione degli insegnanti) e portato a considerare implicitamente gli altri approcci in termini di 'distanza' dalla proposta considerata implicitamente come la migliore, o la più naturale.

Credo che la 'sterilizzazione' non costituisca solo una perdita di occasioni ma anche una particolare opzione epistemologica, della quale purtroppo credo di essere ben imbevuto (e da cui faccio fatica a liberarmi): e cioè dell'idea che in fisica non ci sia spazio per problematizzare, per avere punti di vista diversi, immagini diverse del mondo, sembra che questo sia concesso solo alla ricerca di frontiera, mentre sembra che per questioni di fisica classica debba essere tramandata una sola immagine del mondo. E questo rischia di accadere anche alla RR visto che oramai è già centenaria (C2).

Questa fase del corso ha consentito agli insegnanti di porre le due proposte sullo stesso piano e di riconoscerle come ricostruzioni didattiche diverse ispirate da visioni diverse della teoria e del suo insegnamento.

Questa consapevolezza rende possibile considerare criticamente non solo le proposte contenute nei libri di testo, ma anche le proprie scelte didattiche, togliendo ad esse il carattere assoluto che molto spesso implicitamente assumono. Uno degli insegnanti commenta nel questionario finale, proposto al termine della fase 2:

Mi ha colpito molto una certa 'armonia' nelle discussioni a carattere epistemologico che di solito invece innescano rigidità nelle prese di posizione (M1).

Crediamo che il tono che ha caratterizzato la discussione in rete sia dovuto soprattutto alla consapevolezza crescente circa la complessità dei problemi che si devono affrontare se si vuole innovare l'insegnamento della fisica moderna:

Spesso il confronto con gli altri è servito a chiarire la propria posizione, o a stimolare una riflessione personale su un nuovo tema. Il tono pacato forse è dipeso anche dalla complessità delle questioni, rispetto alle quali è difficile sostenere di avere una idea conclusiva (P).

Nella terza fase del corso, dedicata all'approfondimento di problemi emersi nel lavoro precedente e all'individuazione di criteri di progettazione del lavoro in classe, gli insegnanti hanno lavorato, organizzandosi in gruppi, su particolari aspetti del contenuto disciplinare, in particolare sull'idea di riferimento inerziale e sulla dinamica relativistica; hanno esaminato i risultati della ricerca didattica circa i concetti cruciali per la comprensione della teoria, ad esempio quelli di evento/fenomeno, di sistema di riferimento/sistema di coordinate, di invarianza/dipendenza dal sistema di riferimento (Borghi *et al.* 1993(c), Levrini e diSessa 2008; Posner *et al.* 1982, Scherr *et al.* 2001, Scherr *et al.* 2002, Villani e Pacca 1987). Infine si sono impegnati in una sorta di esercizio di progettazione, abbozzando possibili percorsi didattici.

7. Note conclusive

Lo studio appena descritto si inserisce, come altri condotti dal nostro gruppo di ricerca negli ultimi anni (Borghi *et al.* 2003, Besson *et al.* 2010), nel tema generale di come favorire l'innovazione dell'insegnamento nella scuola secondaria attraverso la formazione degli insegnanti.

I risultati concordano con quanto si ricava dalla letteratura e che generalmente si riferisce alla fase di implementazione di proposte innovative. Abbiamo osservato in questo e in altri studi la tendenza ben nota a trasformare e adattare la proposta al proprio stile (Viennot *et al.* 2005) e anche la disponibilità ad accettare la sfida di approfondire il significato di una proposta solo se questa rappresenta una risposta a problemi disciplinari riconosciuti come cruciali dagli insegnanti (Eylon – Bagno 2006). Allo stesso tempo si sono potute verificare le potenzialità di queste tendenze nel promuovere il processo di appropriazione. Lo studio ha anche mostrato l'importanza della 'comparabilità' di una proposta innovativa con le altre. Questo rappresenta un punto importante non solo per gli insegnanti, ma anche per i ricercatori e per chi si occupa di formazione degli insegnanti. Infatti rendere espliciti gli elementi che consentono di confrontare una proposta innovativa con altre più familiari richiede di padroneggiare e gestire la proposta a diversi livelli (dettagli, impianto generale, presupposti da cui prende origine) e di coordinare diverse dimensioni di conoscenza (disciplinare, cognitiva, epistemologica e didattica).

Un problema che rimane aperto e che richiede ulteriori indagini e acquisizione di nuovi dati è come il processo di appropriazione influisca sulla implementazione della proposta in classe e come la validità della descrizione e interpretazione che ne abbiamo dato in un caso specifico possa essere verificata e quindi usata come modello per altri casi.

Lo sforzo di mantenere strettamente legate la ricerca didattica e la formazione degli insegnanti ha costituito una caratteristica costante del lavoro del nostro gruppo di ricerca, che risulta coerente con quanto afferma un importante documento della Commissione Europea, il cosiddetto rapporto Rocard, pubblicato nel (2007). Il rapporto sottolinea come la ricerca nella didattica delle discipline scientifiche sia una sorgente fondamentale di proposte innovative sui contenuti, le metodologie e l'organizzazione dell'insegnamento delle scienze e la formazione degli insegnanti. Tuttavia rileva come la maggior parte delle proposte siano state implementate solo in contesti limitati e locali e indica negli insegnanti l'elemento chiave per il rinnovamento dell'insegnamento scientifico e la diffusione delle 'pratiche migliori'. Tra gli altri metodi il rapporto suggerisce che l'essere parte di un gruppo di lavoro o di un network, consente agli insegnanti di migliorare il loro insegnamento e sostenere la loro motivazione.

Per continuare il nostro lavoro nella direzione suggerita dal rapporto Rocard è indispensabile che la ricerca nella didattica delle discipline scientifiche e della matematica sia valorizzata e sostenuta anche in Italia e che finalmente sia ricostruita una struttura stabile per la formazione iniziale degli insegnanti, interrotta bruscamente nel 2008 e fino ad oggi (2011) ancora non riattivata.

Bibliografia

Bazzini, L. - Borghi, L. - De Ambrosis, A. - Ferrari, M. - Massara, C.I. - Mosconi, P. - Trivelli, P. - Vittadini, M. (1985), A project on the teaching of mathematics and science in the first two grades of primary school, «European Journal of Science Education», 7 (1), pp. 29-36.

Besson, U. – Borghi, L. – De Ambrosis, A. – Mascheretti, P. (2007), *How to teach friction: Experiments and models*, «American Journal of Physics», 75, pp. 1106-1113.

Besson, U. – Borghi, L. – Mascheretti, P. (2010 a), A Three-Dimensional Approach and Open Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching-Learning Sequences: The case of friction, «International Journal of Science Education», Vol. 32, No. 10, pp. 1289-1313.

Besson, U. – De Ambrosis, A. – Mascheretti, P. (2010 b), Studying the physical basis of global warming: thermal effects of the interaction between radiation and matter and greenhouse effect, «European Journal of Physics», 31, pp. 375-388.

⁸ European Commission, Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, [online]: URL: http://www.eesc.europa.eu/?i=portal.en.lso-observatory-documents-background-documents.9003).

- Besson, U. De Ambrosis, A. (2011), Teaching energy concepts by working on themes of cultural and environmental value in Proceedings of the 11th IHPST Conference, Edited by Seroglou, F. Koulountzos, V. Siatras, A., Athens, Epikentro Publications.
- Bevilacqua, F. Bonera, G. Borghi, L. De Ambrosis, A. Massara, C.I. (1990), Computer simulations and historical experiments, «European Journal of Physics», 11, pp. 15-24.
- Bonera, G. Bisi, C. Borghi, L. De Ambrosis, A. Massara, C.I. (1981), *Teaching Science in Elementary Schools: a research programme by the University of Pavia*, Italy, «European Journal of Science Education», 3, pp. 479-480.
- Bonera, G. Borghi, L. Castellani, Bisi, C. De Ambrosis, A. Massara, C.I. (1988) *Progetto di educazione scientifica*, Torino, SEI.
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Andreani, O. Grossi, M.G. Massara, C.I. (1984a), *Understanding floating: A study on children aged between 6 and 8*, «European Journal of Science Education», 6 (3), pp. 235-243.
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Gazzaniga, G. Ironi, L. Mascheretti, P. Massara, C.I. (1984b), *Computers in Physics Education: an example dealing with collision phenomena*, «American Journal of Physics», 52, p. 619
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Gazzaniga, G. Ironi, L. Mascheretti, P. Massara, C.I. (1985), *Elastic waves in a medium: an interactive graphics package-Computers and Education*, 9 (1), 1.
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Mascheretti, P. Massara, C.I. (1987), *Computer Simulation and laboratory workin the teaching of mechanics*, «Physics Education», 22, 177
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Massara, C.I. Grossi, M.G. Zoppi, D. (1988), Knowledge of air: a study of children aged between 6 and 8 years, «International Journal of Science Education», 10, pp. 179-188.
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Gazzaniga, G. Ironi, L. Mascheretti, P. Massara, C.I. (1989), *Integrating computer simulations and the Physics Laboratory: a unit dealing with wave propagation*, «Computers and Education», 2, 179.
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Gazzaniga, G. Ironi, L. Mascheretti, P. Massara, C.I. (1991a), *Practical use of simulations to study relative motion*, «Computers and Education», vol. 16, n. 2, 157.
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Massara, C.I (1991 b), *LOGO programming and Experiments to Study Motion in Primary School*, «Computers and Education», vol. 17, n. 3, 203.
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Falomo, L. Mascheretti, P. (1993a), *Environnements multimédias pour l'étude de la physique*, «Didaskalia», n. 2, 49
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Massara, C.I. (1993), *Understanding average velocity: a study on students aged 11 to 12 years*, «Physics Education», 28, 33.
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Ghisolfi, E. (1993c), Teaching Special Relativity in High School, Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Misconceptions, Ithaca, NY Trust.

- Borghi, L. De Ambrosis, A. Mascheretti, P. (2003), *Developing relevant teaching strategies during in-service training*, «Physics education», 38 (1), pp. 41-46.
- Borghi, L. De Ambrosis, A. Mascheretti, P. (2007), *Microscopic models for bridging electrostatics and currents*, «Physics education», 42, pp. 146-155.
- Buty, C. Tiberghien, A. Le Maréchal, J. (2004), *Learning hypotheses and associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences*, «Int. J. Sci. Educ», 26, N. 5, pp. 579-604.
- COPES (1970), *Conceptually Oriented Program in Elementary Science*, Center for Field Research and School Services, NY, New York University.
- Cortini, G. (1978), La relatività ristretta, Torino, Loescher.
- De Ambrosis, A. Mascheretti, P. Tedesco, P. (2006), *Using the idea of correlation to understand liquid behaviour*, «Physics Education», 41, pp. 63-68.
- De Ambrosis, A. Levrini, O. (2007), *Insegnare relatività ristretta a scuola: esigenze degli insegnanti e proposte innovative*, «Giornale di Fisica», 48, N. 4, pp. 255-276.
- De Ambrosis, A. Levrini, O. (2010), How physics teachers approach innovation: An empirical study for reconstructing the appropriation path in the case of special relativity, Physical Review Special Topics, «Physics Education Research», 6, 020107-1-11.
- Eylon, B.S. Bagno, E. (2006) Research-design model for professional development of teachers: Designing lessons with physics education research, «Phys. Rev. Special Topics Phys. Educ. Res», 2, 02016-1-14.
- Fabri, E. (2005), Insegnare relatività nel XXI secolo: dal 'navilio' di Galileo all'espansione dell'Universo, Quaderno 16 La Fisica nella Scuola (la prima versione della proposta è del 1989).
- Galili, I. (2008), *History Of Physics As A Tool For Teaching*in *Making the results of research in Physics Education available to teacher educators*, Matilde Vicentini and Elena Sassieds, ICPE Book, published by The International Commission on Physics Education.
- Komorek, M. Duit, R. (2004), The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems, «Int. J. Sci. Educ», 26, N. 5, 619-633.
- Levrini, O. Di Sessa, A.A. (2008), *How students learn from multiple contexts and definitions: Proper time as a coordination class*, «Phys. Rev. Special Topics Phys. Educ. Res», 4, 010107-1-18.
- Lijnse, P. Klassen, K. (2004), *Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences?*, «Int. J. Sci. Educ», 26, N. 5, 537-554.
- Onorato, P. Mascheretti, P. De Ambrosis, A.(2010 a), *Mechanical sensors and plastic syringes to verify the gas laws without neglecting friction*, «Phys. Educ», 45, pp. 586-593.
- Onorato, P. Mascoli, D. De Ambrosis, A. (2010 b), Damped oscillations and equilibrium in a mass-spring system subject to sliding friction forces: Integrating experimental and theoretical analyses, «Am. J. Phys», 78, PP. 1120-1127.
- Onorato, P. Mascheretti, P. De Ambrosis, A. (2011), 'Home made' model to study the greenhouse effect and global warming, «Eur. J. Phys.», 32 (2011), pp. 363-376.

- Pintò, R. (2005), Introducing curriculum innovation in Science: identifying teachers' transformations and the design of related teacher education, «Sci. Ed», 89. N. 1, pp. 1-12.
- Posner, G.J. Strike, K.A. Hewson, P.W. Gerzog, W.A. (1982), *Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change*, «Sci. Educ», 66, 2, pp. 211-227.
- PPC (1970), The Project Physics Course, Holt, Rinehart And Winston.
- Psillos, D. Tselfes, V. Kariotoglou, P. (2004), An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids, «Int. J. Sci. Educ», 26, N. 5, pp. 555-578.
- PSSC (1960), *Physics*, 1st Edition, Lexington MA, D.C. Heath.
- Resnick, R. (1968), *Introduction to Special Relativity*, New York-London John Wiley&Sons Inc., traduzione italiana: *Introduzione alla Relatività Ristretta* (1979), Milano, Casa Editrice Ambrosiana.
- Scherr, R. E. Shaffer, P. S. Vokos, S. (2001), Students understanding of time in special relativity: Simultaneity and reference frames, «Am. J. Phys», 69 (S1), S24-S35.
- Scherr, R. E. Shaffer, P. S. Vokos, S. (2002), The challenge of changing deeply held student beliefs about the relativity of simultaneity, «Am. J. Phys», 70 (12), pp. 1238-1248.
- SCIS (1970), Science Curriculum Improvement Studies, Chicago, Rand McNally.
- Taylor, E.F. Wheeler, J.A. (1992), *Spacetime Physics*, New York, Freeman and Company, (la prima versione della proposta risale al 1966). Traduzione italiana: *Fisica dello Spazio-tempo* (1996), Bologna, Zanichelli.
- Thornton, R. (2008), Effective Learning Environments for Computer Supported Instruction in the Physics Classroom and Laboratory, in Making the results of research in Physics Education available to teacher educators, Matilde Vicentini and Elena Sassi eds., ICPE Book, published by The International Commission on Physics Education.
- Viennot, L. Chauvet, F. Colin, P. Rebmann, G. (2005), Designing Strategies and Tools for Teacher Training: The Role of Critical Details, Examples in Optics, «Sci. Educ», 89, N. 1, pp. 13-27
- Villani, A. Pacca, J.L. (1987), Students' spontaneous ideas about the speed of light, «Int. J. Sci. Educ», 9, 1, pp. 55-66.

Didattica chimica a Pavia: esperienze di formazione

Elisa Fasani, Dipartimento di Chimica

Abstract: La didattica chimica a Pavia nell'ultimo decennio si è espressa con l'attivazione di alcune iniziative di formazione dedicate agli insegnanti della scuola superiore. Ne vengono qui descritte due: la formazione degli insegnanti della classe di Chimica e Tecnologie Chimiche in ambito S.I.L.S.I.S. e il corso di formazione/aggiornamento degli insegnanti nell'ambito del Progetto Lauree Scientifiche. Viene messo in particolare risalto l'aspetto riguardante le attività di laboratorio, che in entrambe le iniziative sono state particolarmente curate nella convinzione che esse siano fondamentali perché la chimica diventi parte del normale bagaglio di conoscenza.

In the last decade, chemistry teaching in Pavia has been mainly focused on the activation of a number of training initiatives devoted to high school teachers. We will here describe two of them: the training of teachers belonging to the Chemistry and Chemical Technology branch of S.I.L.S.I.S. and the training/update of teachers involved in the "Scientific Degrees" Project. We will particularly emphasize the aspects related to the lab activities, given their crucial role in the process of making chemistry part of the standard knowledge.

1. Introduzione

Le ricerche in didattica chimica all'Università di Pavia sono state spesso coltivate quasi più come interesse personale di molti docentiche come una linea di ricerca vera e propria. Nonostante ciò, molti docenti hanno aderito a iniziative di formazionesia rivolte agli studenti della scuola superiore che agli insegnanti, con lo scopo di favorireil continuo miglioramento dell'insegnamento e la promozione delle scienze chimiche nella scuola. In questo contesto si inseriscono due esperienze che sono state progettate e sviluppate, insieme a molte altre, nell'ultimo decennio: la formazione degli insegnanti della classe di Chimica e Tecnologie Chimiche in ambito S.I.L.S.I.S. e il corso di formazione/aggiornamento degli insegnanti nell'ambito del Progetto Lauree Scientifiche.

2. La formazione degli insegnanti della classe di Chimica e Tecnologie Chimiche

Nell'Anno Accademico 2001-2002 fu attivata all'Università di Pavia, nell'ambito della Scuola Interuniversitaria Lombarda di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario (S.I.L.S.I.S.), la classe di abilitazione 13A per l'insegnamento di Chimica e Tecnologie Chimiche nelle scuole tecniche e professionali. Questa iniziativa fu sostenuta da un gruppo di docenti degli allora tre dipartimenti chimici che si trovarono ad affrontare, quasi tutti per la prima volta, gli aspetti disciplinari della chimica visti nell'ottica dell'insegnamento alla scuola secondaria di secondo grado. Si trattava quindi di spiegare

124 Elisa Fasani

ai futuri insegnanti non la Chimica, già assimilata e approfondita nei suoi aspetti disciplinari durante i corsi di laurea, ma l'Insegnamento della Chimica, capacità non così scontata per un laureato. A questo si aggiungeva la necessità di trovare le modalità che fornissero gli strumenti metodologici dell'insegnamento della chimica a laureati di diversa formazione (Chimica, Chimica Industriale, Chimica e Tecnologie Farmaceutiche, Ingegneria Chimica, Ingegneria dei Materiali) e che fossero applicabili in diversi contesti scolastici (Scuole Professionali e Istituti Tecnici, sia nel biennio che nel triennio).

Con l'obiettivo di fornire ai futuri insegnanti i modelli formativi per individuare metodi adeguati per l'insegnamento delle varie discipline chimiche, è stato costruito un percorso che si sviluppava attraverso i seguenti punti:

- 1. individuazione dei punti nodali per l'apprendimento della disciplina
- 2. produzione di progetti curricolari e analisi critica dei libri di testo
- 3. discussione di alcuni argomenti utilizzati come modello di apprendimento
- 4. organizzazione di un laboratorio chimico e di esperienze didattiche in contesti diversi (laboratorio, aula, ambiente esterno)
- 5. costruzione di prove di verifica e analisi critica del livello di apprendimento

Nella realizzazione di questo progetto abbiamo tenuto conto del fatto che la formazione chimica nella scuola può avere una duplice valenza:

- culturale: nel biennio di tutte le scuole e nei licei
- professionalizzante: negli istituti tecnici a indirizzo chimico e nelle scuole professionali

Un particolare risalto è stato dato alle attività di laboratorio didattico, nella convinzione che, essendo l'intreccio teoria-pratica tipico delle scienze sperimentali, in entrambi i contesti l'attività di laboratorio risulta fondamentale perché la chimica diventi parte del normale bagaglio di conoscenza. Per studiare il comportamento della materia e le sue trasformazioni, risulta molto incisivo partire dall'osservazione sperimentale e dai risultati di opportuni esperimenti. Nell'attività di laboratorio si realizza la sintesi di conoscenze, capacità e competenze che caratterizzano la specificità di un chimico.

È importante il modo con cui l'attività di laboratorio viene proposta agli allievi: non deve essere solamente dimostrativa, ma deve essere contestualizzata in un'unità didattica o in un progetto. Inoltre la riflessione sull'attività svolta deve essere opportunamente stimolata e non sottovalutata rispetto allo sviluppo delle abilità operative.

Vengono presentati qui brevemente due esempi di esperienze di laboratorio proposte e analizzate durante il corso per essere poi sviluppate in classe. La prima riguarda lo studio di processi esotermici ed endotermici, per sperimentare calore di reazione e soluzione (Silberman 2004).

Lo scopo:

valutare, miscelando un liquido a un solido, in un contenitore di materiale isolante, se avvengono reazioni o solubilizzazioni che liberano o acquistano calore.

Il riscontro nell'esperienza quotidiana:

i cold pack usati nella riduzione dei traumi sportivi: cosa contengono e come funzionano?

Il materiale:

- a. Striscia di polistirolo espanso (parallelepipedo di circa 6x6x25 cm) usato come isolante nella costruzione di edifici; praticare dei pozzetti (profondità 3 cm) con il fondo rovente di un tubo di vetro di diametro 2 cm (sono i contenitori per le reazioni); in alternativa: tazze di polistirolo (contenitore per uova...)
- b. Termometro (0-50° C) piccolo
- c. Liquidi: acqua, aceto (5%), H₂O₂ (3%)
- d. Solidi: NH₄NO₃, CaCl₂, NaHCO₃, lievito in polvere

Il Procedimento:

- a. Versare un liquido a scelta (¼ di cucchiaio da tea) nel pozzetto a temperatura ambiente, aggiungere un solido (1/8 di cucchiaio da tea), miscelare e registrare la temperatura raggiunta dalla soluzione
- b. Procedere con differenti coppie di liquido-solido
- c. Costruire una tabella con i valori di temperatura rilevati nelle varie soluzioni

Alcune reazioni:

- 1. $NH_4NO_3(s) \rightarrow NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq)$
- 6. $CaCl_2(s) \rightarrow Ca_2^+(aq) + Cl^-(aq)$
- 7. $CH_3COOH(aq)+NaHCO_3\rightarrow CO_2(g)+H_2O(1)+Na^+(aq)+CH_3COO^-(aq)$
- 8. $2H_2O_2(aq) + lievito secco (catalizz) \rightarrow 2H_2O(1) + O_2(g)$

normalmente i cold pack commerciali utilizzano la prima reazione

I quesiti:

- a. Quali reazioni coinvolgono calore di reazione e quali calore di solubilizzazione?
- b. Con quali evidenze sperimentali supporti la tua risposta?
- c. Se si vuole preparare un cold pack, quali coppie devi prendere in considerazione? Quale sarà la combinazione liquido-solido migliore? Motiva la tua scelta
- d. Che reazioni avvengono quando NH₄NO₃ o CaCl₂ sono combinati con aceto o acqua ossigenata?

La seconda esperienza riguarda la comprensione delle proprietà colligative attraverso la misura del punto di congelamento di diversi campioni di latte (Novo – Reija – Al-Soufi 2007).

Lo scopo:

Determinare l'abbassamento del punto di congelamento del latte:

126 Elisa Fasani

 Poiché il latte è una miscela di soluti in una soluzione acquosa, si mostra che il contributo di ciascun soluto dipende solo dalla sua concentrazione e non dalla sua dimensione o massa

- Il latte contiene particelle di grasso e proteine colloidali che non influenzano la temperatura di congelamento
- Comparando i risultati ottenuti con latte intero e latte scremato gli studenti capiscono meglio le differenze tra particelle disciolte e sospese

Il riscontro nell'esperienza quotidiana:

Illustrare un metodo universale e approvato per accertare se il latte è adulterato con aggiunta di acqua e fare alcune considerazioni sull'abbassamento crioscopico.

Il materiale:

Uso dei convenzionali metodi per misurare il punto di congelamento o, in alternativa, disporre di un osmometro.

Con l'osmometro si legge l'osmolalità (Osm), una misura della concentrazione totale di particelle 'osmoticamente attive' in una soluzione, pari alla somma delle molalità di tutte le particelle disciolte.

In soluzione acquosa 1 Osm causa l'abbassamento del punto di congelamento di 1.86°C.

I valori di osmolalità possono essere direttamente convertiti nel valore della temperatura di congelamento con la formula:

$$T_f = T_f^* - \left(1.86 \frac{^{\circ}C}{mol \cdot kg^{-1}}\right) \left(x \cdot mol \cdot kg^{-1}\right)$$

Dove T_f è la temperatura di congelamento della soluzione, T_f^* quella del solvente puro e x è l'osmolalità misurata.

Campioni utilizzati nell'analisi

- latte intero
- 2. latte intero adulterato con il 5% in volume di acqua
- 3. latte intero adulterato con il 10% in volume di acqua
- 4. latte intero fermentato
- latte scremato

Limiti di legge per l'adulterazione (Italia)

$$-0.510 < T_f < -0.535$$
°C

Il procedimento:

Si misura 3 volte l'osmolalità di ogni campione, quindi dalla formula si risale a T_f. I risultati:

Il confronto dei T_f dei vari campioni permette di formulare alcune osservazioni:

CAMPIONE	1	2	3	4	5
T_f	- 0,515	- 0,487	- 0,463	- 0,639	- 0,531

- Il valore di T_f del latte intero rientra perfettamente nei parametri standard previsti dalla legge
- Il confronto tra latte intero (1) e latte scremato (5) mostra una scarsa differenza di T_f : solo i componenti in soluzione contribuiscono all'abbassamento crioscopico, non le particelle di grasso sospese
- La temperatura di congelamento è molto sensibile all'adulterazione con acqua, anche se aggiunta in piccole quantità: la variazione del punto di congelamento dipende linearmente dalla concentrazione molale del soluto in soluzioni diluite, secondo la relazione:

$$\Delta T_f = T_f - T_f^* = -K_f m_B$$

 K_f = costante crioscopica del solvente (per l'acqua = 1.86°C kg mol^1) m_B = molalità della soluzione

l'aggiunta di acqua causa una diminuzione nella concentrazione del soluto determinando un valore meno negativo di T_f

 L'effetto del processo di fermentazione del latte sul punto di congelamento è significativo: la fermentazione lattica (il lattosio si scinde in 4 molecole di acidolattico) aumenta significativamente il numero di particelle in soluzione

Le due esperienze presentano difficoltà differenti sia per l'impiego della strumentazione che per l'analisi dei dati, e ben si adattano a far da esempi di applicazione di attività di laboratorio in differenti livelli dell'insegnamento della chimica. La prima risulta infatti più adatta al biennio di qualunque tipo di scuola, la seconda è già costruita per un triennio professionalizzante ad esempio di un ITIS chimico.

3. Formazione e aggiornamento degli insegnanti: l'esperienza del Progetto Lauree Scientifiche

Il Progetto Lauree Scientifiche, attivato da diversi anni dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, e divenuto ora Piano Nazionale Lauree Scientifiche, si è posto come obiettivo la promozione della chimica nella scuola superiore e nella società in generale. Nell'ambito delle attività di questo progetto si è pensato di mettere a frutto l'esperienza già maturata con i corsi S.I.L.S.I.S. per proporre un corso di formazione e aggiornamento in chimica, rivolto agli insegnanti di chimica delle scuole secondarie superiori, in particolare a quelli non in possesso di una laurea in Chimica. L'idea è stata quella di prospettare un insegnamento della chimica più coinvolgente, che potesse prevedere semplici attività di laboratorio da svolgere anche in classe o in un ambiente non perfettamente attrezzato.

Gli obiettivi del corso erano: potenziare la formazione chimica di base degli insegnanti di Scuola secondaria, aggiornare gli insegnanti sugli aspetti emergenti della chimica, in particolare su quelli che suscitano maggiore dibattito nella società; fornire gli elementi per or-

128 Elisa Fasani

ganizzare e allestire in sicurezza efficaci attività di laboratorio, anche attraverso la partecipazione attiva alla realizzazione di alcuni esperimenti. Il corso prevedeva una serie di seminari seguiti da attività assistite di laboratorio, che potessero consentire anche agli insegnanti meno abituati a tali interventi di cimentarsi con esperienze semplici e di migliorare la propria 'confidenza' con la manualità del laboratorio.

Questa proposta è nata dalla convinzione che il trasferimento di conoscenze ed esperienze dai laboratori universitari ai laboratori didattici d'Istituto possa rappresentare un importante strumento per una didattica chimica più moderna, più efficace e più interattiva. Per la preparazione e per il buon successo dell'iniziativa è stata di fondamentale importanza la creazione di un gruppo di lavoro costituito da docenti universitari e da insegnanti 'esperti' della scuola superiore, cioè insegnanti che per la loro formazione sia universitaria (laurea in chimica) che lavorativa (insegnamento in scuole tecniche), si erano sempre confrontati, oltre che con la parte teorica, anche con l'applicazione dell'insegnamento in laboratorio. Questa collaborazione ha consentito di coniugare la considerazione delle problematiche chimiche viste dal mondo della ricerca e dell'insegnamento universitario con le esigenze didattiche della scuola, differenti per molti aspetti, non ultimi i tempi e le attrezzature a disposizione. Ne è risultato un arricchimento in termini di novità, di temi proposti e di modalità di applicazione. Gli argomenti trattati, riguardanti gli aspetti scientifici e didattici della chimica, la trasformazione e l'analisi della materia, l'intervento della chimica nell'ambiente e la poliedricità della chimica del carbonio, sono stati scelti con l'obiettivo di esplorare i vari aspetti della chimica e la sua presenza nel quotidiano. Tutte le esperienze sono poi state raccolte in dispense che sono state distribuite ai partecipanti al corso e pubblicate nel sito del corso di laurea in Chimica dedicato al PLS (vedi sitografia).

Si riassume qui, a titolo di esempio, uno dei numerosi argomenti proposti: *La chimica di alcuni prodotti di uso domestico*. Questa serie di semplici esperimenti può essere utilizzata sia per avvicinare gli studenti alla materia, all'inizio del corso, facendoli riflettere su quante sostanze chimiche siano presenti e vengano usate nelle loro case quotidianamente, magari identificandole con un nome diverso da quello strettamente chimico (es. sale da cucina per cloruro di sodio), sia per introdurre gli studenti all'analisi chimica attraverso semplici reazioni di riconoscimento di alcuni ioni presenti nei prodotti di uso comune:

- Sale da cucina (NaCl): La presenza di ioni Cl' può essere accertata facendo reagire la sostanza disciolta con nitrato d'argento AgNO₃. Si forma un precipitato bianco di AgCl. Questa è una reazione tipica di tutte le soluzioni contenenti ioni Cl'. La presenza del sodio può invece essere evidenziata con il saggio alla fiamma
- Fertilizzante da giardino: Alcuni componenti dei fertilizzanti sono sali di ammonio. Se si aggiunge una base forte, ad esempio NaOH, a un composto contenente ioni ammonio NH₄⁺, si libera ammoniaca NH₃ gassosa. La formazione di NH₃ può essere rivelata da una striscia di cartina al tornasole inumidita che diventerà blu
- Sale inglese: Il sale inglese viene impiegato abitualmente come lassativo. Se a una soluzione di sale inglese MgSO₄.7H₂O viene aggiunta una soluzione di cloruro di bario BaCl₂, si forma una polvere bianca, molto fine, di solfato di

bario BaSO₄. Questa è una reazione tipica di tutte le soluzioni contenenti ione solfato

- Bicarbonato di sodio: Quando il bicarbonato NaHCO₃ reagisce con un acido, si sviluppa anidride carbonica gassosa. La CO₂ viene sempre prodotta quando composti contenenti ione carbonato CO₃⁻ o ione bicarbonato HCO₃⁻ reagiscono con un acido. La formazione di bollicine indica che almeno uno dei due ioni è presente
- Detersivi: Uno degli ingredienti dei detersivi può essere il fosfato di sodio Na₃PO₄ (controllare sull'etichetta perché molti detersivi non lo contengono più). Lo ione fosfato può essere rivelato aggiungendo molibdato di ammonio (NH₄)₂MoO₄ a una soluzione di detto ione. Si formerà un precipitato costituito da una polverina gialla di fosfomolibdato di ammonio (NH₄)₃PO₄.12MoO₃. A volte è necessario un leggero riscaldamento in bagnomaria per accelerare la reazione

Tutto il materiale e le piccole attrezzature acquistate per la realizzazione delle esperienze durante il corso sono poi stati riuniti in un 'Armadio Chimico' che è rimasto a disposizione degli insegnanti che hanno partecipato agli incontri per l'utilizzo nelle loro classi, in modo da poter davvero trasferire le abilità e le conoscenze acquisite nella realtà scolastica, anche dove le attrezzature non siano immediatamente disponibili.

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento va alla Prof. Doretta Capsoni per aver reso disponibile parte del materiale utilizzato nelle sue lezioni, al Prof. Pier Paolo Righetti, coordinatore del PLS per la Chimica a Pavia e a tutti i Colleghi del Dipartimento di Chimica e delle Scuole che con la loro disponibilità e la loro passione hanno reso possibile la realizzazione di questi progetti.

Bibliografia

Silberman, R.G. (2004), *Some like it hot, some like it cold*, «J. Chem. Ed.», 81 (1), p. 64 A-B. Novo, M. – Reija, B. – Al-Soufi, W. (2007), *Freezing Point of Milk: A Natural Way To Understand Colligative Properties*, «J. Chem. Ed.», 84 (10), p. 1673-1675.

Sitografia

URL: http://www-3.unipv.it/scichim/scichim/dispense.pdf

URL: http://www-3.unipv.it/scichim/scichim/Giovedi della chimica.htm>

La radiochimica a Pavia: il contributo del professor Mario Alberto Rollier

Massimo Oddone, Dipartimento di Chimica

Abstract: Nel presente lavoro viene presentata la cronologia storica della Radiochimica pavese legata in modo sinergico con la figura del suo fondatore, il Prof. M.A. Rollier.

The present work shows the historic chronology of Pavia's research in Radiochemistry, which is synergically coupled with Prof. M.A. Rollier's personality.

II Laboratorio di Radiochimica dell'Università di Pavia prende origine da una decisione del Rettore di quell'Ateneo, Prof. Luigi De Caro, e del Direttore dell'Istituto di Chimica Generale e Inorganica, Prof. Giorgio Renato Levi, in occasione della chiamata del Prof. Mario Alberto Rollier a titolare della seconda cattedra di Chimica Generale e Inorganica della Facoltà di Scienze (1960).



Prof. Mario Alberto Rollier (1909-1980)

Il Prof. Mario A. Rollier è stato professore straordinario prima e ordinario poi di Chimica Generale e Inorganica all'Università di Cagliari dal 1957 al 1960. Rimane quale ordinario 132 Massimo Oddone

di Chimica Generale e Inorganica all'Università di Pavia dal 1960 al 31 ottobre 1979 quando viene collocato fuori ruolo per raggiunti limiti di età, in questo periodo fonda e dirige il Laboratorio di Radiochimica e poi l'Istituto di Chimica Generale e Inorganica dalla morte di G.R. Levi.

Appena chiamato a Pavia ottiene che lo Statuto dell'Università di Pavia venisse modificato nel senso di prevedere fra gli insegnamenti complementari per la laurea in Chimica le discipline, comparse in tempi relativamente recenti sull'orizzonte scientifico, della Chimica Nucleare con Esercitazioni e successivamente della Radiochimica.

Sin da studente aveva coltivato un grande interesse per la radioattività.

Tale interesse si è poi tradotto nello sviluppo di un'attività sperimentale dapprima indirizzata all'isolamento e allo studio di composti radioattivi naturali e successivamente, anche in seguito a periodi di lavoro trascorsi presso il Lawrence Radiation Laboratory dell'Università di California a Berkeley, alla preparazione e caratterizzazione di radionuclidi artificiali. Dall'Howard A. Kelly Hospital di Baltimora riceve l'offerta del materiale radioattivo necessario per una ricerca e in tre mesi di intenso lavoro, dalla fine di ottobre 1935 alla fine di gennaio 1936, riesce, assieme ai suoi collaboratori americani Hendricks e Maxwell, a estrarre e a isolare il Polonio (Po) allo stato metallico puro e in quantità tale da permettere con pieno successo lo studio e la determinazione completa della sua struttura cristallina mediante diffrazione dei raggi X: è questo il primo degli elementi radioattivi in senso stretto di cui si sia determinata la struttura cristallina.

Inoltre ha prontamente intuito le possibilità di impiego pacifico dell'energia nucleare e dell'importante ruolo che gli studi chimici hanno in questo settore, sia intesi come studio della chimica del reattore nucleare che come contributo che le ricerche di chimica nucleare e di radiochimica possono apportare al progresso delle conoscenze scientifiche.

A partire dall'anno accademico 1961-1962 l'insegnamento di questa disciplina presso l'Ateneo Pavese è affidato dalla Facoltà di Scienze alla Prof.ssa Vera Maxia, libera docente in Radiochimica, poi Assistente di ruolo e, dal 1965, aiuto presso la cattedra di Chimica Generale e Inorganica.

Il responso degli studenti di Chimica a questa nuova iniziativa è oltremodo lusinghiero poiché una trentina di loro ha liberamente scelto di iscriversi al corso di Chimica Nucleare dimostrando così che l'insegnamento di nuova istituzione corrispondeva a una esigenza sentita.

Contemporaneamente alla creazione del Laboratorio di Radiochimica, la Società Incremento Tecnologie Energia Nucleare (SITEN) decideva il trasferimento della struttura moltiplicante subcritica, o reattore subcritico, dall'Università di Cagliari all'Università di Pavia. Il reattore, installato su iniziativa di Rollier nell'Istituto di Chimica Generale e Inorganica dell'Università di Cagliari nel 1958, risulta il primo reattore nucleare subcritico, il primo reattore nucleare su suolo italiano; con il suo trasferimento a Pavia ne viene confermata la gestione al Prof. Rollier.

Dal 1960 al 1962 contributi economici di varia provenienza, statali per quasi la metà, che ammontavano a circa una quarantina di milioni di lire, permettevano di costruire e di attrezzare modernamente il Laboratorio di Radiochimica entrato in funzione ai primi di luglio 1961; questo ha permesso agli studiosi ivi raccolti di partecipare al IX Congresso

Nazionale della Società Chimica Italiana a Napoli con il contributo non indifferente di cinque comunicazioni aventi per oggetto ricerche nel campo della Radiochimica e della Chimica Nucleare, impensabili senza la disponibilità delle attrezzature presenti nel Laboratorio di Radiochimica.

Poiché l'attività sperimentale in questo settore comporta notevoli stanziamenti di fondi, il Prof. Rollier è stato promotore e realizzatore di alcune iniziative destinate a creare le strutture necessarie per lo svolgimento di una moderna e avanzata attività di ricerca in campo radiochimico e chimico nucleare.

Nel 1965 promuove la costituzione presso l'Università di Pavia del Laboratorio Energia Nucleare Applicata (LENA) e l'installazione del reattore nucleare Triga Mark II, con il contributo della Prof.ssa Vera Maxia, che ha collaborato alla progettazione dell'impianto nucleare del LENA ed è stata per un biennio il direttore di questo laboratorio.

Il contratto di acquisto è del dicembre 1962, mentre la costruzione dell'edificio, iniziata nel 1963, è completata nell'aprile 1964. Il reattore nucleare Triga Mark II (250 Kw di potenza stazionaria con una massa critica di circa 2,2 Kg di Uranio arricchito al 20% ²³⁵U) raggiunge la prima criticità il 15 novembre 1965. Il laboratorio è stato ufficialmente inaugurato il 16 dicembre 1966.

Nel 1969 crea il Centro di studio per la Radiochimica e l'Analisi per Attivazione (CRAA) (del Consiglio Nazionale delle Ricerche) e ne assume la Presidenza sino alla sua prematura scomparsa: questo organismo anche se ha cambiato denominazione tuttora esiste e ha come compito di eseguire studi e indagini del Consiglio Nazionale delle Ricerche nel campo della Radiochimica e Analisi per Attivazione.



Prof.ssa Vera Maxia (1926-1977)

La professoressa Vera Maxia nel 1970 consegue all'unanimità la maturità didattica e scientifica nel Concorso alla cattedra di Chimica Generale e Inorganica dell'Università di Cagliari. Nel 1973, ternata nel Concorso di Radiochimica e Chimica delle Radiazioni, è

134 Massimo Oddone

chiamata alla cattedra in soprannumero di Radiochimica e diventa titolare anche del Corso di Radiochimica, corso istituito nell'anno accademico 1973-1974, e direttore del Laboratorio di Radiochimica. Il triennio di straordinariato di Vera Maxia si compie il 6 marzo 1977, venti giorni prima della sua scomparsa.

Con la scomparsa della Prof.ssa Vera Maxia, diventa direttore del Laboratorio il Prof. Sandro Meloni.

Il 2 gennaio 1980 il Prof. Mario Alberto Rollier perde la vita, mentre era ancora Direttore dell'Istituto. Il 1 febbraio 1980 la direzione viene assunta dalla Prof.ssa Carla Bertoglio Riolo, titolare della cattedra di Chimica Analitica Strumentale.

Nell'anno accademico successivo 1980-1981, la cattedra del Prof. Mario Alberto Rollier è assegnata al vincitore del concorso, il Prof. Luigi Fabbrizzi. Il 21 dicembre 1982 viene costituito il Dipartimento di Chimica Generale: il Laboratorio di Radiochimica confluisce nella struttura e diventa Area di Radiochimica.

Ora vorrei parlare brevemente di quello che è rimasto all'Università di Pavia degli interessi scientifici 'dopo Rollier'. Vorrei mettere in evidenza che quello che Mario Alberto Rollier ha seminato si è sviluppato, ha continuato a svilupparsi ed è una realtà importante per Pavia.

La maggior parte degli allievi e collaboratori di M. A. Rollier ha continuato le ricerche nell'Area di Radiochimica, lavorando in diversi settori della radiochimica, dell'analisi per attivazione neutronica sia strumentale che distruttiva. Tali tecniche sono state applicate nei campi geo-ambientali, archeologici e biologici.

Studi di radiochimica ambientale sul comportamento chimico dei radionuclidi, sia naturali che artificiali, e di alcuni metalli pesanti, hanno consentito di mettere a punto metodologie adeguate per il controllo dell'inquinamento e di trarre utili indicazioni sul disinquinamento, specie delle acque superficiali.

I risultati ottenuti nelle ricerche sugli assorbitori inorganici, che comprendono la caratterizzazione chimico-fisica e l'indagine sul meccanismo di assorbimento, hanno suscitato particolare interesse sia in campo scientifico sia in taluni settori dell'industria, poiché tali composti offrono la possibilità di risolvere il problema della concentrazione di ioni, a partire dalle più svariate matrici sia per scopi analitici, sia preparativi.

Per quanto riguarda il LENA, negli anni l'Ateneo ha dovuto affrontare la decisione se mantenerlo o chiuderlo dati i costi notevoli di manutenzione e di sicurezza e un'attività non sempre soddisfacente. Questi costi gravano sul bilancio dell'Ateneo, necessariamente sempre più limitato nel finanziamento alla ricerca. Alla fine, però, è sempre prevalsa l'idea di mantenerlo e di trasformarlo in un Centro Servizi Interdipartimentale dell'Ateneo. Data l'unicità costituita dal fatto di essere rimasto il solo reattore nucleare di questo tipo funzionante in Italia è spesso visitato da ricercatori, studenti e anche da scolaresche. Le direzioni e le presidenze si sono succedute negli anni e quindi anche i programmi di ricerca. Di iniziative ne sono state fatte molte sia nel settore chimico che in quello fisico ma vorrei parlare dei progetti per il futuro per dimostrare ancora una volta che le iniziative di Mario Alberto Rollier, in particolare con l'installazione a Pavia del reattore Triga Mark II, non sono finite con lui ma continuano e anzi forse avranno degli importanti sviluppi in futuro nel settore della Medicina Nucleare.

Nell'edificio del LENA è stato installato qualche tempo fa un ciclotrone con l'idea di sviluppare progetti sui radioisotopi e i radiofarmaci nel settore della medicina.

Il Prof. M. A. Rollier, pur avendo nella Radiochimica e nella Chimica Nucleare il baricentro dei suoi interessi scientifici, aveva ben presente l'importanza della ricerca sulle fenomenologie chimiche e fisiche che nascono dall'interazione delle radiazioni di alta energia con la materia, ricerca che, a seconda dei sistemi considerati, diventa chimica dei radicali e degli intermedi reattivi, studio delle basi chimico-fisiche del danno radiobiologico, scienza dei materiali, punto di partenza di importanti tecnologie e applicazioni industriali. Egli si convinse che questa disciplina era indispensabile per completare il suo progetto fondativo della ricerca nucleare a Pavia.

Con l'aiuto di giovani assistenti, che aveva inviato a specializzarsi presso il Brookhaven National Laboratory (USA), il Prof. M. A. Rollier, pochi anni dopo la prima criticità del reattore Triga, realizzò il laboratorio di Chimica delle Radiazioni.

Questo laboratorio diretto dal Prof. Antonio Faucitano è diventato nel tempo uno dei centri internazionali di riferimento per la ricerca sulle radiazioni; inoltre il laboratorio svolge un ruolo chiave nell'organizzazione dell'attività didattica avanzata che ha la sua espressione più rilevante nel Master di secondo livello "Nuclear and Ionizing Radiations Technologies" dello IUSS, Istituto Universitario di Studi Superiori, "Scuola Superiore a ordinamento speciale" fondata a Pavia nel 1997, analoga alle già esistenti Scuola Normale Superiore di Pisa, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, SISSA di Trieste.

Il Master è gestito in collaborazione con l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA).

Questo Master ha particolare importanza per la formazione di giovani in questo periodo in cui si torna a parlare dell'energia nucleare. Tutto quanto ho detto, visto nel tempo, si è sviluppato da una idea del Prof. Mario Alberto Rollier.

Bibliografia

- LENA Laboratorio Energia Nucleare Applicata, Centro Servizi Interdipartimentale (2010), 40° Compleanno del Reattore Triga Mark II, [online], URL: http://www.unipvlena.it/>.
- Meloni, S. (1982), Mario Alberto Rollier. Necrologio, in Università degli Studi di Pavia, Annuario anni accademici 1978-79, 1979-80, 1980-81, Pavia, Fusi, p. 679.
- Rollier, M.A. (1963), Attività del Laboratorio di Radiochimica dell'Istituto di Chimica Generale dell'Università di Pavia nel Triennio Accademico 1960-61, 1962-63, Pavia, Industrie Lito-tipografiche Mario Ponzio.
- Rollier, M.A. (1980), Commemorazione di Vera Maxia. Necrologio, in Università degli Studi di Pavia, Annuario anni accademici 1976-77, 1977-78, Pavia, Fusi, p. 5.
- Rollier, M.A. Hendricks, S.B. Maxwell, L.R. (1936), *The Chrystal Structure of Polonium by Electron Diffraction*, «Journal of Chemical Physics», 4, p. 648.

Didattica e divulgazione della micologia sul territorio pavese

Elena Savino e Solveig Tosi, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente Chiara Buratti e Sofia Florio, Il quinto regno, Associazione Culturale Micologica

Abstract: La tradizione micologica dell'Università di Pavia ha radici molto antiche e l'attuale gruppo di docenti e ricercatori del Laboratorio di Micologia, afferente al Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, dedica parte della propria attività alla divulgazione di questa disciplina. La comunità internazionale scientifica dei micologi invita costantemente a sviluppare programmi di educazione rivolti ad ampie fasce di popolazione che va dagli alunni agli adulti nei vari distretti sociali. La nostra attività in questo ambito ha come target principali il settore delle scuole di base, il comparto universitario comprendente anche la Scuola di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario (SILSIS), l'Università della terza età (UNITRE) e il pubblico generico. Diversi sono i programmi affrontati anche in collaborazione con il Ministero dell'Istruzione e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

The Laboratory of Mycology of the University of Pavia, Department of Earth Science and Environment, has a long scientific and didactic tradition since the end of the XVIII century. The international community of mycologists considers popularization a must and encourages carrying out projects to sensitize public awareness of mycological topics. The promotional activity of our Mycological Laboratory is addressed to students of different school levels, students of the High School of Specialization for Teaching, University for the Third Age, and the general public. Different projects have been carried out in collaboration with the Italian Ministry of Education and the Ministry of the Environment and Territory and Sea Protection.

1. Introduzione

La tradizione micologica dell'Università di Pavia ha radici molto antiche (online, URL: <http://et.unipv.it>) e l'attuale gruppo di docenti e ricercatori del Laboratorio di Micologia, afferente al Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, dedica parte della propria attività alla divulgazione di questa disciplina. Ciò è dettato dalla consapevolezza che ricerca, educazione e divulgazione sono strettamente connesse nei diversi ambiti della competenza universitaria, scolastica e delle amministrazioni locali. In generale, la sensibilità alla materia micologica, al di fuori dei centri di ricerca, si limita alla conoscenza dei macromiceti, ignorando inconsapevolmente un'entità ben più ampia della realtà fungina rappresentata dai microfunghi. L'importanza di questi organismi è poco nota anche se il loro impatto nella nostra vita quotidiana è notevole: basti pensare all'incidenza delle malattie fungine sulle piante coltivate, sull'uomo e sugli animali, alla produzione di metaboliti utili all'industria chimica e farmaceutica (es. antibiotici), al

coinvolgimento in molti processi nell'industria alimentare. L'invito a sviluppare programmi di educazione rivolti ad ampie fasce di popolazione che va dagli alunni agli adulti nei vari distretti sociali, viene ribadito anche dalla comunità internazionale scientifica dei micologi. Nel congresso Internazionale di Micologia IMC7 un'intera sessione è stata dedicata alla sensibilizzazione e alla divulgazione di questa disciplina mettendo in evidenza l'importanza del coinvolgimento della popolazione generica (Moore 2002; Watling 2002). Questo non riguarda solo il mondo dei funghi ma anche quello delle piante come sottolineato da diversi autori (Gambini - Pezzotti 2005; Longo 2005) che incentivano a un costante impegno per difendere la cultura scientifica al di là del regno animale. Questo permette di spingere e migliorare la diffusione nella popolazione di conoscenze che si maturano all'interno dei laboratori di ricerca come quelli universitari, dedicando particolare attenzione alla fascia più recettiva della popolazione che è quella scolastica. Va considerato che, in generale, un'acquisizione scientifica, in cui non venga ben evidenziato l'interesse applicativo, necessita di almeno un decennio per diffondersi a livello scolastico. In base ad uno studio mirato infatti (Caretta et al. 2007) si è osservato che, ad esempio, la consapevolezza che i funghi costituiscano un Regno a se stante con caratteristiche che li contraddistinguono da piante, animali e batteri ha richiesto una decina di anni per trasferirsi dagli articoli scientifici internazionali ai testi universitari di biologia, ed altri 5 anni per divenire effettiva materia di studio nei testi scolastici. Quanto effettivamente si radichi nella popolazione la concezione del mondo fungino, come nozione condivisa, è stato oggetto di valutazione mediante un questionario distribuito a partire dal 2005 a più di 100 individui di diversa estrazione culturale, accompagnato da un'analisi dei dizionari e delle enciclopedie più accreditate presenti sul mercato italiano.

Nonostante il 60% degli intervistati fosse in possesso di una laurea in materie scientifiche poco meno del 50% aveva una nozione corretta di cosa fosse un fungo. A più di 40 anni circa dalla nuova concezione di fungo proposta dalla comunità scientifica internazionale (Whittaker 1969), dizionari ed enciclopedie della migliore editoria italiana, invece, non sono ancora aggiornati.

Tali segnali rivelano chiaramente un'insufficiente comunicazione tra centri di produzione del sapere e comunità.

La nostra attività di educazione e divulgazione ha come target principali il settore delle scuole di base (primaria di primo e secondo grado, scuola secondaria), il comparto universitario comprendente anche la Scuola di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario (SILSIS), l'Università della terza età (UNITRE) e il pubblico generico.

2. I metodi

Gli interventi affrontati per la divulgazione micologica si avvalgono di metodi diversi a seconda del target di utenza e del programma svolto. Il comparto scuola viene raggiunto principalmente con interventi diretti quali seminari e attività pratiche in classe, seminari o lezioni solo per insegnanti. Di grande aiuto può essere l'uso di sistemi indiretti come le interfacce elettroniche (siti web), anche se questa modalità, sicuramente più economica,

presenta il limite di essere impersonale nel rapporto con gli alunni e di non avere un feedback immediato della proposta didattica.

Gli interventi didattici e divulgativi diretti, principalmente quelli che si basano su attività pratiche, sono certamente più impegnativi economicamente ma il risultato sul piano della sensibilizzazione non è paragonabile. Gli alunni hanno l'opportunità di interloquire con l'esperto e di appassionarsi alla materia. Questa modalità di intervento viene facilitata dal coinvolgimento di associazioni culturali formate da esperti nella materia che fungono da canali preferenziali tra centri di ricerca e pubblico. Per l'esperienza del laboratorio di Micologia dell'Università di Pavia uno strumento insostituibile per la divulgazione della materia micologica è l'associazione "Il Quinto Regno", istituita da specialisti formatisi presso i laboratori di Micologia della Facoltà di Scienze. Tale associazione utilizza metodi aggiornati e calibrati sulla realtà e sulle esigenze del pubblico. L'associazione è attiva dal 2004 nel campo della didattica, attraverso l'ideazione e la realizzazione di progetti non solo rivolti alle scuole ma anche alle associazioni private e agli enti pubblici. Alla Scuola Primaria e Secondaria di primo grado, "Il Quinto Regno" offre diversi percorsi che pongono in primo piano oltre che il mondo dei funghi anche l'educazione ambientale. Per rendere gli incontri interattivi e ricchi di attività pratiche, "Il Quinto Regno" utilizza il proprio laboratorio didattico mobile, dotato di microscopi, vetrini, soluzioni, piastre, provette e tanto altro materiale per trasformare la struttura che lo ospita in un vero laboratorio scientifico in cui imparare divertendosi. Il contatto con la struttura universitaria assicura a quest'associazione un aggiornamento tecnico scientifico costante. L'attività di questo 'laboratorio mobile' è molto utile in ambito scolastico soprattutto là dove la mancanza di fondi non permette alla scuola di dotarsi di un laboratorio autonomo.

3. Programmi svolti ed esperienze acquisite

3.1. Progetto TEN "Telediffusione E Natura" (Progetto pilota di comunicazione sulla conservazione della biodiversità)

Il progetto finanziato dal MIUR nel 2007 (responsabile prof. G. Rossi), ha avuto come target le scuole di vario ordine e grado attraverso l'utilizzo di reti telematiche. Il sistema ha permesso di creare un canale preferenziale di divulgazione diretta dei risultati sull'attività di conservazione della biodiversità ottenuti nei centri di ricerca afferenti al Dipartimento (allora Dipartimento di Ecologia del Territorio dell'Università degli Studi di Pavia), verso le fasce più giovani della popolazione.

La natura pilota del progetto ha comportato il coinvolgimento di diverse scuole e studenti di dottorato di ricerca in varie sedi universitarie italiane; esse hanno svolto la funzione di scuole pilota per il lancio e il monitoraggio del progetto. Tra le iniziative telematiche sono stati organizzati seminari su diversi argomenti di botanica e micologia anche tenuti da docenti stranieri (seminario di Matt Daws, UK). Diversi istituti scolastici che avevano espresso particolare interesse a partecipare al progetto non hanno potuto realizzare la connessione a causa della mancanza di terminali o di collegamenti internet

attivi o per presenza di strutture particolarmente obsolete. Lì dove non si è potuto mettere a punto il collegamento si sono organizzati degli incontri diretti nelle strutture universitarie (Figura 1) e sono stati anche diffusi i filmati realizzati sulla biodiversità e sugli esperimenti eventualmente da proiettare con sistemi alternativi. I prodotti sviluppati sono stati resi disponibili allestendo una pagina Web specifica aperta a tutti gli utenti della rete: http://www-3.unipv.it/labecove/didattica/TEN/materiale.htm. Il sito raccoglie tutti i prodotti realizzati, una rassegna stampa relativa ai Media che hanno trattato del Progetto, le procedure per il collegamento, gli eventi realizzati ed altri vari approfondimenti specifici, un'area download, FAQ ed un Sito didattico per giovani navigatori della rete (http://www-1.unipv.it/det/homepage/TEN/bimbi/index.htm).

3.2. Experimental Desk

Uno degli interventi che ha avuto maggior successo nell'interazione didattica divulgativa sono i tavoli sperimentali dedicati all'evento. Uno degli esempi più recenti è l'experimental desk dedicato alle malattie dei libri nell'ambito della mostra *Scienziati in posa. Spunti per la valorizzazione e la conservazione del libro antico* che si è tenuta al Castello Visconteo dal 21 ottobre al 16 novembre 2008, in collaborazione con le biblioteche di Pavia. Il tavolo sperimentale proposto era corredato di microscopi e stereomicroscopi per l'osservazione dei microrganismi fungini e dei campioni di carta biodeteriorata. Lo spazio prossimo al tavolo era allestito con modelli in formato gigante delle spore fungine che comunemente si trovano nell'aria (Figura 2).

Simili 'experimental desk' sono stati proposti al Festival della Scienza di Genova e nell'ambito delle attività del Centro Didattico Divulgativo della Riserva Integrale "Bosco Siro Negri" (http://www-3.unipv.it/orto1773/bosconegri.htm) in collaborazione con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

3.3. Programmi SILSIS

Al di là dei corsi disciplinari che trattano argomenti micologici nei diversi corsi di Laurea dell'Università di Pavia è stata un'occasione molto preziosa per la divulgazione e la sensibilizzazione di questa materia l'ambito della scuola di specializzazione per l'insegnamento secondario in cui sono state organizzate lezioni mirate e proposte per tesi cui corrispondevano lavori sperimentali con gli studenti in classe sull'argomento. Gli obiettivi principali di alcune tesi degli specializzandi possono essere esemplificativi del percorso svolto che prevedeva, oltre alle attività pratiche utili per acquisire un metodo scientifico, anche indicazioni sulle verifiche finali:

- Evidenziare che organismi, apparentemente molto differenti fra loro, appartengono al regno dei 'funghi'
- Comprendere che i microrganismi non sono solo fonte di patologie umane o contaminazioni alimentari, ma che possono essere 'utili' all'uomo

• Far capire che esistono degli organismi viventi impossibili da vedere ad occhio nudo, ma osservabili grazie all'uso del microscopio

L'esperienza svolta nell'ambito della SILSIS ha messo in evidenza come i funghi, in particolare i microfunghi, siano uno strumento molto utile per acquisire una procedura metodologica di tipo scientifico, essendo questi organismi relativamente facili da manipolare e con cicli vitali relativamente brevi, programmabili e su cui si possono verificare gli effetti delle condizioni colturali che si vogliono testare. Inoltre, nell'ambito dell'educazione sanitaria, attraverso la conoscenza di alcune comuni patologie umane legate ai funghi, come la *pitiriasi versicolor* e le dermatofizie, può essere acquisita la consapevolezza e l'importanza del rispetto di alcune norme comportamentali e igieniche. Aspetti non trascurabili per chi è coinvolto nella formazione dei giovani.

3.4. UNITRE

La micologia, sotto diversi aspetti, è rientrata per anni tra le tematiche proposte all'interno dei corsi dell'Università della terza età e ha sempre avuto un ampio consenso da parte del pubblico frequentante.

Sotto il titolo accattivante *I funghi amici-nemici* il gruppo di docenti ha inserito diverse tematiche per lo più inerenti ai macrofunghi, le malattie delle piante e dell'uomo e gli aspetti applicativi più noti come le fermentazioni o la produzione di molecole bioattive. L'obiettivo era, anche in questo caso, di utilizzare un linguaggio efficace, semplice ma scientificamente corretto, per esprimere concetti portanti come la simbiosi, il parassitismo e, più in generale, l'ecologia fungina come modello di integrazione fra esseri viventi in diversi ecosistemi.



Figura 1. Le scuole in visita ai laboratori di micologia



Figura 2. Experimental Desk al Castello Visconteo

Bibliografia

- Caretta, G. Del Frate, G. Guglielminetti, M. Picco, A.M. Savino. E. Tosi, S. (2007), *Educazione e divulgazione micologica: l'esperienza pavese*. «Micologia Italiana», 36 (1), pp. 76-80.
- Gambini, A. Pezzotti, A., (2005), *Una battaglia su più fronti per difendere le piante e la cultura*. «Informatore Botanico Italiano», 37 (1b), pp. 788-789.
- Longo, C. (2005), *Insegnar botanica generale. Un 'programma emergenza'*. «Informatore Botanico Italiano», 37 (1b), pp. 800-801.
- Moore, D. (2002), *Educational aspects of promoting mycology*. The 7th International Mycological Congress, Oslo 11-17 August, p. 121.
- Watling, R. (2002), *Awarness to Public*. The 7th International Mycological Congress, Oslo 11-17 August, p. 121.
- Whittaker, R.H. (1969), New concept of Kingdoms of Organisms. «Science», 163, pp. 150-160.

La tradizione degli studi geo-mineralogici a Pavia e la storia delle scienze della Terra (da Spallanzani a Stoppani e Taramelli)

Lamberto Laureti, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente

Abstract: Breve rassegna delle ricerche e degli studi portati avanti nei vari settori delle scienze della Terra e dei relativi insegnamenti accademici svolti nell'Ateneo pavese con specifico riferimento al contributo che ne è derivato per lo sviluppo generale delle stesse discipline geo-mineralogiche e geo-paleontologiche.

Short review of researches and studies in the fields of Earth Sciences and also of the related courses developed and carried out at Pavia University with particular reference to the contributions given to the general advancement of these geo-mineralogical, and geo-paleontological disciplines.

1. Un precursore: Gerolamo Cardano

Come giustamente rilevato dal Berzolari (1991), «nel periodo precedente alle riforme austriache... cultura e produzione scientifica in Lombardia erano molto modeste e per lo più estranee agli sviluppi innovativi».

In particolare lo studio delle scienze naturali aveva carattere prevalentemente descrittivo e spesso si limitava a richiamare nozioni e notizie desunte da autori della classicità greco-romana.

Ancora verso la metà del XVIII secolo, come ricorda ancora il Berzolari, «l'università di Pavia... toccava uno dei minimi storici per produzione scientifica e affluenza di studenti».

È ben vero, però, che due secoli prima la situazione era assai differente, quando, verso la metà del XVI secolo, insegnavano a Pavia due eminenti personalità del calibro del giurista Giovanni Andrea Alciato e del matematico, medico e naturalista Gerolamo Cardano.

Quest'ultimo, in particolare, tra il 1543 e il 1562 tenne, anche se non in maniera continua, la cattedra di medicina dell'Ateneo pavese (Gliozzi 1976), allora particolarmente frequentato e con una significativa affluenza di studenti stranieri.

Nel 1550 il Cardano aveva pubblicato a Norimberga una delle sue più significative opere, *De Subtilitate*, (cui aveva lavorato per oltre un quindicennio), a carattere eminentemente enciclopedico, com'era nell'uso del tempo. A essa seguirono una seconda e una terza edizione stampate ambedue a Basilea nel 1554 e nel 1560.

Complessivamente l'opera consta di 21 libri che costituiscono un compendio di cosmologia e di storia naturale. In un suo recente studio il Nenci (2004) la definisce «oltre

che uno dei grandi successi editoriali del XVI secolo, anche uno dei libri di filosofia naturale più interessanti di tutto il rinascimento» (Figura 1).

Dei 21 libri del *De Subtilitate*, almeno tre possono farsi rientrare nei campi di competenza delle scienze della terra: il quinto (*De mistione et mistis imperfectis, seu metallicis*), il sesto (*De metallis*) e il settimo (*De lapidibus*). Nel primo (V) di questi tre, nel rile-

vare l'esistenza in natura di quattro sostanze (quatuor genera), cioè terras, succos, lapides, metalla, il Cardano si sofferma sulle prime due (tra le quali annovera anche asfalti, carboni, zolfo, petrolio, ambra, ecc.) esaminando le numerose possibilità di combinazione tra di esse, con l'acqua e con gli stessi metalli ai quali è poi dedicato un libro a parte (VI). Alle gemme, oltre che alle pietre è dedicato il libro successivo (VII). In esso si fa riferimento anche a quelle pietre che contengono resti di organismi. È interessante, a tale riguardo, un passo in cui, descrivendo una specie di marmo (Conchites) contenente gusci di conchiglie (nel caso valve di Pecten), cavato secondo Pausania presso la città di Megara, il Cardano considera ciò un indizio sicuro (certum indicium) che questa regione fosse un tempo ricoperta dal mare (perfusam anteis mari regionem illam) (Accordi 1981).

Senza soffermarsi sulle numerose questioni trattate dal Cardano nella sua opera, è da rilevare come, con riferimento ai fenomeni endogeni, egli segua le idee che, a proposito dei terremoti, aveva già espresso il suo illustre contemporaneo, Agricola (nel *De*



Figura 1. Frontespizio dell'opera *De Subtilitate* di Gerolamo Cardano pubblicata a Basilea nel 1560; edizione ampliata rispetto alle prime due stesure (Norimberga 1550 e Basilea 1554)

Ortu et Causis Subterraneorum, Basilea 1546, libro II), cioè che essi fossero dovuti allo sviluppo di vapori infuocati (ai quali Cardano aggiunge la presenza di nitrati, bitume e zolfo) provenienti dall'interno della Terra e in grado di frantumare la stessa crosta terrestre (Cardano 1550, libro II). È da notare che, come rileva l'Adams (1938, p. 409), tali convinzioni erano ben radicate tra le persone colte (come lo stesso Descartes) ancora fino alla seconda metà del XVIII secolo quando, dopo il disastroso terremoto di Lisbona (1755) il fisico inglese John Michell, analizzandone le cause e le conseguenze ritenne, per queste ultime, di riferirle alla propagazione di onde elastiche all'interno della crosta terrestre per le quali valutò anche il luogo di origine in profondità, cioè l'ipocentro (Michell 1761, Phil. Trans., London, vol. LI, part II). Quanto alle cause dei terremoti, com'è ormai noto, esse sono state rivelate, nel corso dell'ultimo mezzo secolo, dalle numerose evidenze della teoria della tettonica a placche.

Tra le altre convinzioni accettate e vivacemente difese dal Cardano è anche quella della natura organica dei minerali e della loro capacità di accrescersi al pari degli organismi vegetali e animali. In particolare, le specie del regno minerale (compresi anche alcuni tipi di rocce) si propagherebbero mediante *semi* talmente piccoli da essere invisibili.

2. La rinascita dell'Ateneo pavese e le iniziative di Spallanzani

Con la conclusione della guerra di successione austriaca (1740-48) si rafforza il dominio asburgico sulla Lombardia e cominciano a delinearsi le iniziative di sviluppo sostenute dal governo di Vienna, come l'introduzione del nuovo catasto e i progetti di riforma delle istituzioni universitarie, ma anche di quelle relative all'istruzione secondaria e di base.

Come nota il Guderzo (1982), negli intenti dei riformatori, animati da uno spirito laico e al tempo stesso accentratore, nonché insofferente della presenza fino allora preponderante delle autorità e delle strutture religiose, «la scuola doveva essere un servizio dello Stato e per lo Stato», allo scopo, però, di «garantire a tutti, secondo i meriti, possibilità di ascesa sociale» (Berzolari 1991).

La riforma dell'Ateneo pavese (ora articolato in quattro facoltà, Teologia, Giurisprudenza, Filosofia e Medicina, le ultime due deputate prevalentemente alla ricerca scientifica) fu altresì sostenuta da un forte potenziamento delle strutture bibliotecarie, didattiche e di ricerca. Particolarmente sviluppati risultarono gli insegnamenti di Matematica e Fisica, oltre che delle discipline di base, come la Chimica, la Botanica e l'Anatomia umana. Venne infine istituito un insegnamento specifico di Storia Naturale assegnato al biologo e naturalista Lazzaro Spallanzani che lo tenne fino alla morte (1769-99).

Il trentennio trascorso da Spallanzani a Pavia, grazie anche al sostegno del governo di Vienna, si rivelò particolarmente decisivo per lo sviluppo della ricerca in tutti i settori delle scienze fisico-matematiche, medico-biologiche e naturali. Dopo il suo arrivo a Pavia, considerata la scarsità di attrezzature dell'Ateneo relativamente alle discipline naturalistiche, lo Spallanzani si preoccupò di allestire una struttura espositiva come presupposto per esigenze didattiche e ulteriori iniziative di ricerca. La liberalità dei sovrani asburgici si manifestò inizialmente con l'invio di copioso materiale didattico e museale. In tal modo fu possibile istituire (unitamente ad un Orto Botanico) un Museo di Storia Naturale alla cui direzione venne posto lo stesso Spallanzani il quale, nell'ambito degli insegnamenti da lui svolti dedicò specifiche lezioni anche alla Mineralogia per la quale aveva curato un'apposita dispensa (Panichi 1939).

In un manoscritto compilato nel 1883 da Francesco Sansoni, incaricato da quell'anno dell'insegnamento di Mineralogia nell'Ateneo pavese (Laureti 2001), viene riportato un lungo elenco di donazioni e acquisti di materiale didattico, di strumenti e raccolte di minerali, rocce e fossili provenienti da varie parti d'Europa. Com'è noto, il Museo venne articolato fin dall'inizio in due sezioni, una relativa al regno animale e l'altra al regno minerale. Quanto al regno vegetale esso era di competenza dell'Orto Botanico.

La fama come biologo di Spallanzani ne ha certamente oscurate le sue cognizioni e le sue capacità relative alle discipline geo-mineralogiche e geo-paleontologiche. In effetti egli non trascurò mai questi due settori, sia con ricerche personali sia con lo stimolo rivolto ai vari responsabili della sezione mineralogica del Museo che si succedettero nel corso della sua direzione. Questi furono Paolo Sangiorgio (1748-1816), poi autore di una storia delle Università di Pavia e Milano pubblicata postuma (1831), Giovanni Antonio Scopoli (1723-1788), la cui fama era legata a scritti chimico-mineralogici oltre che botanici, e che per la vastità dei suoi interessi si troverà sovente a competere con lo stesso Spallanzani, Ermenegildo Pini (1739-1825), singolare figura di barnabita, anch'esso im-

pegnato su vari fronti, dall'architettura alle scienze naturali, e Giovanni Martinenghi (1760-1822) che aveva studiato anche a Schemnitz e seguito a Freiberg le lezioni del celebre Werner. Il Martinenghi, con il quale si chiude l'era spallanzaniana a Pavia, ordinò le raccolte mineralogiche secondo il sistema di Wallerius (Sansoni 1883) e compilò anche una sorta di guida della sezione mineralogica del Museo (1801).

Come osserva il Cermenati (1911), è in questo periodo, nella seconda metà del Settecento, che comincia a diffondersi la voga dei «cosiddetti viaggi mineralogici, i quali venivano eseguiti a spese dei singoli Stati, che ben avevano compreso di quanta importanza fossero... queste ricerche, intese a far conoscere i tesori sotterranei del proprio suolo».





Figure 2. e 3. Stralcio della Carta Mineralogica della Valsassina e zone limitrofe, di Ermenegildo Pini (dalla *Relazione del Viaggio Mineralogico fatto nell'anno 1779 in diverse parti della Lombardia austriaca*, Archivio di Stato di Milano). Con simboli sono individuate le manifestazioni metallifere e minerarie

Anche lo Spallanzani, seguito poi dallo Scopoli e dal Pini (Figure 2 e 3), si dedica ad al-

cune escursioni di tipo geo-mineralogico nelle valli della regione lariana nel corso del primo decennio della sua permanenza pavese. Sarà un breve anticipo dei viaggi, in regioni assai più remote, che compirà nel decennio successivo, prima nel Vicino Oriente ottomano (a Costantinopoli) e poi nel Mezzogiorno italiano (in Sicilia e in Campania) che ne confermeranno le sue competenze geo-mineralogiche (Figura 4). Ricorda a tale riguardo il biologo francese Jean Rostand (1951), che lo Spallanzani, durante la permanenza in Turchia fu in grado di segnalare l'esistenza di un giacimento di rame e di uno di ferro.

Scrive il Panichi (1939), per illustrare la storia dell'Istituto di mineralogia dell'Ateneo pavese, che «Leggendo le opere dello Spallanzani si rimane ammirati non solo dell'entità del materiale mineralogico e litologico da lui raccolto nei suoi viaggi..., ma soprattutto dell'abbondanza e della logicità delle osservazioni». Tra i suoi studi sono da



Figura 4. Frontespizio della prima edizione dei Viaggi alle Due Sicilie di Lazzaro Spallanzani (Pavia 1792)

segnalare quelli sui «gas che le lave sprigionano quando vengono portate a sufficiente temperatura», ottenendo risultati ben comparabili con quelli del fisico inglese Joseph Priestley.

3. La sezione mineralogica del Museo universitario di Pavia

Tra le figure dei quattro direttori che si alternarono nella conduzione della Sezione Mineralogica del Museo spallanzaniano, emergono quelle di Giovanni Antonio Scopoli (succeduto al Sangiorgio dal 1778 al 1782) e di Ermenegildo Pini (succeduto allo Scopoli dal 1782 al 1790). Impegnato nell'insegnamento della Chimica e della Botanica, lo Scopoli aveva già una fama di ottimo cultore di mineralogia con esperienze di insegnamento (di

chimica, metallurgia e mineralogia) presso l'Accademia mineraria di Schemnitz e di medicina nelle miniere di Idria. Tra i suoi contributi scientifici si ricordano opere di cristallografia (Crystallographia Hungarica, 1776), di mineralogia sistematica (Principia Mineralogiæ systematicæ et practicæ, 1772, opera stampata a Praga e poi pubblicata anche in italiano nel 1778 e in tedesco nel 1786) e ricerche su minerali di mercurio, di argento e di zolfo. (Figura 5).

Più circoscritto fu invece il campo di ricerche del Pini che, prima di approdare a Pavia, aveva insegnato fisica, matematica e scienze naturali a Milano (dal 1772 al 1812: nella cosiddetta Università Arcimbolda o Liceo S. Alessandro che ospitò il primo nucleo del futuro Museo Civico di Storia Naturale), dove aveva pubblicato anche un testo di carattere istituzionale (Introduzione allo studio della storia naturale, 1773). I suoi contributi nel campo delle scienze della terra furono di carattere essenzialmente mineralogico e minerario. Le osservazioni mi-

JOANNIS ANTONII SCOPOLI,

S. C. R. ET APOST. MAJESTATIS IN MON-TANISTICIS ET MONETARIIS CONSILIARII, SUPREMI HUNGARIE INFERIORIS CAMERGRAPIATUS OFFICII ASSESSORIS, MINERALOGIÆ PROFESSORIS, CÆSAREÆ REGIÆ AGRAÆÆ SQCIETATIS STRIER, CARNIOLIÆ, GORIZIÆ ET GRAÐISCÆ, ORCONOMICÆ BERNEN-SIS, ET APIARIÆ LUSATIÆ SUPERIORIS SICH.

MINERALOGIÆ SYSTEMATICÆ

PRACTICÆ SUCCINCTE EXHIBENTIA

STRUCTURAM TELLURIS, SYSTEMATA MINERALOGICA, LAPIDUM CLASSES,
GENERA, SPECIES, CUM PRÆCIPUSI VARIETATI
EUS, EORUMQUE CHARACTERIBUS, SYNONYMIS,
ANALYSI ET USU, NEC NON REGULIS NONNULLIS GENERALIBUS, AD DOCIMASIAM ET FYROTECHNIAM METALLURGICAM
PERTINENTIBUS.

VETERO-PRAGÆ
APUD WOLFGANGUM GERLE 1772.

Figura 5. Frontespizio dell'opera *Principia Mineralogiæ Systematicæ et Practicæ* di Giovanni Antonio Scopoli pubblicata a Praga nel 1772

neralogiche riguardarono la composizione delle rocce cristalline del massiccio del San Gottardo e dei graniti di Baveno (nei quali riconobbe per primo delle geminazioni feld-spatiche; Panichi 1939), mentre quelle di interesse minerario riguardarono quasi esclusivamente i giacimenti torbosi, ma anche quelli di carbon fossile e di ferro (questi ultimi esaminati nel corso di un suo soggiorno all'isola d'Elba). Di rilievo, al riguardo, l'opera in due volumi *De venarum metallicarum excotione* (1779-80). Non mancano, peraltro, nei suoi scritti, anche osservazioni di carattere paleontologico e geomorfologico. Pur essendo un convinto nettunista, come ricorda lo Stoppani (1857), non esitò a suscitare accese polemiche con l'ipotesi della presenza di materiali vulcanici in Val Cuvia tra Grantola e Cunardo (del problema se ne occupò perfino il Dolomieu, oltre al Breislak e al Gautieri). Le ri-



Figura 6. Frontespizio dell'opera in due volumi, *De venarum metallicarum excotione* di Ermenegildo Pini pubblicata a Milano (1779-89)

cerche compiute a suo tempo dal Cermenati (1911) hanno inoltre rivelato l'esistenza di un progetto di rilevazione generale delle caratteristiche fisiche (geologiche) e mineralogiche della Lombardia di cui il Pini riuscì a pubblicare solo alcuni esempi (1781) (Figura 6).

Tra i collaboratori dello Spallanzani non va dimenticato il mantovano Giovanni Serafino Volta (1764-1842) cui venne affidato l'incarico di custode del Museo. Cultore di mineralogia e di paleontologia a lui si deve un testo didattico di mineralogia (1787) e un grosso volume sulla paleofauna ittica dei Monti Lessini (*Littiolitologia veronese*, 1796-1809, stampato in quarto con 76 grandi tavole). Come è noto il Volta fu implicato nella triste vicenda che vide lo Spallanzani ingiu-

stamente accusato di furto di alcuni reperti del Museo (Mazzarello 2004). Già verso la fine del XVIII secolo anche la città di Pavia e il suo Ateneo vennero coinvolti nei grandi rivolgimenti politico-militari che interessarono l'Europa intera, conseguenti all'ascesa di Napoleone. Come risultato del saccheggio della città operato dalle truppe napoleoniche nella primavera del 1796, dalle raccolte universitarie furono asportati «i sessanta volumi dell'erbario dell'Haller, la collezione di lave raccolta dallo Spallanzani» e altro ancora (Vaccari 1957). Tra interruzioni e riaperture dell'Ateneo, l'atmosfera che si era venuta creando non si poteva dire certo favorevole a quella necessaria tranquillità per assolvere proficuamente compiti didattici e di ricerca.

Dopo la scomparsa dello Spallanzani la direzione del Museo e l'insegnamento di Storia naturale vennero affidati in successione a Giuseppe Mangili (Caprino Bergamasco 1767-Bergamo 1829), Giovanni Maria Zendrini (Valsaviore 1783-1858) e Giuseppe Balsamo-Crivelli (Milano 1800-Pavia 1874). Durante gli anni della direzione di Mangili (1799-1817) (i cui interessi erano orientati in prevalenza verso gli studi zoologici e botanici), trascorsi quasi tutti sotto il dominio napoleonico, le dotazioni del Museo si accrebbero ulteriormente. In particolare, come riferisce il Sansoni (1883), «Nel Settembre 1802 per cura del Duca Melzi milanese, allora vicepresidente del Governo, furono comprate in Torino e spedite al Museo di Pavia 7 (sette) casse di prodotti della Siberia per lo più minerali, raccolti da un compagno di viaggio del celebre Pallas. In quel tempo pervenne pure al Museo la collezione delle 480 all'incirca forme cristalline di Hauy, eseguite in legno, e fatte eseguire a Parigi dal Prof. Mangili». Continua il Sansoni:

Nel 1810 lo stesso Mangili cedette al Museo una cassetta contenente 110 prodotti vulcanici della Linguadoca. Circa in quel tempo pervennero al Museo circa 500 esemplari raccolti per ordine del Governo dal Sig. Marzari-Pencati sul Vicentino, Padovano, Bergamasco. Nell'autunno 1811 arrivò la preziosa collezione di opali spedite da Vienna dal Conte di Lodron e da lui donate al Museo. Secondo il Sangiorgio in quest'epoca la parte del Museo di Storia naturale comprendente la Mineralogia, Geologia, e Paleontologia era ricca di circa 10 mila esemplari.

La permanenza di Zendrini (che fu anche rettore dell'Ateneo pavese) alla direzione del Museo (1817-1852) fu la più lunga di tutte (35 anni) anche per via del pensionamento anticipato del Mangili dovuto a motivi di salute.

Nel corso di essa, ancora come riporta il Sansoni (1883), «Egli attese al riordinamento della raccolta mineralogica fatta dal Mangili, e la classificò secondo il sistema del Necker». Inoltre «iniziò una raccolta di rocce composta: 1° di una collezione ordinata e

classificata da Leonhard; 2° una collezione di rocce del bacino di Vienna raccolte dal Sennoner; 3° Rocce delle miniere di Isschel (l'attuale Bad Ischl) e delle saline di Aussèe (l'attuale Bad Aussee) ambedue nel Salzkammergut; 4° Collezione di rocce di Ungheria».

Dell'insegnamento dello Zendrini ci resta un grosso manuale, *Rudimenti mineralogici* (1840, seconda edizione) che ebbe notevole diffusione e che riproponeva il sistema di Necker, poi ripreso dal suo successore, il Balsamo Crivelli (Figura 7).

Il naturalista Giuseppe Balsamo Crivelli subentra-



Figura 8. Frontespizio dell'Atlante geologico ideato a scopo didattico da Giuseppe Balsamo Crivelli per gli allievi della Scuola di Geologia dell'Istituo Robiati di Milano (1850)

to allo Zendrini (1852-1863), pur non essendo un geologo nel senso proprio del termine, tuttavia fornì un dignitoso contributo alle scienze della terra e in par-



Figura 7. Frontespizio dell'opera *Rudimenti mineralogici* di Giammaria Zendrini pubblicata a Pavia nel 1840 (seconda edizione)

ticolare alla paleontologia (nel 1838 fu nominato conservatore nel Museo Civico di Milano), grazie alla sua ottima conoscenza della zoologia e dell'anatomia comparata di cui fu professore ordinario dell'Ateneo pavese a partire dal 1854. In precedenza aveva avuto modo di tenere l'insegnamento anche della geologia presso l'Istituto Robiati di Milano per il quale aveva allestito un atlante geologico dell'Italia (1850) con tavole dedicate alle singole ere geologiche.

A lui si deve anche quello che è forse il primo tentativo di fornire una descrizione geologica dell'Italia (1831) con una sintesi cronologica poi allegata alla prima edizione italiana del celebre manuale di geologia e mineralogia del francese F.S. Beudant (1846) e munita di una cartina geologica dell'Italia, poi ripresa dall'Omboni nel suo Stato geologico dell'Italia (1856) allegato all'edizione successiva dello stesso manuale del Beudant (Figura 8).

4. Le Scienze della Terra in Lombardia e a Pavia nei decenni a cavallo tra Sette e Ottocento

Alla vigilia della sua unità politica (1861) l'Italia era divisa in vari stati e in particolare la Lombardia, insieme con il Veneto, costituiva una parte integrante dell'Impero austroungarico. Fino allora non vi esistevano cattedre universitarie di Geologia. Nel resto di
Italia, peraltro, esse erano attive solo a Pisa (dal 1842), Bologna, Palermo e Napoli (dal
1860: nelle due ultime sedi in seguito a un decreto dittatoriale; a Napoli per vero già nel
1815 era stata istituita una cattedra di Geognosia), spesso associate all'insegnamento della Mineralogia. Nell'unica università lombarda, Pavia, esisteva solo una cattedra di Storia
Naturale, anche se venivano tenuti corsi specifici su singole discipline (nell'anno 1859-60
il Balsamo Crivelli, oltre ad un corso di Mineralogia per farmacisti tenne anche un corso
libero di Mineralogia e Geologia preso la facoltà matematica). L'insegnamento ufficiale
della Geologia nell'ateneo pavese, come si dirà più avanti, sarà istituito solo nel 1861.

I primi fermenti da cui scaturiranno osservazioni e studi sistematici sulla geologia lombarda vanno peraltro collocati almeno nella seconda metà del Settecento, in piena atmosfera illuministica, ma anche in un periodo in cui il fiorire della rivoluzione industriale in Europa imponeva l'esigenza di una più precisa conoscenza delle risorse del sottosuolo.

Al di là dell'interesse di singoli studiosi, generalmente naturalisti provenienti dalle file del patriziato o del clero, gli sviluppi delle scienze geologiche in Lombardia, sono legati in questo periodo soprattutto alla ricerca mineraria, di combustibili e di materiali utili alle industrie, come la torba, il gesso, le sostanze lapidee in genere e le stesse acque minerali.

I primi studi in cui compaiono considerazioni di carattere geologico (oltre a osservazioni più generali, sulla morfologia, sulla presenza di minerali, sul paesaggio vegetale, ecc., del tipo di quelle effettuate nel 1763 da Domenico Vandelli, e da lui illustrate nel suo *Saggio di storia naturale del lago di Como e della Valsassina*) sono, infatti, il riflesso di queste particolari esigenze, e vengono condotti da pubblici funzionari, in genere addetti a servizi di ricerca e coltivazione mineraria (la loro qualifica era di norma quella di 'ispettore' alle miniere o alla produzione di 'nitri e polveri'). Un notevole contributo alle conoscenze geologiche fu dato anche dalle ricerche mineralogiche e paleontologiche, favorite dallo sviluppo di discipline a esse propedeutiche, come la chimica, la botanica e la zoologia. Ed è significativo che uno dei massimi biologi e naturalisti dell'epoca, l'abate Lazzaro Spallanzani, attivo per un trentennio (1769-1799) proprio nell'ateneo pavese, abbia lasciato una traccia profonda anche nel campo delle scienze della terra, con osservazioni e studi compiuti, d'altra parte, prevalentemente in regioni diverse dalla Lombardia.

Va inoltre rilevato che, non solo in Italia, ma nel resto d'Europa, le ricerche geologiche, non ancora inserite in un quadro generale finalizzato, si alimentavano anche delle polemiche del momento, come quelle tra 'nettunisti' e 'plutonisti' (seguaci, rispettivamente, delle idee di Werner e di Hutton). Fondamentale, inoltre, per gli studiosi italiani, era il contatto con i loro colleghi d'oltralpe che venivano in Italia attirati dalle particolari situazioni geologiche che ne contrassegnavano il territorio, ricco di fenomeni vulcanici, di giacimenti fossiliferi, di svariati materiali litoidi.

Nell'ultimo quarto del XVIII secolo, oltre al già ricordato Pini, sono attive due personalità di spicco: l'abate Carlo Amoretti (1741-1816) e Giovanni Maironi da Ponte (1748-1833). Nativo di Oneglia, l'Amoretti, che fu docente di diritto canonico all'università di Parma e quindi bibliotecario all'Ambrosiana di Milano, è noto soprattutto per il suo celebre *Viaggio da Milano ai tre laghi* (1794), una sorta di guida turisticonaturalistica (ricca di indicazioni mineralogiche e morfologiche) che riscosse un notevole successo e di cui si pubblicarono numerose edizioni anche postume. In effetti gli interessi geologici dell'Amoretti riguardarono essenzialmente la ricerca di combustibili fossili e soprattutto di torba e lignite, illustrandone gli usi e i vantaggi del loro impiego. Si occupò anche di acque minerali (la cui letteratura risulta già particolarmente ricca per tutto il secolo XVIII e per il precedente) fornendo anche uno dei primi contributi al riconoscimento dell'importanza degli studi geologici di Leonardo da Vinci (1804).

Di combustibili fossili e di acque minerali si occupò anche il Maironi Da Ponte, vero e proprio geologo applicato *ante litteram*.

Nato a Bergamo dove insegnò storia naturale e ricoprì cariche pubbliche, di lui ci resta una produzione particolarmente abbondante, ma nel complesso piuttosto eterogenea e tutta completamente incentrata nell'illustrare aspetti e problemi del territorio bergamasco, sia con contributi di carattere estremamente locale sia con opere sistematiche e di tipo enciclopedico, come la *Storia naturale della provincia bergamasca* (1782), i due volumi delle *Osservazioni sul Dipartimento del Serio* (1803) (Figura 9) e i tre del *Dizionario odeporico della provincia di Bergamo* (1819), la cui consultazione risulta ancor oggi assai utile a chi voglia occuparsi di cose bergamasche.

Le conoscenze geologiche del territorio bergamasco sono infine sintetizzate nel volume *Sulla geologia della provincia bergamasca* (1825) con cui si chiude la sua produzione. Assai preciso nelle sue osservazioni e nelle descrizioni dei più minuti dettagli



Figura 9. Frontespizio dell'opera *Osservazioni sul Dipartimento del Serio* di Giovanni Maironi da Ponte pubblicata a Bergamo nel 1803

(oggi sarebbe stato un buon geologo di campagna), il Maironi rifuggì sempre dall'affrontare questioni di carattere scientifico e generale, sulle quali peraltro manifestò idee alquanto arretrate. A tale riguardo, già il giudizio che di lui dà lo Stoppani (1856) non è molto esaltante, al pari di un più recente chiosatore come l'Airoldi (1922).

Nel corso del primo quarto del secolo XIX il panorama della geologia lombarda comincia ad animarsi a opera di robuste personalità, tra le quali spiccano due nomi: quelli di G.B. Brocchi (1772-1826) e di Scipione Breislak (1747-1826), ambedue figure di livello internazionale (alcune opere del Breislak furono pubblicate anche in Francia e in Germania), con incarichi nella pubblica amministrazione (il Brocchi era ispettore delle miniere e il Breislak ispettore dei nitri e delle polveri del Regno Italico) e grandi viaggiatori anche fuori del loro Paese (il Brocchi si ammalò e morì a Kartum, lo stesso anno della scompar-

sa del Breislak, durante una permanenza in Egitto iniziata nel 1823 al servizio del governo locale come esperto minerario).

La loro opera è talmente nota che non appare questa la sede per una sua ulteriore illustrazione. È sufficiente ricordare i campi in cui si distinse il bassanese Brocchi, dal 1802, dopo una parentesi romana, professore di botanica nel liceo di Brescia: la ricerca mineraria, effettuata soprattutto nel territorio bresciano (nel 1808, anno in cui



Figura 10. Frontespizio dell'opera di G.B. Brocchi, *Trattato mineralogico e chimico sulle miniere di ferro del Dipartimento del Mella*, pubblicata a Brescia nel 1808

fu nominato a Milano ispettore delle miniere, pubblicò i due poderosi volumi di un *Trattato mineralogico e chimico sulle miniere di ferro del Dipartimento del Mella*, Figura 10) con interessi verso i minerali metallici e i combustibili fossili, e gli studi botanici, geologici e paleontologici, questi ultimi compendiati nella celebre *Conchiologia fossile subappenninica* (1814), ancora oggi importante strumento di studio e di consultazione.

Un'altra significativa opera del Brocchi, anch'essa a carattere sistematico, è costituita dal *Catalogo ragionato di una raccolta di rocce per servire alla geognosia d'Italia* (1817). L'interesse per gli studi naturalistici portò il Brocchi a viaggiare continuamente attraverso tutta l'Italia, dalle Alpi alla Sicilia. I soggiorni romani, da lui prediletti per il fascino delle antichità classiche, fruttarono la redazione di una

delle prime carte geologiche italiane, relativa allo Stato fisico del suolo di Roma (1820).

Nel quarto di secolo che il Breislak trascorse a Milano (la sua nomina a ispettore dei nitri e delle polveri risale al 1808) egli compì numerose osservazioni sulla geologia della regione lombarda, dalla zona dei laghi (allora assai studiata anche da geologi stranieri, come il Von Buch e altri, per via dei particolari rapporti tra formazioni cristalline e sedimentarie, queste ultime rappresentate dalle dolomie sulla cui origine si aprirono frequenti dispute tra gli studiosi) alla pianura, pubblicando nel contempo due importanti opere di carattere generale: *Introduzione alla geologia* (1811) e *Traité sur la structure extérieure du globe* (1819), ambedue stampate a Milano e che possono considerarsi come il punto sulle conoscenze geologiche del tempo, oltre che il quadro delle dispute che dividevano ancora vulcanisti (tra i quali può collocarsi lo stesso Breislak) e nettunisti.

Senza aggiungere altro alle acute considerazioni già espresse dall'Airoldi (1922), è necessario rilevare ancora l'interesse della sua *Descrizione geologica della provincia di Milano* (1822) che rappresenta un esempio di monografia regionale di geologia applicata, ricca di osservazioni personali e di notizie sulle condizioni idrologiche e pedologiche dell'alta e della bassa pianura milanese (Figure 11 e 12).



Figura 11. Frontespizio della memoria di F. de Filippi Sulla costituzione geologica della pianura e delle colline della Lombardia pubblicata a Milano nel 1839



Figura 12. Frontespizio dell'opera di S. Breislak Descrizione geologica della provincia di Milano pubblicata a Milano nel 1822 «per ordine dell'I. R. Governo della Lombardia» con un'appendice dedicata alle Osservazioni sulle colline di S. Colombano e della Stradella



Figura 13. appendice dedicata alle Osservazioni sulle colline di S. Colombano e della Stradella

Sicuramente il Breislak ebbe rapporti con i suoi colleghi dell'Ateneo pavese: in quest'ultimo suo lavoro egli dedica ampio spazio alle colline di San Colombano e a quelle dell'Oltrepo pavese, dove allora si aprivano numerose cave di gesso. Egli infatti descrive con minuzia di particolari l'interno di una cavità sotterranea, scavata appunto in un orizzonte gessoso e nota come Grotta di Camerà, sita poco a sud di Casteggio, ancora percorribile fino a una quarantina d'anni fa e attualmente con ambedue gli ingressi ostruiti da materiale franato (Laureti 2003).

Tra le figure minori della geologia lombarda di questo periodo occorre anche ricordare quella di Filippo De Filippi (Milano 1814-Hong Kong 1867), giovane ricercatore (assistente alla cattedra di Storia Naturale) presso l'Ateneo pavese (poi chiamato nel 1840 al Museo Civico di Milano dove tenne un corso di geologia con una prolusione sui progressi di questa scienza fino agli inizi del XIX secolo, quindi professore di zoologia all'università di Torino), che ci ha lasciato, oltre ad alcune considerazioni *Sul terreno terziario subappenninico e in particolare sulla collina di San Colombano* (1834) e *Sul terreno secondario della provincia di Como* (1838), ambedue inseriti nel periodico «Biblioteca Italiana», uno studio sulla *Costituzione geologica della pianura e delle colline della Lombardia* (1839), contenente una interessante sezione a colori, forse la prima concepita attraverso la pianura padana (Figura 13).

Con il Breislak strinse amicizia, così riferisce l'Airoldi (1924), un giovane patrizio milanese laureatosi in legge all'Ateneo pavese e che da lui venne iniziato allo studio della

geologia: Giulio Curioni (1796-1878). «Appassionatosi a questo genere di studi, finì col dedicarsi interamente a essi, e non li lasciò più per tutto il resto della sua lunga e laboriosa esistenza». Assai vasta fu la sua produzione, pressoché costante per un quarantennio, dopo la pubblicazione del suo primo lavoro *Sui combustibili fossili del Regno Lombardo-Veneto* (1838). Il Curioni fu essenzialmente un geologo applicato (si occupò di giacimenti minerari, di cave, di combustibili fossili, di problemi industriali, ecc.), anche se trovò il tempo, instancabile camminatore qual era, di dedicarsi a questioni più spiccatamente geologiche e paleontologiche.

A lui si devono le 60 pagine del compendio sullo *Stato geologico della Lombardia*, inserito nella celebre sinossi di Carlo Cattaneo (*Notizie naturali e civili su la Lombardia*) pubblicata a Milano nel 1844 in occasione della sesta Riunione degli Scienziati italiani, un'iniziativa che aveva preso avvio nel 1839 a Pisa e che rappresentò una concreta manifestazione di unità nazionale realizzata dalla comunità scientifica degli stati italiani che si riconosceva come appartenente a una stessa matrice storica e culturale. La sua produzione si concluse in tarda età con la pubblicazione di due ponderosi volumi dedicati alla *Geologia applicata delle Province Lombarde*, stampati a Milano dall'editore Hoepli (1877) e corredati da una grande carta geologica a colori alla scala di 1:172 800.

Sempre attorno alla metà dell'Ottocento iniziò l'attività scientifica un'altra tipica figura di geologo lombardo, anch'essa di estrazione nobiliare: Emilio Cornalia (1824-1882). Ad esso, che fu prima assistente alla cattedra di storia naturale dell'università di Pavia e quindi direttore del Museo Civico di Milano nonché della Scuola Superiore di Agronomia, si devono numerosi studi di paleontologia dei vertebrati, frutto di ricerche nelle caverne ossifere del Comasco e nel bacino di Leffe. Notevole una sua *Monografia sui mammiferi fossili della Lombardia* pubblicata in lingua francese sul periodico «Paléontologie Lombarde» (1858-71) fondato dallo Stoppani. A lui si devono anche alcune belle carte geologiche a colori del Trentino (1848), o Tirolo meridionale come allora era chiamato, e dell'Istria (1851).

5. La geologia lombarda alla vigilia dell'unità nazionale

Il decennio precedente l'unità nazionale (gli anni '50 del XIX secolo) costituisce un periodo particolarmente importante per lo sviluppo della geologia lombarda, segnato dall'avvio delle ricerche sul terreno da parte di alcuni validi studiosi che consentiranno di sbrogliare, come scrive l'Accordi (1984), «l'intricata matassa della successione stratigrafica del Bergamasco e del Comasco» nonché di mettere in luce la presenza di termini triassici fino allora ritenuti inesistenti nelle montagne lombarde.

Nel 1855 viene fondata la "Società geologica residente in Milano", poi divenuta l'attuale Società Italiana di Scienze Naturali e che può considerarsi il più antico sodalizio geologico italiano. Alcuni dei suoi primi membri, come l'Omboni (di cui si dirà più avanti), contribuirono più tardi alla costituzione dell'attuale Società Geologica Italiana (1881).

Nel frattempo i giovani studiosi lombardi (dall'Omboni al Cornalia al Curioni), spesso con forte impegno personale, andavano pubblicando i risultati delle loro ricerche anche su periodici di società straniere (francesi e austriache), oltre che su riviste locali (come il Giornale, le Memorie e gli Atti dell'I. R. Istituto Lombardo) (Figura 14).

È ancora del 1855 una prima sistematica inquadratura della Série des terrains sédimentaires de la Lombardie pubblicata nel Bollettino della società geologica francese da parte di Giovanni Omboni (1829-1910), nativo di Abbiategrasso e laureato in matematica all'Ateneo pavese e quindi professore di storia naturale. L'anno successivo lo stesso pubblicò un vivace e agile compendio sullo Stato geologico dell'Italia (allegato, in sostituzione di uno analogo redatto dal Balsamo Crivelli, come già accennato, alla seconda edizione del Corso di geologia e mineralogia del Beudant), con numerose illustrazioni di fossili (vegetali e animali), sezioni geologiche e schizzi cartografici relativi prevalentemente all'Italia settentrionale.

L'Omboni prese parte ai moti del 1848 insieme con Antonio Stoppani (1824-1891) di cui fu grande amico ed estimatore. Quest'ultimo, solo cinque anni maggiore di lui, andava già raccogliendo materiali (soprattutto fossili) e informazioni per la compendiosa monografia dei suoi *Studi geologici e paleontologici sulla Lombardia* (1857) che può considerarsi come il primo importante e fondamentale contributo alla definizione delle successioni stratigrafiche delle



Figura 14. Copertina del periodico Atti della Società Geologica residente in Milano (poi divenuta l'attuale "Società Italiana di Scienze Naturali") fondata nel 1855 con il contributo di numerosi naturalisti dell'Ateneo pavese

Prealpi Lombarde (cui non mancò di ispirarsi anche l'austriaco Hauer, altro estimatore dello Stoppani, per la sua carta geologica delle Alpi e Prealpi lombarde). Con l'Omboni (il cui apporto allo sviluppo delle scienze geologiche è meritevole di una specifica attenzione) e con lo Stoppani (di cui molto si è scritto), ambedue giunti all'onore della cattedra universitaria, la geologia lombarda viene finalmente a collocarsi a un superiore livello di maturità e di dignità scientifica.

Dopo l'unità nazionale, nell'ambito del riordinamento delle strutture universitarie portato avanti dal ministro De Sanctis, nell'Ateneo pavese l'insegnamento della Storia Naturale viene sostituito, nel campo abiologico, da quelli di Geologia e di Mineralogia che per l'anno 1861-62 sono affidati rispettivamente ad Antonio Stoppani e a Giuseppe Balsamo Crivelli. Quest'ultimo, l'anno successivo, dopo la rinuncia dello Stoppani, chiamato all'appena costituitosi Istituto Tecnico Superiore di Milano (il futuro Politecnico), assume congiuntamente, per l'anno 1862-63, anche l'insegnamento della Geologia. Dall'anno seguente (1863-64) i due insegnamenti sono riuniti in un unico incarico, affidato a Leopoldo Maggi. Tale incarico diverrà cattedra di ruolo nel 1875 e quindi assegnata a Torquato Taramelli il quale, come scrive il Panichi (1939), «essendo essenzialmente geologo, affidò la cura del Museo mineralogico al Dott. Achille Sartorio (a quest'ultimo si deve una breve monografia sui fossili del colle di San Colombano, 1880). Una nuova separazione tra le due discipline avverrà solo con l'istituzione della cattedra di Mineralo-

gia (1886-1887) su cui salirà Francesco Sansoni, al quale era stato affidato tre anni prima l'incarico di Mineralogia, mentre il Taramelli rimarrà titolare della singola cattedra di Geologia che manterrà fino al 1920.

Sulla figura di Leopoldo Maggi (Rancio Valcuvia 1840-Pavia 1905) è stata allestita una bella mostra qualche anno fa (2005) al castello Visconteo di Pavia da parte dei colleghi Clementina Rovati e Carlo Violani nel corso della quale sono stati messi in luce i più importanti contributi forniti dal Maggi all'anatomia comparata e allo sviluppo delle conoscenze in ambito zoologico.

Negli anni in cui tenne l'insegnamento di Geologia e Mineralogia (1863-75), essendo succeduto allo Stoppani e al Balsamo Crivelli, il Maggi si dedicò a ricerche di carattere geologico nel territorio varesino studiando i depositi fluvio-lacustri e glaciali (in particolare i massi erratici) nonché illustrandone i caratteri geologici generali e gli aspetti litologici particolari (*Catalogo delle rocce della Valcuvia*, 1878). Si occupò anche, assieme al Balsamo Crivelli, delle prime ricerche del giacimento petrolifero di Rivanazzano (1871).

«Con la chiamata del Prof. Sansoni», è ancora il Panichi (1939) che riferisce, «restano divisi», come lo erano fin dal 1883, i due musei, geologico diretto dal Prof. Taramelli e mineralogico diretto dal Prof. Sansoni. Quest'ultimo diede vita (1887) anche all'Istituto mineralogico come struttura autonoma imprimendogli, come riferisce ancora il Panichi (1939) «un indirizzo prettamente mineralogico e un tono di intensa laboriosità». Già allievo del Grattarola a Firenze e del Groth a Monaco, prosegue il Panichi, il Sansoni

procurò che l'Istituto venisse provvisto dei più moderni mezzi di indagine mineralogica e petrografica. Nel 1890 fondò il «Giornale di Mineralogia, Cristallografia e Petrografia» che diresse per cinque anni fino alla morte. Sono specialmente notevoli, fra le pubblicazioni della sua breve vita scientifica, quelle sulle forme cristalline della Calcite di Andreasberg, di Freiberg e di molte altre località: Con lui si inizia un'importante scuola, della quale fecero parte allievi valorosi come: Ettore Artini, Luigi Brugnatelli, Gilberto Melzi, Guglielmo Salomon e Carlo Riva.

Immediato successore del Sansoni fu Luigi Brugnatelli che tenne l'insegnamento fino al 1928.

Un evento particolarmente importante per lo sviluppo delle discipline geologiche a Pavia va considerato la nomina per chiara fama, sulla cattedra di geologia espressamente istituita per decisione ministeriale, di Antonio Stoppani (Lecco 1824-Milano 1891) il quale, se rimase nell'Ateneo ticinese solo per un anno accademico, nondimeno esercitò su di esso, ma anche sulla geologia italiana, un'influenza profonda.

Egli tenne la sua prolusione il 27 novembre 1861, 150 anni orsono, con una perentoria affermazione *Della priorità e preminenza degli italiani negli studi geologici*, in ciò riecheggiando l'accento con cui Charles Lyell salutava, nel primo volume dei suoi *Principles of Geology* (1830), i suoi colleghi italiani: «Torno a parlare con vero piacere dei geologi italiani che, dopo aver preceduto, come si è già visto, i naturalisti di altri paesi nelle loro ricerche sulla storia antica della Terra, conservano ancora nei loro riguardi, all'epoca in cui siamo arrivati, un'incontestabile superiorità» (Figura 15).

Come riferisce Giulia Sacchi Vialli (1961), durante la sua pur breve permanenza a Pavia, lo Stoppani «arricchì il Museo di collezioni diverse, che costituiscono ancora oggi un nucleo di materiale prezioso di studio e di confronto, comprendendo un notevole numero di olotipi delle 'specie' determinate da lui stesso. In campo geologico e paleontologico il suo nome è vivo ancora oggi come quello di uno tra i primi grandi maestri della Geologia italiana». Ne sono una testimonianza i tre volumi del suo *Corso di Geologia* (1871-73), i suoi *Studi geologici e paleontologici sulla Lombardia* (1857) e le monografie pubblicate insieme con il Meneghini e il Cornalia sulla «Paléontologie Lombarde» (1858-81).

La cattedra che Stoppani lasciò nel 1862 venne ricoperta solo quasi un quarto di secolo più tardi, nel 1886, da colui che può considerarsi il suo discepolo più fedele. Torquato Taramelli (Bergamo, 1845-Pavia, 1922). Quando venne chiamato all'Ateneo pavese, nel 1875 egli ave-



Figura 15. Copertina dell'opuscolo contenente la prolusione al primo Corso di Geologia istituito nell'Ateneo pavese e affidato ad Antonio Stoppani per l'anno accademico 1861-62

va già all'attivo una trentina di pubblicazioni e un biennio di assistentato presso la cattedra milanese di Stoppani (1864-66) oltre a esperienze di insegnamento delle scienze naturali all'Istituto Tecnico di Udine e di geologia all'Università di Genova. Durante la sua lunga permanenza sulla cattedra pavese il Taramelli, come scrive ancora la Sacchi Vialli (1961) «ebbe modo di svolgere un'intensa attività didattica e scientifica nei più svariati campi della ricerca geologica». Egli fu «il Maestro» nel senso più completo della parola e seppe creare intorno a sé una Scuola, da cui uscirono alcuni tra i più valenti geologi italiani: basti qui ricordare, fra gli altri, i nomi di C. F. Parona, di E. Mariani e di A. Tommasi. L'attività del Taramelli non può certo essere riassunta in poche righe: notevoli contributi egli portò alla conoscenza delle Alpi, delle Prealpi, dell'Appennino settentrionale e della pianura padana. Si occupò della geologia e della geomorfologia del Veneto, della Lombardia, della Liguria e del Piemonte; particolare attenzione egli pose inoltre allo studio geologico del Pavese, di cui fa fede la sua monografia Descrizione geologica della provincia di Pavia (1882, 1916). Su molte altre zone e su molti altri problemi egli concentrò la sua attenzione, analizzando sempre minuziosamente e instancabilmente tutti i dati di fatto, tutti gli elementi che la ricerca sul terreno gli forniva, nei più minuti dettagli. L'attività dell'Istituto ebbe quindi sotto la direzione del Taramelli un notevole impulso in tutti i campi: in particolare va ancora ricordata la cura con cui egli arricchì le collezioni del Museo geologico con materiale raccolto direttamente e con materiale acquistato anche all'estero, rendendole così perfettamente corrispondenti alle esigenze didattiche e scientifiche dell'Istituto stesso.

Dalla loro fondazione i due istituti dell'Ateneo pavese, di Geologia e di Mineralogia, hanno fornito un notevole contributo allo sviluppo di queste discipline, sia a livello nazionale che internazionale. Di ciò è augurabile che si possa tracciare una sintesi adeguata che ne illustri eventi, iniziative e personalità. Dopo quasi un secolo, nel 1982, i due istituti si fusero (unitamente a quello di Paleontologia, costituitosi appena vent'anni prima) per

dar vita, con riferimento ai nuovi modelli di strutture universitarie, al Dipartimento di Scienze della Terra (Laureti 2001). Attualmente, com'è noto, l'Università di Pavia ha dovuto procedere, al pari di altri atenei italiani e in esecuzione di precisi dettati ministeriali, a una serie di rimodulazioni delle proprie strutture organizzative e funzionali rappresentate da una serie di accorpamenti che hanno portato, nel corso dell'ultimo anno all'unione tra il Dipartimento di Scienze della Terra e il Dipartimento di Ecologia del Territorio con l'assunzione della nuova denominazione di Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente.

Riferimenti bibliografici*

- Martinenghi, G. (1801), Distribuzione ragionata del Museo Mineralogico dell'Università di Pavia, Pavia, Bolzoni.
- Sangiorgio, P. (1831), *Cenni storici sulle due università di Pavia e di Milano*, a cura di F. Longhena, Milano, Vasai.
- Brocchi, G.B. (1843), Riflessioni sul perdimento della specie e discorso sui progressi dello studio della conchiologia fossile italiana. È il primo capitolo dell'opera Conchiologia fossile subappennina che comprende una dettagliata rassegna degli sviluppi delle scienze geo-paleontologiche in Italia.
- Omboni, G. (1854), *Cenno storico*. È uno dei capitoli conclusivi (pp. 651-666) contenuto nella terza sezione dedicata alla *Geologia dei suoi Elementi di Storia Naturale* (Milano, C. Turati, p. 435); le altre sezioni riguardano la Zoologia (1852), la Mineralogia (1854) e la Botanica (1857).
- Omboni, G. (1856), *Cenno storico e conclusioni*. È il IX cap. dello Stato geologico dell'Italia dello stesso autore, Vallardi, F., Milano, pp. 125-134 (contiene rapidi cenni alle figure di Breislak, S. Pini, E. Brocchi, G.B. Amoretti, C. Vandelli, D.; testo ripreso e modificato dal precedente Cenno storico (1854).
- Stoppani, A. (1857), *Cenno storico sullo sviluppo della geologia lombarda*. È il I cap. degli *Studi geologici e paleontologici sulla Lombardia* dello stesso autore, Turati, Milano, pp. 3-27 (vengono illustrati e discussi i contributi di Pini, E. Amoretti, C. Maironi Da Ponte, G. Brocchi, G.B. Breislak, S. von Buch, L. De Filippi, F. Balsamo Crivelli, G. Omboni, G. Curioni, G. Collegno, G. i f.lli Villa, Cornalia, E. De La Linthe, E. Hauer F.).
- Omboni, G. (1859), *Cenno storico sulla costituzione della Società Geologica residente in Milano*, negli Atti della stessa, di cui l'autore era segretario, pp. 3-14 (contiene, fra l'altro, rapidi cenni alle figure di Breislak, S. Pini, E. Brocchi, G.B. Amoretti, C. Vandelli, D.).
- Stoppani, A. (1861), *Della priorità e preminenza degli italiani negli studi geologici*, Prelezione al corso di Geologia tenuta il 27 novembre 1861 nella R. Università di Pavia, Bernardoni, Milano, p. 36. È la celebre prolusione del geologo lecchese in cui si ripercorre a grandi linee lo sviluppo della ricerca geologica in Italia.

-

^{*} In ordine cronologico

- Omboni, G. (1869), *Storia della Geologia*, ultimo capitolo (pp. 823-849) del suo testo di Geologia pubblicato nella Biblioteca Politecnica (Milano, V. Maisner e C., già C. Turati, p. XV-870 con 3 tavole f.t. in cromo-litografia, contenenti cartine geologiche dell'Europa centrale, dell'Italia e delle Alpi italiane); tratta in particolare del contributo italiano negli ultimi 150 anni, soffermandosi con particolare dettaglio sulle figure di Pini, E. Breislak, S. Brocchi, G.B. e di altri.
- Sansoni, F. (1883-94), Cenno storico sull'origine e sullo sviluppo del Museo Mineralogico dell'Università di Pavia, in Laureti, L. (2001).
- Omboni, G. (1894), Brevi cenni sulla storia della Geologia, raccolti dai suoi studenti dell'ateneo padovano, Sacchetto, Padova, p. 1-72.
- Cermenati, M. (1901), Considerazioni e notizie relative alla storia delle scienze geologiche e a due precursori bresciani. «Boll. Soc. Geol. It.», 20, pp. XCIII-CXXXIII. (Vi si forniscono, tra l'altro, notizie sull'istituzione di una cattedra di storia naturale nel Liceo di Brescia, con finalità geo-mineralogiche, negli anni successivi alla fine della Repubblica Veneta e si dimostra la priorità di alcune conoscenze nel campo della cristallografia dei due naturalisti Francesco Lana, vissuto nel XVII secolo, e Giambattista Mazini che fu professore di medicina a Padova nella prima metà del XVIII secolo).
- Pellati, N. (1904), Contributo alla storia della cartografia geologica in Italia. Atti Congr. Int. di Sc. Storiche (Roma, aprile 1903), vol. X (sez. VI, St. della Geografia e Geografia storica), Roma, Acc. dei Lincei, pp. 131-163. (Dopo un'introduzione, vengono riportati, in ordine cronologico e distinti per regione, gli elenchi delle principali rappresentazioni cartografiche di contenuto geologico; la Lombardia è considerata unitamente al Veneto, al Canton Ticino, al Trentino e all'Istria; stranamente non vengono ricordate le carte del Tirolo meridionale e dell'Istria redatte dal Cornalia).
- Cermenati, M. (1913), Da Plinio a Leonardo, dallo Stenone allo Spallanzani (incunaboli della geologia Lariano-Valsassinese). «Boll. Soc. Geol. Ital.», 30 (1911), pp. CDLI-DIV (eruditissimo e corposo excursus dell'allora presidente della Società Geologica Italiana che negli ultimi quattro capitoli si sofferma sul contributo alla conoscenza della geologia lombarda fornito da Vandelli, D. Pini, E. Amoretti, C. e altre figure minori).
- Airoldi, M. (1922-24), *Principali figure di precursori nella geologia lombarda. Atti Soc. Ligust. di Sc. e Lettere*, vol. I fasc. III, pp. 171-190 (dopo una breve introduzione, si illustrano le figure di Maironi Da Ponte, G. e Breislak, S.); vol. III, fasc. I, pp. 55-77 (si illustrano le figure di Balsamo Crivelli, G.A. e Villa, G.B. e Curioni, G. con la scorta di una nutrita serie di argomentazioni critiche e ben documentate).
- Gortani, M. (1931), *Per la Storia*. È il I cap. della *Bibliografia Geologica Italiana* (dalle origini al 1930) a cura dello stesso autore, parte I (opere di carattere generale), CNR, Roma, pp. 9-36 (comprende le opere dei precursori e dei pionieri delle scienze geologiche fino agli inizi del sec. XIX, unitamente alla bibliografia critica e commemorativa, oltre a un elenco delle principali fonti per la storia della geologia fino al 1830; tra le altre vengono ricordate le figure di G.B. Brocchi e L. Spallanzani).
- Adams, F.D. (1938), *The birth and development of the geological sciences*, Baltimore, William & Wilkins, ristampato da N. York, Dover Publications, (1954 e 1990).

Panichi, U. (1939), *L'Istituto di Mineralogia di Pavia e l'indirizzo delle ricerche mineralogiche*, Pavia, Tip. Succ. F.lli Fusi, 1939, p. 31. (La Bibliografia contiene un elenco di 300 titoli relativi a pubblicazioni del Museo e dell'Istituto di Mineralogia dal 1769 al 1939).

- Bianchi, A. (1940), *Il contributo italiano al progresso della petrografia, negli ultimi cento anni*, in *Un secolo di progresso scientifico italiano*: 1839-1939, Roma, Soc. Italiana per il Progresso delle Scienze, VII, pp. 71-91.
- Rostand, J. (1951), *Les origines de la biologie expérimentale et l'Abbé Spallanzani*, Paris, Fasquelle, (ediz. italiana 1963, Torino, Einaudi).
- Vaccari, P. (1957), Storia dell'Università di Pavia, Pavia, Fusi, 2^a edizione (ristampa anastatica, 1982).
- Sacchi Vialli, G. (1961), *L'Istituto di Geologia dell'Università di Pavia. La sua storia e la sua attività scientifica e didattica*, in «Atti dell'Ist. Geol. dell'Univ. di Pavia», XII (1961), pp. 197-218 (la bibliografia contiene un elenco delle pubblicazioni dell'Istituto di Geologia dal 1929 al 1961 per complessivi 143 titoli).
- Gliozzi, G. (1976), Cardano, Gerolamo, voce del *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 19, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana.
- Accordi, B. Stacchiotti, L. Tagliaferri, C. (1981), *Traduzione e commento del "De Lapidibus" di Gerolamo Cardano* (dal Libro VII del *De Subtilitate*, edizione del 1560), «Geologica Romana», XX, pp. 125-169.
- Guderzo, G. (1982), *La riforma dell'Università di Pavia*, in *Economia, Istituzioni, Cultura in Lombardia nell'età di Maria Teresa*, a cura di De Maddalena, A. Rotelli, E. Barbarisi, G., vol. III, Bologna, Il Mulino.
- Accordi, B. (1984), *Storia della geologia*, Zanichelli, Bologna, p. 114, 16 tav. f.t. (si ricordano, tra le altre, le figure e i contributi di Breislak, S. Pini, E. Brocchi, G.B von Buch, L. Collegno, G. Curioni, G. Stoppani, A.).
- Gigli Berzolari, A. (1991), L'Università di Pavia e la ricerca scientifica tra Sette e Otto-cento, «Annali di Storia Pavese», 20, pp. 83-89.
- Laureti, L. (1996), *Albori e primi sviluppi della geologia lombarda*, in «Natura. Rivista di Scienze Naturali», LXXXVII, 2, pp. 45-54.
- Laureti, L. (2001), Documenti e materiali di interesse storico esistenti nel Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pavia, «Annali di Storia Pavese», 29, pp. 137-144.
- Laureti, L. (2003), Lombardia, in Le aree carsiche e gessose d'Italia, a cura di Madonia, G. – Forti, P., «Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia», s. II, vol. XIV, pp. 131-36.
- Mazzarello, P. (2004), Costantinopoli 1786: la congiura e la beffa. L'intrigo Spallanzani, Torino, Bollati Boringhieri.
- Nenci, E. (a cura di) (2004), Cardano, G., *De Subtilitate*, Libri I-VIII, tomo I, Edizione critica, Milano, Franco Angeli.

Comunicazione e apprendimento della scienza: la Sezione di Fisica del Museo per la Storia dell'Università e il Sistema Museale d'Ateneo

Lidia Falomo, Dipartimento di Fisica

Abstract: Dai primi anni Ottanta a oggi i musei della nostra Università hanno dato sempre maggiore importanza agli aspetti educativi e comunicativi. Da un'iniziale attenzione verso le collezioni, volta al loro recupero e restauro, si è passati a una sempre crescente attenzione verso il pubblico, sino all'elaborazione di progetti on e off-line, che ne hanno visto la partecipazione attiva.

Since the early eighties to the present day the museums of our university have given increasing importance to education and communication. From an initial focus on the collections, aimed at their recovery and restoration, the museum staff has dedicated greater attention to the public to the point of developing projects on-and off-line, which include the active participation of visitors.

I musei hanno vissuto negli ultimi decenni un'evoluzione profonda, che li ha portati a volgere sempre più l'attenzione verso i bisogni della società, le aspettative e i processi di apprendimento dei visitatori e verso gli aspetti comunicativi nella più ampia accezione, sia interni sia verso l'esterno, dalla promozione al coinvolgimento attivo dei visitatori nei progetti museali.

Ancora più marcata è stata l'evoluzione dei musei universitari che, caduti quasi nell'oblio per un lungo periodo di tempo, stanno tentando di ricavarsi un proprio posto all'interno del panorama museale, che rispetti le loro peculiarità e permetta di recuperare e ampliare le funzioni educativa e di ricerca, che stanno alla base della loro fondazione. I Gabinetti e i Musei universitari, per lo più di stampo scientifico, erano dotati in origine di collezioni che venivano usate per la ricerca e durante le lezioni, per mostrare anche gli ultimi risultati della scienza; in seguito hanno raccolto soprattutto oggetti ritenuti obsoleti per la ricerca. Attualmente, a parte alcuni interessanti casi di musei 'cristallizzati' riferentisi a un particolare periodo storico, contengono testimonianze, anche interdisciplinari, dell'evoluzione della scienza e delle svolte più significative introdotte da scienziati di spicco. La vicinanza, all'interno dell'Università, di moderni laboratori didattici e di ricerca fa si che, specie all'interno di mostre temporanee o di progetti specifici, possano essere create interessanti sinergie tra storia e attualità.

Dalle collezioni al web

Nel seguito farò riferimento soprattutto alle collezioni di Fisica del Museo per la Storia dell'Università, delle quali il nostro gruppo si occupa già dai primi anni Ottanta del Novecento

162 Lidia Falomo

(Brenni 1983, Bevilacqua 1990). Dopo un primo lavoro di riordino, schedatura e restauro degli strumenti (si veda l'articolo di Carla Garbarino in questo stesso volume), si è cominciato a rendere visibili al pubblico le collezioni in mostre temporanee (Bellodi *et al.* 1990), allestite nello splendido salone teresiano della Biblioteca universitaria, in stretta aderenza con gli antichi volumi, che tante informazioni avevano e avrebbero fornito nello studio degli strumenti esposti. Ben presto ci si è resi conto del fatto che la visita alla mostra o al museo è molto più efficace se preceduta e/o seguita da un approfondimento. Gli strumenti sono infatti dei veri e propri 'contenitori di conoscenza e informazioni': suggeriscono il profondo intreccio tra teoria ed esperimento, tra scienza e tecnologia e l'importanza dei contesti scientifico, educativo, culturale e persino istituzionale e politico nella loro ideazione, costruzione e utilizzo. Essi possono quindi stimolare la curiosità e lo studio di altre fonti primarie e secondarie.

Alle classiche pubblicazioni e cataloghi cartacei delle mostre si è allora cominciato ad affiancare un ipertesto, in cui oltre ai rimandi interdisciplinari, lentamente hanno fatto la loro comparsa sempre più elementi multimediali. La nascita del web ha poi favorito la diffusione dei contenuti: verso la metà degli anni Novanta si è iniziata a intravedere la possibilità di promuovere il museo a costi molto bassi; si sono pubblicati online informazioni e approfondimenti ipermediali sul Museo per la storia dell'Università e su altri 'luoghi della scienza'; si sono iniziati a sperimentare i primi percorsi didattici e si sono compiute ricerche e applicazioni sull'utilizzo sia di simulazioni di esperimenti scientifici sia di animazioni, prima bidimensionali e poi tridimensionali, per spiegare il funzionamento degli strumenti del Gabinetto di Fisica; si sono pubblicate le schede semplificate di strumenti e di testi di fisica dei fondi storici della *Biblioteca universitaria* e della *Biblioteca Volta*.



Figura 1. Sezione, dedicata al Museo per la Storia dell'Università, del sito implementato verso la metà degli anni Novanta, visibile ancor oggi all'indirizzo: http://ppp.unipv.it

L'interazione con i visitatori era praticamente assente: si forniva solo l'indirizzo e-mail di contatto. Tra la fine degli anni Novanta e i primi anni Duemila, mentre i musei iniziavano a organizzarsi in reti e a Pavia si costituiva il *Sistema Museale d'Ateneo* (e più tardi anche il più ampio *Pavia Musei. Sistema museale di Pavia, del suo Ateneo e della sua Certosa*), il web è stato riconosciuto come un fenomeno centrale per la diffusione del patrimonio culturale, sono stati avviati ambiziosi progetti di digitalizzazione e sono comparse le prime collezioni visitabili virtualmente con ricostruzioni 3D o fotografiche a 360°. Il nostro gruppo ha effettuato la digitalizzazione delle opere e dell'epistolario di Alessandro Volta (Bevilacqua *et al.* 2002), rendendole fruibili in diverse modalità (Bevilacqua – Falomo 2011), ha 'ricostruito' il *Gabinetto di Fisica di Alessandro Volta* e ne ha inserito in rete la visita virtuale che, partendo da una panoramica fotografica a 360° consente di 'cliccare' sui vari strumenti e di ottenere diverse informazioni a vari livelli di approfondimento.

Per gli strumenti più significativi sono disponibili animazioni bi e tri-dimensionali che ne descrivono i componenti e ne illustrano e spiegano il funzionamento¹.

L'applicazione multimediale è stata trasferita anche su CD e resa disponibile in due versioni: singolo CD (Falomo 2002) o CD accoppiato a un volume che dettagliatamente descrive la genesi, gli strumenti e gli inventari storici del *Gabinetto di Volta* (Bellodi *et al.* 2002).



Figura 2. Esempio di schermata della visita virtuale ottenuta dopo aver scelto l'armadio e il ripiano da ingrandire. Cliccando sugli strumenti è possibile accedere alle informazioni e alle animazioni

¹ La visita virtuale è disponibile on-line nel sito del Sistema Museale d'Ateneo all'indirizzo online, URL: <http://musei.unipv.it> alla voce Gabinetto di Volta.

164 Lidia Falomo

Il coinvolgimento dei visitatori

Negli anni successivi si è sentita l'esigenza di un maggior coinvolgimento dei visitatori del museo e si è iniziato a utilizzare strumenti interattivi con cui ripetere esperimenti importanti per la storia della fisica. Sempre più il museo si è trasformato in una 'risorsa' a disposizione dei 'pubblici': strumenti, volumi e manoscritti storici originali, *hands on*, multimedia e web sono stati riuniti in un solo progetto e proposti ai visitatori. L'occasione di un progetto collaborativo ampio e articolato è stata offerta nel 2005 dalle celebrazioni in onore di Albert Einstein.

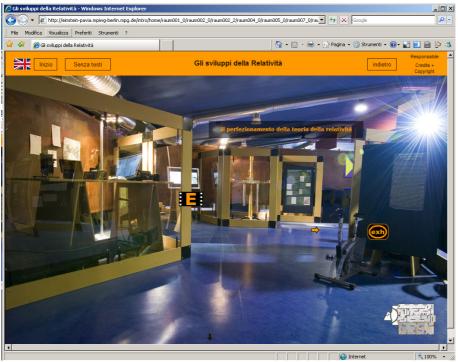


Figura 3. La mostra *Einstein ingegnere dell'Universo* è in rete all'indirizzo: http://einstein-pavia.mpiwg-berlin.mpg.de/intro. I bottoni contrassegnati con *exh* aprono il filmato del relativo *hands on*, presentato dagli studenti delle scuole superiori; quelli contrassegnati con *E* aprono tre tipi di video: dialoghi tra scienziati, anche di diverse epoche, che confrontano le proprie teorie, filmati d'epoca, ricostruzioni tridimensionali di esperimenti storici, anche ideali, e moderni; le scritte aprono i testi dei pannelli e le foto degli oggetti esposti con relativa didascalia

In questo caso la collaborazione si è esplicata a vari livelli: prima tra istituzioni,² poi tra progettisti e costruttori di exhibit interattivi,³ quindi tra Sistema museale e scuole di ogni

² La collaborazione internazionale con l'Istituto Max Planck di Berlino, l'Università Ebraica di Gerusalemme e il Deutsches Museum di Monaco ha reso possibile l'allestimento della mostra *Einstein ingegnere dell'Universo*, prima a Berlino, con un'ambientazione soprattutto storica, poi a Pavia, centro di una mostra a

ordine e grado. La collaborazione tra il nostro gruppo, il Sistema Museale e le scuole si è sempre più rafforzata durante gli ultimi anni con una serie di progetti, mostre e laboratori interattivi – Dalla terra al cielo: il laboratorio di Galileo; Energia, questa trasformista; L'isolachenonc'è – mentre l'avvento del web 2.0 ha fatto sì che la collaborazione si sia 'prolungata' in rete e si sia estesa contemporaneamente a un numero crescente di visitatori delle mostre e dei musei e di utenti internet. Gli stessi strumenti di collaborazione online sono stati utilizzati nei due progetti europei Comenius 2.1, The MAP prOject⁴ e STeT⁵ (Science Teacher e-Traning), volti a introdurre nuove strategie di insegnamento-apprendimento tramite rilevanti casi di studio tratti dalla storia della scienza.



Figura 4. Wiki online all'indirizzo: http://storiascienza.wetpaint.com. Le sezioni del wiki sono organizzate secondo lo schema ormai 'classico' per il nostro gruppo: fonti primarie, con materiale di approfondimento relativo a testi (Biblioteca), documenti (Archivio) e strumenti (Museo), fonti secondarie, risorse per l'apprendimento (filmati, percorsi ipermediali, contesti...), progetti e percorsi proposti da studenti dei corsi di laurea in Fisica e in Comunicazione, innovazione, multimedialità

stella cui hanno partecipato le Università di Bari e Bologna e l'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze

³ Gli hands-on, oltre a quelli costruiti presso il nostro Dipartimento, provenivano dal "Laboratorio di Galileo" dell'Università di Pisa (ora acquisiti dal nostro Dipartimento), dall'Associazione "Scienza viva" di Calitri, dall'Università di Oldenburg, dal Museo tridentino di Scienze Naturali, dall'Istituto Max Planck per la Storia della Scienza di Berlino.

⁴ Il progetto *The MAP prOject*, il cui sito è visibile in rete all'indirizzo: http://ppp.unipv.it/map/, ha coinvolto tra il 2004 e il 2006 le università di Atene, Pavia, Oldenburg, Madrid e Salonicco.

⁵ Il progetto *Stet*, nato come prosecuzione del progetto *MAP*, ha visto la collaborazione tra le università di Atene, Pavia, Oldenburg, Cipro e Salonicco. Il wiki del progetto è visibile all'indirizzo: http://stet.wetpaint.com>.

166 Lidia Falomo



Figura 5. Wiki dedicato al progetto *Dalla terra al cielo. Il laboratorio di Galileo*. Le varie sezioni della mostra conclusiva proponevano gli esperimenti di Galileo, spiegati da studenti delle secondarie di secondo grado del territorio, l'esposizione dei disegni, una visita al planetario e strumenti per osservazioni astronomiche e solari, gestite da astrofili. Erano presenti anche *exhibit* realizzati da alunni delle scuole superiori: una riproduzione del cannocchiale utilizzato da Galileo e un *hands on* che mostrava la discesa di una pallina lungo la cicloide.





Figura 6. Disegni degli alunni, dalle scuole dell'infanzia alle secondarie di primo grado, realizzati in laboratori tra arte e scienza e inseriti nel wiki (immagine a sinistra) o esposti in una sezione della mostra (a destra)

Dal 2007 sono stati implementati canali e gruppi su *YouTube* e *Flickr*, sia istituzionali sia aperti ai visitatori dei musei universitari e agli utenti di Internet, che aggiungono foto e video, commentano, 'taggano', instaurando una comunicazione bidirezionale utilissima sia al museo, per raccogliere impressioni e suggerimenti, sia ai visitatori reali e virtuali che si sentono maggiormente coinvolti e contemporaneamente possono accedere a una varietà di interpretazioni. Foto e video sono poi facilmente integrabili in *blog*, *wiki* e *social network*.

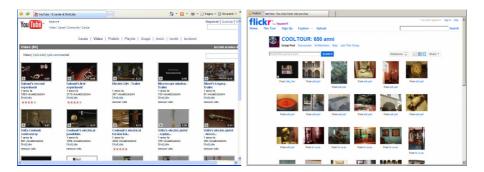


Figura 7. Canale 'istituzionale' su YouTube all'indirizzo: http://www.youtube.com/DhstLidia e uno dei gruppi aperti agli utenti su Flickr, all'indirizzo: http://www.flickr.com/groups/650/pool

In occasione delle celebrazioni per i 650 anni dalla fondazione della nostra Università, oltre al già citato progetto *L'Isolachenonc'è* (vedi articolo Albanesi in questo stesso volume), in cui è stato sperimentato per la prima volta il video partecipato, si è dato il via a un'applicazione di *realtà aumentata*. Essa è stata dapprima applicata ai cortili della nostra Università e ai tanti luoghi storici che vi si trovano. Si è cercato così di incuriosire gli studenti e tutti coloro che passeggiando si trovano a 'incontrare' un illustre personaggio, un luogo o un manufatto storicamente significativo, utilizzando uno degli oggetti più in voga del momento: lo smartphone. Per rendere questo progetto più collaborativo, alle descrizioni inserite dal personale del Sistema Museale saranno aggiunte le realizzazioni più belle degli studenti del corso di *Comunicazione Digitale e Multimediale B* (quest'anno gli studenti del corso, tenuto al Collegio Nuovo, saranno più di 200). Si prevede poi di estendere il progetto alla città coinvolgendo sempre più soggetti nella realizzazione, oltre che nella visione, dei contenuti.

⁶ Oltre alle realizzazioni grafico-pittoriche sugli scienziati più importanti che hanno operato all'interno dell'Ateneo, 'reinterpretati' – da numerose scuole del territorio e da adulti – alla luce dell'arte moderna e contemporanea, gli alunni di una scuola dell'infanzia, di due primarie e di una secondaria di primo grado sono stati impegnati, dopo aver visitato musei e laboratori universitari, nella realizzazione di video partecipati, cioè completamente girati da loro stessi. Nel caso invece di tre secondarie di secondo grado il video è stato concepito dai ragazzi e girato da un film maker. Disegni e filmati saranno esposti e proiettati in una mostra prima della fine dell'anno scolastico.

168 Lidia Falomo



Figura 8. Esempi di realtà aumentata applicata ai cortili dell'Università e al Gabinetto di Fisica di Volta

I modelli di partecipazione

In quasi tutti i campi dell'agire umano la partecipazione e il coinvolgimento degli 'utenti', siano essi clienti, dipendenti, visitatori reali o virtuali, alunni, studenti, elettori, pazienti, sono sempre più al centro dell'attenzione e sono spesso ritenuti parte importante di una strategia vincente. Anche in campo museale si sono accese da qualche tempo le discussioni e sono partite le sperimentazioni. Una delle più attive ed entusiaste studiose in questo campo è Nina Simon, ⁷ che nel suo libro *The Participatory Museum* indica quattro modelli di partecipazione:

Contributivo

I visitatori sono spinti a fornire contributi limitati e specifici (oggetti, azioni o idee) all'interno di un processo controllato e gestito dall'istituzione

Collaborativo

I visitatori sono coinvolti come partner attivi nella costruzione di un progetto istituzionale avviato e controllato dall'istituzione

Co-creativo

I membri della comunità e il personale dell'istituzione lavorano insieme, dall'inizio, per definire gli obiettivi del progetto e creare il programma o la mostra sulla base degli interessi e dei bisogni della comunità

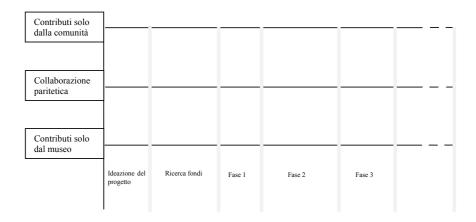
Cooptativo

L'istituzione mette a disposizione di gruppi esterni mezzi e risorse per la realizzazione di progetti.

⁷ Il blog di Nina Simon si trova online all'indirizzo: http://museumtwo.blogspot.com/

I primi tre modelli di partecipazione derivano da uno studio del *Center for Advance*ment of Informal Science Education (CAISE) sulla partecipazione del pubblico nella ricerca scientifica, ⁸ il quarto è stato aggiunto dalla stessa autrice.

Nel caso dei progetti collaborativi da noi realizzati e sopra sommariamente descritti, l'inquadramento in uno specifico modello risulta piuttosto difficile. La differenza tra i modelli per Nina Simon è incentrata su chi detiene la gestione del progetto. È molto difficile però stabilirlo all'inizio del progetto, tranne in pochi casi specifici: spesso i ruoli si invertono durante lo svolgimento, con fasi gestite dall'istituzione alternate ad altre gestite dai gruppi di collaboratori esterni. Alcune critiche sono già state mosse al modello di Nina Simon. Louise Govier (Govier 2009) propone ad esempio di estendere la definizione di co-creazione sino a comprendere tutti i progetti in cui il personale dei musei lavora insieme al proprio pubblico per creare qualcosa di nuovo. Concordo che scopo dei progetti è spesso quello di elaborare insieme, di co-costruire qualcosa di nuovo e di originale. Per descrivere tali progetti trovo inoltre utile tracciare uno schema che delinei le varie fasi di partecipazione nel tempo, il cui parametro di riferimento non sia la gestione, ma la partecipazione stessa. Ogni fase del progetto può così essere rappresentata all'interno di un *continuum* che va da contributi forniti solo da uno dei partecipanti a una collaborazione paritetica.



Al di là, comunque, della definizione di uno schema o di modelli di partecipazione, va evidenziato che l'attivo coinvolgimento degli insegnanti e degli alunni delle scuole di ogni ordine e grado in un unico progetto condiviso ha mostrato le grandi potenzialità dell'apprendimento collettivo. Pur con attività diverse secondo l'età dei partecipanti e del curriculum scolastico si realizzano contatti e scambi reciproci on e off-line tra le scuole, gli studenti universitari, i laboratori didattici e di ricerca e, naturalmente, i nostri musei. L'apprendimento quindi va oltre le materie storiche e scientifiche oggetto del progetto stesso e coinvolge gli aspetti relazionali, comunicativi, artistici, emozionali e di forma-

⁸ Online, URL: http://caise.insci.org/uploads/docs/PPSR%20report%20FINAL.pdf.

170 Lidia Falomo

zione di una propria identità culturale. I nostri attuali progetti si stanno estendendo verso diverse comunità di visitatori, reali e potenziali, e si stanno aprendo alla città, nel tentativo di dare il via a musei 'diffusi' che riescano ad avvicinare, e speriamo in futuro a coinvolgere, una maggiore varietà di pubblici.

Bibliografia

- Bellodi, G. Bevilacqua, F. Bonera, G. Falomo, L. (a cura di) (2002), *Gli strumenti di Alessandro Volta. Il Gabinetto di Fisica dell'Università di Pavia*, Milano, Hoepli.
- Bellodi, G. Brenni, P. De Luca, M.T. (1990), Guida alla mostra "Strumenti di misura elettrici del Museo per la Storia dell'Università di Pavia", Pavia, (Collana di Storia della scienza).
- Bevilacqua, F. (1990), *Musei Scientifici a Pavia*, in *Musei Scientifici a Pavia*. *Informascienza 1988*, Pavia, Amministrazione Provinciale di Pavia, pp. 3-11.
- Bevilacqua, F. Bonera, G. Falomo, L. (a cura di) (2002), *Alessandro Volta, edizione nazionale delle Opere e dell'Epistolario*, CD-ROM, Milano, Hoepli.
- Bevilacqua, F. Falomo, L. (a cura di) (2004), *Alessandro Volta, filosofo della natura*, CD-ROM, Milano, Hoepli.
- Bevilacqua, F. Falomo, L. (2011), Dalle fonti primarie e secondarie all'intelligenza connettiva: il caso di Alessandro Volta in Le reti in rete. Per l'inventario e l'edizione dell'Archivio Vallisneri, a cura di Dal Prete, I. Generali, D. Monti, M.T., Firenze, Olschki.
- Brenni, P. (1983), Gli strumenti scientifici della collezione universitaria di Pavia, in Atti del III congresso nazionale di storia della fisica, Palermo, 11-16 ottobre 1982, a cura di Bevilacqua, F. Russo, A., pp. 176-179.
- Falomo, L. (a cura di) (2002), *Il Gabinetto di Fisica di Alessandro Volta*, CD-ROM, Milano, Hoepli.
- Falomo, L. (a cura di) (2010), *Energia, questa trasformista*. *Laboratorio storico interatti- vo*, Pavia, La Goliardica Pavese.
- Govier, L. (2009), Leaders in co-creation? Why and how museum could develop their co-creative practice with the public, building on ideas from the performing arts and other non-museum organization, Clore Leadership Programme, [online] URL: http://www.cloreleadership.org/cms/user_files/fellow_fellowship_research_projects_download_report/74/Louise%20Govier%20-%20Clore%20Research%20-%20Leaders%20in%20Co-Creation.pdf.
- Simon, N. (2010), The Participatory Museum, Museum 2.0, Santa Cruz.

La catalogazione degli strumenti scientifici del Sistema Museale di Ateneo

Maria Carla Garbarino, Sistema Museale di Ateneo

Abstract: L'Università di Pavia conserva migliaia di strumenti scientifici raccolti nel corso della sua storia e, in particolare, tra il XVIII e il XX secolo. La catalogazione di questo immenso patrimonio è stata avviata oltre trenta anni fa e ha conosciuto diverse stagioni a partire dal riordino e dalla schedatura degli strumenti di fisica del Museo per la storia dell'Università condotti dal gruppo di storia della fisica.

Oggi la catalogazione del patrimonio storico scientifico vede la collaborazione del Sistema Museale di Ateneo con la Regione Lombardia, con l'utilizzo del programma Sirbec e i tracciati PST e BNZ approvati dall'ICCD.

The University of Pavia preserves thousands of scientific instruments collected during its history and, in particular, between the eighteenth and twentieth century. The cataloguing of this immense wealth was launched more than thirty years ago and has seen several seasons since the reorganization and cataloguing of the physics instruments of the historical Museum of the University led by the group of history of physics.

Today, the cataloguing of the scientific cultural heritage sees the collaboration between the Museum University System and Regione Lombardia, using the program Sirbec and the tracks PST and BNZ approved by the ICCD.

Perché catalogare? Questa domanda, che potrebbe sembrare strana a chiunque abbia lavorato nel settore delle biblioteche o degli archivi, non è così assurda per gli operatori dei musei del Sistema Museale di Ateneo che devono necessariamente 'parcellizzare' il loro tempo, dividendosi tra promozione, ricerca, visite guidate e lavori che – come la catalogazione – possono essere definiti di *back office*.

È una domanda paradossale, naturalmente, su un'attività riconosciuta e prevista dal codice dei beni culturali, che però si può arrivare a porsi quando si ha l'impressione di impiegare tanto, troppo, tempo per cercare di comprendere e descrivere un singolo, complesso, talvolta anche 'misterioso' oggetto.

Mentre per quanto riguarda i beni librari e archivistici il prodotto della catalogazione e dell'inventariazione viene direttamente utilizzato dagli utenti e dagli studiosi per orientarsi e selezionare i materiali da consultare, in un museo questa stessa attività non sembra di immediata fruizione da parte del pubblico.

Tuttavia è proprio la catalogazione che consente di ordinare in maniera coerente i dati raccolti sul patrimonio conservato, inserendoli in un sistema in grado di immagazzinare informazioni rintracciabili attraverso ricerche per autore, tipologia, periodo cronologico ecc., pronte (o quasi) per essere utilizzate nelle forme e nelle attività più diverse.

172 Maria Carla Garbarino

L'Università di Pavia possiede un'enorme ricchezza di strumenti scientifici, raccolti nel corso della sua secolare attività nelle diverse discipline. Divenuti obsoleti per la ricerca e la didattica, questi strumenti sono rimasti a lungo nei magazzini degli istituti e dei dipartimenti, per poi confluire – in molti casi, ma non in tutti – nelle collezioni e nei musei dell'Ateneo.

Un censimento di queste collezioni, condotto nel corso del 2001-2002, ha messo in evidenza come accanto ai musei tradizionalmente conosciuti dell'Università – Museo per la storia, Museo di storia naturale, Museo della tecnica elettrica, Museo di mineralogia, Museo di anatomia e Museo di archeologia – esistesse una miriade di collezioni di strumenti e preparati, oltre che di beni librari e archivistici, non fruibili da parte del pubblico e spesso quasi dimenticate. La nascita del Sistema Museale di Ateneo ha contribuito, negli anni immediatamente successivi, a far emergere dall'oblio almeno una parte di questo prezioso patrimonio (Bevilacqua *et al.* 2003).

Dal punto di vista della datazione, i beni rilevati si collocano tra la fine del XVIII e il XX secolo, con qualche eccezione costituita da pochi strumenti più antichi, che si possono far risalire al secolo XVI.

L'ultimo quarto del XVIII secolo fu un periodo fondamentale per la nascita delle collezioni, accomunate dall'avere un nucleo originario risalente all'epoca di Maria Teresa d'Austria e alla riforma dell'Università voluta e messa in atto proprio dall'imperatrice e dal suo successore Giuseppe II.

Una didattica condotta in base a un rigoroso metodo sperimentale rendeva indispensabile la nascita di collezioni, musei e gabinetti scientifici, dei quali – in molti casi – si conservano ancora gli antichi inventari. Risalgono a quegli anni la riorganizzazione dell'Orto botanico, la nascita del Museo di anatomia di Antonio Scarpa (con le collezioni di anatomia normale, patologica e comparata), del Gabinetto di fisica di Alessandro Volta, del Museo di storia naturale di Lazzaro Spallanzani, di un Laboratorio chimico e, infine, della grande biblioteca (Ferraresi 2000).

Il patrimonio di questi 'luoghi del sapere' era costituito da strumentazione scientifica e medica, preparati anatomici, collezioni zoologiche, botaniche e di minerali. La catalogazione di questo materiale così eterogeneo costituisce ancora oggi una sfida.

Fino a non molti anni fa, infatti, erano ben consolidati soltanto alcuni tracciati catalografici, relativi, ad esempio, al patrimonio artistico e archeologico e a beni culturali tradizionalmente riconosciuti come tali.

Solo in tempi relativamente recenti sono state approvate e diffuse dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione le schede per il Patrimonio Storico-Scientifico e per i Beni Naturalistici.

Da alcuni anni il Sistema Museale di Ateneo si è adeguato a questa normativa per la catalogazione del suo patrimonio, adottando il programma Sirbec, fornito dalla Regione Lombardia, con il tracciato della scheda PST (Patrimonio Storico Scientifico), utilizzato dal Museo per la storia dell'Università e dal Museo della tecnica elettrica, e il tracciato della scheda BNZ (Beni naturalistici) utilizzato dal Museo di storia naturale.

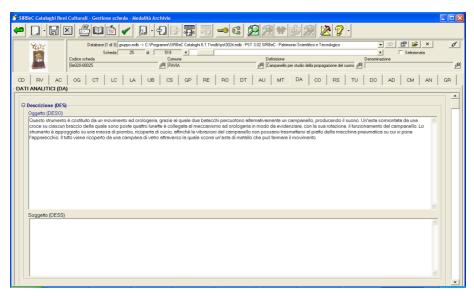


Figura 1. Una schermata del programma di catalogazione Sirbec

Le schede realizzate sono tutte consultabili nel portale regionale dedicato al patrimonio culturale (http://www.lombardiabeniculturali.it/) che, oltre a fornire informazioni su musei, biblioteche e archivi storici della Lombardia consente collegamenti agli Opac, alla descrizione e inventariazione di vari complessi archivistici e ai cataloghi di differenti tipologie di beni museali (con schede OA, F, PST, BNZ ecc.).



Figura 2. La home page di LombardiaBeniCulturali

174 Maria Carla Garbarino

Si è anche costituito un gruppo di lavoro, in collaborazione con il Museo della Scienza e della Tecnologia di Milano e l'Università Statale di Milano per arrivare alla stesura di norme e linee guida che possano agevolare e uniformare il lavoro dei catalogatori, soprattutto per quanto riguarda l'utilizzo di categorie principali e secondarie che consentono una ricerca 'semantica' nei cataloghi degli strumenti, e la definizione di confini tra discipline che presentano numerose intersezioni e sovrapposizioni. La catalogazione del patrimonio strumentale dell'Università di Pavia ha, però, avuto diverse e precedenti stagioni: la prima risale agli anni Settanta e Ottanta del Novecento, quando il Gruppo di storia della fisica avviò un lavoro di identificazione, restauro e catalogazione degli strumenti di fisica del Museo per la storia dell'Università (Bellodi *et al.* 2002).

La collezione era stata acquisita dal Museo in diversi momenti, a partire dalla sua fondazione, negli anni Trenta del Novecento, quando, alla conclusione della *Prima Esposizione Nazionale di Storia della Scienza*, svoltasi a Firenze tra maggio e ottobre del 1929, a Pavia erano ritornati alcuni pezzi tradizionalmente considerati come cimeli voltiani.

Questo primo nucleo si era presto accresciuto con il passaggio al Museo degli strumenti che non avevano seguito il Dipartimento di fisica nel suo trasferimento nella nuova e più moderna sede di via Bassi.

Il lavoro di riordino della sezione di fisica cominciò all'inizio degli anni Ottanta, partendo da una situazione «più simile alla bottega di un rigattiere dickensiano che alla sezione di un museo» (Bellodi 1991): gran parte degli strumenti, ancora da identificare, giaceva abbandonata in armadi polverosi.

Nella stessa stanza che ospitava gli strumenti, subito sottoposti a una prima pulizia, fu organizzato un piccolo laboratorio di restauro, dove ogni apparecchio venne smontato, accuratamente ripulito, revisionato e rimontato.

Molti di essi si rivelarono essere ancora funzionanti e gli interventi di restauro si limitarono alla sostituzione di alcuni vetri rotti, cinghie di trasmissione marcite e fili elettrici mancanti.

Alla collezione si aggiunsero altri pezzi, recuperati nei sotterranei dell'Istituto di fisica e in alcuni armadi della collezione di medicina del Museo (Brenni 1983).

Si cominciava, intanto, una schedatura che potesse fornire una spiegazione delle caratteristiche di ciascuno strumento.

Attraverso una comparazione 'filologica' con gli antichi inventari – approssimativi per quanto riguardava la descrizione degli strumenti ma preziosissimi per poterne ricostruire la storia – si poterono identificare con chiarezza i circa centocinquanta strumenti appartenuti ad Alessandro Volta, rettificando l'antica tradizione che considerava 'cimeli' voltiani solo pochi pezzi sopravvissuti all'incendio che aveva devastato, a Como, la mostra organizzata nel 1899 per celebrare il centenario dell'invenzione della pila (Bellodi – Brenni 2002).

Oltre a quelli voltiani, altri circa ottocento strumenti, raccolti dai successori di Volta alla cattedra di fisica nel corso di un secolo, furono identificati, restaurati, fotografati e catalogati.





Figura 3. Una delle schede cartacee compilate da Giuliano Bellodi e Paolo Brenni con accanto lo strumento descritto

Per alcuni di essi si è svolto, nel corso degli anni Novanta, un lavoro ancora più accurato, e, per i tempi, davvero all'avanguardia, con la realizzazione di animazioni bi- e tridimensionali per descrivere e spiegare il loro funzionamento oltre che i principi e le teorie fisiche in gioco. Schede di approfondimento permettevano poi di accedere a notizie storico-biografiche sugli scienziati e sul più ampio contesto scientifico-culturale dell'epoca.

Tra il 1999 e il 2000, l'intera sezione di fisica del Museo fu riallestita e articolata in due sale: il Gabinetto di fisica di Alessandro Volta e il Gabinetto di fisica dell'Ottocento che ospita gli strumenti utilizzati dai successori di Volta fino agli anni Venti-Trenta del Novecento. Nella sala voltiana furono posizionati due totem per fornire una postazione multimediale dalla quale è possibile vedere 'in azione' gli strumenti inventati da Alessandro Volta, mentre un catalogo completo di tutto il patrimonio della sezione di fisica restò purtroppo solo un progetto, con raccolte di schede su supporto informatico ancora parziali.

L'applicativo, contenente una breve scheda inventariale per ciascuno strumento, e alcuni approfondimenti dedicati ai pezzi più significativi, non vide mai una pubblicazione vera e propria e restò per anni disponibile solo al pubblico presente nelle sale del Museo grazie ad alcune postazioni collocate nell'attigua aula multimediale. Ancora oggi è confi-

176 Maria Carla Garbarino

nato a un uso interno, in attesa che i dati siano completati e riversati in una realizzazione più moderna.



Figura 4. L'applicativo contenente il catalogo degli strumenti di fisica del Museo per la storia dell'Università

Sull'onda delle celebrazioni per il bicentenario della pila, gli strumenti voltiani furono oggetto di una maggiore cura. Le schede e gli approfondimenti redatti per ciascuno strumento confluirono nella visita virtuale del Gabinetto di fisica di Volta (Falomo 2002), oggi accessibile all'indirizzo: http://ppp.unipv.it/web/Pagine/Navigazione.htm e dal sito del Sistema Museale di Ateneo.

Un progetto, questo, che coniuga l'esigenza di ordinare in modo organico i dati sul patrimonio di un Museo e quella di creare un prodotto che sia immediatamente fruibile da parte del pubblico, anche non presente in sala.

Oggi la catalogazione degli strumenti di Fisica è stata ripresa secondo i nuovi standard nell'ambito del progetto regionale, con l'inserimento dei dati in Sirbec.

Parallelamente è stata presa in considerazione la sezione di medicina, fino a oggi trascurata sotto questo punto di vista, con la schedatura dei microscopi sette e ottocenteschi, utilizzati da Antonio Scarpa, Bartolomeo Panizza, Giacomo Sangalli, Camillo Golgi e dai membri della sua scuola.



Figura 5. La schermata da cui parte la navigazione attraverso la sala voltiana del Museo per la storia dell'Università

Estremamente interessante è stato il lavoro condotto sullo strumentario chirurgico donato, alla fine del Settecento ad Antonio Scarpa da Giuseppe II, per interessamento di Giovanni Alessandro Brambilla, un medico di origine pavese che si era formato all'Ospedale San Matteo e aveva poi fatto una brillante carriera nell'esercito asburgico fino a diventare chirurgo personale dell'imperatore.

In visita a Vienna, Antonio Scarpa aveva avuto modo di ammirare la bella collezione di strumenti che Brambilla aveva fatto costruire per la sua scuola chirurgica e aveva espresso il desiderio di poterne avere una simile a Pavia. Brambilla non aveva tardato a commissionarne la costruzione cosicché nel 1786 era giunta a Pavia, per l'Ospedale San Matteo, una raccolta di strumenti che dovevano servire per l'addestramento degli studenti a ogni evenienza operatoria (Zanobio, 1980).

La collezione, considerata obsoleta già nella prima metà dell'Ottocento, pervenne al Museo in seguito al trasferimento della Clinica chirurgica nella nuova sede, intorno agli anni Trenta del Novecento. Lo strumentario fu poi identificato, restaurato e ricomposto all'interno delle scatole superstiti solo negli anni Settanta.

Solo di recente si è avviata la schedatura analitica dei singoli strumenti contenuti nelle trentadue cassette superstiti, un lavoro che si è avvalso di una guida preziosa: un volume in folio – *L'Instrumentarium chirurgicum militare austriacum* del 1782 – che Brambilla donò a Scarpa e che, alla morte di questi, passò a Luigi Porta affinché l'opera continuasse a essere usata, dopo di lui, da un maestro di chirurgia.

178 Maria Carla Garbarino

Il volume è dotato di splendide tavole e di una puntuale descrizione degli oggetti, che ne evidenzia le tecniche costruttive e consente nel contempo di contestualizzare gli strumenti mettendoli in rapporto con l'operazione chirurgica cui erano dedicati.



Figura 6. Il frontespizio dell'Instrumentarium chirurgicum



Figura 7. Scatola con gli strumenti per praticare il salasso

La descrizione di ogni singolo pezzo, accompagnata dallo sforzo di distinguere – a volte in modo un po' pedante – tra funzioni e modalità d'uso, rilevando materiali, incisioni, scritte e dimensioni, comporta, a monte, un capillare lavoro di ricerca aperto a riflessioni più generali nell'ambito della storia di medicina e chirurgia, ricco di ricadute anche nel modo di presentare al pubblico la collezione e la sua storia.

Gli obiettivi della catalogazione non si limitano e non hanno come scopo ultimo la produzione di strumenti per la didattica, la divulgazione e la valorizzazione del patrimonio.

Ci si propone innanzitutto la tutela dei beni, assegnando loro un numero di catalogo nazionale, raccogliendo e ordinando i dati relativi a vecchie campagne di restauro, creando inoltre un *database* utile per la gestione del museo, che consenta ad esempio di estrarre schede di prestito, o un catalogo unificato tra più strutture, a livello regionale, nazionale o sovranazionale.

Ed è proprio il complesso di queste finalità, la dialettica tra le diverse possibilità di utilizzo, a racchiudere, in fondo, il senso del lavoro di quanti operano in una struttura museale.

Bibliografia

- Bellodi, G. (1991), Il patrimonio storico-scientifico della Sezione di Fisica del Museo per la Storia dell'Università di Pavia, in Instrumenta. Il patrimonio storico scientifico italiano: una realtà straordinaria, a cura di Dragoni, G., Bologna, Grafis, pp. 211-214 (il volume raccoglie le relazioni e gli interventi presentati al convegno Una realtà straordinaria: il patrimonio storico-scientifico italiano, Bologna 10-11 marzo 1990).
- Bellodi, G. Brenni, P. (2002), Il Gabinetto di Fisica. Genesi e sviluppo (1771-1819): strumenti, viaggi, costruttori, artigiani, governanti e finanziamenti, in Gli strumenti di Alessandro Volta. Il Gabinetto di Fisica dell'Università di Pavia, a cura di Bellodi, G. Bevilacqua, F. Bonera, G. Falomo, L., Milano, Hoepli, pp. 15-34.
- Bellodi, G. Bevilacqua, F. Bonera, G. Falomo, L. (a cura di) (2002), *Gli strumenti di Alessandro Volta. Il Gabinetto di Fisica dell'Università di Pavia*, Hoepli, Milano.
- Bevilacqua, F. Falomo, L. Garbarino, C. (a cura di) (2003), *Musei e collezioni dell'Università di Pavia*, Milano, Hoepli.
- Brenni, P. (1983), *Gli strumenti scientifici della collezione universitaria di Pavia*, in *Atti del III congresso nazionale di storia della fisica*, Palermo, 11-16 ottobre 1982, a cura di Bevilacqua, F. Russo, A., pp. 176-179.
- Falomo, L. (2002), *Una visita virtuale: gli strumenti in azione*, in *Gli strumenti di Alessandro Volta. Il Gabinetto di Fisica dell'Università di Pavia*, a cura di Bellodi, G. Bevilacqua, F. Bonera, G. Falomo, L., Milano, Hoepli, pp. 35-38.
- Ferraresi, A. (2000), *I luoghi della scienza. L'Università di Pavia tra Sette e Ottocento*, in *Storia di Pavia*, a cura della Banca del Monte di Pavia, Pavia, v. 5, pp. 323-365.
- Zanobio, B. (1980), L'armamentario chirurgico di Giovanni Alessandro Brambilla al Museo per la Storia dell'Università di Pavia, in Giovanni Alessandro Brambilla nella cultura medica del Settecento europeo, Milano, Cisalpino, pp. 43-56.

Insegnare storia con gli strumenti della fisica. Le testimonianze del Museo per la Storia dell'Università di Pavia

Gabriella Fusi, Laboratorio di Didattica della Storia – Dipartimento di Studi Umanistici

Abstract: L'utilizzo del Museo a scopo didattico è prassi ampiamente sperimentata ma generalmente in modo settoriale (i musei storici per l'insegnamento della storia, quelli scientifici per le scienze, ecc). È singolare utilizzare un'esposizione museale di ambito scientifico per insegnare storia. È questo l'obiettivo che ci si propone, avendo a disposizione i materiali del Museo per la Storia dell'Università di Pavia, che raccoglie gli strumenti settecenteschi del Gabinetto di Fisica di Alessandro Volta. Gli oggetti presi in esame appartengono a un contesto storico ben connotato: il rinnovamento dell'Università a seguito degli interventi di Maria Teresa d'Austria e del figlio Giuseppe II, che introdussero a Pavia l'insegnamento di Fisica sperimentale e ne affidarono la cattedra ad Alessandro Volta. Il percorso didattico intende analizzare gli strumenti come documenti materiali, adattandovi il metodo utilizzato in didattica per le testimonianze scritte. Il lavoro si articola in tre momenti: il primo è rappresentato dalla costruzione dello scenario storico, sulla base di documenti scritti già selezionati in testi storiografici; il secondo è impostato sugli strumenti del Gabinetto di Fisica di Alessandro Volta conservati nel Museo, il terzo, di approfondimento, si avvale del carteggio di Alessandro Volta, proponendo un limitato numero di lettere selezionate per il contenuto. Dai primi documenti emergono sia il contesto storico europeo e lombardo sia gli obiettivi della politica illuminata della monarchia asburgica con le sue ricadute sull'Università di Pavia.

Dal secondo, che rappresenta la parte sostanziale dell'operazione didattica, si scoprono le modalità in cui operava Alessandro Volta per la ricerca e per la didattica, anche in ragione delle volontà dei Sovrani. Si apre uno sguardo marginale sulla società aristocratica dell'epoca per la quale gli esperimenti di fisica talora assumevano un ruolo ludico.

Il terzo percorso consolida le conoscenze dei percorsi precedenti, soffermandosi sul mondo scientifico europeo e sulla società colta e mondana che contribuisce a far circolare i risultati della nuova scienza. A conclusione del percorso didattico i ragazzi avranno compreso come in concreto si esprimeva quel pensiero dell'illuminismo che determinò una svolta epocale nella storia della civiltà e, per inferenze, quanto sia stretto e determinante il rapporto tra volontà politica, progresso scientifico e benessere dell'umanità. Tali riflessioni possono essere attualizzate con i comprensibili risvolti educativi dell'attività didattica

It is very common to use museums for educational purposes, although usually in a rather traditional way: history is taught in history museums, science in scientific museums and so on. It is unusual to use a scientific museum in order to teach history. We intend to do so with the help of the exhibits of the Museum for the History of the University of Pavia, which shows the 18th century equipment of the Physics Laboratory of Alessandro Volta. Such exhibits belong to a precise historical context: Maria Theresa of Austria and her

son Joseph II promoted a great renewal of the University and established a Chair of Experimental Physics, with Alessandro Volta as Professor. This educational project proposes to study these instruments as material documents, employing the same method usually applied when analyzing written documents. The project is divided in three sections: in the first one we will describe the historical background with the help of written documents from historical sources; in the second we will analyze the equipment of the Physics Laboratory of Alessandro Volta shown in the museum; the third one consists in the study of some of Alessandro Volta's letters, whose topic is particularly relevant for our purposes. The first section clarifies the European and Lombard historical context and the role of the enlightened Hapsburg monarchy in the development of the University of Pavia. The second section is the core of the project and describes the research and educational activities of Alessandro Volta and his relationship with the Emperors. We will briefly touch the subject of the aristocrats of the time and their attitude towards physical experiments, which were often seen as a mere divertissement. The third section describes the European scientific community and focuses on how the educated and rich society played a role in spreading the new scientific ideas.Our final intent is to provide the students with a concrete example of what the Enlightenment meant and how it produced a true revolution in the history of thought. Moreover we wish to emphasize the deep and fundamental relation between politics, scientific progress and global welfare. By stressing how these ideas are still relevant in the world of today we aim at making effective the formative side of school education.

1. Premessa

'Fare Storia' a scuola significa impostare l'insegnamento alternando il racconto degli accadimenti con un'attività laboratoriale, che attraverso l'uso corretto di strumenti e procedimenti mirati, permetta ai ragazzi di costruirsi autonomamente delle conoscenze. In questa accezione l'insegnamento della storia presenta delle affinità con le discipline scientifiche che presuppongono lo stretto legame tra studio teorico e sperimentazione. Ma è possibile utilizzare gli strumenti di una disciplina scientifica per insegnare storia?

È questa un'ipotesi di lavoro affascinante, ma praticabile, a mio avviso, solo se si verificano tre condizioni. In primo luogo è indispensabile che gli strumenti che si prendono in esame abbiano una forte valenza storica, vale a dire traggano significato da un contesto socio-culturale fortemente connotato.

Secondariamente deve essere possibile esaminare gli strumenti non solo nella loro peculiare funzione scientifica, ma anche come testimonianze di cultura materiale, con riferimento alla tecnologia dell'epoca di appartenenza. Il materiale di costruzione, la fattura, la cura estetica, il luogo di produzione valgono a rivelare la destinazione sociale degli oggetti stessi all'interno di un quadro di civiltà.

Infine, non ultima condizione in ordine di importanza, è necessario possedere un metodo di indagine sull'uso didattico dei documenti, che consenta di strutturare un percorso efficace ai fini dell'apprendimento.

Nell'ambito dell'insegnamento di Laboratorio di Didattica della Storia della SILSIS di Pavia, ho sperimentato con gli specializzandi un percorso sull'utilizzo dei materiali conservati nel Museo per la Storia dell'Università di Pavia, che risalivano a

quella fase di rinnovamento dell'Ateneo promossa nella seconda metà del Settecento dal governo asburgico.

Il patrimonio museale degli strumenti di Fisica risultava particolarmente interessante e ricco, inoltre gravitava intorno alla personalità di un grande scienziato, Alessandro Volta, che poteva destare delle curiosità e accrescere la motivazione alla ricerca.



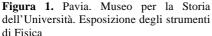




Figura 2. Pavia. Museo per la Storia dell'Università. Ricostruzione dello studio di Alessandro Volta

Punto di forza del lavoro che si andava preparando era la disponibilità di studiosi qualificati a impostare la ricerca sul piano dei contenuti e del metodo: Alessandra Ferraresi per l'inquadramento storico, Lucio Fregonese per la storia del Museo e del suo patrimonio e Antonio Brusa per la metodologia relativa all'uso didattico dei documenti. I tre docenti hanno introdotto il lavoro, fornito la documentazione bibliografica e verificato la correttezza dei contenuti e dei procedimenti nelle diverse fasi del percorso. Al Laboratorio spettava l'individuazione degli obiettivi, la selezione del materiale, il taglio metodologico e la costruzione di una o più sequenze di operazioni coerenti, finalizzate all'apprendimento.1 Era altresì importante che gli specializzandi facessero esperienza di quel nodo simbiotico in cui contenuti e metodo risultano imprescindibili nell'attività didattica e apprezzassero quanto l'insegnamento comporti un costante impegno di studio.

Nei tempi contenuti del Laboratorio della SILSIS era impensabile che fossero gli specializzandi a districarsi nel ricco materiale bibliografico e documentario disponibile, tuttavia dovevano acquisire consapevolezza dei criteri con cui avevo selezionato i documenti, suddividendoli per tipologie in relazione agli obiettivi e alle fasi del lavoro. A una prima sequenza, finalizzata alla costruzione dello scenario storico, erano destinati i documenti già elaborati in testi storiografici; per la fase centrale, prioritaria sul piano

¹ Per quanto concerne la ricca documentazione bibliografica ho selezionato per gli specializzandi i seguenti testi: Ferraresi, A. (2000), I luoghi della scienza: l'Università di Pavia tra Settecento e Ottocento, in Storia di Pavia, vol. V pp. 323-365; ed. (2003), Il Gabinetto pavese di fisica sperimentale nella seconda metà del secolo XVIII: didattica, divulgazione, ricerca nella politica asburgica della scienza, in Annali di Storia delle Università italiane, vol.7, pp. 91-110; Fregonese, L. (1994), Un museo per la storia a Pavia, in Lettera Pristem, Dossier «Musei scientifici lombardi», n. 14, pp. 13-15. Fregonese, L. (2002), Le invenzioni di Volta tra teorie ed esperimenti, in Gli strumenti di Alessandro Volta: il Gabinetto di fisica dell'Università di Pavia, Milano, Hoepli, pp. 39-132; Brusa, A. – Bresil, L. (1994-96.) Laboratorio, Milano, Ed. Scolastiche Bruno Mondadori.

metodologico, erano stati individuati strumenti di fisica adatti allo scopo e corredati delle informazioni utili alla costruzione di un percorso ragionato; per la terza fase, di approfondimento, venivano proposti documenti di una differente tipologia, alcune lettere tratte dal carteggio di Alessandro Volta, che permettevano di consolidare le conoscenze acquisite nelle due fasi precedenti e di ampliare lo sguardo dalla dimensione locale al contesto europeo.

2. I prerequisiti

Per introdurre l'attività didattica si concordava la necessità di fare un cenno alla storia generale, necessariamente già nota agli studenti, ricordando con una breve lezione frontale gli equilibri europei e le vicende a seguito delle quali nel corso del Settecento Pavia, compresa nello Stato di Milano, con i trattati di Utrecht e Rastatt fosse passata sotto l'impero austriaco e come ne fossero divenuti sovrani Maria Teresa d'Asburgo e il figlio Giuseppe II.

3. Lo scenario storico

3.1. I documenti²

L'imperatrice Maria Teresa fece una politica di riforme, pianificando interventi politico-amministrativi, sociali e culturali da cui anche Pavia trasse larghi benefici. Furono risollevate le condizioni economiche della città e del territorio e venne promosso il rinnovamento dell'Università, come testimoniano i documenti riportati nei seguenti testi:

Testo 1

Un giudizio sorprendentemente lucido sulla situazione politica della Lombardia negli ultimi decenni del Settecento è espresso da Ilario Corte nel 1769, nelle sue *Memorie da servire al pieno benessere dello Stato di Milano* (ASV, Lomb. Korr. fz.102, 1 ottobre 1769)

Tutto fortunatamente collima ne' presenti tempi al risorgimento dello Stato di Milano. Un'Imperatrice Regnante [Maria Teresa], mirabilmente illuminata da Dio; spregiudicatamente rivolta tutta e intera ai progressi della vera Religione; nata e fatta per sentirsi grande nei soli atti di umanità; infaticabilmente intenta ognora a cercare le ricchezze de' suoi Regni nel Sollievo de' Popoli, e nella migliorazione

didattico Fusi, G. (2004), *Da Lotario a Maria Teresa*, in *Quaderni di Storia e cultura della città*, n. 1, Pavia Industria Grafica Pavese, 2009, pp. 17-30.

² Il documento 1 è adattato da: Erba, L. (1995), Il neoclassicismo a Pavia dal 1770 al 1792, in Storia di Pavia, IV/2, Milano, Banca del Monte di Lombardia, p. 962; i documenti 2, 3, 4, 5 adattati da: Ferraresi, A., Collezioni e Musei scientifici a Pavia tra Settecento e Ottocento, «Informascienza», 88, pp. 12-32.
Il percorso sui documenti indicati è stato proposto e realizzato dagli specializzandi che ho seguito nel Laboratorio di Didattica della Storia della SILSIS nell'anno accademico 2002-2003. I documenti sottoposti alla loro attenzione e parte degli esercizi che essi hanno prodotto sono pubblicati all'interno del quaderno

della lor sorte. Un Imperatore [Giuseppe II] perfettamente medesimato nelle incomparabili prerogative dell'Augusta Madre, il quale profittando de' giovanili bei giorni, viaggia da filosofo; ma a se stesso sempre presente, niente annoiato dalle leggende e dicerie di chi ascolta, sofferente alle Contradizioni, Sovrano coi prepotenti, Uomo coi deboli, va racogliendo pratiche locali notizie ne' propri Stati e lumi d'esempio negli altrui. Ecco già preparato a' Sudditi Milanesi nel loro Sovrano il Ministro informato, e alle estere nazioni il nuovo modello di un vero Capo della Società. Un Supremo Ministro [il principe Kaunitz] fatto per ingeniti principi e lumi sublimi a secondare pienamente nel suo Ministero le sovrane Massime di Religione, di Giustizia, di Clemenza, di Umanità, di Discretezza; e che ha saputo creare sotto di sé al bene della Milanese Provincia un Dipartimento montato con felice successo all'unità, incessantemente laborioso, e perfettamente armonico, colla scelta di Subalterni zelanti e Travagliatori sotto un indefesso Capo, d'onore non meno che di prudenza e di vaste cognizioni ripieno. Un Plenipotenziario in Provincia [il conte Firmian] di purissimo carattere e di lumi non volgari. Non è perciò da stupirsi che nell'attuale Dominazione, e singolarmente a questi ultimi tempi siansi date al bene dello Stato provvidenze tali e tante, che da Posteri non saranno credibili. In questa felice e irripetibile congiuntura storica anche la città di Pavia vive una stagione particolarmente vivace, soprattutto dal punto di vista culturale e artistico. Le attenzioni del governo asburgico si concentrano sull'Università, con l'intenzione di valorizzarne il ruolo di centro di formazione culturale e insieme di fucina della ricerca scientifica; i sovrani si interessano personalmente al rinnovamento dell'Ateneo, a partire da Maria Teresa che promuove un piano di riforma, che, dopo una lunga elaborazione viene approvato tra il 1771 e il 1773.

Testo 2

Nel Dispaccio Reale del 31 dicembre 1771 che accompagna il nuovo Piano per la direzione dell'Università Maria Teresa scrive: «Conoscendo noi quanto sia importante promuovere l'applicazione delle scienze e persuasa che, a misura de' progressi che quelle fanno in uno Stato, va crescendo la pubblica felicità de' suoi abitanti, poiché una più illuminata cognizione de' propri doveri di buon cristiano, cittadino e suddito mantiene e aumenta in ciascuno la premura di soddisfare a' medesimi e di provvedere più utilmente ai diversi bisogni della vita civile (...) fu nostra sollecitudine di provvedere tanto l'Università di Pavia quanto le scuole Palatine di Milano di molti valenti professori e di accrescere il numero delle cattedre in quelle scienze specialmente delle quali lo studio è più utile». Vi è quindi da parsovrano una volontà illuministica di inserire l'Università nell'organizzazione sociale come agente di trasformazione della società in direzione del benessere e della pubblica felicità.

Testo 3

Kaunitz nel 1783 scrive: «Io ho sempre riguardato come una sterile occupazione lo studio delle scienze di fatto, quando non sia diretto a procurare comodi e vantaggi alla società [...]».

Accanto a questo motivo di fondo, si individua nel progetto di riforma il costante richiamo all'osservazione diretta, al fatto, alla sperimentazione.

Ciò vale per tutte le materie che vengono insegnate nell'Università, anche per quelle che noi ora definiamo letterarie e per quelle giuridiche: le affermazioni dei professori non possono essere riferite a un'autorità precostituita, ma devono essere controllabili.

Si verifica quindi una saldatura tra la didattica e la ricerca: nella ricerca infatti il docente trova i materiali e gli strumenti della didattica, nella didattica comunica e verifica i procedimenti e i risultati dei propri studi.

Testo 4

(...) L'Università, quale ci appare dal Piano di direzione e disciplina e dal Piano scientifico, è strutturata in quattro facoltà: Filosofia, legge, teologia, medicina. Secondo il modello delle università di area tedesca, la Facoltà di Filosofia è propedeutica, cioè di preparazione, alle altre tre Facoltà, ma ha anche, sotto il profilo culturale, un ruolo autonomo. Sullo sfondo del tema della 'pubblica felicità' ma anche di quello della 'pubblica utilità' «l'uomo deve conoscere se stesso, gli altri oggetti, i diversi loro rapporti e le alterazioni che hanno subito». Tale obiettivo viene realizzato attraverso l'articolazione della filosofia nelle diverse discipline. Essa comprende i seguenti insegnamenti: storia d'Italia, matematica, logica e metafisica, filosofia morale, matematica elementare, fisica generale, fisica sperimentale, storia naturale. Anche la medicina, considerata dal piano scientifico una parte essenziale delle scienze filosofiche, si articola in una serie di discipline, tra loro connesse, che portano alla conoscenza del corpo umano e dei corpi naturali, in funzione del mantenimento del «principale dei beni, la salute». Tali discipline sono: anatomia e istituzioni chirurgiche, operazioni chirurgiche ed arte ostetricia, istituzioni mediche (cioè fisiologia), medicina teorico-pratica e clinica, chimica, materia medica e botanica. (...) Il Piano prevede anche la realizzazione delle nuove strutture scientifiche e didattiche, e cioè una Biblioteca, un Museo di storia naturale, affidato al professore in questa materia, che dovrà custodirlo, catalogarlo e aumentarlo annualmente, un Orto botanico, affidato al professore di botanica, con analoghi compiti di conservazione e incremento, un Teatro anatomico, affidato al professore di anatomia (i cadaveri gli saranno forniti dall'Ospedale), un Laboratorio di chimica e un Gabinetto di macchine per la Fisica sperimentale, affidato a un professore della materia, con compiti analoghi a quelli dei colleghi sopra riportati.

Testo 5

La riforma universitaria va vista nel quadro di una più ampia politica di promozione e divulgazione del sapere, che ne esalta il ruolo utile «ai diversi bisogni della vita civile»: di qui le disposizioni che mirano a favorire la circolazione delle conoscenze, sino allora mancata, stabilendo che «nelle scuole di anatomia, ostetricia, chirurgia, filosofia morale, matematica e fisica sperimentale si sostituisca l'uso della lingua italiana a quello della latina, per rendere più esteso il vantaggio ad ogni classe di persone». Inoltre si prescrive che i professori di anatomia, botanica, chimica, fisica sperimentale e storia naturale tengano settimanalmente «pubbliche ostensioni» (lezioni con esperimenti aperte a tutti). Questa nuova didattica è

la principale finalità della riforma universitaria del governo austriaco, accanto a quella indiretta di promuovere l'immagine dello Stato e dei suoi Sovrani illuminati.

3.2. Le scoperte

Dall'analisi dei documenti gli studenti ricavano informazioni sui principali aspetti della politica culturale del governo asburgico, in particolare:

- sui soggetti politici che operavano tra Vienna e Milano e sulla percezione di buongoverno degli intellettuali dell'epoca in relazione alla loro politica illuminata (doc. 1)
- sugli obiettivi di Maria Teresa e Giuseppe II con particolare riferimento al sostegno dato al progresso scientifico in funzione del benessere sociale, da cui deriva l'investimento sull'Università di Pavia per potenziare la ricerca al più alto livello (doc. 2)
- c. sul progetto di riforma delle facoltà scientifiche, improntato allo sviluppo della ricerca sperimentale, della didattica aperta alla verifica e della divulgazione del sapere oltre il perimetro universitario (docc. 3 e 4)
- d. sul rinnovamento edilizio dell'Università di Pavia conseguente alla necessità di creare nuovi spazi per la ricerca e la didattica (doc. 4)
- e. sull'attenzione costante alla cura dell'immagine dello Stato e dei Sovrani in ogni manifestazione dei loro voleri (doc. 5)

4. Gli strumenti di fisica

Nel clima di rinnovamento e di sostegno dato all'Università, nel 1778 venne chiamato a Pavia da Como Alessandro Volta, fisico di chiara fama, per ricoprire la cattedra di Fisica Sperimentale.

Il professore ebbe a disposizione un gabinetto per gli esperimenti, un'aula per la didattica, nonché la facoltà di acquistare gli strumenti necessari per la sua ricerca.

Nel Museo per la Storia dell'Università sono conservati gli strumenti acquistati o fatti costruire direttamente da Alessandro Volta, insieme con quelli assegnati in dotazione alla facoltà per la didattica.

Il concetto forte da cui era possibile partire, quello immediatamente percepibile dall'osservazione diretta degli oggetti era la diversa cura nella realizzazione degli stessi: essenziale e artigianale quella degli strumenti per la ricerca, accurata e raffinata quella degli strumenti per la didattica e le pubbliche dimostrazioni.

La scelta degli strumenti/documenti per il nostro lavoro doveva pertanto evidenziare tali differenze sia attraverso la forma esteriore sia attraverso la loro storia.

4.1. Gli strumenti-documenti



Figura 1. Elettroforo di Volta (scudo)

Periodo di costruzione della versione esistente in Museo: primo quarto XIX secolo

Costruttore: non firmato

Misure: diametro dello scudo 27 cm; altezza massima 36 cm

Lo strumento fu inventato da Alessandro Volta nel 1775, prima del suo incarico all'Università di Pavia. È la più semplice macchina capace di produrre elettricità. Lo scudo metallico (col manico isolante) viene appoggiato su un piatto rivestito di mastice resinoso.

Il piatto, strofinato energicamente con un panno di lana, si carica negativamente. Lo scudo sovrapposto al piatto acquista elettricità (positiva sulla faccia sottostante e negativa in quella superiore).

Volta spiega: «Toccate lo scudo con un dito, vi darà una piccola ma pungente scintilla. Dopo tale scarica, con cui sembra estinta ogni elettricità, alzando lo scudo, eccolo rivestito di virtù elettrica: esso vi scaglia vivace scintilla contro la nocca del dito o un pezzo di metallo che vi presentiate, scintilla che balza a molto maggior distanza che quella uscita prima».



Figura 2. Condensatore a dischi

Periodo di costruzione della versione esistente in Museo: inizio XIX secolo

Costruttore: non firmato Misure: altezza: 41 cm

Lo strumento fu inventato da Alessandro Volta. Lo strumento è capace di rivelare la presenza di elettricità con un'operazione che mette in contatto i due dischi, quello superiore, con manico isolante, e quello inferiore, collegato a terra. Può essere definito un condensatore nel senso che permette di condensare e rivelare elettricità che altrimenti sarebbe impercettibile.



Figura 3. Apparecchio per lo studio di azioni elettriche

Periodo di costruzione della versione esistente in Museo: inizio XIX secolo

Costruttore: non firmato

Misure: 24x12x26 cm; diametro dei dischi 11 cm

L'apparecchio fu utilizzato da Alessandro Volta per studi originali sull'azione dell'elettricità.

I due dischi di legno, su perni di vetro rivestiti di ceralacca, sono ricoperti nella faccia interna da una vernice argentata. Uno dei due è posto su un perno mobile che permette di variare la distanza da quello opposto.

Il disco fisso, caricato di elettricità, elettrizza il disco mobile in misura crescente in relazione all'avvicinamento. Il disco fisso mantiene la sua tensione







Figura 4. Bottiglia di Leida a sezione quadrata Periodo di costruzione: ultimo quarto del sec. XVIII

Costruttore: non firmato Misure: 10x10x45 cm

Lo strumento, singolo o nelle versioni multiple, fu utilizzato da Alessandro Volta nella pratica di laboratorio come condensatore di elettricità.

La superficie interna e quella esterna della bottiglia portano ciascuna un rivestimento metallico. Il rivestimento esterno è a terra, mentre il vetro fa da isolante. L'armatura metallica interna comunica con l'esterno tramite un'asta metallica che termina con un bottone sferico. Caricando di elettricità questo bottone, la bottiglia si carica: se si tocca contemporaneamente il bottone e l'armatura esterna si ottiene una forte scintilla.

Figura 5. Elettrometri a pagliuzze

Periodo di costruzione: ultimo quarto del sec. XVIII

Costruttore: non firmato Misure: 6x6x13 cm

Lo strumento con questa forma e questi materiali fu inventato da Volta per misurare l'elettricità. La bottiglia isola la misurazione dell'elettricità, che avviene all'interno attraverso pagliuzze (fili di paglia sottili e secchi, appesi a due anellini), che si divaricano in misura proporzionale all'intensità della carica elettrica che ricevono. La misurazione avviene in gradi.

Figura 6. Pila di Volta

Periodo di costruzione: 1999 (Rifacimento moderno dello strumento originale, assente nel Museo)

Costruttore: Gelide Guatterini

Misure: altezza 30 cm; diametro 10 cm

Lo strumento fu inventato da Alessandro Volta nel 1800.

È il primo generatore di corrente continua.

Studiando l'anatomia della torpedine, il pesce è esposto in formalina sul tavolo dello Studio, capace di produrre scariche elettriche, Volta osservò che gli *organi elettrici* dell'animale, già noti dal 1773 e da studi precedenti, erano formati da colonne con placchette sovrapposte, separate da una sostanza gelatinosa. Egli formulò l'ipotesi che due dischi di metallo differente, a contatto, con un elemento conduttore interposto, potessero caricarsi di segno opposto e che l'azione poteva moltiplicarsi con la sovrapposizione di più coppie di dischi, come si presentavano in natura negli organi della torpedine.

Per sperimentare e verificare la sua ipotesi, arrivò così a inventare lo strumento, che definì *organo elettrico artificiale*: la pila. Una serie di dischi di rame o argento sono alternati a un ugual numero di dischi di stagno o zinco. Tra i dischi vengono interposti conduttori umidi (pezzi di cartone o di pelle imbevuti con acqua salata, lisciva, ecc.).Collegando con un filo conduttore i due estremi, si ottiene un passaggio di corrente.³

³ La descrizione del procedimento attraverso il quale Volta arriva all'invenzione della pila elettrica merita un breve percorso autonomo destinato agli studenti più giovani per far comprendere nei passaggi essenziali il metodo sperimentale.



Figura 7. Pistola elettrico-flogopneumatica

Periodo di costruzione: ultimo quarto del sec. XVIII

Costruttore: non firmata Dimensioni: lunghezza 23 cm

Lo strumento fu inventato da Alessandro Volta nel 1777 (prima del suo arrivo a Pavia).

Si ottiene uno scoppio accendendo miscele di idrogeno e ossigeno attraverso due elettrodi metallici.

Lo scoppio poteva generare l'espulsione di una pallottola inserita all'interno della pistola, per cui l'invenzione avrebbe potuto avere un'applicazione bellica. In realtà ebbe successo come esperimento in sé, effettuato a scopo di dimostrazione e di divertimento. Volta stesso scriveva: «...in generale si fa forse troppo più caso di questa macchina, ch'essa non merita, mentre se ne fa pochissimo di ciò che può guidare a conseguenze assai importanti e distruttive. La ragione è che si considerano le esperienze troppo superficialmente e la maggior parte s'appaga e si compiace di pompa e di fracasso».

L'esperimento era spettacolare. Alle pubbliche dimostrazioni assistevano sia gli studiosi che venivano a Pavia per aggiornarsi e perfezionarsi, sia personaggi illustri che erano richiamati dalla fama di Volta e degli altri professori che facevano esperimenti scientifici.



Figura 8. Bilancia idrostatica di precisione

Periodo di costruzione: 1783 circa

Costruttore: J. B. Haas, F.W. Fries & Sonntagg. Londra Misure: larghezza max 44 cm; diametro della base 18 cm; altezza max 58 cm

La bilancia idrostatica permette di verificare il valore della spinta subita da un corpo immerso nell'acqua, secondo il principio di Archimede.

Lo strumento fu richiesto da Volta al principe di Kaunitz, primo ministro a Vienna dell'imperatore asburgico.

«da Parigi potrebbe aversi una bilancia idrostatica esatta e di bellissima forma come ne ho vedute da Sigaud de La Fond ...».



Figura 9. Microscopio composto

(Il microscopio si dice composto quando utilizza due o più lenti)

Periodo di costruzione: 1780 circa Costruttore: G. Adams. Londra

Misure: altezza max 50 cm.; lato della base triangolare 26 cm Lo strumento rientrava nella dotazione del gabinetto di fisica. Volta dovette giustificare al governo austriaco lo scarso uso degli strumenti di ottica nella didattica con il numero elevato degli studenti: che ne impediva l'utilizzo individuale durante la lezione. Era uno degli strumenti di maggiore successo nelle dimostrazioni pubbliche, in particolare in quelle che, secondo una moda del Settecento, si svolgevano per divertimento nei salotti delle famiglie aristocratiche. In questi contesti veniva apprezzata anche la fattura dell'oggetto. Erano molto apprezzati gli strumenti di precisione inglesi.



Figura 10. Portavoce di Hase Periodo di costruzione: seconda metà del sec. XVIII Costruttore: Non firmato Misure: lunghezza max 122 cm; diametro max 21 cm

Lo strumento acustico fu utilizzato per l'insegnamento.

Volta si preoccupò di completarlo in alcuni dettagli:

«... Manca ancora un gran Porta-voce e un tubo acustico. Ma questi sono di molto facile costruzione, onde non occorre commetterli al signor Sigaud (costruttore di Parigi) ...».

Lo strumento presenta un corpo ellittico, più piccolo, e uno di forma parabolica. I raggi acustici prodotti all'estremità (fuoco) del corpo ellittico, convergono nel suo secondo fuoco, che coincide col fuoco del corpo parabolico. Da qui attraversano il corpo parabolico si propagano, paralleli, all'esterno, mantenendo l'intensità del suono per un lungo tratto.





Figura 11. Macchina a ruote dentate (il meccanismo risulta evidente).

Figura 12.⁴ Strumento per sperimentare la discesa dei gravi.

Tre corsie per tre palline. La discesa risulta «più pronta – rapida – per l'arco che per la corda del circolo; e più pronta ancora per una corda circondale che per l'arco del circolo».

I due strumenti fanno parte di una tipologia in legno, ricoperto di vernice nera e rossa negli orli, richiesti da Volta, eseguiti a Parigi da Sigaud de la Fond. Volta li descrisse con queste parole: «sono piuttosto in grande e non fanno cattiva figura».

I due strumenti, (come gli altri conservati nelle vetrine centrali del Museo), appartenevano in origine al Gabinetto di Volta, poi passarono al liceo U. Foscolo di Pavia, per ritornare in epoca recente a far parte dell'esposizione museale. La vicenda di questi strumenti segue la storia dell'insegnamento della fisica dalla metà del Settecento alla metà dell'Ottocento. Infatti, in base alle riforme settecentesche, lo studio della fisica nel Ginnasio non era nettamente distinto da quello impartito nell'Università e utilizzava gli stessi strumenti. A metà Ottocento, ancora gli Asburgo, ritornati con la Restaurazione, fecero una riforma secondo la quale gli studi liceali furono distinti dai corsi universitari: Al liceo competeva il primo insegnamento di Elementi di Fisica, che comprendeva la Meccanica, all'Università l'insegnamento generale della Fisica. A seguito della divisione degli insegnamenti gli strumenti passarono dall' Università al Liceo.

⁴ Le immagini delle sale del Museo e degli strumenti (Figure 1-12) sono pubblicate in Bellodi, G. – Bevilacqua, F. – Bonera, G. – Falomo, L. (a cura di) (2006⁴), *Gli strumenti di Alessandro Volta. Il Gabinetto di fisica dell'Università di Pavia*, Milano, Hoepli. Dallo stesso testo sono ricavate le informazioni relative ai singoli strumenti.

⁵ La storia dei due strumenti potrebbe suscitare in alcune categorie di studenti un interesse sui rapporti tra gli studi ginnasiali e quelli universitari all'interno di un curriculum continuo di fisica e aprire una parentesi di

4.2. Le scoperte

L'osservazione diretta e la lettura delle schede relative ai singoli strumenti, sempre guidata da una sequenza di esercizi, portano a comprendere che:

- Alessandro Volta rivolse la sua ricerca prevalentemente all'elettricità, ma svolse attività didattica anche sulle altre branche della fisica;
- gli strumenti per la ricerca, inventati o utilizzati da Volta erano semplici e costruiti da artigiani spesso su indicazioni dirette del Professore;
- gli strumenti per la didattica erano invece di buona fattura perché dovevano ben figurare nelle pubbliche dimostrazioni. Lo stesso Volta viaggiava per l'Europa dove visitava i più apprezzati laboratori di strumenti di perfezione;
- Alessandro Volta doveva rendere conto sia dell'attività didattica sia dell'ordinazione degli strumenti al governo austriaco, che dava fiducia ma pretendeva un ritorno di immagine; gli esperimenti di fisica più appariscenti venivano utilizzati anche per il divertimento. Tale componente ludica era sollecitata soprattutto dal mondo aristocratico per occasioni mondane.

5. Le lettere del carteggio di Alessandro Volta

Alcune delle scoperte a cui si perviene nelle fasi precedenti del lavoro potevano apparire scarsamente supportate da un adeguato numero di documenti, per cui si percepisce un clima generale in cui si muovono i personaggi ma non se ne delineano i contorni. Si impone pertanto una fase di consolidamento delle conoscenze, tanto più efficace nel contesto didattico se si fa esperienza di un'ulteriore tipologia di documenti. La scelta è caduta sulle lettere di Alessandro Volta in cui si ripropongono gli stessi contenuti nella forma accattivante della narrazione personale.

5.1. I documenti⁶

Documento 1

Alessandro Volta al Conte di Firmian: lettera da Pavia datata 12 maggio 1781

storia locale sugli studi superiori. Cfr. in proposito Ferraresi, A. (1998), La fisica sperimentale fra università e ginnasi nella Lombardia austriaca, in «Studi settecenteschi»,18.

⁶ Volta, A. (1951), *Epistolario*. Edizione nazionale sotto gli auspici dell'Istituto di scienze e lettere della Società italiana di Fisica, Bologna. I documenti corrispondono alle lettere dell'*Epistolario* nel seguente ordine:

Doc. 1: lettera del 13 marzo 1780, vol. I, p. 40, n. 377; lettera del 12 maggio 1781, Vol. II, pp. 37-38, n. 432

Doc. 2: lettera del 6 maggio 1780, vol. I, pp. 405-406, n. 379

Doc. 3: lettera del 22 settembre 1780, vol. II, pp. 5-6, n. 404

Doc. 4: lettera del 12 maggio 1781, vol. II, pp. 37-38, n. 42

Doc. 5: lettera del 31 maggio 1871, vol. II, pp. 38-39, n. 433

Doc. 6: lettera dell'8 giugno 1781, vol. II, pp. 40-41, n. 436

Doc. 7: lettera dell'estate 1784, vol. II, pp. 217-218, n. 584

Doc. 8: lettera del 21 settembre 1784, vol. II, pp. 245-249, n. 608

Doc. 9: lettera del 26 gennaio 1795, vol. III, pp. 240-246, n. 998

Nota di macchine singolari ed anche di lusso.

È una nota di macchine inviata da Volta al Firmian con la lettera in data 13 Marzo 1780 e rettificata con l'aggiunta delle note a fianco, richieste dal governo austriaco.

Comprende l'elenco delle macchine accompagnata dalle indicazioni o considerazioni riguardanti i prezzi e le eventuali possibilità della loro diretta costruzione. Il numero delle richieste ammonta a 69 unità.

Documento 2

Carlo Conte di Firmian a Volta

Ill.mo Sig. re Col. mo

Avendo V.S. Ill.ma rettificato la Nota delle Macchine di Fisica Sperimentale secondo le osservazioni della Real Corte, io abilito a dare le opportune commissioni tanto a Londra, quanto a Parigi per le corrispondenti provviste.

A questo effetto ho ordinato che si corrispondano ai FRATELLI SONGA L. 200 Sterline per pagare di mano in mano le macchine, che saranno eseguite, o acquistate colla direzione del Sig. MAGELLANES. E per rapporto a quelle di Francia, ho prevenuto la R. Camera de' Conti di far depositare presso un Banchiere di Parigi 200 Zecchini, da corrispondersi, in proporzione, degli acquisti al S. r. LA FOND SIGAUD.

Dovrà pertanto V. S. ill.ma rendere intesi in dettaglio i due Commissionati, ed entrare in concerto con i medesimi, avendo riguardo di combinare l'economia, colla perfezione e decenza degli Stromenti, che devono servire ad uso della Pubblica Istruzione, e ad ornato del Gabinetto della R. Università.

Sono in perfetta stima e considerazione di V. S. Ill. ma Milano, 6 Maggio 1780

> Div. mo ed Obbl.mo Servitore Carlo C. di Firmian

Documento 3

Alessandro Volta a Carlo Conte di Firmian

Eccellenza,

Stimo di far cosa grata a V. E. dandole parte del mio arrivo a Firenze, e di quello che ho fatto già in questi dieci giorni che mi ci trovo, e che farò nei successivi, fino alla fine del corrente mese, per ben impiegare il tempo e compire all'oggetto per cui intrapresi questo viaggio. Io ho condotto meco l'Ab. Rè assistente al gabinetto di Fisica di Pavia, e bravo Macchinista, perché prendesse nuovi lumi nel vedere gl'altri Gabinetti e considerasse attentamente la costruzione delle macchine, ricavandone dei disegni...

[Di seguito Volta informa il conte di Firmian su ciò che intende fare nei giorni seguenti. Loda i preparati anatomici in cera del dott. Galletti e ne propone l'acquisto per l'Università di Pavia].

Umil. mo Dev.mo Servitore

Alessandro Volta Prof. re di Fisica Sperimentale

Firenze 22 Settembre 1780

Documento 4

Alessandro Volta a Carlo Conte di Firmian:

Non credo che ci sia alcun bisogno di qui mandare il Saruggia per riparare le macchine che han sofferto nel viaggio: il male non è molto grande, come ebbi già l'onore di significare a V. E.

I pezzi di cristallo, che si devono rimettere, sono cristalli piani, i quali vanno semplicemente tagliati e forati alcuni: non devonsi né soffiare né lavorare come le lenti, nel qual genere di lavoro conosco l'esperienza di Marco Saruggia. Per accelerare il riattamento dei Planetari, dovendosi smontare tutto il congegno delle ruote, piuttosto sarebbe a proposito il Sig. MECHELE; ma non è bisogno nemmeno di questo, potendo l'ABATE RÈ far tutto da sé nel termine di qualche mese.

Già di questi planetari, che son macchine di lusso, non importa molto che siano tosto in ordine di poter giocare; né in qualunque maniera lo potrebbero essere prima delle ferie: non basta dunque che lo siano per il venturo anno scolastico?

[...] Ho ricevuto l'avviso di un'altra cassa di Macchine provenienti da Londra arrivata in Genova colla Nave Toscana il *Catone*; e della spedizione di due altre casse da Parigi, le quali non sono giunte ancora.

Col più profondo ossequio e venerazione mi rassegno

Di V. Eccellenza

Umill. mo Dev.mo Obbl.mo Servitore Alessandro Volta

P. re di Fisica Sper. le

Pavia 12 maggio 1781

Documento 5

Carlo Conte di Firmian al Volta

Ill. mo Sig. Col. Mo

Nella prossima domenica si porta costì la Sig.ra Principessa DASCKOW per vedere la Regia Università, dama di molto merito, e delle più illustri Famiglie di Russia.

Si compiacerà pertanto V.S. Ill.ma di stare in attenzione per dimostrare alla Medesima il Gabinetto di Fisica, mettendo nel miglior apparato le relative Macchine Esperimentali.

Tanto mi riprometto dalla conosciuta di Lei condiscendenza, e mi dichiaro con distinta stima e considerazione

Di V. S. Ill.ma

Dev. mo ed Obbl. mo Serv. re Carlo C. di Firmian Milano 31 maggio 1781

Documento 6

Volta a Carlo Conte di Firmian

Eccellenza,

La Principessa Russa Dasckow col principe suo figlio è partita molto contenta di questa Università, come ha testificato con mille espressioni a me principalmente che le feci servitù per tutta la giornata. Ella è veramente colta, e si è mostrata, sì essa che il figlio intelligentissima di ogni genere di Filosofia naturale: si trattenne molto tempo in Museo ragionando col prof. Spallanzani intorno alle molte produzioni che le furono mostrate; e più a lungo ancora si trattenne nella sala delle Macchine di Fisica, ove ebbi l'onore di mostrarle molte esperienze [...].

Insomma è raro trovare tra tanti forestieri che qua vengono per vedere l'Università, chi miri le cose con occhio così intelligente, e chi procuri a noi Professori tanto piacere e soddisfazione [...].

Avendo Ella pure mostrato desiderio di alcune macchinette di mia invenzione, la feci padrona di un Elettroforino da tasca con suo astuccio, ch'era mio proprio, e di una pistola ad aria infiammabile di quelle ultimamente venute da Londra, che appartiene al Gabinetto, ma che era un duplicato. Ho creduto non dover far meno con tanta Signora da V. E. specialmente raccomandata [...].

Da quindici e più giorni sono continuamente occupato più ore al giorno a servire forestieri la maggior parte di distinzione, che vogliono vedere il Gabinetto di Macchine, e intenderne da me la descrizione, ed essere al fatto di molte esperienze. Io non mi rifiuto a servirli, benché la fatica sia grande, e non mi rifiuterò finché sia tollerabile; ma ormai parmi che troppo cresca in questa stagione soprattutto, in cui abbiamo Lauree ed esami, oltre le ordinarie Lezioni.

Ho l'onore di rassegnarmi con profondissimo rispetto

Di V. E.

Umil. mo Obbl.mo Osseq. mo Servo Alessandro Volta Professore di Fisica Sperimentale

Pavia, 8 Giugno

Documento 7

Alessandro Volta a Venceslao Antonio Principe di Kaunitz Rietberg

[...] Manca alla Fisica il teatro per le pubbliche esperienze; le quali si fanno ora dal professore nella sala delle macchine, che pur non basta a tutte contenerle. In questa si son disposti alla meglio de' banchi, sì però che la minor parte di quelli che intervengono alle esperienze può vedere [...].

Annesso al teatro fisico od alla Sala delle macchine ci vorrebbe una stanza come bottega, ossia una stanza dove tenere lime, seghe, martelli ed altri utensilj necessari per l'istantanea riparazione e accomodamento delle macchine.

Se si trovasse di dar ivi un conveniente alloggio al custode del gabinetto Fisico Ab. Giuseppe Rè, che è un bravo ed esperto macchinista, [...] riuscirebbe di grandissimo vantaggio [...]. Anche il Professore, il quale gode di un molto ristretto quartiere nella casa del Gesù, se avesse più ampia e più polita abitazione, potrebbe, oltre le pubbliche esperienze che ai giorni marcati fa all'Università, farne di private, in casa sua , con l'intervento de' giovani che sono più di genio addetti alla Fisica. E se poi ci fossero incoraggiamenti di qualche sorta, gratificazioni od altro, potrebbe farsi due o tre allievi, addetti unicamente o specialmente a questa Scienza, coi quali promuovere le esperienze non già del corso, ma d'investigazione, onde promuovere la Scienza medesima [...].

Estate 1784 (lettera anteriore alla partenza di Volta per il viaggio in Germania)

Documento 8

Alessandro Volta a Giuseppe Conte di Wilzeck

Il prof. Scarpa ha già dato a V. E. le nuove del nostro viaggio fino a Vienna, delle cose spettanti la sua professione, che abbiam vedute in quella capitale. Io le aggiungerò quelle che riguardano la mia, col seguito del viaggio fino a Berlino, dove ci troviamo da quattro giorni. Con ciò spero di farle cosa grata, memore della bontà che V. E. ha avuto di incaricarci di scriverLe di tempo in tempo [...]

[Di seguito Volta parla degli scienziati e degli amatori delle scienze che ha conosciuto, delle visite fatte a Vienna, delle cortesie che ha ricevuto, dei sussidi che gli sono stati accordati per l'acquisti di macchine di Fisica; discorre degli istituti e delle persone visitate successivamente a Praga, a Dresda, a Lipsia, ad Hall ed a Postdam. Parla della partenza e del viaggio di ritorno].

Dev.mo Obbl. mo Osseq.mo Servitore

Berlino, 21 7.bre 1784

Documento 9

Alessandro Volta al Marchese Leopoldo Giuliani

[...] Sono io dunque riconvenuto (rimproverato) di non insegnare nel mio annuo corso, che è di Fisica Particolare, e Sperimentale, tutte le parti di questa scienza, nominalmente e [...] la Meccanica e l'Ottica. Quanto all'Ottica è falso falsissimo: leggo tutti gli anni uno scritto abbastanza esteso e composto di 16 articoli su questa parte...

È bensì vero, e che non soglio fare sull'ottica pubbliche esperienze [...]. Non è possibile di fare queste esperienze nel teatro Fisico, e neppure nella Camera oscura, che ci vorrebbe, a più di 150 o 200 spettatori: e che tanti sono tra gli Scolari ordinari e dilettanti nazionali, e forestieri, quelli che mi onorano del loro intervento i due giorni della settimana, che fo in pubblico le sperimentazioni.

Pavia, 26 Gennaio 1795

[La lettera è una minuta autografa; la data e il destinatario si ricavano dalla risposta de Marchese Giuliani al Volta in data 16 febbraio 1795].

5.2. Le scoperte

Risulterebbe ridondante elencare i contenuti che vanno a supportare i due precedenti percorsi. Certamente l'esame delle lettere di Alessandro Volta aiuta a comprendere meglio il contesto politico-sociale nel quale avviene il rinnovamento dell'Università di Pavia.

Emergono i rapporti tra gli studiosi e il potere politico, che sostiene la ricerca ma stabilisce le priorità, vigila, pianifica, dispone e controlla, evita sprechi, razionalizza le spese, ma investe anche in cose e situazioni atte a dare lustro alla monarchia senza temere la competizione con le capitali europee della politica e della cultura.

6. Conclusioni

Nel momento in cui si perviene a una conoscenza articolata della realtà pavese del Settecento, si coglie innanzitutto la sovrapposizione tra storia locale e storia generale, quindi si è indotti a riflettere sulla dimensione cosmopolita del secolo dei lumi, sulle intelligente e positiva tensione al progresso che induce a riconoscere a quell'epoca una svolta di civiltà.

Per quanto non si possano paragonare momenti storici lontani e diversi fra loro, tuttavia esistono delle persistenze su cui nella scuola si può riflettere: ad esempio il rapporto tra scelte politiche e progresso sociale attraverso la ricerca scientifica, su cui è stato impostato questo lavoro è quanto mai attuale e vicino al mondo dei giovani.

Valorizzazione del patrimonio librario e strumentale

Lea Cardinali, Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze

Abstract: Nei miei anni di lavoro presso il dipartimento di Fisica, in modo ricorrente buona parte del mio tempo è stata dedicata al problema della conservazione e valorizzazione del patrimonio scientifico librario e strumentale, prevalentemente del XIX secolo e relativo alla fisica. Il tema che mi è stato assegnato in questo convegno mi ha costretto a una pausa di riflessione sull'esperienza fatta, dalla quale emergono prepotentemente le difficoltà incontrate ma anche il significato generale del lavoro fatto, spesso sottaciuto nella frenesia delle incombenze pratiche. Concluderò il mio intervento con alcune considerazioni sul binomio libri/strumenti come evocatore di un più ampio dualismo mente/materia.

In my time working in the Department of Physics, the problem of preservation and enhancement of scientific books and instruments – prevalently nineteenth-century physics – has been a recurring theme that has absorbed a lot of my time. The subject I was given in this conference prompted me to rethink the experience, from which emerge strongly the difficulties but also the general meaning of the work done, often lost in the frenzy of practical tasks. I will conclude my remarks with some thoughts on the combination of books/tools as evocative of larger dualisms of mind/matter.

Tra libri e strumenti scientifici pavesi dei secoli scorsi

Il patrimonio culturale scientifico cui la mia esperienza si riferisce è così costituito:

- per quel che riguarda i libri, si tratta di edizioni di valore storico su argomenti di fisica, chimica, matematica e scienze in generale, presenti nella Biblioteca Universitaria (Figura 1) e nel fondo storico della biblioteca di Fisica (Figura 2): in totale 8800 volumi monografici – di cui 600 del XVII secolo + 7600 del XIX secolo + 600 del XX secolo – e 250 testate di riviste dal 1700 al 1945
- per quel che riguarda gli strumenti, si tratta di circa 1800 strumenti di fisica in senso lato, conservati nel Museo per la Storia dell' Università (Figure 3 e 5) e nel dipartimento di Fisica (Figura 4). Tra questi ci sono150 strumenti voltiani settecenteschi, 750 strumenti del XIX secolo e 900 strumenti del XX secolo

Nel materiale sopra elencato vi sono esemplari importanti e preziosi che erano già da tempo conservati con religiosa riverenza, ma anche esemplari all'apparenza – e forse anche in realtà – assai insignificanti, recuperati a fatica da ammassi polverosi più simili a cumuli di rifiuti che a depositi di biblioteche o musei; più volte è sorta quindi in me la domanda chiave, spesso alla base di una ricerca e che dà significato al proprio agire: «Chi me lo fa fare?». Ho trovato la risposta in questa frase:

200 Lea Cardinali

il solidale amore alla storia di ogni uomo vorrebbe che nulla di quanto è stato da lui costruito o detto vada perduto: anche per questo molte intelligenze, speculative o immaginative, si sono augurate da secoli, sempre nella speranza contro la speranza, che un grande Archivista salvasse il tutto, e anche noi, dalla discarica del tempo e del consumo (A. Stella, 1999, in *Archivi Culturali*, p. V).

L'affannoso prodigarsi per salvare anche l'insalvabile è un bisogno di memoria, che da un lato è paura della morte e dell'annientamento, dall'altro è la ricerca delle radici della propria vita, cultura e, in definitiva, della propria identità.





Figura 1. Salone Teresiano della Biblioteca Universitaria

Figura 2. Biblioteca di Fisica

Superati sbrigativamente gli aspetti motivazionali passo a quelli più tecnici del mio lavoro, che, in generale, sono quelli di formazione e gestione di qualunque archivio culturale – questa è la categoria generale da tener presente, che accomuna lavori di questo tipo. Si tratta di un processo che si sviluppa grossomodo in tre grandi fasi:

- individuare
- organizzare
- comunicare

La prima fase è quella che mira a identificare o reperire gli oggetti che andranno a costituire l'archivio; si fanno sopralluoghi e ricerche in posti più o meno noti, si decide cosa accettare e cosa scartare e si va così via via definendo il criterio di selezione, soggetto a continua revisione in quanto deve mediare tra l'ipotesi iniziale del progetto e la presa di coscienza del reale. Verso la fine di tale fase, in realtà mai del tutto finita, ci si rende più obiettivamente conto di quali spazi siano necessari per un'idonea valorizzazione del patrimonio in questione, il che può interagire con i criteri di selezione determinandone un allargamento o restringimento.



Figura 3. Strumenti settecenteschi al Museo per la Storia



Figura 4. Strumenti novecenteschi al Museo di Fisica

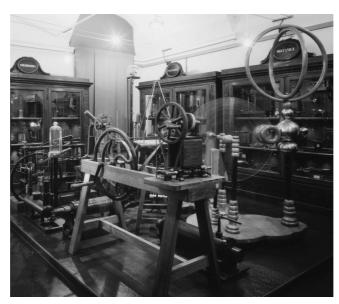


Figura 5. Sala dell'Ottocento al Museo per la Storia

202 Lea Cardinali

La seconda fase del processo di valorizzazione, riassunta nel verbo 'organizzare' è abbastanza complessa. Mi soffermo, inizialmente, non tanto sull'organizzazione materiale, logistica, degli oggetti (cui faccio cenno sotto il punto 'comunicare'), ma sull'organizzazione dell'archivio parallelo a quello reale: l'archivio delle informazioni relative agli oggetti. Una volta esso era contenuto in registri e schede cartacee, ora è normalmente rappresentato da una banca di dati digitale contenente grossomodo tanti record quanti gli oggetti (riporto alcuni esempi di catalogo online in figura 6 e 7). Ogni record ha tanti campi quanti i diversi tipi di informazioni che si desidera abbinare a quell'oggetto; la definizione dei campi è sostanzialmente la catalogazione dell'oggetto. I diversi standard più o meno affermati prevedono la possibilità/obbligatorietà di indicare un centinaio di campi diversi per ogni oggetto da catalogare. Molti di questi riguardano ambiti prettamente gestionali/amministrativi. Faccio invece qui cenno solo ai principali campi atti a descrivere l'oggetto in sé per permetterne una miglior comprensione; usando una terminologia chiara anche se imprecisa, li chiamerò: numero progressivo, nome, autori, epoca, località, categoria di appartenenza dell'oggetto in esame.

Il primo due campi appaiono concettualmente semplici: si tratta di numerare e nominare i singoli elementi per quantificare e individuare il patrimonio. Dal punto di vista pratico le cose non sono però così banali. Per la numerazione il problema nasce in presenza di 'famiglie di oggetti', quando bisogna decidere se dare un numero alla 'famiglia' o ai singoli componenti e bisogna quindi interrogarsi sulla relazione (di fratellanza? madre/figlio? di semplice conoscenza?) che intercorre tra di essi. È il caso di un'opera in più tomi, magari con titoli diversi per ogni volume, o di una monografia edita con un supplemento o allegato, di uno strumento con diverse parti a sé stanti che può funzionare anche senza alcune di queste, che a loro volta possono funzionare anche con altri strumenti, ma magari non per conto proprio ... etc., etc. La biblioteconomia padroneggia abbastanza le sue casistiche e distingue tra:

- una numerazione inventariale, che obbedisce alla regola di mantenere il patrimonio e può assegnare numeri anche ad elementi concettualmente non autonomi ma di fatto staccati e quindi perdibili
- una numerazione relativa ai record che, nei database, descrivono gli oggetti reali, e in questo caso si numerano anche delle entità astratte (le monografie superiori o intermedie) utili per collegare elementi che sono in relazione

La biblioteconomia è un faro, nella notte che avvolge chi si appresta ad affrontare archivi culturali costituiti da numerose entità, in quanto da alcune generazioni l'umanità ha dovuto affrontare questo problema in relazione ai libri stampati e l'esperienza non è acqua. Certo, un libro può sembrare ben diverso da uno strumento, e lo è, ma alcuni criteri generali restano validi o sono in qualche modo adattabili.

Diverso il problema allorché si deve affrontare la questione del nome; per il libro, oggetto materiale ma sostanzialmente già fatto di parole, si è convenuto che quanto scritto sul frontespizio costituisca il blocco iniziale di parole che identifica quel volume (più restrittivamente e banalizzando un po', potremmo individuare nel titolo del libro l'equivalente del nome dello strumento). Gli strumenti scientifici, invece, non hanno qua-

si mai una targhetta con scritto il loro nome e assegnargliene uno non sempre è un'impresa facile (spesso non si conosce affatto l'oggetto che si ha tra le mani).

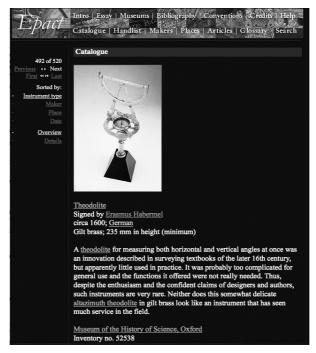




Figura 6. Esempi di cataloghi on line di strumenti scientifici antichi

204 Lea Cardinali

Come per vari altri indici descrittivi, assegnare un nome a uno strumento è spesso un processo che avanza per approssimazioni successive. Può sembrare strano ma sono sempre più numerosi i casi di archivi di strumenti, nei quali compaiono solo le foto dei medesimi, senza alcun nome, in attesa che qualche esperto possa dargliene uno in una fase successiva. Superato questo scoglio e assegnato allo strumento un nome sensato, si passa al tentativo di standardizzazione dei nomi che agevolerà l'individuazione di strumenti analoghi in archivi diversi. Il problema della standardizzazione è noto nella biblioteconomia per la compilazione degli elenchi di nomi di autori (capita spesso che il nome di un autore compaia scritto in modi diversi, specie per autori di secoli passati) ma anche di editori; una problematica simile va affrontata nella stesura di soggettari (sorta di elenco di argomenti trattati nei libri). In tutti questi casi si tratta di compilare degli elenchi di parole, delle specie di dizionari con tutti i termini accettati, le loro varianti e i vari rimandi che li collegano. I catalogatori avranno così un riferimento comune, atto a ridurre l'indesiderato effetto 'torre di Babele'.



Figura 7. Esempio di catalogo online di libri scientifici antichi

Passiamo ora ai campi seguenti – autori, epoca, località – che iniziano a descrivere e indicizzare più dettagliatamente gli elementi, in modo da facilitarne la comprensione e la fruizione. Questi dati a volte sono esplicitamente evidenti, altre volte richiedono un lavoro, più o meno difficile, di attribuzione, che eventualmente può sfociare in un allargamento della contestualizzazione ad esempio al secolo o alla nazione invece che a un anno e a una città. Ci sono anche casi nei quali nemmeno questo è possibile, per scarsità di indizi e informazioni sull'oggetto. Si tratta però, concettualmente, di campi abbastanza ben definiti, 'obiettivamente' legati all'oggetto, che rispondono alle domande: «chi l'ha fatto?» «in che periodo?» «dove?».

Non si può dire lo stesso per l'ultimo indice citato: categoria di appartenenza. Per definirlo si parte da domande del tipo: «di che argomento tratta il libro?» «per cosa è stato progettato lo strumento?» per cercare poi di collocare le risposte in raggruppamenti disciplinari più o meno specifici, all'interno di una struttura normalmente gerarchica: l'esempio tipico è la **classificazione** dei libri. Questo campo, rispetto i tre precedenti, è assai meno legato all'oggetto e alla realtà culturale nella quale è nato e ben più dipendente dalla realtà soggettivo/culturale di chi lo classifica. Non solo può essere comodo e funzionale usare sistemi di classificazione ad hoc in ambiti diversi, ma anche quando si fa il massimo sforzo per definire un sistema di classi universale, standardizzato e omnicomprensivo, questo non resterà fisso per sempre, ma evolverà almeno nella misura in cui evolve sia il linguaggio, sia il modo di pensare, le categorie del pensiero e le conoscenze.

Operazione ancora più specifica e raffinata della classificazione è la soggettazione, assai usata per i libri; per soggettare è necessario disporre di cataloghi semantici (thesaurus per soggetti, materie, etc.) che hanno come quadro di riferimento i significati, gli argomenti, i luoghi concettuali di cui è composto e nei quali è scomponibile l'universo delle conoscenze, delle idee e delle nozioni; si parla infatti di indicizzazione semantica. È quindi ovvio che anche questa operazione condivida, pur nella sua diversità, le problematiche di standardizzazione prima citate. Informazioni come queste ultime (classe e soggetto) sono storicamente nate per agevolare le ricerche all'interno di ampi archivi.



Figura 8. Nuvola delle ricorrenze presenti nei *Principia* di Newton indicate da Google Books

206 Lea Cardinali

L'avvento della digitalizzazione dei libri, con la conseguente possibilità di rilevarne le parole e le loro ricorrenze (Figura 8) e l'avvento di software collaborativi, con la conseguente possibilità di avere una 'nuvola di significati' o tag assegnati da numerosi utenti (Figura 9) hanno reso in qualche misura superfluo il lavoro di classificazione e soggettazione, specie ai fini delle ricerche. Ciò non è però del tutto vero: attuare una buona classificazione e, soprattutto, soggettazione, richiede una conoscenza non banale dell'oggetto in esame e un rapporto abbastanza 'intimo' con l'autore e il suo intento. Si tratta di fornire indicazioni più prossime al significato dell'oggetto che alla sua descrizione materiale; un po' come fare un abstract o una recensione. Pur con tutti i rischi di errori e fraintendimenti, risultati siffatti potrebbero non uscire da un'operazione riduzionista legata ad analisi quantitative, come somma delle parti o dei tag forniti.

Dopo la fase dell'organizzazione passiamo ad analizzare l'ultima fase, relativa alle modalità di presentazione dell'archivio agli utenti finali: si tratta appunto di riuscire a comunicare (rendere comune) a un ampio numero di persone l'archivio stesso e i significati che gli studiosi e gli addetti ai lavori hanno ad esso attribuito. Va tenuto presente che gli utenti o visitatori possono essere in loco o a distanza. Sul piano più tradizionale, si tratta di allestire – con gli oggetti e in un preciso luogo geografico – una biblioteca, un museo o una mostra temporanea; a questo primo allestimento 'reale' va però sempre più abbinato, ormai quasi inderogabilmente, l'allestimento di una corrispondente biblioteca, museo o mostra 'virtuale' che permette la comunicazione a distanza dell'archivio. Per le biblioteche, visto che i libri hanno valore non tanto nella loro materialità ma per il loro contenuto concettuale, l'allestimento deve privilegiare la facilità di reperimento e di fruizione dell'opera cercata dall'utente e non l'esposizione degli oggetti in sè.

Per i musei, e ancor più per le mostre, va privilegiato invece l'impatto estetico/visivo, la comunicazione sensoriale ed emotiva che i componenti dell'archivio esposti, nella loro materialità, devono trasmettere al visitatore; l'allestimento deve quindi studiare attentamente la collocazione, disposizione e illuminazione degli oggetti e la scelta di idonee scenografie, oltre al necessario corredo esplicativo (cartelli, didascalie, targhette).

Ovviamente, come per ogni processo di comunicazione, è determinante sapere a chi si vuole indirizzare la comunicazione (target di destinazione) e su questa calibrare il tipo di allestimento, lo stile comunicativo, il linguaggio, il livello di approfondimento delle informazioni con l'eventuale progettazione di diversi livelli comunicativi per adeguarsi a diverse tipologie di destinatari; questo discorso vale ovviamente sia per la struttura reale che per quella digitale/virtuale. A ben vedere non è solo un problema di comunicazione; anche l'organizzazione della base dati deve tener conto dei destinatari, della loro età e competenza, ma anche della loro quantità e distribuzione geografica. Ad esempio, privilegiare un'utenza 'globale' oppure il locale può implicare l'uso di una oppure più lingue, come anche la scelta di uno oppure un altro tipo di software – più accessibile e/o più consueto ai destinatari – per dare più visibilità al proprio archivio. Se l'utenza è locale o di nicchia, si possono predisporre software ad hoc, magari anche abbastanza sofisticati e con informazioni più dettagliate e meno tradizionalmente usate. Se si vuole raggiungere un pubblico più vasto bisogna pubblicare i propri archivi nei siti e con i software maggiormente rappresentativi, adeguandosi agli standard richiesti, anche a costo di perdere alcune informazioni e particolarità; è un processo di standardizzazione/ democratizzazione.

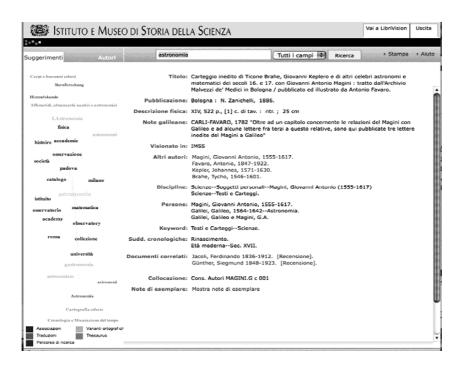




Figura 9. Esempio di catalogo on line di libri e strumenti con relativi campi e nuvola di suggerimenti

208 Lea Cardinali

Il vantaggio di rendere visibile il proprio archivio a un pubblico sempre più vasto non sta solo nell'avere un più ampio numero di utenti/spettatori, anzi: la novità più importante sta nell'avere un ampio numero di potenziali collaboratori. Ancora una volta sono i cataloghi di libri a fare da antesignani, con quelli che si chiamano 'archivi condivisi'. La cosa è facilmente comprensibile se ci riferiamo a produzioni in serie, come libri, strumenti e oggetti vari prodotti industrialmente dal XIX secolo in poi. Un archivio condiviso contiene, per ogni singolo evento produttivo, tutti i dati di fabbrica di quella produzione (i dati di un libro, se parlo di un evento editoriale; quelli ad esempio di un certo tipo di galvanometro, se parlo di fabbriche di strumenti di misura). Le singole biblioteche e musei non devono autonomamente produrre i loro archivi ex novo, ma vedere se in archivi condivisi già esistenti sono presenti oggetti analoghi a quelli in loro possesso. In questo caso segnalano che anche loro ne possiedono un esemplare, annotandone le eventuali caratteristiche particolari; viceversa aggiungono all'archivio condiviso l'evento, non segnalato prima da altri, e di cui loro hanno un esemplare. Questo rende i dati molto più fruibili, ordinati e corretti, permette facilmente di vedere la distribuzione di un oggetto prodotto in un certo posto, testimoniando la diffusione culturale e commerciale, e facilita la comunicazione di conoscenze tra possessori di oggetti simili. La cosa è facilmente estendibile a produzioni non di serie ma quasi (libri e oggetti prodotti da artigiani in numerosi esemplari, con caratteristiche pressoché inalterate). Poiché molti sono gli oggetti in serie o quasi che l'umanità ha prodotto negli ultimi secoli, la modalità dell'archivio condiviso può trovare fertile applicazione in numerosi settori; la capillare diffusione di internet agevola moltissimo la collaborazione a distanza e non è utopistico il sogno di arrivare ad archivi condivisi da persone di tutto il mondo e nei settori più disparati.

Finita questa carrellata sull'analisi delle singole fasi di valorizzazione di un archivio, faccio alcune considerazioni sintetiche sul processo in generale. Col procedere delle fasi (individuare, organizzare, comunicare), l'archivio passa da una situazione di magazzino a quella di collezione, a quella di biblioteca/museo/mostra. In senso stretto strutturare un archivio significa dare unità alla molteplicità. L'archivio diventa di fatto un'immagine – nel senso di 'idem facio' – della realtà (storica/geografica/culturale) da documentare, è quindi una sua rappresentazione, e, in quanto tale, conseguente all'idea che organizzatori/allestitori/responsabili si sono fatti dell'archivio e di come esso può testimoniare la realtà dalla quale proviene.

Se l'immagine contende con la cosa e con l'idea, esce sconfitta; se collabora, se media, se interpreta e guida diviene l'interfaccia della conoscenza del vero (A. Stella, 1999, in *Archivi Culturali*, p. VI)

Mentre si organizzano e si strutturano gli elementi di un archivio, più o meno esplicitamente ci si chiede cosa è documento e di che cosa, qual è la complessa realtà culturale di cui quell'oggetto è espressione. Si reperisce cioè un senso che trasparirà poi dal tipo di organizzazione e allestimento – soprattutto per mostre e musei – e guiderà l'utente verso una particolare comprensione dell'archivio. Un archivio strutturato non è quindi mai neu-

tro rispetto ai suoi possibili significati ... ma questo non è un difetto bensì un suo punto di forza; basta esserne consapevoli.

2. Liberi pensieri sul binomio libri/strumenti

Doversi occupare della messa a punto o della gestione di archivi relativamente complessi è, in alcuni momenti, un po' alienante e frustrante; si rischia di essere sommersi dalla mole dei dati o paralizzati dall'impossibilità di archiviare informazioni sufficienti per portare a termine almeno una fase significativa del lavoro. Insomma, ci si trova spesso schiacciati in una prospettiva orizzontale, con lo sguardo che vaga in una disperante vastità, senza più la capacità di sollevarlo verso il cielo o guardare nel profondo dell'abisso. Per questo mi riempie di una felicità ingenua l'occasione di fare qualche meta-discorso sul lavoro prima descritto, anche un po' a ruota libera, consapevole che quanto dirò ha più il valore di suggestione che di argomentazione.

L'occasione di questa divagazione prende le mosse dal considerare che i libri sono spesso rappresentativi delle teorie scientifiche, e gli strumenti sono rappresentativi della pratica sperimentale. La storia della scienza si è spesso interrogata se, per fare scienza, sia prioritario il ragionamento speculativo astratto e le capacità logiche (prevalenti nella filosofia naturale dal mondo greco antico fino al XVI secolo) o le attività sperimentali e di laboratorio, con strumentazione più o meno sofisticata (in crescente aumento dal XVII secolo a oggi).

Per approfondire questo tema è utile fare un passo indietro e abbozzare un discorso sullo sviluppo della scienza.

Il desiderio di conoscenza del mondo accompagna l'uomo dai suoi albori e sta alla base di diverse sue attività, in un processo mai compiuto. Identifichiamo, in modo un po' riduttivo, questo processo con lo sviluppo della scienza e interroghiamoci su quale andamento abbia avuto, nei millenni, questo sviluppo, almeno apparentemente, di continua crescita. In merito a questo interrogativo ci sono scuole di pensiero diverse; con appropriate motivazioni esse si collocano tra i due opposti emotivi:

- un estremo ottimismo, che vede una costante crescita della conoscenza, seppur con velocità eventualmente variabili nei diversi periodi
- un irriducibile pessimismo, che vede dietro ogni apparente progresso un grave regresso

Un'interessante proposta, portata avanti da J. Renn, ipotizza per lo sviluppo delle scienze un processo di tipo evolutivo, con una base di continuità temporale che collega tra di loro le successive generazioni (l'equivalente del patrimonio genetico) e con delle varianti (mutazioni casuali), selezionate dall'ambiente tra le possibili caratteristiche presenti, in base al principio di miglior adeguatezza al contesto circostante (selezione naturale). Già altri scienziati hanno reputato la teoria dell'evoluzione darwiniana, nata per spiegare processi biologici, come un modello polivalente, valido e fertile anche in discipline del tutto diverse da quella originale. Ma come è possibile adattarla alla scienza? J. Renn individua nella cultura materiale l'aspetto di continuità; si tratta di una sorta di capacità artigianale di conoscenza dei materiali e conseguente abilità a manipolarli e adattarli alle

210 Lea Cardinali

proprie esigenze, abilità che, una volta acquisita, viene trasmessa alle generazioni seguenti. L'elemento di variabilità e quindi possibilità di cambiamenti e innovazioni, risiede all'interno della materia stessa, che ha potenzialità superiori all'utilizzo fattone dall'umanità fino a un certo momento: la materia può sempre rivelare, in opportune condizioni, aspetti inediti. Come le diverse specie animali, così le diverse teorie scientifiche nascono dall'interazione tra le idee dell'uomo e le possibilità della materia, ed evolvono, con maggior o minor successo o con modificazioni ed adattamenti successivi, in base alla loro fertilità, alla loro capacità di rispondere ad esigenze umane di comprensione/predizione/utilizzo e alla loro adeguatezza al mondo socio-culturale circostante che ne realizza la selezione.

Questa interpretazione raffina e rafforza il pensiero attualmente prevalente: non è univocamente possibile definire un primato tra sapere teorico e pratico; spesso è il pensiero teorico che precede l'ideazione di esperimenti e strumenti atti a confermare la validità della teoria ipotizzata, e in quanto tali gli strumenti non sono neutri rispetto ai fenomeni da spiegare ma già orientati verso una particolare interpretazione. Altre volte lo strumento, in una sorta di serendipità, fornisce indizi atti a una rielaborazione della teoria che l'ha generato o alla nascita di una nuova teoria. Tra sapere pratico e teorico c'è un rapporto di integrazione e alternanza, non di sudditanza.

Va sottolineato che il dualismo επιστήμη/τέχνη, fra un sapere legato a idee e teorie e quello legato a capacità pratiche, è presente fin dal mondo greco. Spingendoci un po' oltre questo dualismo, possiamo arrivare al più generale e consolidato dualismo ψυχή/φύσις, che affonda le sue radici nella distinzione anima/corpo di Platone per approdare a quella spirito/natura di Cartesio.

Continuando il volo pindarico rispetto all'argomento iniziale della discussione, è interessante notare che i temi citati sono stati affrontati nell'ultimo secolo anche da eminenti fisici con conclusioni filosofiche abbastanza in linea con quelle di stampo più storicopragmatico citate all'inizio di questo capitolo viene cioè sottolineato, per i termini del dualismo, più il loro essere complementari che l'essere in alternativa. Mi riferisco alle idee maturate in seguito alla nascita della fisica quantistica, soprattutto ad opera di N. Bohr (1885-1962) prima e di D. Bohm (1917-1992) dopo. Al primo è dovuta la cosiddetta interpretazione di Copenhagen: «una teoria fisica non è vista come una descrizione ontologica del mondo ma come una descrizione epistemologica della nostra conoscenza» (Odifreddi, 1999, *Il vangelo secondo la scienza*, p. 72). Per fenomeni quantistici non è possibile una separazione netta tra osservatore e osservato; il fenomeno ha coppie di proprietà complementari (grandezze coniugate), mai misurabili contemporaneamente; una particolare situazione sperimentale permette di osservare solo una delle due alla volta. La complementarità provoca una sostanziale incompletezza di qualunque descrizione ma anche la veridicità di descrizioni apparentemente opposte. Con richiami alla filosofia taoista, Bohr estendeva tale concetto a ogni aspetto profondo della realtà fisica e umana, ad esempio alla contrapposizione apparente tra soggetto e oggetto, mente e cervello, scienza e arte.

Le problematiche filosofiche aperte dalla teoria dei quanti sono state affrontate anche da D. Bohm che propone di abbandonare la visione dominante basata sull'«essere di una divisa molteplicità» (il tutto è l'interazione delle parti) per passare al «divenire di

un'indivisa totalità» (le parti sono astrazioni dal tutto, ogni parte rimanda al tutto, come in un ologramma). La coscienza ci rende vittime di un'illusione (evidente l'affinità con tradizioni orientali), portando la nostra attenzione su aspetti superficiali e frammentari della realtà manifesta e distraendoci da quelli più profondi e unitari. Il dualismo mente/materia mette a fuoco momentanee increspature del divenire totale, astrazioni dal flusso universale, e perde di vista l'oceano stesso.

Questi brevi cenni a dibattiti teorici il cui approfondimento è fuori dalla mia portata, evidenziano quanto sia da reputare fertile un contesto di lavoro che permette di accedere sia alla produzione teorica (i libri) che a quella pratica (gli strumenti) degli scienziati di circa due secoli e stimola a ricercare le connessioni tra questi due mondi, apparentemente distinti. In quest'ottica anche le frustanti, quotidiane difficoltà connesse al lavoro di valorizzazione degli archivi si stemperano nella speranza che il lavoro fatto sia utile per nuove e più approfondite interpretazioni sulla storia della scienza e sulla scienza stessa.

Bibliografia

- Batori, A. (1987), *Clavis scientiarum. La catalogazione automatizzata dei libri scientifici antichi*, Pavia, Università degli studi (Collana di storia della scienza).
- Batori, A. Bevilacqua, F. (a cura di) (1990), *Clavis scientiarum: catalogo del fondo storico di fisica della Biblioteca universitaria e della Biblioteca "A. Volta" di Pavia*, Pavia, Università degli studi, (Collana di storia della scienza).
- Bellodi, G. Bevilacqua, F. Bonera, G. Falomo, L. (a cura di) (2002), *Gli strumenti di Alessandro Volta. Il Gabinetto di Fisica dell'Università di Pavia*, Milano, Hoepli.
- Odifreddi, P. (1999), *Il Vangelo secondo la scienza. Le religioni alla prova del nove*, Torino, Einaudi, (Einaudi tascabili; 651).
- Renn, J. (2004), La rivoluzione incompiuta di Einstein. Appunti per un ciclo di lezioni universitarie, Pavia, Università degli Studi di Pavia.
- Taddei, N. (1995), Dalla comunicazione alla lettura strutturale del film, EDAV, Roma.
 Università degli Studi di Pavia, (1999), Archivi culturali, Pavia, Tipografia Commerciale
 Pavese

Sitografia

[data di accesso: il 3/11/2011]

- URL: http://books.google.it/books?id=1x9LAAAAYAAJ&dq un'edizione dei *Principia* di I. Newton presente in Google Books; verso la fine della pagina è riportata la 'nuvola' delle parole più ricorrenti
- URL: http://catalogo.museogalileo.it/sala/SalaXI.html: pagina per la visita virtuale a una sala del Museo Galileo di Firenze
- URL: http://colombo.imss.fi.it/IMSS/?uilang=it&q=torricelli>": esempio di ricerca nella banca dati cumulativa del Museo Galileo di Firenze">http://colombo.imss.fi.it/IMSS/?uilang=it&q=torricelli>": esempio di ricerca nella banca dati cumulativa del Museo Galileo di Firenze">http://colombo.imss.fi.it/IMSS/?uilang=it&q=torricelli>": esempio di ricerca nella banca dati cumulativa del Museo Galileo di Firenze">http://colombo.imss.fi.it/IMSS/?uilang=it&q=torricelli>": esempio di ricerca nella banca dati cumulativa del Museo Galileo di Firenze"

212 Lea Cardinali

URL:: visualizzazione di un testo di C.A. Coulomb sul sito delle opere digitalizzate dalla Biblioteca nazionale francese

- URL:<http://musei.unipv.it/>: home page del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Pavia
- URL:http://opacdb.unipv.it/easyweb/cec/index.php?search=campi>": pagina per la ricerca all'interno del catalogo Clavis Scientiarum, di circa 8800 notizie relative a libri scientifici editi dal 1700 al 1950 presenti a Pavia presso la Biblioteca Universitaria o la Biblioteca del Dipartimento di Fisica
- URL:http://ppplab3.unipv.it/pubblica/museoDiFisica/elenco.htm: sito provvisorio contenente l'elenco degli strumenti del Museo di Fisica di Pavia
- URL:http://ppplab3.unipv.it/pubblica/museostoriauniv/elenco.htm: sito provvisorio contenente l'elenco degli strumenti del Museo per la Storia dell'Università di Pavia
- URL:http://www.mhs.ox.ac.uk/epact/catalogue.php: pagina del catalogo digitale di strumenti scientifici antichi EPACT

Galileo, Bruno e il copernicanesimo

Enrico R.A. Giannetto, Dipartimento di Scienze della persona, Università di Bergamo

Abstract: Si analizzano i possibili rapporti fra Galileo e Bruno, dal punto di vista della fisica, dell'astronomia e della cosmologia, della filosofia naturale e della teologia, e infine del processo.

La pericolosità dei riferimenti espliciti a Bruno da parte di Galilei e il mito storiografico di Galileo, iniziatore della scienza moderna, hanno oscurato l'importante continuità storica fra Bruno e Galileo.

The possible relationships between Galileo and Bruno are here analyzed from the point of view of physics, astronomy and cosmology, natural philosophy and theology, and indeed of the trial too.

The dangerousness of explicit references to Bruno by Galileo and the historiographical myth of Galileo as the founder of modern science have overshadowed the important historical continuity between Bruno and Galileo.

1. Lo status della ricerca

Se ci si concentra sulla letteratura secondaria che tratti il problema delle possibili relazioni storiche fra Bruno e Galileo, non può che riscontrarsi la grande esiguità di contributi. La risposta, che potrebbe essere data da molti storici all'interrogativo su questa sorprendente situazione storiografica, segnalerebbe forse l'assenza di documenti espliciti che attestino una dipendenza diretta di Galileo da Bruno. Tale risposta è però insoddisfacente: molte volte gli storici sono costretti a trovare dei riferimenti impliciti che attestino altrettanto certamente delle correlazioni storiche, e chiaramente questo dovrebbe essere proprio il caso, visto che citare Bruno, condannato a morte e bruciato al rogo per eresia, nonché sottoposto alla damnatio memoriae, sarebbe stato molto pericoloso.

Piuttosto, bisogna riconoscere che qui ci troviamo di fronte a uno di quei 'buchi neri' della storiografia, che, in vicinanza di un mito fondativo di una disciplina, si arresta e ne viene risucchiata fino a sparire. Il mito fondativo di Galileo, quale iniziatore della scienza

¹ Si vedano per esempio: Aquilecchia, G. (1995), *I 'Massimi sistemi' di Galileo e la 'Cena' di Bruno (per una comparazione tematico - strutturale)*, in *Nuncius* 10, n. 2 pp. 485-496; Aquilecchia, G. (1995), *Possible Brunian Echoes in Galileo*, in «Nouvelle de la République des Lettres», 15, n. 1, pp. 11-18; Gatti, H. (1997), *Giordano Bruno's 'Ash Wednesday supper' and Galileo's 'Dialogue of the two major world systems'*, in «Bruniana & Campanelliana», 3, n. 2, pp. 283-300; Gosselin, E. A. & Lerner, L. S. (1975), *Galileo and the long shadow of Bruno*, in «Archives internationales d'histoire des sciences», 25, n. 97, pp. 223-246. Sul problema dell'infinità dell'universo per Galileo in relazione a Bruno, si veda: Ricci, S. (1990), *La fortuna del pensiero di Giordano Bruno*. 1600-1750, Firenze, Le Lettere, pp. 96-101; Clucas, S. (2008), *Galileo, Bruno and the rethoric of dialogue in 17th century natural philosophy*, in «History of science», XLI pp. 405-429. Sulla fortuna ideologica di Galileo e Bruno: Ciliberto, M. (2011), *Galileo e Bruno martiri del libero pensiero*, in *Il Caso Galileo*, a cura di Bucciantini, M., Camerota, M. & Giudice, Firenze, Olschki, pp. 367-386.

214 Enrico R.A. Giannetto

moderna, ha portato e continua a portare a una sottovalutazione dello sfondo cui Galileo ha attinto, recidendo qualunque legame importante con il passato per farne risaltare la novità e la genialità. Il mito galileiano è d'altra parte legato a un altro 'grande racconto', a un mito ancora più grande che è quello fondativo della scienza moderna, come autonoma e indipendente dalla scienza medioevale e da quella rinascimentale, e della legittimità della stessa modernità basata appunto sulla nuova scienza.²

Sono questi miti fondativi che hanno fatto sì che i contributi di Bruno e di altri fossero completamente trascurati e oscurati.³

I problemi storiografici qui trattati richiederebbero approfondimenti specifici, ma qui potranno essere fornite sinteticamente solo le linee interpretative principali.

2. Sistema copernicano e sua spiegazione fisica

Seppure il sistema copernicano fosse stato avversato, da parte cristiana, per il suo contrasto con le Scritture, o meglio con la loro tradizionale esegesi, già dal suo apparire, certamente la prefazione di Osiander al *De Revolutionibus* e la stessa natura della spiegazione copernicana, indipendentemente dalle convinzioni realiste dello stesso Copernico,⁴ non andavano oltre l'attestazione di un nuovo modello matematico per salvare i fenomeni di moto osservati nel cielo. Il sistema copernicano assunse una valenza più cogente e più preoccupante per le autorità cristiane solo nel momento in cui se ne propose una spiegazione fisica, si fornì cioè una teoria fisica del mondo copernicano.

Ora, è un dato di fatto storico che la prima teoria fisica del mondo copernicano non fu data da Galileo e che la prima radicale rottura con la fisica aristotelica soggiacente il sistema tolemaico siano state realizzate da Giordano Bruno ne *La cena de le ceneri* del 1584⁵ e in altri testi successivi. In quest'opera si associava per la prima volta il sistema copernicano alla ripresa dell'empia filosofia atomistica (pur avendo l'atomismo di Bruno delle sue peculiarità)⁶ che costituiva ora la nuova base fisica del mondo copernicano. Fu

² Su questo tema, si rimanda a: Giannetto, E. R. A. (2011), *Leonardo e la scienza moderna*, in *Atti del XXX Congresso Nazionale SISFA 2009*, Urbino, in corso di stampa; Giannetto, E.R.A. (2011), *La Luce di Galileo*, in corso di stampa.

³ Sui contributi specifici di Bruno, specialmente sulla relatività, si vedano: Giannetto, E. (2001), *La relatività del moto e del tempo in Giordano Bruno*, in *Physis* XXXVIII, pp. 305-336; Giannetto, E. (2008), *Giordano Bruno*, in *New Dictionary of Scientific Biographies* I-VIII, a cura di Koertge, N., Thomson Gale, Detroit, vol. I, pp. 423-425; Giannetto, E. (2011), *Giordano Bruno and Relativity*, Berlin 2009, in corso di stampa.

⁴ Copernico, N. (1975), De Revolutionibus Orbium Caelestium. La costituzione generale dell'universo, tr. it.

⁴ Copernico, N. (1975), De Revolutionibus Orbium Caelestium. La costituzione generale dell'universo, tr. it. di Vivanti, C. con introduzione e note di Koyré, A., Einaudi, Torino. Su Copernico astronomo-filosofo, si veda anche il recente contributo: De Pace, A. (2009), *Niccolò Copernico e la fondazione del cosmo eliocentrico. Con testo, traduzione e commentario del Libro I de Le Rivoluzioni Celesti*, Milano, Pearson Paravia Bruno Mondadori.

⁵ Bruno, G. (1958, 1983), *La cena de le ceneri*, in *Dialoghi Italiani*. *Dialoghi metafisici e dialoghi morali*, nuovamente ristampati con note da Gentile, G., terza edizione a cura di Aquilecchia, G., Sansoni, Firenze, vol. I; Bruno, G. (1995), *La cena de le ceneri* (1584), in *Oeuvres Italiennes*, edizione critica a cura di Aquilecchia, G., in *Oeuvres Completes de Giordano Bruno*, dir. Hersant, Y. and Ordine, N.; tr. franc. a cura di Hersandt, Y., Préface de Ophir, A., Paris, Les Belles Lettres, vol. II; Bruno, G. (2000), *La cena de le ceneri* (1584), in *Dialoghi filosofici italiani*, a cura di Ciliberto, M., Milano, Mondadori.

⁶ Giudice, F. (2001), *Atomi e vuoto: la concezione della materia di Giordano Bruno*, in «Physis», XXXVIII, pp. 337-355.

questa la prospettiva teorica vincente per il copernicanesimo e per Galileo non fu possibile trovare in altri che in Bruno la relazione risolutiva fra sistema copernicano e atomismo: su questo punto, è impensabile un'indipendenza galileiana. Dopo Bruno e Galileo, si cercarono anche altre nuove soluzioni, come il corpuscolarismo di Descartes, ma inizialmente, con Bruno e Galileo i problemi del copernicanesimo si legarono all'atomismo.

Se questa mossa teorica si mostrò fruttuosa dal punto di vista fisico, certamente moltiplicò i problemi dell'adesione al copernicanesimo dal punto di vista della sua ricezione da parte delle autorità ecclesiastiche. Non c'è bisogno di pensare all'adesione all'atomismo come il motivo nascosto indipendente alla base del processo e della condanna di Galileo, come proposto da Pietro Redondi: 7 in Bruno e in Galileo è chiaro che sistema copernicano e atomismo sono intrinsecamente connessi e inscindibili.

Galileo fu più prudente di Bruno sul problema dell'infinità dei mondi teorizzata dall'atomismo e da Bruno, ma è evidente che le osservazioni astronomiche di Galileo sembravano comunque confermare, con la scoperta dei quattro nuovi astri medicei e con la risoluzione della Via Lattea e delle nebulose in una moltitudine di stelle, l'idea dell'esistenza di infiniti mondi.⁸

Inoltre, era stato Bruno a liberare i corpi celesti dalle sfere matematiche (anche Brahe manteneva almeno quella delle stelle fisse) e a considerare il loro moto come libero e legato a un impeto che riprendeva dalle teorie medioevali di Buridano e Oresme e che sarà la base della nuova dinamica del moto e dei corpi terrestri e dei corpi celesti esplorata anche da Galileo. Come ho mostrato in altri due lavori, la fisica dell'impeto non era affatto una strada senza uscita abbandonata da Galileo sulla base dell'idea d'inerzia, anche perché Galilei non sviluppò affatto un principio d'inerzia.

D'altra parte, anche la relatività del moto tematizzata da Galileo nel *Dialogo* per salvare i fenomeni nel sistema in cui è la Terra a muoversi è letteralmente ripresa da *La cena* in Bruno: ¹⁰ rispetto alla discussione di Buridano e Oresme, solo quella di Bruno è defini-

⁷ Redondi, P. (1983, 2004), Galileo eretico, Torino, Einaudi.

⁸ Questa correlazione fu fatta immediatamente dai seguaci di Bruno in Inghilterra, come Thomas Harriot; e anche da Campanella: Campanellae, F. Thomae (1622), Apologia pro Galileo mathematico florentino, Tampachi, Francofurti; tr. it di Lotto, A., con testo latino a cura di Ditadi, G., Apologia di Galileo, Isonomia, Este (PD) 1992 e poi (2006), Apologia pro Galileo, a cura di Lerner, M. P., Pisa, Edizioni della Normale. Per la posizione di Keplero: Bucciantini, M. (2003), Galileo e Keplero. Filosofia, cosmologia e teologia nell'Età della Controriforma, Torino, Einaudi. Per Harriot e Campanella e altri nuovi scienziati in relazione a Bruno, si veda: Ricci, S. (1990), La fortuna del pensiero di Giordano Bruno. 1600-1750, Firenze, Le Lettere, pp. 49-129 (p. 83 per Campanella; per il problema dell'infinità in Galileo, si vedano ancora le pp. 96-101). Si veda anche per l'importanza della questione dell'immensità dell'universo (legata all'infinità bruniana: fra Saturno e le stelle fisse si era calcolata una distanza 760 volte circa la distanza fra la Terra e Saturno) nella condanna del copernicanesimo: Torrini, M. (1993), Galileo copernicano, in «Giornale critico della filosofia italiana». LXXII, fasc. I, pp. 26-42; Bucciantini, M. (1999), Teologia e nuova filosofia. Galileo, Federico Cesi, Giovambattista Agucchi e la discussione sulla fluidità e corruttibilità del cielo, con, in appendice Della penetrazione e corruttibilità del cielo di G. Agucchi (Giugno 1611), in Sciences et religions de Copernic à Galilée (1540-1610), Roma, École Française de Rome, pp. 411-442, in particolare p. 426. Sulla ricezione del Sidereus Nuncius è in preparazione un volume di Michele Camerota, Massimo Bucciantini e Franco Giudice.

⁹ Giannetto, E. (2001), *La relatività del moto e del tempo in Giordano Bruno*, in «Physis», XXXVIII, pp. 305-336; Giannetto, E. (2011), *Galileo, Modern Science and the Principle of Inertia*, in *Galilaeana*, in corso di stampa.

Giannetto, E. (2001), La relatività del moto e del tempo in Giordano Bruno, in «Physis», XXXVIII, pp. 305-336

216 Enrico R.A. Giannetto

tiva nella sua completezza (con la trattazione del caso del lancio di un sasso dalla cima dell'albero ma da parte di un uomo che stia su un ponte e che non partecipi al moto della nave). L'incompletezza della trattazione galileiana può essere spiegata solo in un modo: considerava la questione già ampiamente nota dall'opera di Bruno e non voleva tradire il suo riferimento implicito a Bruno nel ricalcarne tutta l'argomentazione.

3. Sistema copernicano e nuova ermeneutica delle Scritture

Se il sistema copernicano non si sarebbe potuto affermare e diffondere senza l'atomismo quale sua teoria fisica, certamente non si sarebbe potuto allo stesso modo affermare e diffondere all'interno di un contesto sociale e religioso cristiano, al di là delle divisioni portate dalla Riforma, senza una nuova ermeneutica delle Scritture che ne provasse la compatibilità con la rivelazione biblica.

Ora, anche questo è un dato di fatto storico, fu Giordano Bruno, nel quarto dialogo de *La cena de le ceneri*, ¹¹ a mostrare la compatibilità del sistema copernicano con una nuova ermeneutica delle Scritture, che troverà il suo compendio nella formula del cardinale Baronio citata da Galileo: la Bibbia non ci dice «come vada il cielo, ma come si vada in cielo». ¹² Anche in questo caso, l'indipendenza di Galileo da Bruno su questo punto è impensabile. I riferimenti di Galileo ai Padri della Chiesa come iniziatori di questa nuova ermeneutica sono meri espedienti retorici per mostrare che non ci fosse conflitto con la tradizione del magistero della Chiesa, dove invece effettivamente sussisteva; ¹³ solo Bruno aveva inaugurato questa nuova esegesi.

Di solito, l'originalità della posizione di Galileo viene discussa attraverso la metafora del libro della Natura¹⁴ che costituisce una rivelazione divina, cui, per le questioni riguardanti appunto la Natura, è subordinata la stessa rivelazione biblica, in virtù del suo essere una rivelazione diretta della Natura e cogente.

¹¹ Bruno, G. (1958, 1983), La cena de le ceneri, in Dialoghi Italiani. Dialoghi metafisici e dialoghi morali, nuovamente ristampati con note da Gentile, G., terza edizione a cura di Aquilecchia, G., Firenze, Sansoni, vol. I, Dialogo IV, pp. 120-142; Bruno, G. (1995), La cena de le ceneri (1584), in Oeuvres Italiannes, edizione critica a cura di Aquilecchia, G., in Oeuvres Completes de Giordano Bruno, dir. Hersant, Y. and Ordine, N.; tr. franc. a cura di Hersandt, Y., Préface de Ophir, A., Paris, Les Belles Lettres, vol. II; in Opere italiane I-II, testi critici di Aquilecchia, G., Torino, Utet 2000, vol. II; Dialoghi filosofici italiani, a cura di Ciliberto, M., Milano 2000, Dialogo IV, pp. 91-107.

¹² Galilei, G. (1968), *Lettera a Cristina di Lorena*, Primavera-Estate 1615, in *Le Opere di Galilei I-XX*, a cura di Favaro, A., Edizione nazionale 1890-1909, ristampate da Barbera, Firenze, vol. V, pp. 307-348 e in Galilei, G. (2009), *Scienza e Religione. Scritti Copernicani*, a cura di Bucciantini, M. – Camerota, M., Roma, Donzelli, pp. 33-84, in particolare p. 47.

¹³ Galilei, G. (1968), Lettera a Benedetto Castelli, 21 dicembre 1613, in Le Opere di Galilei I-XX, a cura di Favaro, A., Edizione nazionale 1890-1909, ristampate da Barbera, Firenze 1968, vol. V, pp. 264-288 e in Galilei, G. (2009), Scienza e Religione. Scritti Copernicani, a cura di Bucciantini, M. – Camerota, M., Roma, Donzelli, pp. 3-16; Galilei, G. (1968), Lettera a Cristina di Lorena, Primavera-Estate 1615, in Le Opere di Galilei I-XX, a cura di Favaro, A., Edizione nazionale 1890-1909, ristampate da Barbera, Firenze 1968, vol. V, pp. 307-348, e in Galilei, G. (2009), Scienza e Religione. Scritti Copernicani, a cura di Bucciantini, M., – Camerota, M., Roma, Donzelli, 2009, pp. 33-84.

¹⁴ Blumenberg, H. (1981), *Die Lesbarkeit der Welt, Suhrkamp*, Frankfurt am Main; tr. it. a cura di Bodei, R., *La leggibilità del mondo. Il libro come metafora della Natura*, Bologna, il Mulino, 1984.

Per Galileo, la Natura, tutta corporea e materiale anche a livello del mondo celeste, poteva essere considerata espressione di un Logos divino: Galileo, per comprendere questa rivelazione, riproponeva, implicitamente, la distinzione stoica, ripresa anche nell'ambito della teologia cristiana, fra Logos proferito (prophorikòs) e Logos proferente (endiàthetos). 15 Sicuramente è singolare che, nelle lettere a Benedetto Castelli e a Cristina di Lorena (che in qualche modo era una risposta alla lettera di Bellarmino a Foscarini) in cui Galileo appunto ne parlava, nel discutere del Verbo divino non facesse alcun riferimento all'incarnazione in Gesù, parlasse di bestemmie nell'attribuzione di piedi, mani e occhi a Dio (il Verbo non aveva assunto in Gesù la natura umana, e quindi proprio piedi, mani e occhi?), e invece il riferimento fosse alla Natura come rivelazione del Verbo. Questo motivo, a mio avviso, si comprende solo in base al fatto che l'universo come espressione-rivelazione di Dio era proprio quanto tematizzato da Bruno, radicalizzando il pensiero di Cusano. Al di là dei rischi panteistici di questa prospettiva teologica nell'enfasi del riferimento, già stoico e in Bruno, del Logos all'universo più che al Cristo, tale punto di vista faceva sì che la scienza della Natura stessa si ponesse, nei termini bruniani, come una nuova rivelazione che richiedeva gli scienziati come esegeti della stessa Bibbia.

La stessa contrapposizione galileiana dell'universo come filosofia ai libri aveva i toni della critica radicale di Bruno nei confronti dei «vani matematici» che avevano costretto l'universo nella gabbia tolemaica delle sfere (l'affermazione di Bruno va compresa contestualmente), e aveva forse implicitamente, e comunque di fatto, un riferimento non solo ai libri aristotelici, ma anche ai libri per eccellenza, quelli della Bibbia.

La spiegazione ermeneutica della Bibbia e della Natura, seppure fondasse teologicamente il sistema copernicano, certamente moltiplicò ulteriormente, oltre la spiegazione fisica atomistica, i problemi dell'adesione al copernicanesimo dal punto di vista della sua ricezione da parte delle autorità ecclesiastiche, e tutto questo era legato a Bruno.

4. La nuova rivelazione astronomica

È nel *Sidereus Nuncius* del 1610 che Galileo mostra massimamente questa sua dipendenza da Bruno. Sul significato di quest'opera galileiana si accese subito il dibattito, anche in relazione alla prospettiva di Bruno. ¹⁶ Qui, potranno essere soltanto accennati solo alcuni

¹⁵ Galilei, G. (1968), *Lettera a Benedetto Castelli*, 21 Dicembre 1613, in *Le Opere di Galilei I-XX*, a cura di Favaro, A., Edizione nazionale 1890-1909, ristampate da Barbera, Firenze 1968, vol. V, pp. 264-288 e in Galilei, G. (2009), *Scienza e Religione. Scritti Copernicani*, a cura di Bucciantini, M., – Camerota, M., Roma, Donzelli, pp. 3-16, in particolare pp. 8-9, dove sia la Bibbia sia la Natura sono considerate espressioni del Verbo divino; lo stesso passo è presente anche in Galilei, G. (1968), *Lettera a Cristina di Lorena*, Primavera-Estate 1615, in *Le Opere di Galilei I-XX*, a cura di Favaro, A., Edizione nazionale 1890-1909, ristampate da Barbera, Firenze 1968, vol. V, pp. 307-348, e in Galilei, G. (2009), *Scienza e Religione. Scritti Copernicani*, a

cura di Bucciantini, M., & Camerota, M., Roma, Donzelli, 2009, pp. 33-84, in particolare p. 43.

16 Sulla ricezione del *Sidereus Nuncius* è in preparazione, come già riferito, un volume di Michele Camerota, Massimo Bucciantini e Franco Giudice. Si possono vedere intanto: Camerota, M. (2004), *Galileo Galilei e la cultura scientifica nell'Età della Controriforma*, Roma, Salerno, Bucciantini, M. (2003), *Galileo e Keplero. Filosofia, cosmologia e teologia nell'Età della Controriforma*, Torino, Einaudi.

218 Enrico R.A. Giannetto

temi che mostrano una connessione di Galileo con Bruno indipendentemente dalla questione dell'infinità dell'universo, su cui come già detto, Galileo era senz'altro più prudente.

Già nel titolo, Galileo dichiara che si tratta di una rivelazione: è un annuncio celeste, una «buona novella celeste» quella di cui Galileo è il messaggero, perché secondo il salmo 19.1, come aveva parafrasato Bruno, «i cieli narrano la Gloria di Dio».

Galileo aveva trovato il modo di realizzare il sogno bruniano di traversare i cieli oltre le inesistenti sfere: gli era bastato un cannocchiale, un umile strumento ottico, frutto della vile meccanica, come nuova pietra angolare scartata dai costruttori della scienza precedente, a trasportarlo vicino ai corpi celesti per poterli ammirare direttamente oltre i limiti del mondo sublunare (fu il cannocchiale, in quanto strumento non invasivo come altri successivi, il 'cavallo di Troia', il *dolos*, la *metis* che permise alla tecnica meccanica del metodo sperimentale di non presentarsi come violenza sulla Natura, ma addirittura a legittimarsi come mero strumento di rivelazione della Gloria di Dio nella Natura).

La «stellarizzazione della Terra», di cui parla Blumenberg, ¹⁷ presente in Bruno, ¹⁸ e ancora prima in Leonardo e derivata da Niccolò Cusano, ¹⁹ ricorre nel *Sidereus Nuncius* ed è la dimostrazione della dipendenza di Galileo da Bruno nell'interpretazione delle sue nuove osservazioni astronomiche.

E subito dopo, nel 1612, nell'introduzione al testo delle *Lettere sulle macchie solari*, in cui annunciava appunto l'osservazione delle macchie solari che comportavano la corruttibilità della materia solare, ci doveva essere una lettera di Marc Welser, poi modificata per motivi censori, dove veniva citato il passo del *Vangelo di Matteo* 11.12b, tradotto in una maniera opportuna quanto erronea, – «il Regno dei cieli si acquista con la forza e i violenti se ne impadroniscono» (la traduzione corretta è «il Regno dei cieli soffre violenza... ») –, e interpretato come atto positivo effettuato dagli astronomi che avrebbero svelato i misteri del Regno dei cieli.²⁰ Anche in questo caso, Galileo, come Bruno, si concepiva portatore di una rivelazione divina, cui solo i nuovi astronomi potevano avere accesso.

¹⁷ Blumenberg, H. (1960), *Paradigmen zu einer Metaphorologie*, in *Archiv für Begriffsgeschichte*, vol. VI, Bouvier, Bonn; tr. it. di Serra Hatsberg, M. V., introduzione e cura di Melandri, E., *Paradigmi per una meta-forologia*, Bologna, Il Mulino, 1969, pp. 148-154.

¹⁸ Bruno, G. (1958, 1983), *La cena de le ceneri*, in *Dialoghi Italiani*. *Dialoghi metafisici e dialoghi morali*, nuovamente ristampati con note da Gentile, G., terza edizione a cura di Aquilecchia, G., Firenze, Sansoni, vol. I; Bruno, G. (1995), *La cena de le ceneri* (1584), in *Oeuvres Italiennes*, edizione critica a cura di Aquilecchia, G., in *Oeuvres Completes de Giordano Bruno*, dir. Hersant, Y. and Ordine, N.; tr. franc. a cura di Hersandt, Y., Préface de Ophir, A., Paris, Les Belles Lettres, vol. II; in *Opere italiane I-II*, testi critici di Aquilecchia, G., Torino, Utet, 2000, vol. II, *Dialoghi filosofici italiani*, a cura di Ciliberto, M., Milano, 2000. Per Galileo, si veda: Galilei, G. (1610), *Sidereus Nuncius*, in *Le Opere di Galilei I-XX*, a cura di Favaro, A. Edizione nazionale 1890-1909, ristampate da Barbera, Firenze 1968, vol. III, parte I; *Sidereus Nuncius*. *Le messager Céleste*, cura e tr. franc. di Pantin, I., Paris, Les Belles Lettres, 1992; *Sidereus Nuncius*, tr. it. con testo latino a fronte di Timpanaro Cardini, M., a cura di Battistini, A., Padova, Marsilio, 2001, p. 119; tr. it. di Bascelli, T. con introduzione e note di Shea, W. & Bascelli, T., Venezia, Marcianum Press, 2009.

¹⁹ Cusano, N. (1440), De docta ignorantia, in Opera Omnia, a cura di Hoffmann, E. & Klibansky, R., Leipzig 1932, vol. I, Libro II, cap. XII, §§ 162-174; Duhem, P. (1906-1913) Études sur Léonard De Vinci – Ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu I-II, Les précurseurs parisiens de Galilée III, Paris, Hermann, e poi Paris, De Nobele, 1955, vol. II, pp. 97-280.

²⁰ Shea, W. (1986), Galileo and the Church, in God and Nature: Historical essays on the Encounter between Christianity and Science, a cura di Lindberg, D. C. & Numbers, R. L., London-Berkeley-Los Angeles, University of California Press; tr. it. parziale a cura di Lombardi, P., Galileo e la Chiesa, in Dio e Natura – Saggi storici sul rapporto fra cristianesimo e scienza, Firenze, La Nuova Italia, 1994, pp. 123-151, in particolare

Le stesse macchie solari attestavano secondo Galileo una rotazione del Sole, cosa già affermata da Bruno.

5. I due processi

Chiaramente, la discussione del problema del processo di Galileo già da solo richiederebbe almeno un approfondimento monografico. Qui si può solo fare un rilievo generale su un'assenza importante nei vari studi che sono stati dedicati all'argomento: quasi mai è citato il processo a Bruno neanche per una comparazione. Al contrario, ritengo che fra i due processi vi sia una connessione fondamentale ancora da esplorare, cui qui accenno soltanto. Tutti gli elementi prima discussi portano a concludere che, nella condanna del copernicanesimo da parte delle autorità ecclesiastiche, fossero presenti anche una condanna dell'atomismo, una condanna della nuova ermeneutica delle Scritture non in linea con la tradizione e il magistero della Chiesa, una condanna della teologia sottostante e anche una condanna delle pretese rivelazioni della scienza, ovvero tutti gli elementi legati al nome di Bruno. Si deve tener conto che il primo ammonimento di Galileo del 1616 era correlato al cardinale Roberto Bellarmino che aveva determinato la condanna di Giordano Bruno nel 1600: Bellarmino, nella lettera a Foscarini del 1615, precisando i vari punti, considerava il sistema del mondo copernicano senza eccentrici ed epicicli, cosa che rinviava implicitamente a Bruno che per primo li aveva eliminati dal sistema copernicano.²¹

Non si può allora evitare la conclusione che Galileo fosse un seguace di Bruno in tutti questi rispetti e che la sua condanna e il suo processo non fossero altro che la continuazione della condanna e del processo di Bruno. Galileo aveva dotato il brunianesimo di osservazioni astronomiche artificiali, che ne confermavano straordinariamente le prospettive, in una nuova maniera che pretendeva di essere inconfutabile e definitiva. Galileo fu condannato per brunianesimo che pure implicava, nella sua visione dell'universo, la possibile negazione del dogma dell'incarnazione del *Logos* in Cristo e conseguentemente della Trinità e la sostituzione della rivelazione biblica con la rivelazione scientifica.

p. 130; Galilei, G. (1612), Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari, in Le Opere di Galilei I-XX, vol. V, p. 93.

21 Bellarmino, R. (2009), Lettera a Paolo Antonio Foscarini del 12 Aprile 1615, in Galilei, G. (2009), Scienza

²¹ Bellarmino, R. (2009), Lettera a Paolo Antonio Foscarini del 12 Aprile 1615, in Galilei, G. (2009), Scienza e Religione. Scritti Copernicani, a cura di Bucciantini, M. & Camerota, M., Roma, Donzelli, 2009, pp. 155-159. Per il processo a Galileo, è ancora fondamentale: De Santillana, G. (1955), The crime of Galileo, Chicago, The University of Chicago Press; tr. it., Processo a Galileo, Milano, Mondadori, 1960. Per una discussione più recente: Camerota, M. (2004), Galileo Galilei e la cultura scientifica nell'età della controriforma, Roma, Salerno; Guerrini, L. (2010), Cosmologie in lotta. Le origini del processo di Galileo, Firenze, Polistampa.

Galileo e la difesa del copernicanesimo

Gianni Bonera, Dipartimento di Fisica

Abstract: Nel novembre del 1609 Galileo rivolse per la prima volta il suo nuovo cannocchiale verso il cielo e ciò che vide gli confermò la validità del sistema copernicano che da quel momento difese e propagandò strenuamente con molta abilità e, forse, con un po' d'arroganza. Ma con quali risultati? In questa relazione, a carattere storico-didattico, cercheremo di rispondere a questa domanda, dopo aver brevemente discusso le ricerche di Galileo prima del novembre 1609, presentato in modo corretto ed esauriente i diversi sistemi planetari accreditati in quel periodo, discusso il ruolo avuto dal cannocchiale nelle osservazioni celesti e analizzate in modo critico le osservazioni astronomiche realizzate da Galileo tra il 1609 e il 1610.

In November 1609, Galileo for the first time turned his telescope toward the sky and what he saw confirmed the validity of the Copernican system that subsequently he strenuously defended and propagated with great skill and, perhaps, with a little arrogance. But with what results? In this historical-educational report, we will try to answer this question after a) a brief discussion of Galileo's research before November 1609; b) a precise and exhaustive presentation of the different planetary systems of the time; c) a discussion of the telescope's role in astronomical observations and d) a critical analysis of the astronomical observations made by Galileo between 1609 and 1610.

1. Il copernicanesimo di Galileo prima del 1609

Galileo (1564-1642) si professò copernicano fin dal 1597. In una lettera all'amico e maestro Jacopo Mazzoni (1548-1598) del 30 Maggio, la commento del trattato appena apparso² scriveva di essere rimasto:

confuso e timido, vedendo V. S. Eccellentissima tanto resoluta e francamente impugnare la opinione de i Pitagorici e del Copernico circa il moto e sito della terra; la quale [è] da me stata tenuta per assai più probabile dell'altra di Aristotile e di Tolomeo.

Inoltre, in una successiva lettera del 4 Agosto a Keplero (1571-1630), per ringraziarlo del nuovo libro che aveva appena ricevuto, precisava:

E lo farò tanto più volentieri [la lettura del Mysterium cosmographicum] per il fatto che molti anni fa sono venuto dell'opinione di Copernico [in Copernici senten-

¹ La corrispondenza verrà citata direttamente nel testo indicandone la data. Il testo completo è reperibile in *Opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale a cura di A. Favaro, Firenze, Barbera, 1890-1909 (In seguito EN), vol. X e seguenti.

² Jacopo Mazzoni, In universam Platonis et Aristotelis philosophiam preludia, Venezia, 1597.

tiam venerim] e da tale posizione sono state da me anche scoperte le cause di molti effetti naturali che senza dubbio sono inspiegabili per mezzo di ipotesi comuni. Ho scritto inoltre molte ragioni e confutazioni degli argomenti contrari.³

Ma quali erano gli «effetti naturali» che potevano essere spiegati *solo* ammettendo i moti della Terra? Lo stesso Keplero, dopo aver richiesto invano a Galileo maggiori precisazioni, avanza una ipotesi in una lettera a Herwart von Hohenburg (1553-1622) del 26 marzo 1598:

Dal rapporto tra i venti ed i moti dei mari tu ritieni si deducano argomenti per il moto della Terra, [...] e siccome poco fa Galileo, Matematico Patavino, in lettera a me inviata, avrebbe affermato di avere dedotto, dall'ipotesi di Copernico, in modo esattissimo le cause di moltissimi fatti della natura, che gli altri non possono riprodurre dalle nozioni comuni, [...] io supposi che ciò riguardasse il flusso del mare. Ma tuttavia, se soppeso più accuratamente la cosa, non ci sembra di doverci allontanare dalla luna, fintanto che cerchiamo di dedurre da quella le ragioni dei flussi.⁴

In effetti Galileo nella lettera a Cristina di Lorena del 1615⁵ parlerà ancora, a sostegno del sistema copernicano, di «effetti naturali, le cause de' quali in altro modo non si possono assegnare» e l'anno successivo presenterà al Cardinale Orsini il *Discorso del flusso e reflusso del mare*⁶ nel quale, assumendo che «la ragione dei flussi e dei reflussi delle acque marine potesse resiedere in un movimento dei vasi che le contengono», ipotizza i moti della terra (rotazione e rivoluzione) come possibili cause delle maree «prendendo quello come cagione di questo e questo come indizio ed argomento di quello».

Per quanto riguarda invece «le molte ragioni e confutazioni degli argomenti contrari» al sistema copernicano addotte dagli aristotelici, Galileo si riferiva molto probabilmente ai suoi studi in corso sul moto naturale e violento dei corpi che dimostravano, in più occasioni, l'inconsistenza della fisica di Aristotele sulla quale tali confutazioni erano basate.⁷

Galileo si pose infatti in una posizione antiaristotelica fin dai suoi primi studi di meccanica iniziati a Pisa nel periodo in cui era professore di matematica presso lo Studio

³ Lo stesso Keplero in una lettera a Maestlin (1550-1631) del settembre 1597 scriveva: «Anche in Italia ho mandato due copie del mio opuscolo che il matematico padovano di nome Galileo Galilei ha ricevuto con animo grato. È egli stesso da molti anni copernicano [in Copernicana haeresi]».

⁴ In latino nell'originale.

⁵ Riportata in EN, vol. V, pp. 307-348.

⁶ EN, vol. V, pp. 373-398.

⁷ Ricordiamo quanto afferma lo stesso Tolomeo nell'introduzione all'*Almagesto*, riferendosi in particolare a Eraclide: «Ci sono alcuni che [...] ritengono che [...] il cielo sia immobile e la Terra ruoti attorno allo stesso asse da occidente verso oriente, compiendo un giro ogni giorno. [...] Ora, per quanto concerne i fenomeni celesti, non c'è forse nulla che si oppone a che la cosa stia secondo questa più semplice congettura; ma sfugge a costoro che, in base a ciò che accade tra noi nell'aria, siffatta tesi non può che apparire del tutto ridicola. Infatti [se la Terra ruotasse], tutti i corpi non appoggiati alla terra appariranno compiere un solo movimento, quello contrario alla Terra, e non si vedrà mai andare verso oriente una nuvola, né nient'altro che voli o sia scagliato».

di quella città (1589-1592) e i cui risultati sono riportati in un trattato inedito, il De motu, elaborato in quel periodo.

In particolare per quanto riguarda il moto caduta dei corpi (moto naturale), in opposizione a quanto scritto da Aristotele («Di quei mobili che sono della medesima specie Aristotele diceva che si muove più velocemente quello che è più grande, 4 Caeli t. 26») afferma:

Diciamo dunque che mobili della medesima specie (vengono detti della medesima specie quelli che sono formati dalla medesima materia, come piombo, oppure legno, etc.) quantunque differiscano nella mole, si muovono tuttavia con la medesima celerità, ed un sasso più grande non discende più celermente di uno più piccolo. Coloro che si stupiscono di questa conclusione, si stupiranno altresì che tanto una trave grandissima quanto un piccolo legno possano galleggiare.

A conferma di ciò presenta tra l'altro questo semplice ma efficace esperimento mentale:

Se supponiamo che a e b siano mobili uguali e siano vicinissimi fra loro, allora, siamo tutti d'accordo, si muoveranno con uguale celerità: pertanto, se immaginiamo che essi durante il movimento si uniscano, perché, domando, come voleva Aristotele, raddoppieranno la celerità del moto o la aumenteranno?⁹

Inoltre, come già affermato da Platone, ritiene che non esistono corpi assolutamente leggeri, ma si muoveranno verso l'alto quei corpi, pur essi pesanti, la cui densità è minore di quella del mezzo in cui si trovano, come il legno nell'acqua. Di conseguenza:

Siccome in ogni mezzo i pesi dei gravi diminuiscono di tanto quanto sarebbe il peso della parte di quel mezzo uguale alla mole del solido, è evidente che pesi integri e non diminuiti dei solidi si avranno solo in quel mezzo il quale non abbia nessun gravità: ma tale è solamente il vuoto. 10

Come in altri passi del trattato, Galileo afferma quindi, contrariamente ad Aristotele, l'esistenza del vuoto.

Trasferitosi a Padova nel 1592, continuerà le sue ricerche sul moto naturale e violento dei corpi ottenendo importanti risultati¹¹ che gli dimostreranno in modo sempre più evidente l'inconsistenza delle obbiezioni al sistema copernicano costruite sulla fisica aristotelica. Purtroppo in questo periodo Galileo non produrrà alcun documento e i suoi risultati ci sono giunti solo attraverso la corrispondenza privata, oltretutto abbastanza scar-

⁸ Citato spesso come *De motu antquiora*, dal titolo originale riportato sulla copertina del Codice che conserva il manoscritto autografo. Si tratta in realtà di una pluralità di versioni della stessa teoria del moto. EN, vol. I,

EN, vol. I, p. 265. Secondo il Viviani, che gli fu vicino negli ultimi anni di vita nell'esilio di Arcetri, Galileo verificò tale risultato con il famoso esperimento dalla torre di Pisa, sulla cui effettiva realizzazione gli storici hanno oggi qualche dubbio.

¹⁰ EN, vol. I, p. 295.

¹¹ Per una descrizione dettagliata di tali risultati e della loro dimostrazione si veda G. Bonera, Galileo e la caduta dei gravi, «Giornale di Fisica», vol. 49, pp. 73-110 (2008).

sa, e attraverso una folta serie di manoscritti non facilmente databili. ¹² Si può tuttavia affermare che alla fine del 1609, quando i suoi interessi verranno distratti dalle osservazioni astronomiche e dalle successive diatribe, Galileo aveva ormai ottenuto la maggior parte dei risultati di meccanica¹³ che costituiranno la Giornata Terza e Quarta dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* ¹⁴ la cui stesura definitiva avverrà solo tra il 1633 e il 1638 durante l'esilio di Arcetri, non senza grosse difficoltà. ¹⁵

Tra i risultati più significativi, che verranno successivamente utilizzati da Galileo nella sua *campagna* in difesa di Copernico, ricordiamo:

a. L'isocronismo delle oscillazioni pendolari enunciato per la prima volta in una lettera a Guidobaldo del Monte del 29 novembre 1602:

Piglio dunque due fili sottili, lunghi ugualmente due o tre braccia l'uno e siano AB, EF, e gli appicco a due chiodetti A, E, e nell'altre estremità B, F lego due palle di piombo uguali (se ben niente importa se fussero disuguali), ¹⁶ rimuovendo poi ciascuno de' detti fili dal suo perpendicolo, ma uno assai, come saria per l'arco CB, e l'altro pochissimo, come saria secondo l'arco IF; gli lascio poi nell'istesso momento di tempo andar liberamente, e l'uno comincia a descrivere archi grandi, simili al BCD, e l'altro ne descrive de' piccoli, simili all'FIG; ma non però consuma più tempo il mobile B a passare tutto l'arco BCD, che si faccia l'altro mobile F a passare l'arco FIG.

b. La legge sulla caduta libera dei corpi enunciata per la prima volta in una lettera a Paolo Sarpi del 16 ottobre 1604:

Gli spazii passati dal moto naturale esser in proporzione doppia dei tempi, et per conseguenza gli spazii passati in tempi eguali esser come i numeri impari *ab unitate*.

c. Un teorema riguardante il tempo di caduta lungo piani inclinati:

I tempi di caduta di uno stesso mobile lungo piani in diverso modo inclinati AB, AC, ma aventi la stessa altezza AD, stanno tra loro come le rispettive lunghezze.¹⁷

da cui deriva che la velocità media sarà la stessa lungo tutti i piani inclinati e quindi essendo nel moto di caduta (uniformemente accelerato) il valore di tale velocità pari a metà del valore della velocità finale si ricava che:

¹² Tali manoscritti sono raccolti nel Codex 72, conservato presso la Biblioteca Nazionale di Firenze e ora consultabile e scaricabile in rete nel sito: http://www.mpiwgberlin.mpg.de/Galileo_Prototype/INDEX.HTM.

¹³ Il 7 maggio 1610 in una lettera a Belisario Vinta scrive essere sua intenzione di «condurre a fine [...] tre libri "De motu locali", scienza interamente nuova, non avendo alcun altro, né antico né moderno, scoperto alcuno de i moltissimi sintomi ammirandi che io dimostro essere ne i movimenti naturali e ne i violenti, onde io la posso ragionevolissimamente chiamare scienza nuova e ritrovata da me sin da i suoi primi principi».

 ¹⁴ G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, EN, vol. VIII, pp. 11-318.
 15 La struttura di queste giornate, costituita da teoremi e dimostrazioni in latino, collegate da scarsi dialoghi in Italiano potrebbe essere dovuta non tanto alla necessità di rinvolgersi a due distinti lettori, il filosofo naturale (latino) e il *bombardiere* (italiano), ma alla fretta di realizzare l'opera utilizzando direttamente i vecchi manoscritti in latino.

¹⁶ Ciò a conferma del fatto che corpi della stessa sostanza cadono con la stessa velocità.

¹⁷ Infatti t(ab) = $\sqrt{2AB/g} \sin ABD = \sqrt{2AB/g} (AD/AB) = AB \sqrt{2/g} AD$.

I gradi di velocità acquistati da uno stesso mobile cadendo lungo piani diversamente inclinati, ma aventi la stessa altezza, sono tra loro eguali. 18

d. Infine, viene mostrato come un proiettile descriva una traiettoria parabolica, risultante dalla combinazione *indisturbata* di un moto orizzontale uniforme e di un moto verticale uniformemente accelerato. In particolare in una lettera ad Antonio de' Medici dell'11 febbraio 1609 afferma:

Sono adesso intorno ad alcune questioni che mi restano intorno al moto de i proietti, tra le quali molte appartengono a i tiri dell'artiglierie: et pure ultimamente ho ritrovata questa, che ponendo il pezzo sopra qualche luogo elevato dal piano della campagna, et appuntandolo livellato giusto, la palla uscita del pezzo, sia spinta da molta o da pochissima polvere o anco da quanta basti solamente a farla uscir del pezzo, viene sempre declinando et abbassandosi verso terra con la medesima velocità, sì che *nell'istesso tempo*, in tutti i tiri livellati, la palla arriva in terra; et siano i tiri lontanissimi o brevissimi, o pure anco esca la palla del pezzo solamente e caschi a piombo nel piano della campagna. Et l'istesso occorre ne i tiri elevati, li quali si spediscono tutti nell'istesso tempo, tuttavolta che si alzino alla medesima altezza perpendicolare.

2. I massimi sistemi del mondo

La seconda parte della lettera del 1597 a Keplero, precedentemente richiamata, ci fornisce una immagine realistica del contesto culturale dell'epoca. Riferendosi ai suoi risultati, Galileo afferma:

fino ad ora ho preferito non pubblicar[li] spaventato¹⁹ dalla fortuna dello stesso nostro maestro Copernico, il quale, benché abbia acquistato fama immortale presso alcuni, è tuttavia deriso e disapprovato da infiniti (tale è infatti la moltitudine degli stolti). Oserei senza dubbio presentare le mie considerazioni [se fossero rivolte] a molti quali tu sei. Ma siccome così non è, soprassederò a questo affare.²⁰

¹⁹ Ciò può giustificare il fatto che nel manoscritto *Trattato della sfera ovvero Cosmografia* scritto dallo stesso Galileo in quegli anni «per utile e diletto de' suoi discepoli» non si faccia alcun cenno esplicito a Copernico, ma solo accidentalmente viene detto che «non sono mancati grandissimi filosofi e matematici, i quali, stimando la terra essere una stella, l'hanno fatta mobile. Nulladimeno, seguitando noi il parere d'Aristotele e di Tolomeo, addurremo quelle ragioni, per le quali si possa credere, lei essere totalmente stabile». EN, vol. II, p. 210. Meraviglia tuttavia che a conferma della centralità della Terra viene addotto il fatto «che la meta del cielo è da noi continuamente veduta» che è la stessa prova addotta dal Mazzoni contro la teoria eliocentrica di Copernico e che viene confutata da Galileo. È pur vero che l'attribuzione dell'opera a Galileo non è del tutto certa.

¹⁸ Ouesto risultato verrà assunto come *Principio* nella stesura definitiva dei *Discorsi*.

²⁰ Keplero rispose con grande rapidità il 13 settembre dello stesso anno, ricambiando le espressioni di stima, commiste, tuttavia, a un certo stupore per la sua prudenza: «Avrei preferito che, con la vostra alta intelligenza, voi aveste assunto un'altra posizione. Con il vostro abile riserbo, voi avete sottolineato, con l'esempio, l'atteggiamento di ritirarsi davanti all'ignoranza del mondo, e di non provocare alla leggera, il furore dei dottori ignoranti. Ma considerato che ai nostri tempi, Copernico e, dopo di lui, una folla di dotti matematici, hanno dato inizio a questa impresa immensa, in guisa che il moto della Terra non è più una

La teoria copernicana a cinquant'anni dalla sua formulazione era quindi contrastata dal mondo *accademico*, anzi era *derisa* e per di più ritenuta contraria alla Sacra Scrittura. La descrizione dell'Universo continuava a essere di tipo geocentrico o almeno geostatico.

Prima però di affrontare le diverse descrizioni dell'Universo, soffermiamoci un attimo a osservare il cielo; non sarà difficile notare due movimenti principali: il moto²¹ di rotazione da est a ovest di tutta la sfera celeste intorno ad un asse passante per i poli terrestri (moto diurno) e i moti propri del Sole, della Luna e dei Pianeti rispetto alla sfera celeste, cioè alle stelle la cui posizione reciproca sembra²² rimanere fissa (cielo delle Stelle fisse). A differenza del moto proprio del Sole e della Luna che ci appare circolare e quasi uniforme, il moto proprio dei singoli pianeti è complesso: talvolta il pianeta sembra rallentare, fermarsi e invertire il senso del moto (moto retrogrado) per poi riprendere il proprio moto diretto (vedi Figura 1):

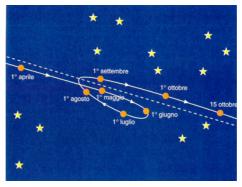


Figura 1. Il moto retrogrado di Marte

Questi moti hanno scandito il tempo nella vita dell'uomo fin dall'antichità. Come scrive Platone (428-348 a.C.):²³

Adunque si generò il tempo insieme con il cielo, acciocché, generati insieme, si sciolgano ancora insieme, se mai scioglimento alcuno a loro avvenisse. [...]

novità, sarebbe meglio spingere, mediante sforzi comuni, verso la sua meta, questo grande carro che si è già messo in moto». Galileo non rispose mai a questa lettera, e la corrispondenza fra i due studiosi si interruppe per molti anni

per molti anni. ²¹ Parliamo evidentemente del moto *apparente*, cioè del moto quale *appare* ad un osservatore solidale con la Terra. Il primo moto è dovuto alla rotazione della Terra intorno al proprio asse, mentre il secondo è dovuto per il Sole al moto di rivoluzione della Terra, per i pianeti al moto risultante dalla combinazione del moto di rivoluzione della Terra e quello del Pianeta stesso, mentre per la Luna al suo moto di rivoluzione attorno alla Terra.

²² Gli effetti del moto di rivoluzione della Terra sulla posizione delle stelle possono essere apprezzati solo con strumenti molto precisi (parallasse stellare). La prima osservazione di tale moto risale al 1838 e fu realizzata da Bessel sulla stella 61Cigno.

²³ Un concetto analogo è riportato nella Bibbia «¹⁴Dio disse: "Ci siano luci nel firmamento del cielo, per distinguere il giorno dalla notte; ¹⁵servano da segni per le stagioni, per i giorni e per gli anni". E così avvenne: ¹⁶Dio fece le due luci grandi, la luce maggiore per regolare il giorno e la luce minore per regolare la notte, e le stelle». *Genesi*, I.

Perché il tempo fosse generato furono foggiati il Sole, la Luna e gli altri cinque pianeti, per definire il numero del tempo e per determinarne la conservazione. E Dio, formati i corpi di ciascuno di essi, li ha posti in numero di sette nelle sette orbite. [...]. In quella delle orbite che è posta per seconda²⁴ rispetto alla Terra, Dio accese quel lume che noi ora chiamiamo Sole, affinché il cielo ovunque fosse luminoso.[...] Così dunque nacquero il giorno e la notte, che formano il periodo del movimento circolare unico e fra tutti il più razionale [la rotazione di tutta la volta celeste]. E così nacque il mese, quando la Luna percorsa la sua orbita, raggiunge il Sole. E così nacque l'anno quando il Sole per intero ha percorso la sua orbita.²⁵

Quanto ai periodi degli altri pianeti, poiché gli uomini, tranne pochissimi²⁶, non li conoscono, non è stato dato un nome, per cui l'uomo non sa che il tempo è misurato anche dai loro giri, che sono infiniti e meravigliosamente perfetti [...]. Fu così e per questa ragione che furono generati tutti gli astri che percorrono il cielo, sì che questo mondo fosse, per quanto possibile, simile all'essere vivente, perfetto ed intelligibile, grazie a questa imitazione della sua eterna essenza.²⁷

Ed è ancora Platone a indicare la via per una descrizione di questi movimenti:

Le stelle sono oggetti eterni e immutabili e si muovono con velocità uniforme attorno alla Terra e descrivono la più regolare e perfetta di tutte le traiettorie: quella della circonferenza senza fine. Ma alcuni oggetti [i pianeti] vagano attraverso il cielo; [...] tuttavia essendo anch'essi corpi celesti i loro moti devono derivare da qualche combinazione di cerchi perfetti e uniformi.²⁸

2.1. Le sfere omocentriche di Eudosso

Come riferisce Simplicio (~ 490-550):

Primo dei greci, Eudosso di Cnido ha fama di aver assunto queste ipotesi, dopo che Platone aveva proposto a quelli che si occupano di queste cose il seguente problema: quali sono i movimenti uniformi e regolari la cui assunzione salva completamente i fenomeni relativi ai

 $^{^{24}}$ Secondo Platone l'ordine degli astri intorno alla Terra era infatti: Luna, Sole, Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno.

²⁵ La diversa posizione del Sole rispetto alle stelle fisse determina un diverso sorgere e tramontare delle stelle *insieme* al Sole (levata e tramonto eliaci) nei diversi periodo dell'anno. «Quando le Pleiadi sorgono, figlie di Atlante, /la mietitura incomincia: l'aratura al loro tramonto». Esiodo (VIII sec. A. C). Il sorgere eliaco di Siro dava inizio all'anno nell'antico Egitto.

²⁶ Nella *Divina Commedia* Dante, per indicare l'anno di nascita di Cacciaguida si serve dell'*anno sidereo* di Marte, cioè il periodo di tempo intercorrente tra due successivi passaggi di Marte nella stessa costellazione zodiacale (in questo caso il Leone) pari a 687 giorni (valore riportato nell'Almagesto): «Al suo Leon cinquecento cinquanta / e trenta fiate venne questo fuoco [Marte] a rinfiammarsi sotto la sua pianta.» (*Par.* XVI, 37-39). L'anno indicato è quindi approssimativamente (550+30) x 687/365 =1091 d. C.

²⁷Platone, *Timeo*, 31 b4, 35 c5, 36 d8, 37 a2.

²⁸ Platone, *Timeo*, 39 a2.

movimenti degli astri erranti [...] Eudosso assunse a tal bisogno l'ipotesi delle sfere dette revolventi.²⁹

Nel modello planetario di Eudosso (409-356 a.C.)³⁰ le stelle e gli astri sono incastonati in sfere il cui centro coincide con il centro della Terra, immobile al centro dell'Universo, e il loro moto è prodotto dalla rotazione delle sfere stesse. Il moto diurno delle Stelle fisse è descritto mediante un'unica sfera, in cui sono incastonate tutte le stelle, che compie una rotazione uniforme in 24 ore da oriente a occidente intorno ad un asse che passa per il polo celeste.

Il moto del Sole e della Luna è invece descritto mediante la rotazione uniforme di tre sfere: la prima sfera (si veda ad esempio la Figura 2), che contiene tutte le altre, gira attorno all'asse del mondo da oriente a occidente in un tempo uguale a quello della sfera delle Stelle fisse; la seconda sfera ha i suoi poli infissi nella prima e compie un giro da occidente a oriente intorno ad un asse del cerchio mediano dello Zodiaco nel tempo in cui ciascuno dei due astri appare percorrere l'intero cerchio dello Zodiaco (rispettivamente un anno e un mese).

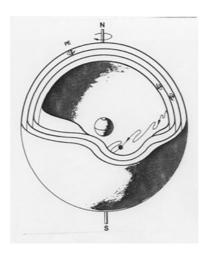


Figura 2. Le quattro sfere concentriche responsabili del moto dei pianeti

²⁹ J.L. Heiberg, ed., Simplicii in Aristotelis De caelo commentaria (= CAG VII) Berlin, 1894.

³⁰ Eudosso fu uno dei più insigni matematici dell'antica Grecia; a lui si deve attribuire con certezza il contenuto di quasi tutto il V libro di Euclide (330-275 a.C.); come astronomo propose per primo il ciclo solare di 4 anni (3 anni di 365 giorni e 1 di 366 giorni), che fu più tardi adottato da Giulio Cesare. Egli aveva descritto le sue ipotesi in un'opera *Sulle Velocità* (περι ταχπν), che con tutte le altre sue opere è andata perduta. Tuttavia oggi possediamo un breve ma esatto riassunto che ne dà Aristotele nel libro XII della *Metafisica* e uno molto più esteso riportato da Simplicio nel suo *Commento* al libro secondo del *De Caelo* di Aristotele.

Una terza sfera, con i suoi poli infissi nella precedente e sul cui equatore è fissato l'astro, tiene conto con il suo moto di alcune anomalie del moto finale dell'astro.³¹

Per i cinque pianeti sono invece necessarie quattro sfere³² (vedi Figura 2). Come per il Sole e la Luna la prima sfera, che contiene tutte le altre, gira attorno all'asse del mondo da oriente a occidente in un tempo uguale a quello della sfera delle Stelle fisse; la seconda sfera ha i suoi poli infissi nella prima e compie un giro da occidente a oriente intorno a un asse del cerchio mediano dello Zodiaco nel tempo in cui ciascun pianeta appare percorrere l'intero cerchio dello Zodiaco. Le altre due sfere, ciascuna avente il proprio asse infisso nella sfera precedente, si muovono con la stessa velocità, ma in verso contrario, in modo da giustificare la variazione di velocità che si osserva nel moto dei pianeti lungo l'orbita, compreso il moto retrogrado. Il pianeta si trova sull'equatore della sfera più interna.

Nel complesso quindi il moto di tutto il sistema planetario è descritto mediante 27 sfere (3x2 + 4x5 + 1). A questo sistema vennero successivamente apportate alcune modifiche, tese a perfezionarlo. In particolare Callippo di Cizico (370-300 a.C.) introdusse altre 7 sfere omocentriche: due ciascuna per il Sole e la Luna e una ciascuna per Mercurio, Venere e Marte.

2.2. La cosmologia aristotelica

Il sistema delle sfere omocentriche, anche se, come vedremo, in contrasto con alcuni fenomeni evidenti, fu pienamente accettato da Aristotele (384-322 a.C.) che ne fece l'asse portante della sua cosmologia.

Le sfere, che per Eudosso erano solo dei *supporti geometrici*³³ per descrivere il moto planetario di ciascun astro, assunsero per Aristotele una *realtà fisica*. Nella sua cosmologia l'Universo, finito, è racchiuso all'interno della sfera delle Stelle fisse. Seguono, verso l'interno, il gruppo delle sfere di Saturno e quindi nell'ordine quelle di Giove, Marte, Sole, Venere e Mercurio. Alla fine quelle che determinano il moto della Luna, all'interno delle quali si trova la Terra (*mondo sublunare*). Questa particolare struttura, oltre che riempire l'Universo ed eliminare gli spazi vuoti, permetteva di rifiutare l'idea platonica dell'esistenza di un'anima. Infatti, l'aver ridotto il moto bizzarro dei pianeti a rigorose

³¹ In particolare per quanto riguarda il Sole, la diversa lunghezze delle stagioni, e per la Luna la retrogradazione dei nodi dell'orbita sull'eclittica.

³² «[Eudosso suppose] i pianeti essere portati ciascuno da quattro sfere, delle quali la prima e la seconda sono le medesime [cioè ordinate allo stesso modo] delle due prime sfere del Sole e della Luna perché quella delle stelle fisse appartiene a tutti, e quella che le succede e produce il movimento lungo lo zodiaco è comune a tutti. Ed i poli della terza essere per tutti collocati sul circolo mediano dei segni; della quarta poi il movimento farsi secondo un circolo obliquo rispetto al mezzo della precedente [cioè l'equatore]. I poli della terza sfera essere diversi per alcuni pianeti, identici per Afrodite [Venere] e per Ermes [Mercurio]». Aristotele, *Metafisica*, libro XII, capo VIII.

³³ L'astronomo e storico italiano Giovanni Schiaparelli (1835-1910) ha dimostrato infatti che le sfere omocentriche di Eudosso, erano concepite come elementi di un algoritmo di calcolo analogo alle moderne Serie di Fourier, ossia una rappresentazione matematica di una funzione periodica. È possibile che Joseph Fourier profondo conoscitore delle antiche civiltà egizie e alessandrine, oltre che valente matematico, si sia ispirato proprio a queste rappresentazioni dei moti celesti nei suoi studi sullo sviluppo in serie delle funzioni periodiche.

combinazioni di moti circolari uniformi, ne giustificava una loro descrizione in termini solo di moti naturali.

Il modello cosmologico aristotelico era infatti strettamente integrato nel suo intero pensiero filosofico e in particolare nella teoria del moto locale.

Ogni mutamento di luogo, che chiamiamo spostamento, è o rettilineo o circolare o misto di questi: soltanto questi due moti sono infatti semplici. Di conseguenza ogni spostamento semplice è di necessità o *dal* centro o *verso* il centro o *attorno* al centro [...]. E se il movimento circolare è primo rispetto a quello rettilineo e quello rettilineo è proprio dei quattro corpi semplici [il fuoco, l'aria, l'acqua, la terra], il moto circolare sarà proprio di un altro corpo semplice *più divino ed anteriore ad essi.*³⁴

Il cielo quindi è costituito da una sostanza diversa, la *quinta essenza*, eterna, inalterabile e incorruttibile, il cui moto, cioè il moto di tutte le sfere che riempiono il cielo e portano con sé gli astri, è *per natura* circolare e uniforme.

Tale sostanza, che gli antichi chiamarono etere «derivando per esso questa denominazione dal suo correre per sempre per l'eternità», non può avere né peso né leggerezza perché per natura non può muoversi né dal centro né verso il centro. La sfera della Luna divide pertanto l'Universo in due parti. Il mondo sublunare *corruttibile* e quello celeste *incorruttibile ed eterno*.

Infine, poiché ogni movimento presuppone un motore, Aristotele introduce un *primo mobile* responsabile del moto della sfera delle Stelle fisse. Tale moto si trasferisce alle quattro sfere sottostanti di Saturno determinando il moto proprio del pianeta. A questo punto diventa però necessario introdurre altre tre sfere per ripristinare un movimento simile a quello delle Stelle fisse e procedere per le sottostanti sfere di Giove e così via

Ma affinché dalla simultanea combinazione di tutte le sfere si renda ragione delle apparenze, è necessario, per ciascun pianeta, vi siano (oltre alle proprie sfere) altrettante sfere *reagenti* (ανελιττονσαξ) meno una, le quali restituiscano sempre alla medesima posizione la prima sfera dell'astro immediatamente inferiore; perché così soltanto avviene che si producano i movimenti dei pianeti. Ora, essendo le sfere, in cui si muovono, da una parte otto [quattro per Saturno e per Giove], e dall'altra parte venticinque [cinque ciascuno per Marte, Venere, Mercurio, Sole e Luna, secondo Callippo], di esse soltanto non dovranno esser rigirate all'indietro quelle dalle quali dipende il movimento dell'infimo di tutti [gli astri, cioè della Luna]. Per i due primi le reagenti saranno dunque sei, e per i quattro che seguono, sedici; e il numero totale delle sfere motrici e reagenti sarà di cinquantacinque.³⁵

³⁴ Aristotele, *De caelo*, I,2, 268 b 14, 270 b 24.

³⁵ Aristotele, *Metafisica*, libro XII, capo VIII. In realtà in questo numero vi sono sei sfere inutili. Infatti l'ultima sfera reagente di un pianeta ha riacquistato il moto delle stelle fisse, e la prima sfera motrice del pianeta sottostante ha parimenti il moto delle stelle fisse. Di queste due sfere adiacenti una è quindi inutile.

L'Universo aristotelico prevede quindi oltre alla sfera delle Stelle fisse un complesso di 55 sfere cristalline suddivise in 7 gusci sferici contigui responsabili del moto sia diurno che proprio del Sole, della Luna e dei 5 pianeti (allora conosciuti). Anche il mondo sublunare, seguendo la precedente teoria di Parmenide, è strutturato in quattro sfere concentriche (terra, acqua, aria e fuoco) (vedi Figura 3).

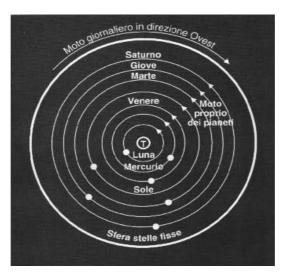


Figura 3. Il modello cosmologico di Aristotele

2.3. La scuola alessandrina e il sistema tolemaico

Il sistema di sfere omocentriche ebbe vita breve tra gli astronomi in quanto, come riferisce sempre Simplicio, non era in grado di:

salvare i fenomeni e non solo quelli rilevati in seguito, ma neppure quelli noti in precedenza [...]. Mi riferisco al fatto che i pianeti appaiono talvolta vicini a noi, talvolta essersi allontanati, come è evidentissimo alla vista. Perché l'astro detto di Afrodite e quello detto di Marte, nel mezzo delle loro retrogradazioni appaiono molte volte più luminosi. Ma anche la Luna è facile vedere ch'ella non si trova sempre alla medesima distanza da noi, perché non appare sempre della medesima grandezza a chi la considera paragonandola con un altro oggetto. 36

³⁶ J.L. Heiberg, (ed.), Simplicii in Aristotelis De caelo Commentaria, (=CAG VII) Berlin, 1894, p. 543.

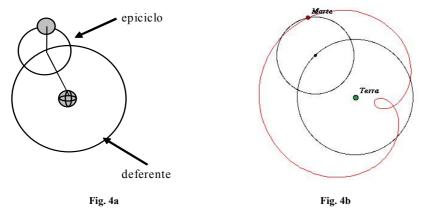


Figura 4. Il moto proprio dei pianeti come descritto in termini di epiciclo e deferente

Per spiegare questi fenomeni, mantenendo l'assunzione platonica che i moti celesti devono essere circolari e uniformi o risultare da una composizione di tali moti (assunzione che fu abbandonata solo dopo Keplero), le tre sfere interne, che nel modello di Eudosso descrivono il moto proprio dei pianeti, vengono sostituite da due sole sfere non più omocentriche: il pianeta viene trasportato dalla rotazione di una prima sfera (epiciclo) il cui centro viene, a sua volta, trasportato dalla rotazione di una seconda sfera (deferente) centrata sulla Terra, sempre immobile al centro dell'Universo. Più semplicemente, utilizzando una terminologia moderna, tuttavia già comune ai tempi di Galileo, il pianeta descrive in modo uniforme un'orbita circolare (epiciclo) il cui centro descrive a sua volta in modo uniforme un'orbita circolare (deferente) intorno alla Terra (vedi Figura 4a). In questo modo si viene a descrivere sia il moto retrogrado del pianeta sia una diversa distanza dalla Terra durante il suo moto (vedi Figura 4b).

La sintesi delle ricerche astronomiche condotte dalla scuola Alessandrina per più di quattro secoli per opera di eminenti scienziati, 37 è compendiata nell'Almagesto di Tolomeo (~100-~178). 38 Si tratta, come nel caso di Eudosso, di una descrizione relativa a ogni singolo pianeta, senza alcuna considerazione di carattere cosmologico.

Nella Tabella 1 sono riportati (colonna I e II) i valori del raggio dell'epiciclo e del deferente per i cinque pianeti. Non potendosi eseguire misure assolute, ma solo determinare i rapporti tra le due quantità, il raggio del deferente viene posto convenzionalmente uguale a 60.

³⁷ Ricordiamo tra gli altri Eratostene (276-195 a.C.), che per primo misurò il raggio della Terra, Apollonio (~262-180 a.C.), matematico insigne, noto soprattutto per la teoria sulle sezioni coniche e Ipparco (190-120 a.C.), valente osservatore, noto per la stesura di un catalogo stellare comprendente più di 800 stelle e per aver scoperto il moto di precessione degli equinozi.

38 Nel seguito, nelle indicazioni delle date dell'era cristiana verrà omessa la dicitura d.C.

I	II	III	IV
MERC d = 60	e = 22.5	e/d = 0.37	0.38 ua
VENERE $d = 60$	e = 43.2	e/d = 0.72	0.72 ua
MARTE $d = 60$	e = 39.5	d/e = 1.52	1.52 ua
GIOVE $d = 60$	e = 11.5	d/e = 5.20	5.18 ua
SATUR $d = 60$	e = 6.5	d/e = 9.20	9.52 ua

Tabella 1. Valori relativi del raggio del deferente (posto convenzionalmente eguale a 60) e dell'epiciclo (colonne I e II) riportati nell'Almagesto. Nella terza colonna sono riportati i valori del rapporto epiciclo/deferente per i pianeti interni e deferente/epiciclo per quelli esterni, mentre nell'ultima colonna sono riportati i valori attuali delle orbite dei pianeti in unità astronomiche, cioè riferiti al raggio dell'orbita terrestre

Inoltre per rendere conto del fatto che Mercurio e Venere non si allontanano mai dal Sole, i centri degli epicicli dei due pianeti sono vincolati a rimanere allineati con la Terra e il Sole, e quindi il periodo del loro moto lungo il deferente coincide con quello del Sole intorno alla Terra (un anno).

Mentre per giustificare il fatto che le *retrogradazioni* di Marte, Giove e Saturno avvengono in corrispondenza delle *opposizioni*, ³⁹ le congiungenti i centri degli epicicli coi pianeti dovevano rimanere parallele alla direzione Terra-Sole e il periodo del moto del pianeta lungo l'epiciclo coincide con quello del Sole intorno alla Terra .

Come ebbe a dire più tardi Stevino (1548-1620):

[tutti gli astri] prendono guida dal movimento del più degno fra i Pianeti come da un Re e si muovono di conseguenza.

Solo una radicata convinzione dell'impossibilità del moto della Terra può aver impedito agli scienziati alessandrini di accorgersi che tutto questo poteva essere semplicemente spiegato attribuendo l'origine di tali moti ad un moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole.

In effetti in un modello semplificato del sistema solare a orbite circolari, deferente ed epiciclo altro non sono che l'orbita della Terra e quella del pianeta per Mercurio e Venere intorno al Sole rispettivamente (vedi Figura 5); viceversa per i pianeti esterni.

³⁹ Nel moto intorno al Sole dei pianeti esterni si ha *congiunzione* quando il pianeta si trova tra la Terra e il Sole e *opposizione* quando trova dalla parte opposta al Sole rispetto alla Terra. Per i pianeti interni si parla invece di *congiunzione inferiore* o *superiore* a seconda che il pianeta si trovi tra la Terra e il Sole o dalla parte opposta al Sole rispetto alla Terra.

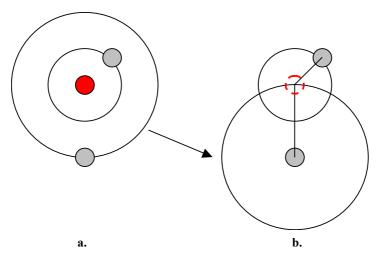


Figura 5. Il moto di Venere riferito al Sole (a) e quello apparente riferito alla Terra (b)

Alla luce di ciò possiamo rileggere i dati di Tolomeo riportati in Tabella 1: il rapporto epiciclo/deferente (*e/d*) per Mercurio e Venere e viceversa (*d/e*) per i pianeti esterni può essere ora interpretato come il valore del diametro dell'orbita del pianeta intorno al Sole in unità astronomiche (u.a. cioè riferite al diametro dell'orbita della Terra assunto come unitario). Come si vede nella Tabella 1 col. IV l'accordo con i dati moderni è eccellente se si esclude il caso di Saturno, più che giustificabile tenuto conto della sua lontananza.

Anche il periodo del moto di Venere sull'epiciclo (T = 224 d) è in buon accordo col periodo di rivoluzione del pianeta (T = 224,77 d). E così per gli altri pianeti.

Ma l'accordo è ancora maggiore se consideriamo alcune delle modifiche apportate da Tolomeo al modello alessandrino confrontandole con le odierne misure (vedi Figura 6). Consideriamo in particolare il caso di Venere.

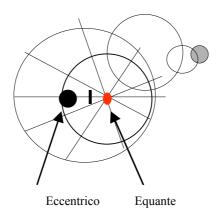


Figura 6. Descrizione avanzata del moto proprio di ciascun pianeta secondo Tolomeo

- Il centro del deferente non coincide con il centro della Terra (eccentrico), ma è spostato di una quantità tale che x/d = 0.02. Ciò corrisponde al fatto che l'orbita della Terra è un'ellisse con eccentricità e = 0.0176.
- Il moto lungo il deferente non è uniforme rispetto al centro, ma ad un punto simmetrico della Terra rispetto al centro stesso (punctum aequans o equante). Questo particolare tiene conto che la velocità areolare è costante (terza legge di Keplero).
- Viene introdotto un epiciclo secondario che tiene conto del carattere ellittico dell'orbita del pianeta.⁴⁰

Concludendo, il sistema tolemaico rappresenta una corretta descrizione cinematica del moto per ciascun pianeta in un sistema di riferimento solidale con la Terra, cioè nel riferimento più naturale per un osservatore terrestre!

Tuttavia non tutte le *apparenze* sembrerebbero rispettate. Infatti dai dati di tabella 1, nel caso ad esempio di Venere la sua distanza dalla Terra sembrerebbe dover variare di un fattore (d+e)/(d-e) = 6.14 a cui corrisponde una variazione di luminosità di circa 60 volte, mentre la variazione che si osserva a occhio nudo è solo di poche volte. E così anche per Marte. Tuttavia nell'Almagesto Tolomeo non affronta il problema né riporta calcoli dettagliati. Il problema verrà invece evidenziato molti secoli dopo e assunto come argomento contro il sistema degli epicicli. ⁴¹ Avremo modo di discutere ampiamente questo argomento nel paragrafo 4.

In un trattato successivo all'Almagesto dal titolo Le ipotesi sugli astri erranti, sulla base dei dati precedenti e delle dimensioni dell'orbita della Luna, espresse in raggi terrestri, Tolomeo cercò di formulare una teoria cosmologica fornendo una stima delle dimensioni dell'Universo, che risulta tuttavia alla luce delle teorie moderne del tutto infondata.

Egli assume che ciascun pianeta si muove all'interno di un guscio sferico il cui spessore è tale da contenere il diametro degli epicicli e il cui raggio medio è quello del deferente; inoltre la superficie sferica esterna del guscio di un pianeta coincide con quella interna del pianeta successivo.

Così conclude lo stesso Tolomeo nel suo trattato:

Insomma, prendendo come unità il raggio della superficie sferica della terra e dell'acqua, il raggio della superficie sferica che circonda l'aria e il fuoco [cioè la superficie inferiore del guscio lunare] è 33, il raggio della sfera [superiore] della Luna è 64, il raggio della sfera di Mercurio 166, il raggio della sfera di Venere 1079, il raggio della sfera del Sole 1260, il raggio della sfera di Marte 8820, il raggio della sfera di Giove 14187, il raggio della sfera di Saturno 19865 [questo è il raggio inferiore della sfera delle Stelle fisse]. Se però c'è spazio o un vuoto tra le sfere, allora è chiaro che le distanze non possono comunque essere inferiori a quelle che abbiamo dato.⁴²

⁴⁰ Come è noto un'ellisse di assi a, b può essere descritta da un punto che descriva un cerchio di raggio (a-

b)/2 il cui centro descrive un cerchio di raggio (a+b)/2

41 Enrico d'Assia (De improbatione concentricorum et epicyclorum, 1360) e Magister Julmann (Tractatus de reprobrationibus epicyclorum et concentricorum, 1377).

42 Tolomeo, Le ipotesi sugli astri erranti, I, p. 7, B.R.Goldstein.

2.4. La cosmologia medioevale

All'epoca di Tolomeo Alessandria faceva parte dell'Impero Romano, nel quale con l'editto di Costantino, iniziò a diffondersi rapidamente la religione cristiana, che divenne poi religione di Stato con l'editto di Tessalonica (380).

I risultati del pensiero greco, in quanto pensiero pagano, cominciarono a essere sottoposti a critica da parte dei Padri della Chiesa. Il messaggio biblico, infatti, poneva l'uomo e non il cosmo al centro dell'opera creatrice di Dio. Inoltre l'aspirazione dell'uomo non era più quella di arrivare alla conoscenza della verità, bensì quella di fare la volontà di Dio per la propria salvezza.

Per quanto riguarda le conoscenze astronomiche si assiste in alcuni casi a una sistematica e quasi delirante negazione di qualsiasi risultato; e se da un lato i più illuminati Padri della Chiesa, come S. Agostino (354-430), che visse la sua giovinezza ad Alessandria, si limitarono a ignorare il problema ritenendolo «non necessario per la salvezza dell'anima», altri cominciarono a ridicolizzare l'idea della sfericità della Terra e la possibilità dell'esistenza degli antipodi dove «gli uomini dovrebbero camminare a testa all'in giù», riproponendo modelli di Terra piatta che rispettassero la forma e le proporzioni dell'arca che Davide aveva costruito come dimora di Dio sulla Terra.

Esisteva inoltre una sorprendente somiglianza tra la descrizione della costruzione del mondo a opera del Demiurgo, quale si trova nel *Timeo*, e il racconto della creazione che si legge nella *Genesi*. Si pensò così che Platone fosse venuto a conoscenza della *Bibbia dei Settanta* in Egitto o fosse stato in contatto con il profeta Geremia, anche se, come fa osservare S. Agostino, era nato troppo presto perché fosse vera la prima ipotesi e troppo tardi per la seconda. Non si può del resto escludere la possibilità che egli abbia conosciuto gli scritti della *Bibbia* tramite un interprete.

Come riporta E.J. Dijksterhuis nel suo libro su *Il meccanicismo e l'immagine del mondo*:

la trascendenza del regno delle idee era in armonia con la concezione cristiana di Dio. Le idee stesse potevano naturalmente venire interpretate come pensieri di Dio, dei quali le cose terrene sarebbero imperfette realizzazioni. Attraverso tutto ciò si venne a creare tra il Cristianesimo e la filosofia platonica uno stretto rapporto, destinato a durare per tutto il tempo in cui l'Agostinismo continuò ad essere l'indirizzo predominante del pensiero cristiano. Nessuno poteva ancora sospettare che ci sarebbe stato un tempo in cui non Platone, ma Aristotele avrebbe fornito la base filosofica del dogma cristiano. 43

Con il passare dei secoli si andò incontro ad una decadenza della cultura; le opere dei classici vennero dimenticate e in alcuni casi distrutte. Solo all'inizio del X secolo l'Occidente cominciò a riscoprire, attraverso la cultura araba, le opere degli antichi filosofi e matematici greci. Verso la metà del VII secolo, infatti, gli Arabi, uniti dalla nascente fede islamica, diedero inizio a una serie di conquiste che li portarono, attraverso il bacino mediterraneo, fino in Spagna. Essi vennero così in possesso di molti

⁴³ E.J. Dijksterhuis, *Il meccanicismo e l'immagine del mondo*, Milano, Feltrinelli, 1980, p. 224.

dei manoscritti che la cultura occidentale aveva abbandonato e che contenevano gran parte del patrimonio culturale greco; l'assimilarono rapidamente e l'arricchirono di nuovi contributi, specie nel campo della matematica, della chimica, dell'ottica e anche dell'astronomia. Ma soprattutto conservarono tutti i documenti dell'antica scienza greca traducendoli nella loro lingua.

Nel XII secolo vennero tradotti dall'arabo in latino l'*Almagesto* di Tolomeo e gran parte delle opere di Aristotele. Inoltre, tramite la Scolastica e in particolare grazie a S. Tommaso d'Aquino (1225-1274), al quale si deve tra l'altro un interessante commento al *De Caelo* di Aristotele, si arrivò a conciliare la filosofia aristotelica con la teologia cristiana, attraverso un minuzioso lavoro di interpretazione e mediazione. Aristotele divenne così *il Filosofo* e il *praecursor Christis in naturalibus*.

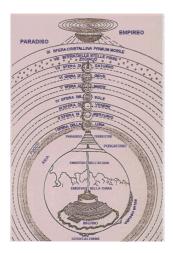


Figura 7. Modello cosmologico medioevale utilizzato da Dante nella Divina Commedia

Un'immagine fedele delle nuove cosmologie emerse dal lavoro di S. Tommaso ci è fornita da Dante nella *Divina Commedia* (vedi Figura 7).

Ritroviamo nel modello dantesco le quattro sfere del mondo sublunare (della terra, dell'acqua, dell'aria e del fuoco), le otto sfere celesti (della Luna, del Sole, dei cinque pianeti e delle Stelle fisse), la sfera del Primo Mobile, in rapidissimo movimento per il desiderio di congiungersi al Decimo Cielo, l'Empireo, dimora di Dio («l'amor che move il Sole e l'altre stelle» *Par*. XXXIII, 145).

Inoltre nella Terra, che ha ritrovato la sua forma sferica, esiste una grande voragine di forma conica il cui vertice arriva fino al centro, l'Inferno, mentre dalla parte opposta si erge il Purgatorio, a forma di montagna, anch'essa conica, che arriva fino alla sfera lunare e sulla cui cima è posto il Paradiso Terrestre.

2.5. L'innovazione eliocentrica di Copernico

La forza del pensiero scientifico sta nel fatto che esso non riconosce nulla come dogmatico ed è pronto a modificare ogni teoria quando l'osservazione o il ragionamento ne dimostrano l'inconsistenza. Il presupposto della teologia è invece l'esistenza di una idea assoluta di verità conoscibile tramite la rivelazione. L'aver costruito una cosmologia, e di conseguenza una fisica così strettamente legata alla teologia, costituirà una forte, ma non insormontabile, difficoltà al progresso scientifico.

L'idea che la rotazione degli astri potesse essere apparente e dovuta a movimenti della Terra, era già stata avanzata nell'antichità da vari filosofi.

Secondo la scuola pitagorica al centro dell'Universo è posto l'*Hestia*, il fuoco cosmico, attorno al quale ruotano tutti gli astri, compreso il Sole e la Terra; quest'ultima compie una *rivoluzione* in 24 ore. In questo modo viene spiegato il moto diurno del Sole, dei pianeti e della volta celeste. Il fuoco centrale non può tuttavia essere visto, in quanto la Terra volge verso di esso sempre la parte non abitata. Inoltre tra la Terra e il Fuoco è interposta una Antiterra, che segue la Terra nel suo movimento, e non può essere quindi vista. Con l'introduzione dell'Antiterra il numero dei corpi celesti che girano intorno al Fuoco centrale, con velocità via via decrescenti, è dieci (Antiterra, Terra, Luna, Sole, Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno e la Volta Stellare). È importante notare che per i pitagorici il 10 è un numero perfetto, in quanto somma dei primi quattro numeri.

Il ruolo fondamentale del numero, come forma e regola del mondo, è l'unica giustificazione del modello pitagorico.

[I pitagorici] ricercano le ragioni e le cause non riportandosi a ciò che si osserva, ma riconducendo a forza i fenomeni a certe loro ragioni e opinioni.⁴⁴

Così i vari corpi celesti si trovano, rispetto al Fuoco centrale, a distanze che procedono come le potenze di 3 (altro numero perfetto).

La sfera delle Stelle fisse dista quindi $3^{10} = 59049$ raggi terrestri. È questa la dimensione dell'Universo pitagorico.

La dottrina pitagorica, sviluppatasi nella Magna Grecia (Italia meridionale), fu molto avversata ad Atene, dove si svilupperà nei secoli successivi la filosofia ellenica, e il suo modello cosmologico fu presto abbandonato, anche se può aver influenzato il modello di Eraclide (IV sec. a.C.) e quello successivo eliocentrico di Aristarco (310-230 a.C.).

Eraclide Pontico ed Efanto il pitagorico fanno muovere la Terra, ma non di moto progressivo, ma di moto rotatorio, come una ruota montata su un asse, da ovest ad est.⁴⁵

Inoltre, per Eraclide, Mercurio e Venere non ruotano intorno alla Terra, ma intorno al Sole e tutti gli astri non sono incastonati su sfere, ma liberi di librare nell'etere.

⁴⁴ Aristotele, *De caelo*, II, 13, 293 b 18-30.

⁴⁵Aezio, II, 13, p. 378. È possibile infatti pensare che in questo nuovo modello Terra e Antiterra si siano fuse insieme conglobando in sé il fuoco cosmico; il moto di rivoluzione di questa nuova Terra diventa quindi un moto di rotazione.

Secondo Aristarco invece è il Sole a occupare il posto centrale dell'Universo; attorno a esso ruotano tutti i pianeti, compresa la Terra che descrive la sua orbita nel periodo di un anno. La Terra inoltre ruota intorno al proprio asse in 24 ore.

Come riferisce Archimede, affrontando il problema delle dimensioni dell'Universo nell'*Arenario*:

Aristarco ha pubblicato un libro contenente certe ipotesi da cui appare, come conseguenza delle assunzioni fatte, che l'universo è molte volte più grande dell'universo appena citato. Le sue ipotesi sono che il sole e le Stelle fisse restano ferme, che la terra gira intorno al sole sulla circonferenza di un cerchio di cui il sole occupa il centro, e che la sfera delle Stelle fisse, situata intorno allo stesso centro, è così grande che il cerchio in cui egli suppone che la terra si muova dista dalle Stelle fisse tanto quanto il centro della sfera dista dalla sua superficie.

Per superare quindi l'obiezione (scientifica e non ideologica) della mancanza di alcun moto delle Stelle fisse nel corso dell'anno, come invece sarebbe dovuto succedere se la Terra fosse stata in movimento intorno al Sole, Aristarco ipotizzava che la distanza tra la Terra e le Stelle fisse fosse infinitamente maggiore del raggio dell'orbita annuale terrestre in modo da rendere impercettibile ogni effetto di parallasse.

Secondo la testimonianza di Plutarco (46-126), l'eliocentrismo venne successivamente dimostrato da Seleuco di Seleucia (190-? a.C.). Scrive infatti riferendosi a Timeo di Locri (?-? a. C.), astronomo e filosofo di scuola pitagorica:

Poneva egli la Terra in moto, come il Sole e la Luna ed i cinque pianeti, che egli chiama strumenti del tempo per il loro girare, e doveva pensare che la Terra, ruotante attorno all'asse esteso attraverso tutto, fosse stata progettata non confinata e stabile, ma rivolgentesi e ruotante, come successivamente affermarono Aristarco e Seleuco, il primo assumendolo solo per ipotesi e Seleuco invece dimostrandolo anche. 46

Queste idee non ebbero però alcun seguito perché a esse non fece seguito alcuno sviluppo quantitativo in grado di spiegare i risultati delle osservazioni. Infatti, come abbiamo già avuto modo di osservare, anche se la Terra non è ferma al centro dell'Universo, le osservazioni del moto degli astri, compreso il Sole e le Stelle, sono sempre eseguite dalla Terra e in questo sistema di riferimento tali moti devono essere descritti.

Dovranno passare molti secoli prima che un altro astronomo, ⁴⁷ Copernico (1473-1543) riprenda queste ipotesi e su di esse costruisca un sistema planetario completo e autonomo in grado di poter prevedere tutti i fenomeni celesti.

[...] seguendo Platone e i pitagorici, i massimi matematici di quell'epoca divina, egli [Copernico] pensò si dovessero attribuire alla Terra sferica dei movimenti circolari, per determinare la causa dei fenomeni. 48

-

⁴⁶ Plutarco, *Platonicae quaestiones*, VIII 1, *Moralia*, 999c.

⁴⁷ Un secolo prima però Nicola Cusano (1401-1464) scriveva « [...] è manifesto che la Terra si muove [...]. La figura della Terra è sferica e mobile, e il suo moto è circolare, ma potrebbe essere più perfetto».

Copernico fu molto influenzato dal pensiero pitagorico e platonico; uno dei motivi che portarono Copernico ad abbandonare il sistema Tolemaico fu proprio il desiderio di eliminare l'equante, cioè la presenza di un moto circolare la cui velocità non è uniforme rispetto al centro della circonferenza, in evidente contrasto con il dettato platonico.

Egli propose quindi un modello di tipo eliocentrico (vedi Figura 8): intorno al Sole, immobile, ruotano nell'ordine Mercurio, Venere, la Terra con la Luna, Marte, Giove e infine Saturno. Tutto intorno si trovano le stelle, immobili, il cui moto diurno rispetto alla Terra è apparente in quanto dovuto alla rotazione della Terra intorno a se stessa. Allo stesso modo è apparente il moto diurno del Sole e così pure quello annuo, dovuto quest'ultimo al moto della Terra intorno al Sole. E così per i cinque pianeti. Scrive infatti:

Sebbene l'idea mi sembrasse assurda, poiché sapevo che ad altri prima di me era stata data la libertà di immaginare una cosa del genere⁴⁹ [...], pensai che anche a me sarebbe concesso di ricercare se, *assunto per ipotesi* un certo moto della Terra, fosse possibile trovare dimostrazioni della rivoluzione delle sfere celesti più sicure delle loro [cioè di quelle tolemaiche]. Assunti quindi i moti che nell'opera io attribuisco alla Terra, [...], non solo tutti i fenomeni trovano conferma, ma anche l'ordine e la magnificenza di tutte le stelle (compreso i pianeti) e le sfere e il cielo stesso risultano così collegati che in nessuna sua parte non si può spostare nulla senza generare confusione delle parti e del tutto.⁵⁰

Basandosi infatti sui dati tolemaici, interpretati a livello eliocentrico, Copernico poté collocare ciascun pianeta nella sua corretta posizione rispetto al Sole. È questa la differenza più notevole fra i due sistemi. Nel sistema copernicano non è più possibile modificare a piacere le orbite dei pianeti, come invece si poteva fare per le dimensioni del deferente e del relativo epiciclo il cui solo rapporto era determinato dai dati dell'osservazione. Per la prima volta quindi le osservazioni determinano in modo rigoroso le dimensioni dell'intero sistema solare, senza dover ricorrere a ulteriori ipotesi.

⁴⁸ J. Reticus (1514 - 1574), *Narratio prima*. Citazione riportata in A. Koyrè, *Dal mondo chiuso all'universo infinito*, p. 28, Milano, Feltrinelli, 1979.

⁴⁹ Per quanto riguarda le conoscenze storiche dell'epoca relative al sistema eliocentrico lo stesso Galileo ci informa: «La stabilità del sole e mobilità della Terra [è] opinione tenuta da Pittagora, e da tutta la sua setta, e da Eraclide Pontico, il quale fu dell'istessa opinione, da Filolao maestro di Platone, e dall'istesso Platone, come riferisce Aristotile, e del quale scrive Plutarco nella vita di Numa, che esso Platone già fatto vecchio diceva, assurdissima cosa essere il tenere altramente. L'istesso fu creduto da Aristarco Samio, come abbiamo appresso Archimede, da Seleuco matematico, da Niceta filosofo, referente Cicerone, e da molti altri [...]. E Seneca, eminentissimo filosofo, nel libro *De cometis* ci avvertisce, doversi con grandissima diligenza cercar di venire in certezza, se sia il cielo o la Terra in cui risegga la diurna conversione». Galileo a Cristina di Lorena 1615.

⁵⁰ N. Copernicus, *De revolutionibus orbium coelestium*, Torino, Einaudi, 1975, cap X, p. 32.

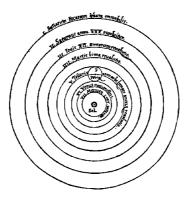


Figura 8. Schema del sistema Copernicano tratto dal *De revolutionibus orbium coelestium*, 1543

Anche il moto retrogrado trova una sua semplice spiegazione come verrà mostrato e discusso nel paragrafo 5 (Figura 17).

Copernico tuttavia rimase vincolato all'idea platonica dell'esistenza di sfere in moto circolare e uniforme (le *orbium coelestium* di cui si parla nel titolo stesso dell'opera) in cui sono rigidamente incastonati i pianeti, Terra compresa. Per evitare allora che l'asse terrestre modificasse la sua orientazione rispetto alle stelle, a causa della rotazione della sfera che trasporta la Terra intorno al Sole, fu necessario introdurre un terzo moto, quello di precessione dell'asse terrestre con periodo annuo (vedi Figura 9).

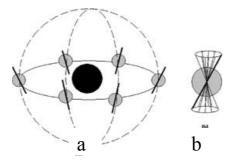


Figura 9. (a) Moto di traslazione della Terra trasportata dalla sua sfera celeste e (b) moto di precessione dell'asse terrestre, introdotto per mantenere costante l'orientazione dell'asse stesso rispetto alle Stelle fisse

Inoltre per poter spiegare tutti i fenomeni e non ricorrere a equanti si dovettero introdurre sfere eccentriche ed epicicli. Ne risultò alla fine un sistema la cui complessità era paragonabile a quella del sistema tolemaico:

Mercurio si muove in tutto con sette circoli, Venere con cinque, la Terra con tre e, intorno ad essa, la Luna con quattro; infine, Marte, Giove e Saturno, ciascuno con cinque. In tal modo, bastano 34 circoli per spiegare l'intera struttura dell'universo, così come la danza dei pianeti.⁵¹

È da notare infine che, sebbene il Sole sia immobile, tutto il sistema non ruota intorno a esso, ma intorno al centro dell'orbita della Terra, la quale conserva ancora un ruolo particolare nell'Universo. Si tratta cioè, più che di un sistema eliocentrico, di un sistema *eliostatico*.

Se il sistema copernicano è visto come un puro artificio matematico alternativo per descrivere il moto dell'Universo (come del resto viene presentato nella premessa all'opera, introdotta, contro il volere o almeno all'insaputa di Copernico, ormai in fin di vita, dal teologo luterano Osiander, che ne curò la stampa)⁵² esso ha poco di innovativo. L'aspetto rivoluzionario dell'opera di Copernico risiede nel fatto che, dopo di lui, molti scienziati cominciarono a *credere* nella realtà fisica del modello.

Quando queste idee varcarono i limiti della cerchia ristretta degli specialisti, astronomi e matematici, esse suscitarono polemiche asprissime. Già nella seconda metà del XVI secolo diversi letterati e filosofi si scagliarono contro l'assurdità della nuova teoria per il suo palese contrasto con la cultura tradizionale.

J. Bodin, noto come uno dei pensatori più aperti e antitradizionalisti di quel secolo, così si esprime:

Nessun uomo nel pieno possesso delle sue facoltà mentali, oppure dotato delle più elementari nozioni di fisica, potrà mai credere che la Terra, greve e tarda per il suo proprio peso e per la sua mole, si agiti su e giù attorno al suo centro e a quello del Sole; giacché, alla minima scossa della Terra, noi vedremmo crollare città e fortezze, paesi e montagne.⁵³

Si ricordi che nella tradizione aristotelica gli astri e tutti i cieli erano privi di massa e quindi lo stesso ragionamento non si poteva estendere al loro moto.

Le principali obiezioni ad un sistema eliocentrico, che verranno successivamente confutate da Galileo, (paragrafo 5) erano le seguenti:

- Far diventare la Terra un pianeta, come tanti altri, voleva dire minare alla base la concezione di un Universo antropocentrico, creato in funzione dell'uomo, quale emerge dal messaggio biblico. Inoltre in più punti le Scritture sembrano indicare un mondo geocentrico. In particolare veniva richiamato il famoso passo della Bibbia «o Sole fermati su Gabaon» (Giosuè 10,12)
- Il ritenere la Terra in moto e non più nel centro dell'Universo distruggeva alla base la teoria Aristotelica dei luoghi naturali e la separazione tra il mondo sublunare corruttibile e quello celeste eterno e immutabile; se la Terra gira intorno

⁵² Giordano Bruno nella *Cena delle Ceneri* bollò la prefazione apocrifa come «epistola preliminare attaccata da non so che asino ignorante e presuntuoso al libro di Copernico».

⁵¹ Nicolai Copernici, Commentariolus, in Opere, Ed. Torinese, 1979, p. 126.

⁵³ Citazioni riportate in T.S. Kuhn, *La rivoluzione copernicana*, Torino, Einaudi, 1972, pp. 246-248.

- al Sole con moto circolare e uniforme essa doveva essere eterna e incorruttibile come tutti i corpi celesti o i corpi celesti erano tutti corruttibili come la Terra
- Si giudicava incomprensibile come in un Universo, in cui tutti i pianeti giravano intorno al Sole, la sola Luna, anch'essa considerata come un pianeta, dovesse girare intorno alla Terra, continuandola a seguire nel suo moto vorticoso intorno al Sole

Inoltre come riferisce lo stesso Galileo presentando nel *Dialogo* le obiezioni al sistema copernicano:

- 4. «Se la Terra avesse la conversion diurna, una torre dalla sommità della quale si lasciasse cadere un sasso, venendo portata dalla vertigine della Terra, nel tempo che 'l sasso consuma nel suo cadere, scorrerebbe molte centinaia di braccia verso oriente, e per tanto spazio dovrebbe il sasso percuotere in terra lontano dalla radice della torre» «in quella guisa che, caminando velocemente la nave, il sasso cadente dalla sommità dell'albero, non casca al piede, ma più verso la poppa. ⁵⁴ E ciò anco più manifestamente si vedrebbe nelle cose gettate all' insù perpendicolarmente, le quali, nel tornare al basso, cascheranno molto lontane da quello che le gettò»
- 5. «Altra e maggior difficultà fa Venere, che se girando intorno al Sole, come afferma il Copernico, gli fusse ora sopra ed ora sotto, allontanandosi ed appressandosi a noi quanto verrebbe ad esser il diametro del cerchio da lei descritto, quando fusse sotto il Sole e a noi vicinissima, dovrebbe il suo disco mostrarcisi poco meno di 40 volte maggiore che quando è superiore al Sole, vicina all'altra sua congiunzione; tutta via la differenza è quasi impercettibile»⁵⁵
- 6. «Aggiugnesi un'altra difficultà: che quando il corpo di Venere sia per se stesso tenebroso, e solo risplenda, come la Luna, per l'illuminazion del Sole, come par ragionevole, quando ella si ritrova sotto il Sole, dovrebbe mostrarcisi falcata, come la Luna quando parimente ell'è vicina al Sole: accidente che in lei non apparisce; per lo che il Copernico pronunziò che ella o fusse lucida per se medesima, o che la sua materia fusse tale, che potesse imbeversi del lume solare e quello trasmettere per tutta la sua profondità, sí che potesse mostrarcisi sempre risplendente: ed in questo modo scusò il Copernico il non mutar figura in Venere»

Per poi concludere:

ma [queste] esperienze che apertamente contrariano al movimento annuo, son ben di tanto più apparente repugnanza, che (lo torno a dire) non posso trovar

⁵⁴ Questo particolare della nave era stato utilizzato da Galileo nel *Trattato della sfera ovvero Cosmografia*.

⁵⁵ Questa discrepanza, che come abbiamo visto esisteva anche nel sistema tolemaico, era stata addotta dallo stesso Osiander nella sua controversa prefazione all'opera di Copernico come argomento a favore della natura ipotetica della nuova cosmologia. «Non solamente non è necessario che le supposizioni siino vere, ma né anco verisimili. Tali devono essere stimate le ipotesi di quest'uomo [...]. Il che se fusse vero chi è sì cieco che non veda quel che ne seguirebbe contra ogni esperienza: che il diametro de la stella [Venere] apparirebbe quattro volte, et il corpo de la stella più di sedici volte più grande è vicinissima nell'opposito de l'auge [nel perigeo] che quando è lontanissima, dove se dice essere in auge [all'apogeo]».

termine all'ammirazion mia, come abbia possuto in Aristarco e nel Copernico far la ragion tanta violenza al senso, che contro a questo ella si sia fatta padrona della loro credulità.

2.6. Il sistema geo-eliocentrico di Tycho Brahe

Tycho Brahe (1546-1601) fu il più grande astronomo osservatore a occhio nudo di tutti i tempi. Convinto che una scelta in favore di uno dei due sistemi poteva essere fatta solo sulla base di misure più precise della posizione degli astri, realizzò per più di vent'anni un vasto programma di misure che condusse di persona, con nuovi e grandiosi strumenti da egli stesso progettati, nell'osservatorio di Uraniborg, sull'isola di Hven, appositamente costruito. Le successive scoperte di Keplero non avrebbero potuto essere realizzate senza tale grande messe di dati.

Brahe non accettò il sistema copernicano, ma neppure quello tolemaico di cui mise in evidenza grosse inesattezze. Egli propose un nuovo modello che ben presto sostituì quello tolemaico presso tutti quegli astronomi, e in particolare i gesuiti, che non *volevano* accettare il movimento della Terra.

Avendo ben compreso come ambedue queste ipotesi ammettessero non piccole assurdità, presi a meditare tra me stesso profondamente se mai si potesse trovare una qualche ipotesi che non fosse in contrasto né con la matematica né con la fisica, e che non dovesse sfuggire di nascosto alle censure teologiche e che, nello stesso tempo, soddisfacesse in modo completo alle apparenze celesti.⁵⁶

La Terra è immobile al centro dell'universo racchiuso dalla sfera delle Stelle fisse. Tutti e cinque i pianeti ruotano intorno al Sole, il quale a sua volta, insieme alla Luna, ruota intorno alla Terra. Le dimensioni e i periodi delle orbite sono gli stessi di quelli utilizzati da Copernico, salvo lo scambio dell'orbita della Terra con quella del Sole (vedi Figura 10). Sono tuttavia ancora necessari epicicli ed eccentrici.



Figura 10. Sistema ticonico semplificato dell'Universo. Da una stampa del XVII sec.

-

⁵⁶ Tycho Brahe, De mundi aetherei recentioribus phaenomenis, 1588.

Da un punto di vista cinematico, il modello *ticonico* è identico a quello copernicano. I due modelli differiscono solo per il sistema di riferimento scelto: la Terra per Brahe, il Sole per Copernico. Inoltre sono in parte semplificati i calcoli, osservando le cose dal sistema di riferimento terrestre.

Le motivazioni che portarono Brahe a non accettare il moto della Terra erano però principalmente di carattere fisico, ma si basavano su premesse che si rivelarono in seguito errate.

Come abbiamo già visto, se la Terra avesse un moto di rivoluzione intorno al Sole, la posizione angolare di una stella dovrebbe essere diversa se la si osserva a sei mesi di distanza, quando la Terra si trova in punti opposti della sua orbita (vedi Figura 11). L'angolo di parallasse $\gamma = 180^{\circ}$ - α - β coincide con l'angolo sotto cui è visto dalla stella il diametro dell'orbita della Terra.

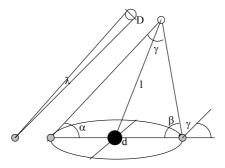


Figura 11. Nella figura (non in scala) è mostrato l'angolo $\gamma = 180^{\circ}$ - α - β di parallasse e l'angolo λ sotto cui è visto dalla Terra il diametro della stella. Indicata con l la distanza Stella-Terra o Stella-Sole e con D e d rispettivamente il diametro della Stella e dell'orbita terrestre abbiamo $\lambda \approx l/D$, $\gamma \approx l/d$ da cui D \approx d(λ/γ)

Nonostante tutti gli sforzi fatti, egli non fu però in grado di osservare per alcuna stella tale variazione. Brahe tuttavia era cosciente che il non vedere un fenomeno non vuol dire che esso non sussista. La stella infatti può essere così lontana che la sua parallasse è così piccola da non poter essere osservata, in quanto minore delle dimensioni angolari della stella stessa (cioè dell'angolo λ sotto il quale il diametro della stella è visto dalla Terra).

Come tutti gli astronomi del tempo, anche Brahe era convinto che il diametro angolare delle stelle fosse circa di due primi (2/60 di grado). Ma assumere che l'angolo di parallasse fosse minore del diametro angolare della stella corrispondeva ad ammettere che le dimensioni della stella erano maggiori di quelle dell'orbita della Terra (vedi testo di Figura 11). E ciò non sembrava ammissibile!

Il contributo di Brahe allo sviluppo dell'astronomia fu comunque determinante. Oltre che rendere possibili le scoperte di Keplero, egli distrusse completamente il concetto di *sfere solide*, introducendo quello di *orbita*. Nel suo modello planetario infatti l'orbita del Sole interseca quelle di Mercurio, di Venere e di Marte, cosa che sarebbe impossibile se tali pianeti fossero trasportati nel loro moto da sfere cristalline. Inoltre la Terra, anche se rimaneva immobile, non era più il centro di rotazione di tutto l'Universo, che veniva ora assunto in massima parte dal Sole.

Prima di chiudere questa lunga carrellata sulle diverse descrizioni del mondo al tempo di Galileo, vale la pena soffermarci sull'opera di Giordano Bruno (1548-1600).

Acceso difensore del modello copernicano, per primo si rese conto che il ritenere ferma la sfera delle stelle fisse permetteva un suo estendersi fino all'*infinito*. Non solo l'Universo è infinito ma esso contiene innumerevoli mondi simili al nostro e come il nostro possono essere abitati.

Il mondo che gli antichi filosofi dicevano essere generato, ed in seguito eterno [...] non è l'Universo, ma soltanto questa macchina e le altre macchine simili a questa. [...] Uno è il loco generale, uno il spacio immenso che chiamar possiamo liberamente vacuo; in cui sono innumerabili e infiniti globi, come vi è questo in cui vivemo e vegetemo noi. Cotal spacio lo diciamo infinito, perché non è raggione, convenienza, possibilità, senso o natura che debba finirlo.⁵⁷

Molto interessanti sono le sue considerazioni in favore del moto della Terra. I corpi che sono sulla Terra partecipano al movimento della Terra, non perché partecipano alla sua *natura*, come affermava Copernico, ma perché *sono in essa*, allo stesso modo in cui i corpi su una nave partecipano al movimento di questa.

il che se non fusse vero, seguitarebbe che, quando la nave corre per il mare, giammai alcuno potrebbe trarre per dritto qualche cosa da un canto di quella a l'altro, e non sarebbe possibile che un potesse far un salto e ritornar co' piè, onde li tolse.⁵⁸

Ma il pensiero di Bruno ebbe anche un influsso negativo. La negazione dell'unicità del mondo mostrò chiaramente a quali estreme conseguenze poteva portare il modello copernicano e influenzò senz'altro le decisioni della Chiesa nei confronti del copernicanesimo. E la morte sul rogo, alla quale Bruno fu condannato dalla Chiesa di Roma nel 1600, non poteva facilmente essere dimenticata dai futuri scienziati.

3. Il cannocchiale (telescopio)⁵⁹

Così racconta lo stesso Galileo all'inizio del Sidereus Nuncius: 60

Circa dieci mesi fa [primavera 1609] ci giunse notizia che era stato costruito da un certo Fiammingo un occhiale [quodam Belga Perspicillum elaboratum]⁶¹, per mezzo

⁵⁷ G. Bruno, *De l'infinito universo e mondi*. Citato da A. Koiré, in *Dal mondo chiuso all'universo infinito*, Milano, Feltrinelli, 1979, p. 38.

⁵⁸ G. Bruno, De l'infinito universo..., p. 40.

⁵⁹ In realtà negli scritti in italiano del tempo si parla di *cannone* o *occhiale*, mentre in quelli in latino di *perspicillum*. La prima denominazione fa riferimento alla sua struttura (due lenti inserite in un tubo), mentre la seconda alla sua funzionalità (da *perspicere* = guardare dentro, scovare). Il termine *telescopio* fu probabilmente coniato da Federico Cesi, fondatore dell'Accademia dei Lincei. Galileo usa per la prima volta questo termine nella lettera a Dini del 21 maggio 1611. Oggi si utilizza il termine cannocchiale per gli strumenti utilizzati per osservare realtà presenti sulla Terra, mentre telescopio per gli strumenti utilizzati per osservare le realtà extraterrestri.

⁶⁰ G. Galilei, Sidereus Nuncius, Venetiis, apud Thomam Baglionum. MDCX in EN, vol. III, pp. 9-96.

del quale gli oggetti visibili, pur distanti assai dall'occhio di chi guarda, si vedevan distintamente come fossero vicini; e correvan voci su alcune esperienze di questo mirabile effetto, alle quali chi prestava fede, chi no. Questa stessa cosa mi venne confermata pochi giorni dopo per lettera dal nobile francese Iacopo Badovere, da Parigi; e questo fu causa che io mi volgessi tutto a cercar le ragioni e ad escogitare i mezzi per giungere all'invenzione di un simile strumento, che poco dopo conseguii, basandomi sulla dottrina delle rifrazioni. 62 Preparai dapprima un tubo di piombo alle cui estremità applicai due lenti, entrambe piane da una parte, e dall'altra una convessa e una concava; posto l'occhio alla parte concava vidi gli oggetti abbastanza grandi e vicini, tre volte più vicini e nove volte più grandi di quanto non si vedano a occhio nudo. In seguito preparai uno strumento più esatto, che mostrava gli oggetti più di sessanta volte maggiori. E finalmente, non risparmiando fatiche e spese, venni a tanto da costruirmi uno strumento così eccellente, che gli oggetti visti per il suo mezzo appaiono ingranditi quasi mille volte e trenta volte più vicini che visti a occhio nudo. Quanti e quali siano i vantaggi di un simile strumento, tanto per le osservazioni di terra che di mare, sarebbe del tutto superfluo dire. 63

Il 23 Agosto dello stesso anno Galileo mostrava il suo nuovo cannocchiale al Doge dalla cima del campanile di S. Marco in Venezia.

[...] sono 6 giorni che sono stato chiama[to] dalla Ser.^{ma} Signioria, alla quale mi è convenuto mostrarlo et [in]sieme a tutto il Senato, con infinito stupore di tutti; e sono stati moltissimi i gentil'huomini e senatori, li quali, benchè vecchi, hanno più d'una volta fatte le scale de' più alti campanili di Vene[tia] per scoprire in mare vele e vasselli tanto lontani, che venendo a tutte vele verso il porto, passavano 2 hore e più di tempo avanti che, senza il mio occhiale, potessero essere veduti: perchè in

⁶¹ Risulta tuttavia che i primi cannocchiali furono costruiti contemporaneamente da due occhialai di Middelburg, (Olanda sud occidentale) tali Hans Lipperhey (?-1619) e Sacharias Janssen (1588-1630). La notizia della nuova invenzione si diffuse rapidamente nel resto d'Europa, e già nell'aprile del 1609 piccoli cannocchiali della lunghezza di una trentina di centimetri erano comunemente in vendita a Parigi e Londra. In Italia, il nuovo strumento fece la sua comparsa a Milano nel maggio dello stesso anno e alcuni mesi più tardi a Venezia, dove Fra Paolo Sarpi (1552-1623), amico di Galileo, ne aveva avuto notizia fin dal novembre del 1608.

Questa affermazione (il corsivo è nostro) non corrisponde probabilmente a verità. Non sembra infatti possibile che Galileo sia arrivato alla costruzione del suo cannocchiale sulla base di considerazioni teoriche, ma piuttosto per via empirica *provando e riprovando*. L'unico serio trattato di ottica del tempo era quello di Keplero pubblicato nel 1604 che però Galileo non aveva ancora potuto leggere (Galileo a Giuliano de' Medici, 1 ott. 1610). Inoltre in una lettera a Liceti del 23 giugno 1640, due anni prima della morte, ormai cieco nell'esilio di Arcetri scriveva: «Me lo farò leggere [il libro *De luminis natura et efficientia* dello stesso Liceti] con speranza di esser in breve ora per intender quello in che pensando molte e molte centinaie d'ore non mi è succeduto di poter restar capace; parlo della essenza della luce, di che sono stato sempre in tenebre».

63 G. Galilei, *Sidereus Nuncius*, EN, vol. III, p. 60. I due cannocchiali che si trovano ora al Museo Galileo di Firenze hanno le seguenti caratteristiche. Il primo è costituito da un tubo di legno lungo 1360 millimetri, diametro di 64 millimetri; la lente obiettiva è biconvessa e ha un diametro di 51 millimetri, quella dell'oculare è piano-concava e ha un diametro di 26 millimetri. La focale è di -94 millimetri, la capacità di 14 ingrandimenti. Il secondo, anch'esso di legno, è lungo 920 millimetri. La lente obiettiva è biconvessa e ha il diametro di 37 millimetri, quella oculare è biconvessa e ha il diametro di 22 millimetri. La focale è di -47,5 millimetri. Capacità: 21 ingrandimenti.

somma l'effetto di questo strumento è il rappresentare quell'oggetto che è, ver[bi] gratia, lontano 50 miglia, così grande e vicino come se fussi lontano miglia 5.64

Successivamente fece omaggio di un esemplare al Senato della Repubblica che riconoscente lo confermò a vita sulla cattedra padovana e aumentò il suo compenso da 200 a 1000 fiorini in virtù dell'importanza della sua realizzazione.

La sera del 30 novembre rivolse per la prima volta il cannocchiale verso il cielo e cominciò a osservare la Luna.

L'idea di utilizzare il cannocchiale per scrutare il cielo non era così banale. Come abbiamo visto in quel periodo si riteneva il cielo costituito da sfere cristalline di cui non si conoscevano ovviamente le proprietà ottiche.

Cosa sarebbe successo ai raggi di luce nell'attraversare tali mezzi era quindi imprevedibile. Anche dopo le osservazioni di Galileo, filosofi come il Cremonini si rifiutavano di guardare attraverso lo strumento. Vasco Ronchi, noto per i suoi studi sulla storia dell'ottica e sul telescopio di Galileo⁶⁵ scriveva:

Galileo era totalmente ignorante della scienza dell'ottica e non è troppo audace supporre che questa sia stata una fortuna per lui e per l'umanità in generale.

Dello stesso parere è Paul Feyerabend; portando tale esempio come prova della sua convinzione che le grandi scoperte nella scienza avvengono quando non si seguono i canoni del pensiero scientifico dominante, afferma:

Eppure ebbe successo! Ancora una volta l'ignoranza, o la superficialità o la mancanza di rigore si risolsero in una benedizione. 66

Lo stesso Keplero nel congratularsi con Galileo scriveva:

Tu [Galileo] lasciata da parte ogni diffidenza ti sei rivolto direttamente alla testimonianza degli occhi.67

Sulla base di quanto discusso nel paragrafo 1, riteniamo invece che Galileo nel 1609 fosse ormai convinto della inadeguatezza della fisica aristotelica e che anche nel cielo dovessero valere le leggi della fisica che aveva verificato sulla Terra.

Egli utilizzò quindi con conoscenza di causa il cannocchiale per scrutare (perspicere) il cielo, una volta verificato il suo corretto funzionamento nell'ambito terrestre.

Galileo ebbe il coraggio di accettare la realtà di ciò che vide con il solo cannocchiale. Per la prima volta nella storia della scienza uno strumento, costruito dall'uomo, si sostituisce ai sensi nello studio della natura.

⁶⁴ Galileo a B. Landucci, Venezia 29 Agosto 1609.

⁶⁵ V. Ronchi, Il cannocchiale di Galileo e la scienza del seicento (Einaudi, Torino, 1958) e Galileo e il suo cannocchiale (Torino, Boringhieri, 1964).

66 P. Feyerabend, Contro il metodo, Milano, Feltrinelli, 2004.

⁶⁷ Keplero, Dissertatio cum Nuncio Sidereo, in Discussione sul Nunzio Sidereo, a cura di E. Pasoli e G. Tabattoni, Torino, Bottega d'Erasmo, 1972, p. 31.

4. Le osservazioni del cielo

4.1. Le prime osservazioni riportate nel Sidereus Nuncius

Le prime osservazioni risalgono all'inverno 1609-10 e Galileo si affrettò a pubblicarle nel marzo dello stesso anno ⁶⁸ recandosi egli stesso più volte a Venezia per seguire le operazioni di stampa. ⁶⁹

La Luna⁷⁰

Galileo osservò la Luna dal 29 novembre al 17 dicembre realizzando almeno cinque schizzi, sulla base dei quali preparò degli accuratissimi acquerelli di cui quattro furono scelti per la pubblicazione.

La Luna non è più un oggetto 'celeste', eterno e immutabile, costituito da una sostanza perfetta e uniforme, ma come la Terra presenta montagne, crateri e «mari».

[...] Bellissima cosa e mirabilmente piacevole, vedere il corpo della Luna, lontano da noi quasi sessanta raggi terrestri, così da vicino come distasse solo due di queste dimensioni; così che si mostrano il diametro stesso della Luna quasi trenta volte, la sua superficie quasi novecento, il volume quasi ventisettemila volte maggiori che quando si guardano a occhio nudo: e quindi con la certezza della sensata esperienza chiunque può comprendere che la Luna non è ricoperta da una superficie liscia e levigata, ma scabra e ineguale, e, proprio come la faccia della Terra, piena di grandi sporgenze, ⁷¹ profonde cavità e anfratti. ⁷²

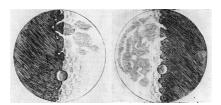


Figura 12. Prima immagine della Luna riportata nel Sidereus Nuncius

_

⁶⁸ «Non prima che oggi, et ben tardi, si è potuto havere alcuna copia del mio Avviso Astronomico» Galileo a Belisario Vinta 13 Marzo 1610. L'opera fu stampata in cinquecento copie.

⁶⁹ Il 30 gennaio era già a Venezia. « Io mi trovo al presente in Venezia per fare stampare alcune osservazion le quali col mezo di uno mio occhiale ho fatte ne i corpi celesti; et sì come sono di infinito stupore, così infinitamente rendo grazie a Dio, che si sia compiaciuto di far me solo primo osservatore di cosa ammiranda et tenuta a tutti i secoli occulta.» Galileo a Belisario Vinta da Venezia 30 gennaio 1610. L'ultima osservazione su Giove riportata risale al 2 Marzo.

⁷⁰ Quattro mesi prima di Galileo l'astronomo e matematico inglese Thomas Harriot (1560-1621) fece una prima osservazione della Luna con un telescopio da 6 ingrandimenti riportandone uno schizzo povero di dettagli su di un foglio che porta la data del 26 giugno 1609. Riprese poi le osservazioni dopo le scoperte di Galileo realizzando la prima mappa della Luna (1611).
⁷¹ Una chiara indicazione della presenza di alte montagne viene dalle piccole macchie chiare nella zona in

[&]quot;Una chiara indicazione della presenza di alte montagne viene dalle piccole macchie chiare nella zona in ombra, come capita sulla Terra al tramonto quando, ormai nella semioscurità vediamo ancora le alte cime illuminate dal sole.

⁷² G. Galilei, *Sidereus Nuncius*, EN, vol. III, p. 59.

Questo risultato contrastava con le interpretazioni del tempo sulle macchie lunari che si vedono a occhio nudo. I matematici del Collegio Romano in risposta ad una richiesta del card. Bellarmino («se la luna habbia la superficie aspera et ineguale» ⁷³) rispondevano (24 aprile 1611):

[...] non si può negare la grande inequità della luna; ma pare al P. Clavio più probabile che non sia la superficie ineguale, ma più presto che il corpo lunare non sia denso uniformemente et che abbia parti più dense et più rare, come sono le macchie ordinarie, che si vedono con la vista naturale.74

Queste nuove osservazioni confermavano inoltre le ipotesi che Galileo aveva già avanzato alcuni anni prima sull'origine della luce cinerea della Luna:⁷⁵

a vece alterna la Luna ci somministra il chiarore mensile ora più fulgido, ora più debole. Ma con egual misura la Terra ricambia. Infatti, mentre la Luna si trova in congiunzione col Sole ha di fronte tutta la superficie dell'emisfero terrestre esposto al Sole e illuminato vividamente, e riceve la luce riflessa da quella; perciò l'emisfero inferiore della Luna, privo di luce solare, per effetto di tale riflessione appare non poco luminoso.⁷⁶

Le stelle

E prima di ogni altro, un fatto è degno di attenzione, che cioè le stelle quando si osservano col cannocchiale non sembrano affatto aumentare di grandezza nella medesima proporzione secondo cui gli altri oggetti, ed anche la Luna, s'ingrandiscono: nelle stelle tale aumento appare di gran lunga minore [...]. E la ragione di ciò è questa, che quando gli Astri sono guardati con la libera e naturale facoltà visiva, non ci offrono secondo la loro semplice, e per così dire, nuda grandezza, ma irradiati da certi fulgori, e da brillanti raggi chiomati, e ciò massimamente a notte inoltrata; per il che sembrano di gran lunga maggiori, che se fossero spogli da quei crini acquisiti; poiché l'angolo visivo è determinato non dal corpuscolo primario, ma dallo splendore largamente circonfuso. [...] Degna di nota sembra anche la differenza tra l'aspetto dei pianeti e quello delle Stelle fisse. I pianeti presentano i loro globi esattamente rotondi e definiti e, come piccole lune luminose perfuse ovunque di luce, appaiono circolari: le Stelle fisse invece non si vedon mai terminate da un contorno. 77

⁷³ Bellarmino ai Matematici del Collegio Romano, [Roma], 19 aprile 1611.

⁷⁴ Lo stesso Dante alla domanda di Beatrice affermava «Ma dimmi quel che tu da te ne pensi'/e io "Ciò che m'appar quassù diverso/credo che fanno i corpi rari e densi''». *Par*. II.

75 La luce cinerea è la debole illuminazione della parte in ombra della Luna. Tale fenomeno si osserva

particolarmente durante la prima e l'ultima fase quando la Luna si trova in mezzo fra la Terra e il Sole e, quindi, riceve la massima illuminazione dal nostro pianeta che si presenta per la luna come *Terra piena*. ⁷⁶ G. Galilei, *Sidereus Nuncius*, EN, vol. III, p. 74.

⁷⁷ EN, vol. III, p. 75.

Il cannocchiale riduceva così il diametro angolare delle Stelle da due minuti a pochi secondi. Inoltre si vedevano nel cielo molte più stelle di quelle che si vedono a occhio nudo.⁷⁸

Ma poi al di là delle stelle di sesta grandezza, si scorgerà col cannocchiale un così numeroso gregge di altre, fuggenti alla vista naturale, che è appena credibile.⁷⁹

Esistono comunque in Aristotele e Tolomeo cenni alla possibilità dell'esistenza di stelle non visibili.⁸⁰

E ancora la Via Lattea appariva come un insieme di una miriade di stelle così lontane da non potersi distinguere a occhio nudo.

I satelliti di Giove

Le osservazioni cominciarono il 7 gennaio 1610 a un'ora di notte:81

Ma quel che di gran lunga supera ogni meraviglia, e principalmente ci spinse a renderne avvertiti tutti gli astronomi e filosofi, è l'aver scoperto quattro astri erranti, da nessuno, prima di noi, conosciuti né osservati, che, a somiglianza di Venere e Mercurio intorno al Sole, hanno le loro rivoluzioni attorno a un certo astro cospicuo tra i conosciuti, ed ora lo precedono ora lo seguono, non mai allontanandosene oltre determinati limiti.

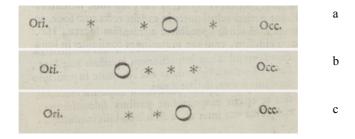


Figura 13. Alcuni disegni dei satelliti di Giove riportati nel Sidereus Nuncius

⁷⁸ Riferendosi a questa scoperta John Milton (1608-1674) ebbe a dire «Come mai la natura, che di solito è così frugale e saggia, si è resa responsabile di questa sproporzione creando tutti questi eccessi di corpi totalmente inutili?» (John Milton, *Il Paradiso perduto*, Bompiani, 2009, p. 201).

⁷⁹ G. Galilei, *Sidereus Nuncius*, EN, vol. III, p. 76.

⁸⁰ Si veda ad esempio la lettera di Gio. Battista Manso a Paolo Beni, marzo 1610 a commento delle osservazioni di Galileo.

⁸¹ Si tratta dell'ora italiana a partire dal tramonto.

Ma seguiamo le varie fasi di questa scoperta:

[...] Il giorno sette gennaio dell'anno milleseicentodieci, a un'ora di notte, mentre col cannocchiale osservavo gli astri mi si presentò Giove; [...] vidi che intorno gli stavano tre stelle piccole ma luminosissime e quantunque le credessi del numero delle fisse, mi destarono una certa meraviglia, perché apparivano disposte esattamente secondo una linea retta e parallela all'eclittica, e più splendenti delle altre di grandezza uguale alla loro [Figura 13a] [...]. Quando, non so da qual destino condotto, mi rivolsi di nuovo alla medesima indagine il giorno otto, vidi una disposizione ben diversa. [Figura 13b] A questo punto, non pensando assolutamente allo spostamento delle stelle, [...] ebbi il dubbio che Giove [...] avesse col proprio moto oltrepassato quelle stelle. Ma il giorno dieci ve n'erano due soltanto, ed entrambe orientali. [Figura 13c]. Quando vidi questo e compresi che in alcun modo potevano attribuirsi a Giove simili spostamenti, mutando la perplessità in meraviglia, compresi che l'apparente mutazione non era di Giove ma delle stelle da me scoperte; e per questo pensai di dovere da allora in poi osservare a lungo il fenomeno attentamente e scrupolosamente. Stabilii dunque e conclusi fuor d'ogni dubbio che in cielo v'erano stelle vaganti attorno a Giove, come Venere e Mercurio attorno al Sole.82

Galileo dedicò questa scoperta, come pure il trattato, a Cosimo de' Medici chiamando i satelliti *astri medicei*.⁸³

Era più che naturale che altri astronomi, anche con cannocchiali di minor potenza si dessero a osservare il cielo. Nel 1614 l'astronomo tedesco Simon Mayr (Marius) (1573-1624) pubblicava un trattato dal titolo *Mundus Jovialis anno MDCIX detectus ope perspicilli Belgici* nel quale sosteneva di aver osservato i satelliti di Giove fino dalla fine del 1609. La reazione di Galileo fu pesante. Utilizzando l'occasione della pubblicazione de *Il Saggiatore* sostenne con dati tecnici che Mayr non aveva mai eseguito tali osservazioni o comunque non prima di lui.⁸⁴

⁸² Il corsivo è nostro. EN, vol. III, pp. 80-81.

^{83 «}Il pensiero di V. S. intorno al porre i nomi a i nuovi pianeti trovati da lei, con inscrivergli dal nome del Ser. ^{mo} Padrone, è generoso et heroico, et conforme agli altri parti singolari del suo mirabile ingegno: et poichè ella ha voluto farmi l'onore del domandarmi il mio parere circa al chiamar detti pianeti o *Cosmici* o *Medicea Sydera*, io le dirò liberamente che questa seconda inscrizzione tengo per fermo che piacerà più, perchè, potendosi la voce greca *Cosmici* interpretare in diversi sensi, non sarebbe forse interamente attribuita da ogn'uno alla gloria del Ser. ^{mo} nome della Casa de' Medici et della loro natione et città di Firenze, come necessariamente sarà la denominatione di *Medicea Sydera*; et però senz'altro a questa mi appiglierei.» Belisario Vinta a Galileo 20 febbraio 1610.

^{84 «}Io scrissi nel mio Nunzio Sidereo d'aver fatta la mia prima osservazione alli 7 di gennaio dell'anno 1610, seguitando poi l'altre nelle seguenti notti: vien Simon Mario, ed appropriandosi l'istesse mie osservazioni, stampa nel titolo del suo libro, ed anco per entro l'opera, aver fatto le sue osservazioni fino dell'anno 1609, onde altri possa far concetto della sua anteriorità: tuttavia la più antica osservazione ch'ei produca poi per fatta da sé, è la seconda fatta da me; ma la pronunzia per fatta nell'anno 1609, e tace di far cauto il lettore come, essendo egli separato dalla Chiesa nostra, né avendo accettata l'emendazion Gregoriana, il giorno 7 di gennaio del 1610 di noi cattolici è l'istesso che il di 28 di decembre del 1609 di loro eretici. E questa è tutta la precedenza delle sue finte osservazioni!».

Pur tuttavia i nomi attualmente utilizzati per i quattro satelliti visti da Galileo sono quelli attribuiti dal Mayr: Io, Europa, Ganimede e Callisto, che figurano nella mitologia greca come amori clandestini di Giove.

4.2. Le osservazioni successive

Anche dopo la pubblicazione del *Sidereus Nuncius*, Galileo continuò le sue osservazioni dapprima a Padova e successivamente a Firenze dove si era trasferito nel settembre del 1610 con la nomina di «matematico primario allo Studio di Pisa e filosofo del Serenissimo Gran Duca senza l'obbligo di insegnamento e di residenza»: l'elevato stipendio e la libertà da ogni impegno didattico gli consentirono di concentrarsi esclusivamente sulla ricerca.

Saturno

Il 30 luglio 1610 scriveva da Padova a Belisario Vinta:85

Ho cominciato il dì 25 [luglio] stante a rivedere Giove orientale mattutino, con la sua schiera de' Pianeti Medicei, et più ho scoperto un'altra stravagantissima meraviglia, la quale desidero che sia saputa da loro A. ze et da V. S., tenendola però occulta, sin che nell'opera che ristamperò sia da me publicata [...]. Questo è, che la stella di Saturno non è una sola, ma un composto di 3, le quali quasi si toccano, né mai tra di loro si muovono o mutano; et sono poste in fila secondo la lunghezza del zodiaco, essendo quella di mezzo circa 3 volte maggiore delle altre 2 laterali: et stanno situate in questa forma oOo, sì come quanto prima farò vedere a loro A. ze

Ma per maggior prudenza nell'agosto inviava anche una lettera all'ambasciatore di Toscana a Praga, Giuliano de' Medici, con un messaggio costituito da una incomprensibile sequenza di trentasette lettere che annunciava questa scoperta:

SMAISMRMILMEPOETALE UMIBUNENUGTTAURIAS.

Solo più tardi in una successiva lettera del 13 novembre 1610 allo stesso ambasciatore svelava il significato dell'anagramma:

Le lettere dunque, combinate nel loro vero senso, dicono così:

ALTISSIMUM PLANETAM TERGEMINUM OBSERVAVI.

Questo è, che Saturno, con mia grandissima ammiratione, ho osservato essere non una stella sola, ma tre insieme, le quali quasi si toccano [...]. Hor ecco trovata la

⁸⁵ Belisario Vinta era segretario di Stato del Granducato. In questa veste fu in contatto con Galileo negli anni dell'insegnamento a Padova, conducendo personalmente la trattativa che riportò lo scienziato pisano in Toscana a seguito delle scoperte astronomiche.

corte a Giove, et due servi a questo vecchio, che l'aiutano a camminare né mai se gli staccano dal fianco.

Nel frattempo però Keplero, a cui l'ambasciatore aveva trasmesso il messaggio, ⁸⁶ aveva tentato di decifrare l'anagramma arrivando a una soluzione che egli stesso definì «barbaro verso latino»: *Salve umbistineum geminatum martia proles* (Salve, furiosi gemelli, prole di Marte). La cosa curiosa è che Marte ha in realtà due satelliti che furono però scoperti solo nel 1877.

Le fasi di Venere

- L'11 dicembre Galileo scriveva ancora a Giuliano de' Medici in Praga:
 - [...] gli mando *cifera* di un particolare osservato da me, il quale [...] contiene in sé un gagliardo argomento per la constituzione Pythagorea et Copernicana [...]

HAEC IMMATURA A ME IAM FRUSTRA LEGUNTUR O Y

e il 1° gennaio del nuovo anno rivelava, sempre all'ambasciatore, la soluzione dell'anagramma:

È tempo che io deciferi a V. S. III. ma et R. ma, et per lei al S. Keplero, le lettere trasposte, le quali alcune settimane sono gli inviai: è tempo, dico, già che sono interissimamente chiaro della verità del fatto, sì che non ci resta un minimo scrupolo o dubbio.

[...] Le parole dunque che mandai trasposte, et che dicevano Haec immatura a me iam frustra leguntur o y, ordinate [sono]

CYNTHIAE FIGURAS AEMULATUR MATER AMORUM,

ciò è che Venere imita le figure della luna.87

Nella lettera dell'11 dicembre Galileo non era quindi sicuro dell'esistenza delle fasi di Venere e che il pianeta dovesse pertanto ruotare intorno al Sole. Infatti se osserviamo una ricostruzione matematica delle immagini di Venere in quel periodo (vedi Figura 14) vediamo che le osservazioni fino all'11 dicembre non erano in grado di escludere che Venere potesse ruotare su un epiciclo al disopra dell'orbita del Sole («Se fusse superiore al sole (come piacque ad Aristotele) si vedrebbe sempre più di mezza assaissimo, e quasi

⁸⁷ Anche in questo caso Keplero aveva tentato di decifrare l'anagramma, trovando una soluzione differente: *MACULA RUFA IN IOVE EST GYRATUR MATHEM ECC. (C'è una macchia rossa in Giove che gira matematicamente).* Ancora la soluzione di Keplero risulterà essere vera! Giove ha, in effetti, una gran macchia rossa che gira in modo regolare, 'matematico', e che fu scoperta da Cassini nel 1885.

⁸⁶ «Ho salvato appresso di me il polizino mandatomi da V. S. con le lettere trasposte, con haverne dato copia ad alcuni et in particolare al Sig. Glepero (sic); il quale si consuma di sapere che cosa sia, e va inmaginandosi mille cose, e dice di non saper quietar l'animo». Giuliano de' Medici a Galileo, Praga, 23 agosto 1610.

sempre perfettamente rotonda»). ⁸⁸ La certezza si ebbe solo a fine mese quando cominciò a farsi «notabilmente cornicolata».

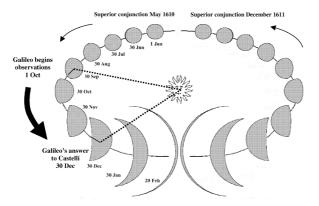


Figura 14. Ricostruzione matematica delle fasi di Venere. Il periodo di osservazione 1 ottobre-30 dicembre 1610 è chiaramente indicato dalle linee tratteggiate. Da Palo Palmieri, *Galileo and the discovery of the phases of venus*, JHA, 32, 109-129 (1984)

La lettera dell'11 dicembre sarebbe stata quindi scritta *al buio* per non perdere la priorità della scoperta, ancora una volta nella ferma convinzione della validità del sistema copernicano.⁸⁹

In effetti nella lettera del 1° gennaio afferma di aver voluto «veder col senso stesso quello di che non dubitava l'intelletto». Ma vediamo come descrive l'intera sequenza delle osservazioni compiute:

Sapranno dunque come, circa 3 mesi fa [1 ottobre], vedendosi Venere vespertina, la cominciai ad osservare diligentemente con l'occhiale, per veder col senso stesso quello di che non dubitava l'intelletto. La veddi dunque, sul principio, di figura rotonda, pulita et terminata, ma molto piccola: di tal figura si mantenne sino che cominciò ad avvicinarsi alla sua massima disgressione [1 nov.], tutta via andò crescendo in mole. 90 Cominciò poi a mancare dalla rotondità nella sua parte orientale et aversa al sole, et in pochi giorni si ridusse ad essere un mezo cerchio perfettissimo; et tale si mantenne, senza punto alterarsi, sin che incominciò a ritirarsi verso il sole, allontanandosi dalla tangente [15 dic.]. Hora va calando dal mezo cerchio et si mostra cornicolata [1 gen.], et anderà assottigliandosi sino all'occultazione [1 mar], riducendosi allora con corna sottilissi-

⁸⁸ Galileo a Paolo Sarpi, 25 febb. 1611. Mentre si poteva escludere che potesse ruotare su un epiciclo posto sotto l'orbita del Sole. «Se Venere si volge [...] sotto (come credette Tolommeo), mai non si mostrerebbe se non minore di mezzo cerchio».

⁸⁹ Alcuni storici pensano che egli abbia iniziato a osservare Venere proprio a partire da quei giorni sollecitato da una lettera del suo pupillo Benedetto Castelli, spedita da Brescia il 5 dicembre, nella quale si suggeriva che secondo il modello copernicano Venere avrebbe dovuto presentare delle fasi. Non sembra però verosimile che una lettera spedita da Brescia, al margine delle normali vie di comunicazioni, possa essere giunta e Firenze in meno di sei giorni. Ciò è in parte confermato dal fatto che Galileo nella lettera di risposta a Castelli del 30 dicembre non fa alcun cenno ad una successiva lettera dello stesso Castelli spedita sempre da Brescia il 24 dicembre (cioè sei giorni prima).

²⁴ dicembre (cioè sei giorni prima).

90 Nella lettera a G. de' Medici del 13 novembre già citata a proposito di Saturno scriveva però: «Intorno a gl'altri pianeti non ci è novità alcuna».

me; quindi, passando ad apparizione mattutina, la vedremo pur falcata et sottilissima, et con le corna averse al sole; anderà poi crescendo sino alla massima disgressione, dove sarà semicircolare, et tale, senza alterarsi, si manterrà molti giorni; et poi dal mezo cerchio passerà presto al tutto tondo, et così rotonda si conserverà poi per molti mesi.

Per poi concludere:

Ma è il suo diametro adesso circa cinque volte maggiore di quello che si mostrava nella sua prima apparizione vespertina: dalla quale mirabile esperienza haviamo sensata et certa dimostrazione di due gran questioni, state sin qui dubbie tra' maggiori ingegni del mondo. L'una è, che i pianeti tutti sono di loro natura tenebrosi (accadendo anco a Mercurio l'istesso che a Venere): l'altra, che Venere necessariissimamente si volge intorno al sole, ⁹¹ come anco Mercurio et tutti li altri pianeti, cosa ben creduta da i Pittagorici, Copernico, Keplero et me, ma non sensatamente provata, come hora in Venere et in Mercurio.

Per quanto riguarda il fatto che a occhio nudo non si osservano particolari variazioni nella forma, nè nella luminostà del pianeta, nella lettera a Paolo Sarpi già richiamata, ritiene che ciò sia dovuto a:

la piccolezza e la gran lontananza di essa Venere, in comparazion della luna, [...], siccome anco l'esperienza ci mostra; perchè rivoltando il cannone sì che rappresenti gli oggetti piccoli e lontanissimi, la medesima luna, quando è corniculata di tre giorni e non più, ci apparisce rotonda e radiante, similissima a Venere veduta con la vista naturale. Siamo in oltre da queste medesime apparizioni di Venere fatti certi come i pianeti tutti ricevono il lume dal sole, essendo per lor natura tenebrosi.

Ci si può ora domandare come mai Galileo nonostante più volte sollecitato, ⁹² pubblicherà tutti questi risultati solo di sfuggita in un trattato sulle *macchie solari* stampato a cura dell'accademia dei Lincei nel 1613:⁹³

Venere va mutando le figure nell'istesso modo che la Luna, ed in questi tempi potrà Apelle⁹⁴ osservarla col telescopio, e la vedrà di figura perfetta circolare e molto piccola, se bene assai minore si vedeva nel suo esorto vespertino; potrà poi seguitare di osservarla e la vedrà, intorno alla sua massima digressione, in figura di mezzo cerchio; dalla qual figura ella passerà alla forma falcata, assottigliandosi pian piano secondo che ella si anderà avvicinando al Sole; intorno alla cui congiunzione si vedrà così sottile come la Luna di due o tre giorni; la grandezza del suo visibil cerchio sarà

⁹² «Ella non ha ancor scritto cosa alcuna della cornuta Venere e del tripplice Saturno. Faccialo, per gratia, quanto prima, acciò i suoi figli non trovino qualche sfacciato padre che ardisca adottarseli.» F. Cesi a Galileo, 20 agosto 1611.

⁹¹ Nella lettera a Paolo Sarpi già citata Galileo presenta come previsti tali risultati: «Stimando pure esser verissimo che tutti i pianeti si volghino intorno al sole come centro dei loro orbi, e più credendo che siano tutti per sè tenebrosi ed opachi come la terra e la luna, mi posi, quattro mesi sono, a osservar Venere».

⁹³ G. Galilei, *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari*, 1613. EN, vol. V, pp. 72-249 (prima lettera a Marco Velseri del 4 maggio 1612).

⁹⁴ Pseudonimo del gesuita Christoph Scheiner.

in guisa accresciuta, che ben si conoscerà l'apparente suo diametro nell'esorto vespertino esser meno che la sesta parte di quello che si mostrerà nell'occultazione vespertina o esorto mattutino, ed in conseguenza il suo disco apparir quasi 40 volte maggiore in questa positura che in quella: le quali cose non lascieranno luogo ad alcuno di dubitare qual sia la revoluzione di Venere, ma con assoluta necessità conchiuderanno, conforme alle posizioni de i Pittagorici e del Copernico, il suo rivolgimento esser intorno al Sole, intorno al quale come centro delle lor revoluzioni, si raggirano tutti gli altri pianeti (p. 98).

e successivamente nel 1623 nell'ultima parte del *Saggiatore*, dove è riportato un disegno delle varie fasi (vedi Figura 15):

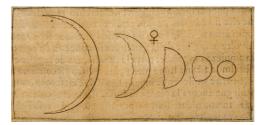


Figura 15. Disegno delle fasi di Venere, da Il Saggiatore, Roma, 1623

In realtà Galileo aveva inviato l'anagramma anche ad altri colleghi, che lo avevano divulgato, e descritto i risultati in più lettere tra cui una spedita il 30 dicembre allo stesso padre Clavio. Inoltre cannocchiali di buon livello erano ormai disponibili; lo stesso Bellarmino chiedendo il 19 aprile 1611 parere ai matematici del Collegio Romano sulle osservazioni di Galileo dichiarava:

So che le RR. VV. hanno notitia delle nuove osservationi celesti di un valente mathematico per mezo d'un instrumento chiamato *cannone* overo *ochiale*; et ancor io ho visto, per mezo dell'istesso instrumento, alcune cose molto maravigliose intorno alla luna et a Venere.

Interessante la risposta del 24 aprile per quanto riguarda Venere:

[...] è verissimo che Venere si scema et cresce come la luna: et havendola noi vista quasi piena, quando era vespertina, habbiamo osservato che a puoco a puoco andava mancando la parte illuminata, che sempre guardava il sole, diventando tutta via più cornicolata; et osservatala poi matutina, dopo la congiontione col sole, l'habbiamo veduta cornicolata con la parte illuminata verso il sole. Et hora va sempre crescendo secondo il lume, et mancando secondo il diametro visuale.

⁹⁵ L'anagramma fu infatti mandato anche ad Antonio Santini e Giovanni Magini, astronomo bolognese e Paolo Gualdo: «Io sono a Padova, dove ho incominciato a divulgare la dechiaratione dell'enigma Venereo, con stupore di questi SS.^{ri} filosofi, se bene si rendono più facili a credere questa osservatione, che non fecero quella delle Stelle Medicee: credo che si vergognino, e dubitino che tanto maggiore non appaia la loro ignoranza, overo ostinatione». P. Gualdo a Galileo Padova, 4 febbraio 1611.

dalla quale risulta che anche i gesuiti avevano cominciato a osservare il pianeta quasi contemporaneamente a Galileo.

Del resto i risultati erano in parte già scontati. La rivoluzione di Venere intorno al Sole era ormai da molti accettata, e la marcata variazione della sua distanza dalla Terra prevista sia da Tolomeo che da Brahe.

Le macchie solari

Sempre verso la fine del 1610 Galileo puntò il cannocchiale⁹⁶ verso il Sole osservandone l'immagine proiettata su uno schermo bianco; osservò le macchie solari e ne studiò sistematicamente il loro moto, limitandosi, questa volta, a comunicarne i risultati ad alcuni amici in forma privata:⁹⁷

Sono circa diciotto mesi, che riguardando con l'occhiale nel corpo del sole, quando era vicino al suo tramontare, scorsi in esso alcune macchie assai oscure [...]. Feci ad alcuni miei amici vedere tale stravaganza, e pur l'anno passato in Roma [aprile 1611] le mostrai a molti prelati e altri uomini di lettere; di lì fu sparso il grido per diverse parti d'Europa.

Verso la fine del 1611 il gesuita Cristoforo Scheiner rese pubbliche le proprie osservazioni, attribuendosi la priorità della scoperta. ⁹⁸ La reazione di Galileo non si fece attendere molto, e la risposta apparve in tre lettere scritte nel 1612 indirizzate al Duumviro di Augusta e socio linceo Marco Welser.

Al di là della polemica sulla priorità, ⁹⁹ è per noi interessante analizzare la diversa interpretazione che viene data di tali macchie e del loro moto. Il padre Scheiner, allo scopo di preservare la perfezione e incorruttibilità dei corpi celesti, attribuisce le macchie a zone d'ombra dovute a sciami di corpuscoli che ruotano esternamente intorno al Sole. Per Galileo, invece, l'irregolarità del loro formarsi e dissolversi può essere attribuita solo a fenomeni che avvengono internamente al Sole o alla sua atmo-

⁹⁸ Cristopher Scheiner, *Tres Epistolae de Maculis Solaribus Scriptae ad Marcum Welserum* (gennaio 1612) sotto lo pseudonimo di *Apelle*. Le macchie solari furono comunque osservate, prima di Scheiner e Galileo, da Thomas Hariot e successivamente da Johannes e David Fabricius. (*De Maculis in Sole Observatis Narratio*, 1611). Tuttavia in un documento cinese risalente al 28 a.C. si narra dell'osservazione di una macchia solare che viene descritta come «un vapore nero grande come una moneta» e un primo disegno di due macchie solari si trova in un manoscritto dell'8 dicembre del 1128 ad opera di John of Worcester, monaco benedettino inglese (informazione riportata da Alberto Righini).

⁹⁹ I primi riferimenti alle macchie solari sono quelli degli astronomi cinesi del primo millennio d.C., che probabilmente potevano vedere i gruppi di macchie più grandi quando lo splendore del sole era offuscato dalla polvere sollevata dai vari deserti dell'Asia centrale. Furono osservate telescopicamente per la prima volta nel 1610 dagli astronomi Johannes e David Fabricius, che pubblicarono una loro descrizione nel giugno del 1611. La polemica tra Galileo e Scheiner per la priorità, quando nessuno dei due sapeva del lavoro dei Fabricius, fu quindi tanto acida quanto inutile.

⁹⁶ Nella lettera precedentemente citata del febbraio P. Gualdo scherzosamente affermava: «Sinhora V. S. ha penetrato i secreti della Luna, di Venere, di Mercurio, di Giove e di Saturno; non veggo che ancora ella s'accosti al Sole: sovvienle forsi il caso di Fetonte o d'Icaro, che l'uno e l'altro, per avvicinarsi troppo a quello, restorno malamente trattati».

⁷ Galileo a Maffeo Barberini (futuro Urbano VIII), 12 luglio 1612.

sfera, mentre il loro moto è dovuto ad un moto rotatorio dello stesso Sole, ¹⁰⁰ a conferma della teoria di Keplero, che attribuiva alla rotazione del Sole la causa responsabile del movimento di tutto il sistema solare.

4.3. La disputa sul galleggiamento

Il trasferimento a Firenze coincise per Galileo con un breve periodo di gloria. Dopo un primo momento di diffidenza, sia Keplero¹⁰¹ che il padre Clavio¹⁰² e con lui tutto il collegio Romano dei gesuiti (vale a dire le massime autorità scientifiche dell'epoca) riconobbero la veridicità e l'importanza delle sue scoperte.

Il 29 marzo 1611 Galileo giunse a Roma dove fu accolto in modo trionfale da tutta la gerarchia ecclesiastica e dallo stesso pontefice Paolo V. Il principe Federico Cesi, che nel 1603 aveva fondato l'Accademia dei Lincei, lo volle subito come membro autorevolissimo dell'Accademia. Ebbe inoltre una serie di incontri con i Padri gesuiti, come riferisce egli stesso scrivendo il 1° Aprile a Belisario Vinta:

Fui il giorno seguente da i Padri gesuiti et mi trattenni lungamente col Padre Clavio [...] Ho trovato che i nominati Padri, havendo finalmente conosciuto la verità de i nuovi Pianeti Medicei, ne hanno fatte da due mesi in qua continue osservazioni.

In realtà, come abbiamo visto, i gesuiti accettarono la validità di tutte le osservazioni fatte da Galileo, ma non l'interpretazione da lui data.

Tornato a Firenze si trovò ben presto coinvolto presso la corte del Gran Duca in riunioni con filosofi e scienziati di diversa estrazione a discutere sui più disparati argomenti scientifici. Una di queste discussioni riguardò il galleggiamento; contro l'interpretazione dei filosofi peripatetici egli prese le difese di Archimede ancora una volta in aperto contrasto con le teorie aristoteliche.

Per meglio precisare il suo pensiero, interrompendo le ricerche astronomiche, si dedicò alla stesura di un Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono, 103 che fu pubblicato nel maggio del 1612. Partendo dalle considerazioni

italiano di aver lasciato intendere di essere l'ideatore del perspicillum, e di non aver citato coloro che, almeno da un punto di vista teorico, avevano già studiato il potere di ingrandimento delle lenti (Keplero era uno di questi!). Tuttavia, dopo che poté fare di persona delle osservazioni con il cannocchiale, che lo stesso Galileo aveva inviato in dono all'Elettore di Sassonia, riconobbe la validità e l'importanza delle scoperte di Galileo. ¹⁰² E ancora, come risulta da una lettera del Cigoli a Galileo del 1 ottobre 1610: «et il Clavio, capo di tutti,

 $^{^{100}}$ «Ânnomi finalmente le continuate osservazioni accertato, tali macchie esser materie contigue alla superficie del corpo solare, e quivi continuamente prodursene molte, e poi dissolversi, altre in più brevi ed altre in più lunghi tempi, ed esser dalla conversione del Sole in sé stesso, che in un mese lunare in circa finisce il suo periodo, portate in giro; accidente per sé grandissimo, e maggiore per le sue conseguenze.» Introduzione al Discorso intorno alle cose che stanne su'l'acqua (1612) EN, vol. IV, p. 64.

101 Keplero si mostrò dapprima molto cauto e sostanzialmente dubbioso, rimproverando allo scienziato

disse a un mio amico delle quattro stelle, che se ne rideva, et che bisognerà fare un occhiale che le faccia e poi le mostri». ¹⁰³ G. Galilei, Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono, EN, vol. IV,

pp. 61-140.

esposte da Platone nel *Timeo*, secondo le quali tutti i corpi sono pesanti, confuta la teoria aristotelica dell'esistenza di corpi pesanti e leggeri:

Io non diffiderei di poter sostenere per verissima la sentenza di Platone e di altri, li quali negano assolutamente la leggerezza, e affermano ne' corpi elementari non esservi altro principio intrinseco di movimento se non verso il centro della Terra, né essere altra cagione del movimento all'insù, intendendo di quello che ha sembianza di moto naturale, fuori che lo scacciamento del mezo fluido ed eccedente la gravità del mobile. 104

Il galleggiamento non è dovuto alla forma dei corpi o alla presenza in essi di una certa quantità di elementi leggeri, ma semplicemente ad una differenza tra la gravità in ispecie (cioè il peso specifico) del corpo e quella dell'acqua, indipendentemente dalla sua gravità assoluta (cioè il suo peso). 105 Il trattato ebbe un grande successo, anche se suscitò non poche polemiche da parte degli avversari.

5. In difesa di Copernico

Il primo intervento in favore del sistema copernicano lo troviamo già nel Sidereus Nuncius a commento delle osservazioni relative ai satelliti di Giove. L'importanza di queste osservazioni non risiedeva tanto nel fatto di aver visto dei corpi celesti che non ruotano intorno alla Terra, ¹⁰⁶ come spesso viene scritto, ma l'aver individuato che nel cielo oltre alle stelle, al Sole e ai pianeti esiste una nuova entità, il satellite, cioè un astro che ruota intorno al pianeta seguendolo nel suo moto di rivoluzione, dissipando così una delle maggiori obiezioni al sistema copernicano (punto 3 del paragrafo 2.5.):

Abbiamo dunque un valido ed eccellente argomento per togliere ogni dubbio a coloro che, accettando tranquillamente nel sistema di Copernico la rivoluzione dei pianeti intorno al Sole, sono tanto turbati dal moto della sola Luna intorno alla Terra, mentre entrambi compiono ogni anno la loro rivoluzione attorno al Sole, da ritenere si debba rigettare come impossibile questa struttura dell'universo. Ora, infatti, non abbiamo un solo pianeta che gira intorno a un altro, mentre entrambi percorrono la grande orbita intorno al Sole, ma la sensata esperienza ci mostra quattro stelle erranti attorno a Giove, così come la Luna attorno alla Terra, mentre tutte insieme con Giove, con periodo di dodici anni si volgono in ampia orbita attorno al Sole. 107

Inoltre per la prima volta si afferma che il Sole è al centro dell'Universo:

¹⁰⁴ EN, vol. IV, p. 85.

^{105 «}In guisa tale che un solido, purch'ei sia in ispecie men grave dell'acqua, benché poi di peso assoluto fosse mille libre, potrà da dieci libre d'acqua, e meno, essere innalzato e, all'opposto, un altro solido, purchè in ispecie sia più grave dell'acqua, benché di peso assoluto non fosse più di una libra, non potrà da tutto il mare essere sollevato dal fondo e sostenuto», EN, vol. IV, p. 80.

¹⁰⁶ A quel tempo era abbastanza accettato il fatto che Venere e Mercurio ruotassero intorno al Sole, come afferma lo stesso Galileo. Gia nel V secolo scriveva Marziano Capella «Venus vero ac Mercurius non ambiunt terram» (De Nuptiis Philologiae et Mercurii, L. VIII, 854).

¹⁰⁷ G. Galilei, Sidereus Nuncius, EN, vol. III, p. 95.

Ecco dunque quattro Stelle riservate al vostro inclito nome e non del numero gregario e meno insigne delle fisse, ma dell'ordine illustre dei Pianeti che con moto diverso, attorno a Giove nobilissima Stella, come progenie sua schietta, compiono l'orbita loro con celerità mirabile, e nello stesso tempo con unanime concordia compiono tutte insieme ogni dodici anni grandi rivoluzioni attorno al centro del mondo, cioè al Sole. 108

L'opportunità di affrontare il tema del rapporto tra la teoria eliocentrica e le Scritture (punto 1 del paragrafo 2.5.) venne offerta a Galileo verso la fine del 1613 da una discussione che si era tenuta presso la Corte dei Medici «circa il portar la Scrittura Sacra in dispute di conclusioni naturali ed alcun'altre in particolare sopra 'I luogo di Giosuè in contradizione della mobilità della Terra e stabilità del Sole», ¹⁰⁹ presenti le loro Altezze Serenissime e il fido discepolo Benedetto Castelli. In una famosa lettera del 21 dicembre allo stesso Castelli, ampliata poi nell'altra, celeberrima, alla Granduchessa Cristina del 1615, ¹¹⁰ Galileo enuncia la sua posizione sui rapporti tra scienza e fede.

Si è trattato di un ambizioso tentativo di politica culturale volto a convincere la Chiesa che i tempi erano cambiati e presto la visione copernicana si sarebbe imposta trovando la chiesa impreparata.¹¹¹ Come ebbe ad affermare Giovanni Paolo II nel 1992:¹¹²

Paradossalmente, Galileo, sincero credente, si mostrò su questo punto più perspicace dei suoi avversari teologi. "Se bene la Scrittura non può errare," scrive a Benedetto Castelli "potrebbe nondimeno talvolta errare alcuno de' suoi interpreti ed espositori, in vari modi".

In particolare nella lettera a Cristina di Lorena (definita da Giovanni Paolo II nella stessa occasione «un piccolo trattato di ermeneutica biblica»), Galileo affronta più in generale il problema dell'interpretazione delle Sacre Scritture, appoggiandosi all'autorità di S. Agostino e di altri Padri della Chiesa:

[...] mi par che nelle dispute di problemi naturali non si dovrebbe cominciare dalle autorità di luoghi delle Scritture, ma dalle sensate esperienze e dalle dimostrazioni necessarie: perché [procedono] di pari dal Verbo divino la Scrittura Sacra e la natura, quella come dettatura dello Spirito Santo, e questa come osservantissima essecutrice de gli ordini di Dio [...]. Stante questo, ed essendo, come si è detto, che due ve-

¹⁰⁹ B. Castelli a Galileo 14 dicembre 1613 «Giovedì mattina fui alla tavola de' Padroni [...] dove si ritrovava il G. D., Madama e l'Arciduchessa, il Sig. D. Antonio e D. Paolo Giordano, et il D. Boscaglia; e quivi Madama cominciò, dopo alcune interrogazioni dell'esser mio, a argomentarmi contro con la Sacra Scrittura».
¹¹⁰ Riportata in EN, vol. V, pp. 307-348.

¹⁰⁸ EN, vol. III, p. 94. Osserviamo che nonostante queste affermazioni il libro ricevette l'*imprimatur* da parte della chiesa di Venezia: «Nel libro intitolato: SIDEREUS NUNCIUS etc. di D. Galileo Galilei non si trova alcuna cosa contraria alla Santa Fede Cattolica, Prencipi e buoni costumi, e che è degno di stampa, concedono licenza che possi esser stampato in questa Città. Datum die primo Martii 1610».

In particolare riferendosi alla polemica sorta dopo le sue scoperte relative ai pianeti medicei scrive: «L'uno de' quali sieno le scritture che furon pubblicate contro a i pianeti Medicei, ultimamente da me scoperti, contro la cui esistenza furono opposti molti luoghi della Sacra Scrittura: ora che i pianeti si fanno veder da tutto il mondo, sentirei volentieri con quali nuove interpretazioni vien da quei medesimi oppositori esposta la Scrittura, e scusata la lor semplicità», EN, vol. V, p. 327.

¹¹² Discorso di Giovanni Paolo II ai partecipanti alla sessione plenaria della Pontificia Accademia delle scienze. Sabato, 31 ottobre 1992.

rità non possono contrariarsi, è officio de' saggi espositori affaticarsi per penetrare i veri sensi de' luoghi sacri, che indubitabilmente saranno concordanti con quelle conclusioni naturali, delle quali il senso manifesto e le dimostrazioni necessarie ci avessero prima resi certi e sicuri.

Se le scritture e la natura scaturiscano entrambe dal *Verbo divino* la prima deve adattarsi alle capacità di comprensione della gente comune, mentre la seconda seguire inesorabilmente le sue proprie leggi: linguaggio biblico e linguaggio naturale sono nettamente distinti e tesi a due diverse finalità; pertanto:

[è] necessario attribuire al Sole il moto, e la quiete alla Terra, per non confonder la poca capacità del vulgo e renderlo renitente e contumace nel prestar fede a gli articoli principali e che sono assolutamente de Fide, [...]. Ma più dirò, che non solamente il rispetto dell'incapacità del Vulgo, ma la corrente opinione di quei tempi, fece che gli scrittori sacri nelle cose non necessarie alla beatitudine più si accomodorno all'uso ricevuto che alla essenza del fatto.

Per quanto riguarda il famoso passo della Bibbia «o Sole fermati su Gabaon e tu, Luna, sulla valle d'Aialon» (Giosuè 10,12) Galileo mostra come sulla base di una interpretazione letteraria esso *non* sia conforme alla visione tolemaica, essendo il vero moto del Sole quello di rivoluzione intorno alla Terra, mentre il moto diurno è dovuto al trascinamento della sfera Stelle fisse:

Facendosi il movimento del Sole per l'eclittica secondo l'ordine de' segni, il quale è da occidente verso oriente, cioè contrario al movimento del primo mobile da oriente in occidente, che è quello che fa il giorno e la notte, chiara cosa è che, cessando il Sole dal suo vero e proprio movimento, il giorno si farebbe più corto, e non più lungo, e che all'incontro il modo dell'allungarlo sarebbe l'affrettare il suo movimento; in tanto che, per fare che il Sole restasse sopra l'orizonte per qualche tempo in un istesso luogo, senza declinar verso l'occidente, converrebbe accelerare il suo movimento tanto che pareggiasse quel del primo mobile, che sarebbe un accelerarlo circa trecento sessanta volte più del consueto. Quando dunque Iosuè avesse avuto intenzione che le sue parole fossero prese nel loro puro e propriissimo significato, averebbe detto al Sole ch'egli accelerasse il suo movimento, tanto che il ratto del primo mobile non lo portasse all'occaso; ma perchè le sue parole erano ascoltate da gente che forse non aveva altra cognizione de' movimenti celesti che di questo massimo e comunissimo da levante a ponente, accomodandosi alla capacità loro, e non avendo intenzione d'insegnargli la costituzione delle sfere, ma solo che comprendessero la grandezza del miracolo fatto nell'allungamento del giorno, parlò conforme all'intendimento loro.

e nella lettera a Castelli veniva presa in considerazione anche un'altra possibilità:

Ora, se il giorno depende non dal moto del Sole ma da quel del primo mobile, chi non vede che per allungare il giorno bisogna *fermare il primo mobile*, e non il Sole? Che l'intenzione di Giosuè fosse quella che si fermasse tutto il sistema delle sfere celesti si comprende dal comandamento fatto ancora alla Luna, ben che essa non avesse che fare nell'allungamento del giorno.

Il passo è invece spiegabile in termini copernicani in quanto, come aveva affermato Keplero, è il Sole con il suo moto di rotazione intorno al suo asse (confermato dalle osservazioni sulle macchie solari) che produce quello dell'intero sistema planetario:

Essendo egli [il Sole] fonte di luce, dal qual pur, com'io necessariamente dimostro, non solamente la Luna e la Terra, ma tutti gli altri pianeti, nell'istesso modo per se stessi tenebrosi, vengono illuminati, non credo che sarà lontano dal ben filosofare il dir che egli, come ministro massimo della natura e in certo modo anima e cuore del mondo, infonde a gli altri corpi che lo circondano non solo la luce, ma il moto ancora, co' l rigirarsi in se medesimo; sì che, nell'istesso modo che, cessando 'l moto del cuore nell'animale, cesserebbono tutti gli altri movimenti delle sue membra, così, cessando la conversion del Sole, si fermerebbono le conversioni di tutti i pianeti.

Quindi non solo della Terra, ma anche della Luna come precisato dal passo biblico. Inoltre viene interpretato il versetto successivo «stette fermo il Sole in mezzo al cielo [in medio cæli]» come una conferma della posizione del Sole al centro dell'Universo.

[...] che, quando anco si volesse affermare la quiete del Sole essersi fatta nell'ora del mezo giorno, il parlar proprio sarebbe stato il dire che *stetit in meridie, vel in meridiano circulo*, e non *in medio cæli*, poi che di un corpo sferico, quale è il cielo, il mezo è veramente e solamente il centro.

Molti esegeti inoltre avevano difficoltà a interpretare questo versetto in quanto:

perché quando fusse stato nel meridiano, essendo allora intorno al solstizio estivo, e però i giorni lunghissimi, non par verisimile che fusse necessario pregar l'allungamento del giorno per conseguir vittoria in un conflitto, potendo benissimo bastare per ciò lo spazio di sette ore e più di giorno che rimanevano ancora.

Tuttavia il tentativo non ebbe successo; Galileo fu oggetto di ripetuti attacchi da parte di esponenti dell'ordine domenicano (Lorini e Caccini) probabilmente istigati da filosofi aristotelici dell'area toscana, in particolare Ludovico Delle Colombe, i quali, non avendo valide obbiezioni scientifiche da contrapporre al sistema copernicano, pensarono di avvalersi delle Sacre Scritture. 113

Si creò in questo modo un clima ostile al copernicanesimo che portò alla messa all'indice dell'opera di Copernico *usque corrigatur*; il decreto del 5 marzo 1616 affermava la falsità della «dottrina pitagorica» della mobilità della Terra e immobilità del Sole, sottolineando l'incongruenza di questa dottrina con la Sacra Scrittura.

Nel decreto però Galileo non veniva nominato esplicitamente; fu solo ammonito privatamente dal Cardinale Bellarmino di «abbandonare la predetta opinione, di non accoglierla, insegnarla, farla oggetto di dimostrazione a parole o con scritti».

¹¹³ Scrive lo stesso Galileo sempre nella lettera a Cristina di Lorena: « [...] però diffidando ormai di difesa, mentre restassero nel campo filosofico; si son risoluti a tentar di fare scudo alle fallacie de' lor discorsi col manto di simulata religione e con l'autorità delle Scritture Sacre, applicate da loro, con poca intelligenza, alla confutazione di ragioni né intese né sentite. E hanno per lor medesimi cercato di spargere concetto nell'universale, che tali proposizioni sieno contro alle Sacre Lettere, ed in conseguenza dannande ed eretiche».

La messa all'indice dell'opera di Copernico irritò Keplero, il quale riferendosi chiaramente a Galileo affermava:

Alcuni per il loro imprudente contegno, l'hanno portato [il tentativo di divulgare il pensiero copernicano al di fuori della ristretta cerchia degli specialistici] a tal punto che la lettura dell'opera del Copernico, assolutamente libera per ottant'anni, è ora proibita.¹¹⁴

Iniziò per Galileo un lungo periodo di silenzio fino al 1623, quando venne eletto Papa il Cardinale Maffeo Barberini (Urbano VIII), di larga apertura verso la scienza e la cultura, e grande ammiratore di Galileo.

Il successo del nuovo libro, *Il Saggiatore* (1623), che nel frattempo Galileo aveva scritto, e la calorosa accoglienza ricevuta a Roma nell'aprile del 1624 da parte del Pontefice¹¹⁵ lo convinsero a riprendere le difese del sistema copernicano e per prima cosa si dedicò ad una risposta al *De situ et quiete Terrae contra Copernici sistema Disputatio*, che Francesco Ingoli¹¹⁶ gli aveva indirizzato fin dal 1616 e a cui aveva allora desistito, probabilmente, per via dell'ammonizione di Bellarmino. Nella prima parte del trattato¹¹⁷ Galileo giustifica il suo pur tardivo intervento solo con la volontà di voler mostrare che anche in Italia gli astronomi sono ben a conoscenza del sistema copernicano e del suo valore scientifico, anche se al momento non possono professarlo per un atto di Fede.

Otto anni sono già decorsi, Sig. Ingoli, ch'io, ritrovandomi in Roma, ebbi da voi una scrittura, in forma quasi di lettera, indirizzata a me, nella quale v'ingegnavi di dimostrar falsa l'ipotesi Copernicana, intorno alla quale in quel tempo assai si tumultuava. [...] Ma essendo io ultimamente rivenuto a Roma, per pagar quell'obbligo a' santissimi piedi del Sommo Pontefice Urbano VIII, al quale antica servitù ed i moltiplici favori ricevuti dalla Santità sua mi tenevano legato, ho scoperto e toccato con mano, essermi, nel concetto ch'io teneva, ingannato d'assai, atteso chè ferma e generale opinione è ch'io abbia taciuto come convinto dalle vostre dimostrazioni, le quali anco da tal uno vengono stimate necessarie ed insolubili. [...] Ed avvertite, Sig. Ingoli, ch'io non intraprendo quest'impresa per pensiero o disegno ch'io abbia di sollevare e sostener per vera quella proposizione che già è stata dichiarata per sospetta e repugnante a quella dottrina la quale di maestà e d'autorità è superiore alle naturali ed astronomiche discipline, [...] ma a confusione degli eretici, tra i quali sento quelli di maggior grido esser tutti dell'opinion del Copernico, ho pensiero di trattar questo argomento assai diffusamente, e mostrar loro che noi Cattolici, non per difetto di discorso naturale, o per non aver vedute quante ragioni, esperienze, osservazioni e dimostrazioni si abbiano vedute loro, restiamo nell'antica certezza inse-

¹¹⁵ Festose furono le accoglienze ch'egli ebbe in Roma, dove giunse il 23. Nel corso di sei settimane ebbe sei lunghe e cordiali udienze dal Pontefice.¹¹⁶ EN, vol I, pp. 397-412. Francesco Ingoli, teologo e segretario della Congregazione di Propaganda Fide.

¹¹⁴ Citazione riportata in L. Geymonat, *Galileo Galilei*, Torino, Einaudi, 1957, p. 95.

¹¹⁶ EN, vol I, pp. 397-412. Francesco Ingoli, teologo e segretario della Congregazione di Propaganda Fide. Nello scritto gli argomenti allora in voga contro il copernicanesimo venivano divisi in matematici, filosofici e teologici e Galileo veniva invitato a rispondere su questi argomenti, con eccezione di quelli a carattere teologico.

¹¹⁷ G. Galilei, Lettera a Francesco Ingoli in risposta alla Disputatio de situ et quiete Terrae, EN, vol. VI, pp. 503-561.

gnataci da' sacri autori, ma per la reverenza che portiamo alle scritture de i nostri Padri e per il zelo della religione e della nostra fede; sì che quando loro abbino vedute tutte le loro ragioni astronomiche e naturali benissimo intese da noi, anzi, di più, altre ancora di maggior forza assai delle prodotte fin qui, al più potranno tassarci per uomini costanti nella nostra oppinione, ma non già per ciechi o per ignoranti dell'umane discipline: cosa che finalmente non deve importare a un vero cristiano cattolico; dico, che un eretico si rida di lui perch'egli anteponga la riverenza e la fede che si deve agli autori sacri, a quante ragioni ed esperienze hanno tutti gli astronomi e filosofi insieme.

Nel seguito vengono affrontate e confutate via via le singole prove portate dall'Ingoli contro il moto della Terra e la stabilità del Sole, limitandosi però agli argomenti matematici e filosofici, lasciando da parte quelli teologici. Il lavoro non dovette risultare difficile in quanto l'Ingoli non era un astronomo.

Il trattato fu inviato all'amico Guiducci in Roma, ma questi pensò bene, per prudenza, di non trasmetterlo all'Ingoli, né pubblicarlo in quanto andava apertamente contro l'editto del 1616. Tuttavia il manoscritto ebbe una certa diffusione come risulta dalle varie copie manoscritte tuttora esistenti e da quanto scrive in varie lettere lo stesso Guiducci a Galileo. È possibile che una copia fosse giunta anche nelle mani del Pontefice.

Nel frattempo Galileo si dedicò a scrivere un *Dialogo* molto più esteso dove vengono ripresi ed estesi i temi discussi nella lettera all'Ingoli a conferma del Sistema copernicano, come egli stesso annuncia in una lettera a Cesare Marsili del 15 dicembre 1624:

Intanto vo tirando avanti il mio Dialogo del flusso e reflusso, che si tira in conseguenza il sistema Copernicano, e, per la Dio grazia, mi sento in maniera di sanità, che posso impiegar qualche hora del giorno in questo servizio.

E l'anno successivo scrivendo il 20 ottobre a Elia Diodati:

Io poi, per quanto mi concede l'età, ch'è molta, e la sanità, ch'è poca, mi vo trattenendo in iscriver alcuni Dialogi intorno al flusso e reflusso del mare, dove però diffusamente saranno trattati i due sistemi Tolemaico e Copernicano, atteso che la causa di tale accidente vien da me referita a' moti attribuiti alla terra, etc.

Tuttavia il lavoro venne interrotto per alcuni anni per questioni di salute, come egli stesso riferisce il 29 ottobre 1629 a Elia Diodati:

E per dar a V. S. qualche avviso circa a' miei studi, sappia che da un mese in qua ho ripreso i miei Dialoghi intorno al flusso e reflusso, intermessi per tre anni continui, e, per la Dio grazia, m'è venuta questa buona direzzione, la quale, se continuerà tutta la seguente invernata, spero che condurrà tal opera al fine, e subito la pubblicherò. [...] dove, oltre a quello che s'aspetta alla materia del flusso, saranno inserti molti altri problemi et una amplissima confermazione del sistema Copernicano, con mostrar la nullità di tutto quello che da Ticone e da altri vien portato in contrario. L'opera sarà assai grande e copiosa di molte novità, le quali dalla larghezza del Dialogo mi vien dato campo d'intromettere senza stento o affettazzione; e questo stimolo, che è grande etc.

Da allora il lavoro procedette alacremente e ai primi del 1630 il trattato era concluso, ¹¹⁸ ma cominciarono a sorgere problemi per ottenere l'*imprimatur*. In una successiva lettera del 16 agosto del 1631, sempre a Elia Diodati, Galileo scrive:

Ho, dopo molte difficoltà, ottenuto di stampare i miei Dialoghi, ¹¹⁹ ancorchè la materia che tratto, e la maniera con che la porto, meritasse ch'io fussi pregato di pubblicargli da que' medesimi che ànno fatte le difficoltà, come, in leggendogli a suo tempo, V. S. stessa comprenderà. È vero che non ho potuto nel titolo del libro ottenere di nominare il flusso e reflusso del mare, ancorchè questo sia l'argomento principale che tratto nell'opera; ma ben mi vien conceduto ch'io proponga li due sistemi massimi Tolemaico e Copernicano, con dire che amendue gli esamino, producendo per l'una e per l'altra parte quel tutto che si può dire, lasciandone poi il giudizio in pendente. ¹²⁰ Ne è sin ora stampata la terza parte, e spero che in tre mesi si finirà il rimanente. Credo che, se si fusse intitolato il libro del flusso e reflusso, sarebbe stato con più utile dello stampatore. Ma doppo qualche tempo si spargerà la voce, per relazione di quei primi che l'averanno letto, e intanto V. S. ne sarà stata da me avvisata etc.

Finalmente nel febbraio 1632 il libro uscì dalle stampe con il titolo: *Dialogo intorno ai due massimi sistemi del mondo Tolemaico e Copernicano*¹²¹ da parte dell'editore G.B. Landini di Firenze. 122

Non si tratta né di un trattato di astronomia (il modello copernicano viene presentato nella sua forma più semplice con il Sole al centro e i pianeti in rotazione su orbite circolari) né di fisica (non viene presentata alcuna dimostrazione rigorosa), ¹²³ ma, come dice

^{118 «}Io sono sul rivedere i miei Dialoghi del flusso e reflusso, contenenti ancora tutto quello che mi par che si possa dire circa i 2 sistemi, e tra breve tempo gl'haverò in pronto per dargli in luce». Galileo a Cesare Marsili 12 gennaio 1630.

¹¹⁹ L'autorizzazione alla pubblicazione del *Dialogo* fu concessa dall'inquisitore di Firenze Clemente Egidi il 24 maggio 1631 su licenza del Maestro del Sacro Palazzo a Roma, Niccolò Riccardi, dopo la revisione del manoscritto operata dal consultore dell'Inquisizione, il domenicano Giacinto Stefani, con la nota condizione di presentare la teoria copernicana solo *ex suppositione*.

¹²⁰ Sembra che lo stesso Pontefice abbia concesse, verbalmente, il permesso alla pubblicazione purché dei moti della Terra si parlasse soltanto come di un'ipotesi, la cui realtà non poteva essere dimostrata né con esperimenti sulla Terra, né con osservazioni del cielo. Egli era infatti dell'avviso che la dottrina di Copernico «la Santa Chiesa non l'havea dannata né era per dannarla per heretica, ma solo per temeraria, ma che non era da temere che alcuno fosse mai per dimostrarla necessariamente vera». Galileo a Federico Cesi, 24 giugno 1624.

¹²¹ EN, vol. VII, pp. 3-519. Il titolo completo è *Dialogo di Galileo Galilei Linceo, dove ne i congressi di quattro giornate, si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano*. Galileo esclude quindi a priori il sistema *ticonico*, a cui non farà mai cenno in tutta l'opera.

¹²² In realtà il trattato doveva essere stampato a Roma a cura dell'Accademia dei Lincei, ma il 1º agosto

In realtà il trattato doveva essere stampato a Roma a cura dell'Accademia dei Lincei, ma il 1º agosto moriva Federico Cesi, il patrono dell'Accademia e questa rinunciò a pubblicare l'opera.

¹²³ Pur tuttavia si trovano enunciati quasi tutti i teoremi che verranno poi presentati e dimostrati nei Discorsi. «SALV. Contentatevi per ora ch'io v'abbia rimossa l'incredulità; ma la scienza aspettatela un'altra volta, cioè quando vedrete le cose dimostrate dal nostro Accademico intorno a i moti locali: dove troverete dimostrato, che...». Newton nei Principia, dopo aver presentato i primi due principi, afferma: «Per mezzo delle due prime leggi e dei primi due corollari Galileo trovò che la caduta dei gravi è proporzionale al quadrato del tempo». Questa affermazione risulta a molti storici incomprensibile, tenendo anche conto del fatto che Newton non avrebbe letto i Discorsi. Ma è proprio per questo che leggendo i teoremi enunciati nel Dialogo ha ritenuto che essi fossero stati dimostrati partendo dai primi due principi, mentre se avesse letto le dimostrazioni riportate nei Discorsi avrebbe cambiato idea!

Koyré nei suoi *Studi Galileiani*,¹²⁴ di un libro di critica e di polemica contro la scienza e la filosofia tradizionale e nello stesso tempo di un'opera pedagogica rivolta ad un lettore che non è il filosofo o lo scienziato delle Accademie e delle Università, ma il comune cittadino «galantuomo, che deve essere persuaso e convinto, non affaticato e oppresso». Il trattato è pertanto scritto in italiano,¹²⁵ «la lingua della corte e della borghesia, come si conversava e discuteva nei salotti patrizi». Ed è per questo che Galileo non ritenne necessario annoiarlo con la complessità del modello copernicano, né confonderlo con le innovazioni kepleriane relative alle orbite ellittiche (è però possibile che Galileo non abbia compreso a fondo la portata delle scoperte di Keplero, da un lato non potendone dare una giustificazione fisica e dall'altro essendo ancora vincolato alla convinzione platonica del ruolo fondamentale del cerchio nella descrizione del mondo naturale).

La forma letteraria scelta è quella del dialogo:

Ho poi pensato tornare molto a proposito lo spiegare questi concetti in forma di dialogo, che, per non esser ristretto alla rigorosa osservanza delle leggi matematiche, porge campo ancora a digressioni, tal ora non meno curiose del principale argomento. ¹²⁶

I tre personaggi che lungo quattro Giornate di discussione affrontano i diversi temi sono: Filippo Salviati, Gianfrancesco Sagredo (amici, ormai defunti, del periodo padovano) e Simplicio. Al primo Galileo fa esprimere la propria opinione e affida l'incarico di portare avanti il discorso, mentre il secondo fa la parte del copernicano e tiene viva la discussione con sagaci e intelligenti domande. Il terzo, il cui nome ha un raffinato doppio senso (quello del famoso commentatore di Aristotele e quello di un personaggio ingenuo e 'sempliciotto') interviene in favore di Aristotele e Tolomeo con i soliti e antiquati argomenti della scuola peripatetica.

Il *Dialogo*, sulla base delle condizioni imposte per ottenere l'*imprimatur*, doveva essere una presentazione critica e imparziale dei due modelli cosmologici, quello aristoteli-co-tolemaico e quello copernicano, come figura nel frontespizio dell'edizione fiorentina «proponendo indeterminatamente le ragioni filosofiche e naturali tanto per l'una, quanto per l'altra parte», ma in realtà, come vedremo, in tutta l'opera è più che manifesta la volontà dell'autore di convincere il lettore della fondatezza della nuova visione del mondo.

La Giornata prima è sostanzialmente un'analisi critica di buona parte dei due primi volumi del *De Caelo* di Aristotele (punto 2 del paragrafo 2.5.). Infatti, come lo stesso Galileo riassume per bocca di Sagredo all'inizio della Giornata seconda, si esamina:

da i fondamenti loro, qual delle due opinioni sia più probabile e ragionevole: quella che tiene, la sustanza de i corpi celesti esser ingenerabile, incorruttibile, inalterabile, impassibile, ed in somma esente da ogni mutazione, fuor che dalla locale, [...] o pur l'altra che, levando tal difformità di parti dal mondo, reputa la Terra goder delle medesime perfezioni che gli altri corpi integranti dell'universo, ed esser in somma un

_

¹²⁴ A. Koiré, Studi Galileiani, Torino, Einaudi, 1979.

¹²⁵ È pur vero che Galileo dopo il *Sidereus Nuncius* non ha più scritto alcuna opera in latino. Per quanto riguarda i *Discorsi* si veda la nota 15.

¹²⁶ Dialogo, EN, vol. VII, p. 30.

globo mobile e vagante non men che la Luna, Giove, Venere o altro pianeta [facendo] molti più paralleli con la Luna che con altro pianeta forse per aver noi di quella maggiore e piú sensata notizia, mediante la sua minor lontananza. 127

Le considerazioni a favore della seconda opinione sono principalmente due. Appoggiandosi a Platone si mostra dapprima come anche nel mondo celeste valgano le stesse leggi che regolano il moto sulla Terra. In particolare, partendo dai teoremi relativi al moto di caduta dei corpi lungo piani inclinati, si mostra che in un corpo in moto il valore della velocità impressa deve passare per tutti i valori dallo zero a quello finale e che pertanto per imprimere ad un corpo una certa velocità bisogna farlo muovere inizialmente di moto rettilineo accelerato:

bisogna di necessità confessare che il cadente, partendosi dalla quiete, passa per tutti gl'infiniti gradi di tardità, e che, in conseguenza, per acquistar un determinato grado di velocità bisogna ch'e' si muova prima per linea retta, descendendo per breve o lungo spazio, secondo che la velocità da acquistarsi dovrà essere minore o maggiore, e secondo che 'l piano sul quale si scende sarà poco o molto inclinato: talché può darsi un piano con sí poca inclinazione, che, per acquistarvi quel tal grado di velocità, bisognasse prima muoversi per lunghissimo spazio ed in lunghissimo tempo; sí che nel piano orizontale qual si sia velocità non s'acquisterà naturalmente mai, avvenga che il mobile già mai non vi si muoverà. Ma il moto per la linea orizontale, 128 che non è declive né elevata, è moto circolare intorno al centro: adunque il moto circolare non s'acquisterà mai naturalmente senza il moto retto precedente, ma bene, acquistato che e' si sia, si continuerà egli perpetuamente con velocità uniforme. 129

E pertanto:

anco i corpi mondani, dopo l'essere stati fabbricati e del tutto stabiliti, furon per alcun tempo dal suo Fattore mossi di moto retto, ma che dopo l'esser pervenuti in certi e determinati luoghi, furon rivolti a uno a uno in giro, passando dal moto retto al circolare, dove poi si son mantenuti e tuttavia si conservano: pensiero altissimo e degno ben di Platone.

[...] Stante questo discorso, figuriamoci aver Iddio creato il corpo, verbigrazia, di Giove, al quale abbia determinato di voler conferire una tal velocità, la quale egli poi debba conservar perpetuamente uniforme: potremo con Platone dire che gli desse di muoversi da principio di moto retto ed accelerato, e che poi, giunto a quel tal grado di velocità, convertisse il suo moto retto in circolare, del quale poi la velocità naturalmente convien esser uniforme. 130

¹²⁷ EN, vol. VII, p. 132.

¹²⁸ Galileo pensa sempre il piano orizzontale come un'approssimazione della superficie sferica della Terra, in ogni punto equidistante dal centro.

¹³⁰ EN, vol. VII, pp. 44, 45.

E ancora per:

[...] aggiugnere un'altra particolare osservazione, pur del nostro Accademico, che ha del mirabile, figuriamoci, tra i decreti del divino Architetto essere stato pensiero di crear nel mondo questi globi, che noi veggiamo continuamente muoversi in giro, ed avere stabilito il centro delle lor conversioni ed in esso collocato il Sole immobile, ed aver poi fabbricati tutti i detti globi nel medesimo luogo, e di lí datali inclinazione di muoversi, discendendo verso il centro, sin che acquistassero quei gradi di velocità che pareva alla medesima Mente divina, li quali acquistati, fussero volti in giro, ciascheduno nel suo cerchio, mantenendo la già concepita velocità. ¹³¹

A conferma della validità di questa affascinante immagine Galileo, per bocca di Salviati, afferma che una volta trovato, sulla base dei dati copernicani relativi alle velocità e alle distanze dal Sole di Giove e Saturno e «della accelerazion del moto naturale, in quanta altezza e lontananza dal centro delle lor revoluzioni fusse il luogo donde e' si partirono», se da tale punto si fanno cadere Marte, la Terra, Venere e Mercurio «le grandezze de i cerchi e le velocità de i moti s'accostano tanto prossimamente a quel che ne danno i computi, che è cosa maravigliosa». Ma «l'operazione è veramente lunga e difficile, ed anco non m'assicurerei di ritrovarla così prontamente; però la riserberemo ad un'altra volta». Cosa che evidentemente non verrà mai fatta! Tuttavia in questa descrizione è possibile intravedere l'idea di un'attrazione naturale di tutti i pianeti verso il Sole.

La seconda considerazione riguarda le osservazioni telescopiche della Luna e del Sole che indicano, come abbiamo visto, che la prima mostra monti e valli come la Terra e che sulla superficie del secondo si osservano apparire e dissolversi grandi macchie «contigue al corpo solare, e che, toccando la sua superficie, con essa o sopra di essa si muovono» indicandone la corruttibilità.

In particolare, in risposta alle obiezioni di Simplicio che sostiene che le macchie lunari sono dovute a zone più o meno dense della superficie nel complesso «pulitissima e tersa come uno specchio», si risponde con un interessante esperimento *realizzato* al momento.

Su un muro ruvido, illuminato dal Sole, viene appeso uno specchio:

SALV. [...] vedete come la reflession che vien dal muro si diffonde verso tutte le parti opposteli, ma quella dello specchio va verso una parte sola, non punto maggiore dello specchio medesimo; vedete parimente come la superficie del muro, riguardata da qualsivoglia luogo, si mostra chiara sempre egualmente a se stessa, e per tutto assai piú chiara che quella dello specchio, eccettuatone quel piccolo luogo solamente dove batte il reflesso dello specchio, ché di lí apparisce lo specchio molto piú chiaro del muro. Da queste cosí sensate e palpabili esperienze mi par che molto speditamente si possa venire in cognizione, se la reflessione che ci vien dalla Luna venga come da uno specchio, o pur come da un muro, cioè se da una superficie liscia o pure aspra. [...]

SAGR. [...] In oltre, la luce che mi vien dalla reflession del muro è tollerabile e debile, in comparazion di quella dello specchio gagliardissima ed offensiva alla vista poco meno della primaria e diretta del Sole: e cosí con suavità riguardiamo la faccia

¹³¹ EN, vol. VII, p. 54

della Luna; che quando ella fusse come uno specchio, mostrandocisi anco, per la vicinità, grande quanto l'istesso Sole, sarebbe il suo fulgore assolutamente intollerabile, e ci parrebbe di riguardare quasi un altro Sole. ¹³²

Nella Giornata seconda si esamina:

se la Terra si debba stimare immobile, come da i piú è stato sin qui creduto, o pur mobile, come alcuni antichi filosofi credettero ed altri da non molto tempo in qua stimano, e se mobile, qual possa essere tale movimento.¹³³

Alla base di tutto il discorso Galileo pone la seguente affermazione:

SALV. [...] qualunque moto venga attribuito alla Terra, è necessario che a noi, come abitatori di quella ed in conseguenza partecipi del medesimo, ei resti del tutto impercettibile e come s'e' non fusse, mentre che noi riguardiamo solamente alle cose terrestri; ma è bene, all'incontro, altrettanto necessario che il medesimo movimento ci si rappresenti comunissimo di tutti gli altri corpi ed oggetti visibili che, essendo separati dalla Terra, mancano di quello. A tal che il vero metodo per investigare se moto alcuno si può attribuire alla Terra, e, potendosi, quale sia, è il considerare ed osservare se ne i corpi separati dalla Terra si scorge apparenza alcuna di movimento, il quale egualmente competa a tutti [...]. Ora, ci è un moto generalissimo e massimo sopra tutti, ed è quello per il quale il Sole, la Luna, gli altri pianeti e le Stelle fisse, ed in somma l'universo tutto, trattane la sola Terra, ci appariscono unitamente muoversi da oriente verso occidente dentro allo spazio di venti quattr'ore, e questo, in quanto a questa prima apparenza, non ha repugnanza di potere esser tanto della Terra sola, quanto di tutto il resto del mondo, trattone la Terra; imperocché le medesime apparenze si vedrebbero tanto nell'una posizione quanto nell'altra. [...].134

Tuttavia:

SALV: [...] se per conseguire il medesimo effetto *ad unguem* tanto fa se la sola Terra si muova, cessando tutto il resto dell'universo, che se, restando ferma la Terra sola, tutto l'universo si muova di un istesso moto, chi vorrà credere che la natura (che pur, per comun consenso, non opera con l'intervento di molte cose quel che si può fare col mezo di poche) abbia eletto di far muovere un numero immenso di corpi vastissimi, e con una velocità inestimabile, per conseguir quello che col movimento mediocre di un solo intorno al suo proprio centro poteva ottenersi?¹³⁵

Per di più, essendosi ormai abbandonata con Tycho Brahe l'idea delle sfere cristalline in cui erano incastonate tutte le stelle, queste dovrebbero muoversi tra loro in armonia con velocità diverse secondo la loro distanza dal polo celeste, e tale velocità dovrebbe inoltre variare lentamente negli anni per effetto della precessione degli equinozi:

¹³³ EN, vol. VII, p. 133

¹³² EN, vol. VII, p. 98

¹³⁴ EN, vol. VII, pp. 139-140

¹³⁵ EN, vol. VII, p. 143.

SALV. [...] se pure il cielo è fluido, come assai più ragionevolmente convien credere, si che ogni stella per se stessa per quello vadia vagando, qual legge regolerà i moti loro ed a che fine, per far che, rimirati dalla Terra, appariscano come fatti da una sola sfera? A me pare che per conseguir ciò, sia tanto più agevole ed accomodata maniera il costituirle immobili che 'l farle vaganti, quanto più facilmente si tengono a segno molte pietre murate in una piazza, che le schiere de' fanciulli che sopra vi corrono "inoltre" non è lontano dal poter accader che venga tempo nel quale alcuna di loro, che per l'addietro si sia mossa sempre, si riduca, congiugnendosi col polo, a star ferma, e poi ancora, dopo la quiete di qualche tempo, torni a muoversi. ¹³⁶

A conferma della precedente *affermazione* viene analizzato il fenomeno della caduta di un sasso dall'alto di una torre. Se la Terra è ferma il sasso cade verticalmente lambendo la torre per la sua *natural propensione* a muoversi in linea retta verso il centro della Terra. Ma se la Terra si muove di moto circolare, dovendo tale moto essere perpetuo e quindi *naturale*,

esso è di conseguenza di tutte le sue parti e siccome impresso dalla natura è in loro indelebele; e però [perciò] quel sasso che è in cima della torre, ha per suo primario instinto l'andare intorno al centro del suo tutto in ventiquattr'ore, e questo natural talento esercita egli eternamente, sia pur posto in qualsivoglia stato. 137

Pertanto nel suo moto di caduta esso continuerà *ancora* a rimanere appresso alla Torre che insieme a esso, e a noi che l'osserviamo, viene trasportata dalla *vertigine* della Terra.

SALV. La difesa dunque d'Aristotile consiste nell'esser impossibile, o almeno nell'aver egli stimato impossibile, che 'l sasso potesse muoversi di un moto misto di retto e di circolare; ¹³⁸ perché quando ei non avesse avuto per impossibile che la pietra potesse muoversi al centro e 'ntorno al centro unitamente, egli averebbe inteso che poteva accadere che 'l sasso cadente potesse venir radendo la torre tanto movendosi ella quanto stando ferma, e in conseguenza si sarebbe accorto che da questo radere non si poteva inferir niente attenente al moto o alla quiete della Terra.¹³⁹

Per quanto riguarda l'esperienza del sasso lasciato cadere dalla cima dell'albero di una nave la situazione potrebbe essere diversa

imperocché manifestissima cosa è che il moto della nave, sì come non è suo naturale, così è accidentario e di tutte le cose che sono in essa; onde non è meraviglia che quella pietra, che era ritenuta in cima dell'albero, lasciata in libertà scenda a basso, senza obligo di seguire il moto della nave. 140

¹³⁷ EN, vol. VII, p. 167.

¹³⁸ Per Aristotele ogni corpo può essere soggetto a un solo moto; pertanto se la Terra fosse in moto tale moto dovrebbe essere o violento o naturale: ma se fosse violento non potrebbe essere perpetuo, mentre se fosse naturale esso dovrebbe competere *anche* a tutte le sue parti, ma il loro moto naturale è quello di muoversi verticalmente verso il centro o dal centro. Quindi la Terra non può muoversi.

¹³⁶ EN, vol. VII, p. 146.

¹³⁹ EN, vol. VII, p. 167.

¹⁴⁰ EN, vol. VII, p. 167.

Pur tuttavia, il moto della nave e quindi anche del sasso avviene lungo la superficie perfettamente sferica del mare e quindi non avvicinandosi al centro (declive) non può essere accelerato e non allontanandosi dal centro (aclive) non può essere decelerato e quindi *dovrebbe* anch'esso persistere indelebilmente.¹⁴¹

SALV. Adunque una nave che vadia movendosi per la bonaccia del mare, è un di quei mobili che scorrono per una di quelle superficie che non sono né declivi né acclivi, e però disposta, quando le fusser rimossi tutti gli ostacoli accidentarii ed esterni, a muoversi, con l'impulso concepito una volta, incessabilmente e uniformemente [...] E quella pietra ch'è su la cima dell'albero non si muov'ella, portata dalla nave, essa ancora per la circonferenza d'un cerchio intorno al centro, e per conseguenza d'un moto indelebile in lei, rimossi gli impedimenti esterni? e questo moto non è egli così veloce come quel della nave? [...] Cavatene in buon'ora l'ultima conseguenza da per voi.

SIMP. Voi volete dir per ultima conclusione, che movendosi quella pietra d'un moto indelebilmente impressole, non l'è per lasciare, anzi è per seguire la nave, ed in ultimo per cadere nel medesimo luogo dove cade quando la nave sta ferma. ¹⁴²

Dalla caduta verticale dei gravi (punto 4 del paragrafo 5.2.), non è quindi possibile dedurre l'immobilità della Terra, ma neppure la sua rotazione, anche se quest'ultima soluzione sembrerebbe la più ragionevole.

Per quanto riguarda l'affermazione di Galileo essa si basa sulla persistenza dei moti naturali o dei moti lungo percorsi equidistanti dal centro della Terra e sull'assunzione, 143 che un corpo può essere soggetto contemporaneamente a due o più moti naturali o violenti e che questi si compongono in modo indisturbato. Tale affermazione è quindi diversa dal principio di relatività della fisica classica per il quale le leggi della meccanica sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento in moto rettilineo uniforme (inerziali) e quindi in tali riferimenti non è possibile, mediante esperimenti meccanici, sapere se il sistema è in quiete o in moto rettilineo uniforme. Il principio tiene conto del fatto che sia la quiete che il moto rettilineo uniforme sono stati naturali dei corpi (principio d'inerzia) e che la legge del moto lega la forza all'accelerazione, cioè alla variazione della velocità. È pur vero che la famosa descrizione degli esperimenti all'interno di una nave

¹⁴¹ Si parla spesso in questo caso di un *principio di inerzia circolare*, del resto necessario a Galileo per giustificare fisicamente il moto perenne dei pianeti lungo le loro orbite intorno al Sole, che devono quindi essere necessariamente circolari. In realtà per Galileo un grave può variare in modo non violento la sua velocità solo se si avvicina o si allontana dal centro della Terra e tale variazione dipende *solo* da quanto è variata la sua distanza. Infatti nei *Discorsi* egli assume come Principio che «i gradi di velocità acquistati da uno stesso mobile cadendo lungo piani inclinati diversamente inclinati, ma aventi la stessa altezza, sono tra loro eguali».

¹⁴² EN, vol. VII, p. 174.

¹⁴³ Tale assunzione, come abbiamo visto, era già stata utilizzata nel 1609 per lo studio del moto dei proiettili.
Vedi la lettera ad Antonio de' Medici dell'11 febbraio 1609 già citata.

Rinserratevi con qualche amico nella maggior stanza che sia sotto coperta di alcun gran navilio, e quivi fate... 144

avulsa dal suo contesto porterebbe a questa identificazione, ma per Galileo la nave si sta muovendo di moto circolare uniforme intorno al centro della Terra e così ogni oggetto in essa contenuto. Egli tuttavia è consapevole che

l'albero della nave, senza rompersi o piegarsi, [ha] fatto più viaggio con la gaggia, cioè con la cima, che col piede, perché la cima, essendo più lontana dal centro della Terra che non è il piede, [viene] ad aver descritto un arco di un cerchio maggiore del cerchio per il quale era passato il piede. 145

e pertanto la velocità indelebile del sasso, quando abbandona la cima dell'albero, è maggiore di quella del *piede*, facendo sì che esso giungendo alla base lo preceda. Di questo effetto, ¹⁴⁶ evidentemente trascurabile nel caso della nave e della torre, egli ne tiene invece conto nel caso di un sasso lasciato cadere dal concavo della Luna: ¹⁴⁷

^{144 «}Rinserratevi con qualche amico nella maggior stanza che sia sotto coperta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi gettando all'amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che questa, quando le lontananze siano eguali; e saltando voi, come si dice, a pie' congiunti, eguali spazi passarete verso tutte le parti. Osservato che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio vi sia che mentre il vascello sta fermo non debban succeder così, fate muovere la nave con quanta si voglia velocità; ché, pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e là, voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprendere se la nave cammina o pure sta ferma: voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima, né, perché la nave si muova velocissimamente, farete maggior salti verso poppa che verso prua, benché, nel tempo che voi state in aria, il tavolato sottopostovi scorra verso la parte contraria al vostro salto; e gettando alcuna cosa al compagno, non con più forza bisognerà tirarla, per arrivarlo, se egli sarà verso la prua e voi verso la poppa, che se voi fuste situati per l'opposto: le goccioline cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché. mentre la gocciola è in aria, la nave scorra molti palmi; i pesci nella loro acqua non con più fatica noteranno verso la precedente che verso la susseguente parte del vaso, ma con agevolezza verranno al cibo posto su qualsivoglia luogo dell'orlo del vaso; e finalmente le farfalle e le mosche continueranno i lor voli indifferentemente verso tutte le parti, né mai accadrà che si riduchino verso la parte che riguarda la poppa, quasi che fussero stracche in tener dietro al veloce corso della nave, dalla quale per lungo tempo, trattenendosi in aria, saranno separate (...)», EN, vol. VII, p. 212. 145 EN, vol. VII, p. 169.

¹⁴⁶ Infatti a causa della rotazione della Terra i corpi non cadono a perpendicolo ma si spostano verso est per effetto dell'accelerazione di Coriolis. All'equatore per una caduta da 100 m lo spostamento è di circa 3 cm. Tale deviazione fu osservata per la prima volta dal Guglielmini nel 1791 dalla torre degli Asinelli a Bologna. ¹⁴⁷ Verso la fine della Giornata terza infatti Galileo contesta l'affermazione di un aristotelico secondo il quale un sasso lasciato cadere dal concavo della Luna (d =braccia 588 000 000) impiegherebbe più di sei giorni a cadere sulla Terra, che nel frattempo avrebbe fatto più di sei rotazioni. Egli calcola il tempo di caduta assumendo la legge dei quadrati («primieramente ritrovata e dimostrata dall'Accademico, nostro comun amico: il quale, in alcuni suoi scritti non ancor pubblicati, ma in confidenza mostrati a me e ad alcuni altri amici suoi, dimostra come l'accelerazione del moto retto de i gravi si fa secondo i numeri impari ab unitate, o vogliam dire che gli spazii passati son tra di loro come i quadrati de' tempi.») e facendo la proporzione con il tempo di caduta da 100 braccia che afferma di aver più volte misurato essere di 5 secondi ottiene t = 5. √d/100 =12.124 s «che sono ore 3, minuti primi 22 e 4 secondi». La cosa 'buffa' è che tenendo conto che l'accelerazione diminuisce con il quadrato della distanza si ottiene un tempo di quasi 5 giorni!

Imperocché, se la palla mentre si tratteneva nel concavo della Luna aveva il moto circolare delle ventiquattr'ore insieme con la Terra e co 'l resto del contenuto dentro ad esso concavo, quella medesima virtù che la faceva andare in volta avanti lo scendere, continuerà di farla andar anco nello scendere; e *tantum abest* che ella non sia per secondare il moto della Terra, che più tosto dovrebbe prevenirlo, essendoché nell'avvicinarsi alla Terra il moto in giro ha da esser fatto continuamente per cerchi minori: talché, mantenendosi nella palla quella medesima velocità che ell'aveva nel concavo, dovrebbe anticipare, come ho detto, la vertigine della Terra. ¹⁴⁸

Nella terza Giornata viene trattato il moto annuo della Terra intorno al Sole immobile al centro dell'Universo. Il problema è molto più complesso in quanto, come abbiamo visto, tale moto non sembra riflettersi nelle Stelle fisse (mancanza di parallasse stellare) e non si osservano quelle drastiche variazioni nella luminosità dei pianeti che la teoria copernicana prevederebbe (punti 5 e 6 del paragrafo 2.5).

SALV. [Tali contrasti sono] tanto evidenti e sensati, che se senso superiore e più eccellente de i comuni e naturali [il telescopio] non si accompagnava con la ragione, dubito grandemente che io ancora sarei stato assai più ritroso contro al sistema Copernicano, di quello che stato non sono doppo che più chiara lampada che la consueta mi ha fatto lume. 149

Infatti è proprio grazie alle osservazioni telescopiche che è possibile mostrare che queste obbiezioni

non solamente non contrariano al sistema Copernicano, ma grandemente ed assolutamente lo favoriscono; perché e Marte e Venere si mostrano diseguali a se stessi, secondo le proporzioni assegnate, e Venere sotto il Sole si mostra falcata, e va puntualmente mutando sue figure nello stesso modo che fa la Luna.

e disegnare la nuova disposizione del mondo (vedi Figura 16). 150

Fissata la posizione **A** del globo terreste e assegnato al Sole un posto **O** «remoto dalla Terra a piacimento», viene disegnata per Venere un'orbita CH intorno al Sole senza che abbracci la Terra perché:

non può tal cerchio abbracciar la Terra, perché Venere verrebbe talvolta all'opposizion del Sole; non può esser inferiore, perché Venere circa l'una e l'altra congiunzione co 'l Sole si mostrerebbe falcata; ¹⁵¹ né può esser superiore, perché si mostrerebbe sempre rotonda, né mai cornicolata. ¹⁵²

150 Galileo fa eseguire il disegno allo stesso Simplicio per rendere il risultato più accettabile al lettore.

¹⁴⁸ EN, vol. VII, p. 259.

¹⁴⁹ EN, vol. VII, p. 355.

¹⁵¹ Venere si vede falcata in prossimità della congiunzione inferiore e rotonda in prossimità di quella superiore.

¹⁵² EN, vol. VII, p. 351.

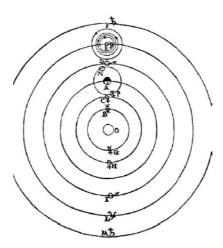


Figura 16. Disegno della disposizione del mondo come appare nel Dialogo

Analogamente per Mercurio viene tracciato un cerchio più piccolo BG intorno al Sole perché il pianeta «*molto meno da lui si allontana che Venere*». Per Marte invece si traccia un cerchio DI molto più grande che comprende sia la Terra che il Sole:

perché vienendo all'opposizion del Sole, è necessario che co 'l suo cerchio abbracci la Terra: [...] e venendo alla congiunzion co 'l Sole, se e' non gli passasse di sopra, ma gli fusse inferiore, apparirebbe cornicolato, come fa Venere e la Luna; ma egli si mostra sempre rotondo; adunque è necessario che egli includa dentro al suo cerchio non meno il Sole che la Terra. E perché [...] quando esso è all'opposizion del Sole si mostra 60 volte maggiore che quando è verso la congiunzione, [...] molto bene si accomoderà a queste apparenze un cerchio intorno al centro del Sole e non della Terra. ¹⁵³

Allo stesso modo si possono tracciare i cerchi EL e FM per Giove e Saturno. Per quanto riguarda la Luna essa dovrà percorrere un'orbita NP intorno alla Terra che non comprende il Sole:

sì che costituita in P ci apparisca dalla Terra A congiunta co 'l Sole, onde possa talora eclissarlo, e posta in N si vegga opposta al Sole, ed in tale stato possa cadere nell'ombra della Terra ed oscurarsi. 154

Stabilito quindi il moto della Luna e dei pianeti bisogna ora decidere tra la Terra e il Sole a chi competa il moto e a chi la quiete; cioè se è il Sole che ruota intorno alla

¹⁵³ EN, vol. VII, p. 352.

¹⁵⁴ EN, vol. VII, p. 353.

Terra come previsto nel modello ticonico o se è la Terra, con la Luna, che ruota intorno al Sole, insieme con tutti gli altri pianeti, come previsto nel modello copernicano.

Ancora una volta le sensate esperienze non sono in grado di decidere tra le due possibili soluzioni, che restano entrambe possibili. Ma per Galileo:

essendo vero che tutti gli orbi de' pianeti, dico di Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno, si muovono intorno al Sole, come centro loro, di esso Sole par tanto più ragionevole che sia la quiete che della Terra, quanto di sfere mobili è più ragionevole che il centro stia fermo, che alcun altro luogo da esso centro remoto: alla Terra, dunque, la qual resta costituita in mezo a parti mobili, dico tra Venere e Marte, che l'una fa la sua revoluzione in nove mesi e l'altro in due anni, molto acconciamente si può attribuire il movimento d'un anno, lasciando la quiete al Sole.

Inoltre la presenza delle fasi in Venere indica che il pianeta è di per sé opaco e che viene illuminato dal Sole così come la Luna, e non si vede alcun motivo perché anche gli altri pianeti non siano anch'essi opachi:

[ed] ecco, la natura, favorevole al nostro bisogno e desiderio, ci somministra due condizioni insigni, e differenti non meno che 'l moto e la quiete, e sono la luce e le tenebre, cioè l'esser per natura splendidissimo, e l'esser oscuro e privo di ogni luce. Son dunque diversissimi d'essenza i corpi ornati d'un interno ed eterno splendore, da i corpi privi d'ogni luce: priva di luce è la Terra; splendidissimo per se stesso è il Sole, e non meno le stelle fisse; i sei pianeti mobili mancano totalmente di luce, come la Terra; adunque l'essenza loro convien con la Terra, e dissente dal Sole e dalle stelle fisse: mobile dunque è la Terra, immobile il Sole e la sfera stellata. 155

Per di più assumendo la rivoluzione della Terra, il moto retrogrado dei pianeti trova una spiegazione assai semplice nella diversa velocità di rivoluzione della Terra e del pianeta (vedi Figura 17):

Ma che diremo noi dell'apparente movimento de i pianeti, tanto difforme che non solamente ora vanno veloci ed ora più tardi, ma talvolta del tutto si fermano, ed anco dopo per molto spazio ritornano in dietro? per la quale apparenza salvare introdusse Tolomeo grandissimi epicicli, adattandone un per uno a ciaschedun pianeta, con alcune regole di moti incongruenti, li quali tutti con un semplicissimo moto della Terra si tolgono via. 156

¹⁵⁵ EN, vol. VII, p. 291.

¹⁵⁶ EN, vol. VII, p. 371.

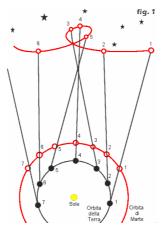


Figura 17. Il moto retrogrado dei pianeti dovuto alla rivoluzione della Terra

Infine decade anche l'obbiezione di Tycho Brahe che dalla mancanza della parallasse stellare, nel caso del moto della Terra intorno al Sole, si deduce che le dimensioni delle stelle sono maggiori dell'intera orbita terrestre, avendo Galileo mostrato che le dimensioni reali delle stelle sono molto più piccole di quello che si riteneva:

il diametro apparente d'una fissa della prima grandezza, stimato comunemente 2 minuti primi, ed anco 3 minuti primi da Ticone nelle sue Lettere Astronomiche, fac. 167, [trovo] non esser più di 5 secondi, che è una delle 24 o delle 36 parti di quello che essi han creduto: or vedete sopra che gravi errori son fondate le lor dottrine.

E avendo mostrato come tale risultato si poteva ottenere anche indipendentemente dal telescopio, con osservazioni più accurate, commenta, non senza una punta di polemica:

veramente io resto grandemente ammirato come tanti astronomi, e pur di gran nome, quali sono Alfagrano, Albategno, Tebizio, e più modernamente i Ticoni, i Clavii, ed in somma tutti i predecessori al nostro Accademico, si sien così altamente ingannati nel determinar le grandezze di tutte le stelle, tanto fisse quanto mobili, trattine i due luminarii, né abbiano posto cura alla irradiazione avventizia, che ingannevolmente le mostra cento e più volte maggiori che quando si veggono senza crini. 157

Finalmente arriviamo a quella che Galileo riteneva già da molto tempo la prova in favore del sistema copernicano, cioè il flusso e riflusso del mare (le maree). 158

¹⁵⁷ EN, vol. VII, p. 387.

¹⁵⁸ SALV. «Dico dunque, tre esser i periodi che si osservano ne i flussi e reflussi dell'acque marine. Il primo e principale è questo grande e notissimo, cioè il diurno, secondo il quale l'acque si alzano e si abbassano; e questi intervalli sono per lo più nel Mediterraneo di 6 in 6 ore in circa, cioè per 6 ore alzano e per altre 6 abbassano. Il secondo periodo è mestruo, e par che tragga origine dal moto della Luna; non che ella introduca altri movimenti, ma solamente altera la grandezza de i già detti, con differenza notabile secondo che ella sarà piena o scema o alla quadratura co 'l Sole. Il terzo periodo è annuo, e mostra depender dal Sole, alterando pur

Questo «accidente massimo» viene annunziato alla fine della Giornata terza,

SALV. [...] sarà ormai tempo che venghiamo all'accidente massimo, dal quale presero origine i nostri ragionamenti; parlo del flusso e reflusso del mare, la cagione del quale pare che assai probabilmente si possa referire a i movimenti della Terra: ma ciò, quando vi piaccia, riserberemo al seguente giorno. 159

e puntualmente ripreso all'inizio della Giornata quarta:

SALV. Sarà bene che, senza interporre altre parole, venghiamo al fatto, e mostriamo come [...] il medesimo flusso e reflusso comparisca a confermare la terrestre mobilità: gli indizii della quale sin ora si son presi dalle apparenze celesti, essendo che delle cose che accaggiono in Terra, nessuna era potente a stabilir più questa che quella sentenza, sí come a lungo abbiamo già esaminato, con mostrare che tutti gli accidenti terreni, per i quali comunemente si tiene la stabilità della Terra e mobilità del Sole e del firmamento, devono apparire a noi farsi sotto le medesime sembianze posta la mobilità della Terra e fermezza di quelli; il solo elemento dell'acqua, come quello che è vastissimo e che non è annesso e concatenato al globo terrestre, come sono tutte l'altre sue parti solide, anzi che per la sua fluidezza resta in parte *sui iuris* e libero, rimane, tra le cose sullunari, nel quale noi possiamo riconoscere qualche vestigio ed indizio di quel che faccia la Terra in quanto al moto o alla quiete. ¹⁶⁰

Anche se tale prova non è corretta e si basa su un dato errato¹⁶¹ essa rappresenta un mirabile capolavoro di intelligenza e determinazione, soprattutto per la forte volontà dello scienziato di fornire una spiegazione razionale a un fenomeno che, per secoli, era sempre stato interpretato con analisi astrologiche e metafisiche.

Galileo¹⁶² prende spunto da un fenomeno facilmente osservabile a Venezia in quelle barche che:

continuamente vengono da Lizzafusina, 163 piene d'acqua dolce per uso della città. Figuriamoci dunque una tal barca venirsene con mediocre velocità per la Laguna, portando placidamente l'acqua della quale ella sia piena, ma che poi, o per dare in secco o per altro impedimento che le sia opposto, venga notabilmente ritardata; non perciò l'acqua contenuta perderà, al pari della barca, l'impeto già concepito, ma,

solamente i movimenti diurni, con rendergli, ne' tempi de' solstizii, diversi, quanto alla grandezza, da quel che sono ne gli equinozii», EN, vol. VII, p. 444.

¹⁵⁹ EN, vol. VII, p. 439. «Deve V. S. sapere come sono sul finire alcuni Dialoghi ne i quali tratto la costituzione dell'universo, e tra i problemi principali scrivo del flusso e reflusso del mare, dandomi a credere d'haverne trovata la vera cagione, lontanissima da tutte quelle cose alle quali è stato sin qui attribuito cotale effetto. Io la stimo vera, e tale la stimano tutti quelli con i quali io l'ho conferita». Galileo a Giovanfrancesco Buonamici 19 novembre 1629.

¹⁶⁰ EN, vol. VII, p. 441.

¹⁶¹ A quei tempi il valore per la distanza tra la Terra e il Sole era sbagliato di un fattore 20 (!) il che comporta per la velocità di traslazione della Terra intorno al Sole un valore 29800/20 m/s = 1490 m/s di *solo* tre volte maggiore di quello dovuta alla rotazione 464 m/s (per un punto posto all'equatore).
¹⁶² Viene qui ripreso quanto a suo tempo scritto in una lettera al Cardinale Orsini dell'8 gennaio 1616 già

¹⁶² Viene qui ripreso quanto a suo tempo scritto in una lettera al Cardinale Orsini dell'8 gennaio 1616 già richiamata: Discorso del flusso e reflusso del mare.

¹⁶³ Lizzafusina è una località della Città di Venezia, situata in terraferma sull'antica foce del fiume Brenta, oggi occupata dal Naviglio del Brenta.

conservandoselo, scorrerà avanti verso la prua, dove notabilmente si alzerà, abbassandosi dalla poppa: ma se, per l'opposito, all'istessa barca nel mezo del suo placido corso verrà con notabile agumento aggiunta nuova velocità, l'acqua contenuta, prima di abituarsene, restando nella sua lentezza, rimarrà indietro, cioè verso la poppa, dove in conseguenza si solleverà, abbassandosi dalla prua. [...] Or quello che fa la barca rispetto all'acqua contenuta da essa, e quello che fa l'acqua contenuta rispetto alla barca, sua contenente, è l'istesso a capello che quel che fa il vaso Mediterraneo rispetto l'acque da esso contenute, e che fanno l'acque contenute rispetto al vaso Mediterraneo, lor contenente. Séguita ora che dimostriamo, come ed in qual maniera sia vero che il Mediterraneo e tutti gli altri seni, ed in somma tutte le parti della Terra, si muovano di moto notabilmente difforme, benché movimento nessuno che regolare ed uniforme non sia, venga a tutto l'istesso globo assegnato. 164

Seguendo Copernico, ogni punto sulla superficie DEFG della Terra è soggetto a due moti (vedi Figura 18a): quello di rivoluzione intorno al Sole, posto in A, lungo l'orbita BC da occidente verso oriente (cioè da B verso C) e quello di rotazione intorno al proprio centro B secondo la successione de i punti D, E, F, G, nello spazio di ventiquattr'ore. Pertanto in D i due moti si sommeranno mentre in F si compenseranno in parte:

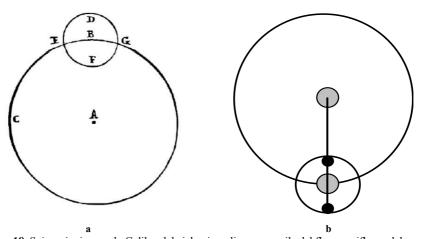


Figura 18. Spiegazioni secondo Galileo del ciclo giornaliero e mensile del flusso e riflusso del mare

Concludiamo per tanto, che sí come è vero che il moto di tutto il globo e di ciascuna delle sue parti sarebbe equabile ed uniforme¹⁶⁵ quando elle si movessero d'un moto solo, o fusse il semplice annuo o fusse il solo diurno, così è necessario che, mescolandosi tali due moti insieme, ne risultino per le parti di esso globo movimenti difformi, ora accelerati ed ora ritardati, mediante gli additamenti o suttrazioni della conversion diurna alla circolazione annua. ¹⁶⁶

¹⁶⁴ EN, vol. VII, pp. 450-451.

¹⁶⁵ Ancora una volta si fa riferimento ad una velocità eguale in modulo, ma non in direzione.

¹⁶⁶ EN, vol. VII, p. 453.

Ne risulterebbe tuttavia un flusso e riflusso del mare con un periodo di 12 ore. Il fatto che invece il periodo osservato è di 6 ore, viene giustificato introducendo una serie di possibili cause secondarie tra cui la lunghezza del bacino, la sua profondità, la forma delle sue coste, il suo orientamento, l'effetto dei venti, e così via.

Ingegnosa e del tutto originale è la giustificazione della variazione mensile dell'ampiezza delle maree che viene attribuita a una variazione della velocità di rivoluzione della Terra. Anche in questo caso ci si rifà a un caso reale:

Ne gli oriuoli da ruote, ed in particolare ne i grandi, per temperare il tempo accomodano i loro artefici certa asta volubile orizontalmente, e nelle sue estremità attaccano due pesi di piombo; e quando il tempo andasse troppo tardo, co 'l solo avvicinare alquanto i detti piombi al centro dell'asta, rendono le sue vibrazioni più frequenti; ed all'incontro, per ritardarlo, basta ritirare i medesimi pesi più verso l'estremità, perché così le vibrazioni si fanno più rade, ed in conseguenza gl'intervalli dell'ore si allungano. ¹⁶⁷

Ora se si considerano la Terra e la Luna come un tutto¹⁶⁸ che ruota intorno al Sole e congiungiamo con un'asta ideale il Sole con la Terra (vedi Figura 18b) tutto avviene come nell'oriuolo:

rappresentandoci la Luna quel piombo che s'attacca or più lontano dal centro, per far le vibrazioni dell'asta men frequenti, ed ora più vicino, per farle più spesse. Di qui può esser manifesto, come il movimento annuo della Terra nell'orbe magno e sotto l'eclittica non è uniforme, e come la sua difformità deriva dalla Luna ed ha suoi periodi e restituzioni mestrue. [...] è dunque necessario che per tal cagione i flussi e reflussi abbiano un periodo mestruo, dentro al quale si facciano maggiori e minori. [...] Ora vedete come la causa del periodo mestruo risiede nel moto annuo, ed insieme vedete ciò che ha che far la Luna in questo negozio, e come ella ci entra a parte senza aver che fare niente né con mari né con acque. 169

Chiara allusione alle teorie che ritenevano (giustamente) le maree dovute a un'*influenza* della Luna e del Sole; ¹⁷⁰ e in polemica con Keplero conclude:

¹⁶⁷ EN, vol. VII, p. 474. Come altro esempio viene riportato il moto di oscillazione di un pendolo il cui periodo dipende dalla lunghezza del filo. «Sospendansi pesi equali da corde diseguali, e rimossi dal perpendicolo lascinsi in libertà; vedremo gli appesi a corde più brevi fare lor vibrazioni sotto più brevi tempi, come quelli che si muovono per cerchi minori». È questa anche l'occasione per Galileo di presentare tutti i suoi risultati sul moto pendolare.

¹⁶⁸ «SALV. [...] Rammemoriamoci che già fu concluso da noi, insieme co 'l Copernico, non esser possibile separar la Luna dalla Terra, intorno alla quale, senza controversia, si muove in un mese».

¹⁶⁹ EN, vol. VII, p. 479.

¹⁷⁰ Ne riferisce lo stesso Simplicio: «Quelli poi che referiscon ciò alla Luna, son molti, dicendo che ella ha particolar dominio sopra l'acqua: ed ultimamente certo prelato [Marco Antonio de Dominis, arcivescovo di Spalato e apostata (1560-1624)] ha pubblicato un trattatello [Euripus, seu de fluxu et refluxu maris sententia 1624 con esplicito riferimento allo stretto di Euripo (tra l'isola di Eubea e la Grecia) dove la marea inverte la sua direzione da quattro a quattordici volte al giorno] dove dice che la Luna, vagando per il cielo, attrae e solleva verso di sé un cumolo d'acqua, il quale la va continuamente seguitando, sí che il mare alto è sempre in quella parte che soggiace alla Luna; e perché quando essa è sotto l'orizonte, pur tuttavia ritorna l'alzamento, dice che non si può dir altro, per salvar tal effetto, se non che la Luna non solo ritiene in sé naturalmente questa facultà, ma in questo caso ha possanza di conferirla a quel grado del zodiaco, che gli è

Ma tra tutti gli uomini grandi che sopra tal mirabile effetto di natura hanno filosofato, più mi meraviglio del Keplero che di altri, il quale, d'ingegno libero ed acuto, e che aveva in mano i moti attribuiti alla Terra, abbia poi dato orecchio ed assenso a predominii della Luna sopra l'acqua, ed a proprietà occulte, e simili fanciullezze.¹⁷¹

6. Conclusioni

Come abbiamo visto, Galileo è stato in grado di confutare con «sensate esperienze e certe dimostrazioni» tutte le possibili obbiezioni al sistema copernicano, ma non è stato in grado di portare valide prove in favore della mobilità della Terra, quelle prove che il Cardinale Bellarmino aveva chiesto fin dal 1615 nella lettera a P. Foscarini.

Dico che quando ci fosse vera dimostrazione che il Sole stia nel centro del mondo e la Terra nel III cielo, e che il Sole non circonda la Terra, ma la Terra il Sole, allora bisogneria andar con molta considerazione in esplicare le Scritture che paiono contrarie e piuttosto dire che non l'intendiamo, che dire che sia falso quello che dimostrano [...].

È quindi molto difficile che Galileo sia riuscito a convincere, almeno in Italia, il mondo accademico dell'epoca, cioè intellettuali del tipo di quel filosofo che, come riferisce Sagredo, dopo aver assistito a una seduta di anatomia nella quale si vedeva chiaramente che l'origine dei nervi veniva dal cervello e non dal cuore:

doppo essere stato alquanto sopra di sé, rispose: «Voi mi avete fatto veder questa cosa talmente aperta e sensata, che quando il testo d'Aristotile non fusse in contrario, che apertamente dice, i nervi nascer dal cuore, bisognerebbe per forza confessar-la per vera».

O come conclude Simplicio al termine della quarta giornata, riferendosi alla 'prova' delle maree:

il vostro pensiero parermi bene più ingegnoso di quanti altri io me n'abbia sentiti, ma non però lo stimo verace e concludente: anzi, ritenendo sempre avanti a gli occhi della mente una saldissima dottrina, che già da persona dottissima ed eminentissima appresi ed alla quale è forza quietarsi, so che amendue voi, interrogati se Iddio con la Sua infinita potenza e sapienza poteva conferire all'elemento dell'acqua il reciproco movimento, che in esso scorgiamo, in altro modo che co 'l far muovere il vaso contenente, so, dico, che risponderete, avere egli potuto e saputo ciò fare in molti modi, ed anco dall'intelletto nostro inescogitabili. Onde io immediatamente vi con-

opposto». Comunque l'influenza della Luna sulle maree era già stata avanzata da Posidonio (I sec. a.C.) e riportata da Plinio (23-79) «verum causa in sole lunaque» (*Naturalis Historia*, II, 216). Un cenno si trova anche in Dante dove paragona la fluttuante fortuna di Firenze alle maree: «E come '1 volger nel ciel de la luna/cuopre e discuopre i liti sanza posa/ così fa, di Fiorenza, la fortuna». *Paradiso*, canto XVI, vv. 82-84. ¹⁷¹ EN, vol. VII, p. 487.

cludo che, stante questo, soverchia arditezza sarebbe se altri volesse limitare e coartare la divina potenza e sapienza ad una sua fantasia particolare. 172

Il trattato ebbe una larga diffusione, anche negli ambienti ecclesiastici, ¹⁷³ nonostante che nell'agosto del 1632 la vendita fu espressamente proibita dal sant'Uffizio e che dopo il processo del 1633 fu messo all'indice. Una traduzione in latino fu pubblicata nel 1635 dagli Elzeviri a Leida, quegli stessi editori che pubblicheranno successivamente i *Discorsi*.

Con Galileo ha inizio per l'Astronomia una nuova era. Come ebbe a esclamare Foscolo davanti alla tomba dello scienziato¹⁷⁴ in Santa Croce:

>chi vide sotto l'etereo padiglion rotarsi più mondi e il sole irradiarli immoto, onde all'anglo che tanta ala vi stese, sgombrò primo le vie del firmamento.

> > I sepolcri

¹⁷² Questa idea era già stata formulata da Urbano VIII, ancora Cardinale, allo stesso Galileo «[Dio] nella sua infinita potenza, può tutto ciò che non implica contraddizione [...] e se Dio poteva e sapeva disporre queste cose altrimenti da come è stato escogitato [...] non dobbiamo vincolare a questo modo la divina potenza e scienza». Dialogo riportato nel *De Deo uno*, Roma 1629, pp. 194-195, del cardinale Agostino Oregio ¹⁷³ La maggior parte delle copie della prima edizione ancora esistenti si trova nelle biblioteche dei

seminari vescovili.

¹⁷⁴ «Il corpo suo fu condotto dalla villa d'Arcetri in Firenze e per commissione del nostro Serenissimo Gran Duca fatto separatamente custodire nel tempio di Santa Croce, dove è l'antica sepultura della nobile famiglia de' Galilei con pensiero d'ereggergli augusto e suntuoso deposito in luogo più cospicuo di detta chiesa, e così, non meno ch'in vita, generosamente onorar dopo la morte l'immortal fama del secondo fiorentino Amerigo, non già scopritore di poca terra, ma di innumerevoli globi e nuovi lumi celesti, dimostrati sotto i felicissimi auspicii della Senerissima Casa [dei Medici]». Viviani, Racconto istorico. EN, vol. XIX, pp. 597-632. Solo nel 1734 il Sant'Uffizio autorizzò la costruzione dell'«augusto e suntuoso deposito» che fu eretto nel 1737.

Caro Gianni

Fabio Bevilacqua, Dipartimento di Fisica

Abstract: Un ricordo personale delle attività di Storia della Fisica per la Didattica svolte con Gianni Bonera a partire dalla fondazione del Centro Studi per la Didattica nel 1975.

A personal recollection of the activities in the field of History of Physics for Science Education carried out with Gianni Bonera since the foundation of the Centro Studi per la Didattica in 1975.

Caro Gianni

A conclusione del lavoro per questo volume, leggendo i vari contributi di amici e colleghi ho ripensato a quanto sia stato lungo, faticoso ed entusiasmante il percorso dal 1975 a oggi. Ho condiviso con te tutto questo percorso.

Dopo due anni con Ludovico Geymonat (e un giovane Giorello) a Milano sono venuto a Pavia come 'contrattista' proprio nel 1975, all'Istituto di Fisica Teorica. 'Reclutato' da Giuliano Bellodi ho partecipato ai primi corsi di aggiornamento per l'AIF, che integravano anche una parte di storia, nel 1976 (Elettromagnetismo), 1977 (Ottica), 1978 (Energia). Ricorderai che nel 1980 abbiamo organizzato un ambizioso corso tutto dedicato alla Storia per la Didattica, con relatori provenienti da numerose Università italiane e Jürgen Teichmann del Deutsches Museum di Monaco; il corso fu duplicato a Milano. ¹ Contribuirono anche alcuni docenti delle scuole pavesi: Vittoria Cinquini, Giacomo Bruni, Giuseppe Arcidiaco, Maria Teresa De Luca.

Nel 1981 abbiamo partecipato alla fondazione del Dipartimento "A.Volta" (che poche settimane fa si è unificato con quello dei 'cugini' nucleari e teorici). Nel 1981 con due convegni (aprile e ottobre) abbiamo fondato a Pavia, con l'aiuto di Guido Tagliaferri, il Gruppo Nazionale di Storia della Fisica che, oramai Società Italiana di Storia della Fisica e dell'Astronomia, nel settembre 2011 è tornato a Pavia a celebrare i trenta anni di vita.

Abbiamo pubblicato molti volumi di Proceedings con migliaia di articoli, tutti digitalizzati e tra poco online. Ricorderai che uno dei convegni del 1981 ci ha fatto conoscere Paolo Brenni, che nel biennio successivo ha restaurato tutti gli strumenti della Sezione di Fisica del Museo per la Storia dell'Università; un lavoro proseguito poi da Giuliano e Maria Teresa de Luca.² Nel 1983 abbiamo organizzato, con l'aiuto del compianto Peter

¹ Bevilacqua, F. (a cura di) (1983), Storia della Fisica. Un Contributo per l'Insegnamento della Fisica, Milano, Franco Angeli.

Milano, Franco Angeli.

² Bellodi, G. – Brenni, P. – De Luca, M.T. (1990), *Strumenti di Misura Elettrici del Museo per la Storia dell'Università di Pavia*, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Pavia, La Goliardica Pavese.

284 Fabio Bevilacqua

Kennedy della International Commission on Physics Education della International Union of Pure and Applied Physics, un convegno internazionale di Storia per la Didattica³ che riprendeva la tradizione di Gerald Holton e Stephen Brush. Tra i relatori, provenienti da più di 20 Paesi, c'erano Gerd Buchdahl, Walter Jung, Peter French e John Heilbron (che ancora una volta è tornato a Pavia per il nostro convegno su Boscovich nel settembre 2011). Ne è nata una serie di convegni di Storia per la Didattica (Monaco 1986, Parigi 1988, Cambridge 1990, Madrid 1992, Szombathely 1994, Bratislava 1996, Pavia 1999) che ha portato la European Physical Society a darci la responsabilità di fondare l'Interdivisional Group of History of Physics nel 1987⁴ (convegni di Storia: Como 1992, Berlino 1995, Parigi 1997, Pavia 1999).

Nel 1985 abbiamo fondato la Collana di Storia della Scienza del Dipartimento "A.Volta" che conta oggi una quarantina di volumi pubblicati, compresi CD e DVD, e alcuni siti web, con l'aiuto dapprima di Maurizio Cardinetti e poi per oltre vent'anni con l'indispensabile ruolo di Lidia Falomo. Molti docenti di scuola secondaria hanno collaborato, in particolare ricorderai Ornella Rossi, Silvana Galdabini, Luisa Cassani, Biancamaria Raccanelli. ⁵ Tra i volumi ricordo il tuo *Galileo Oggi*, ⁶ e quelli dedicati alle opere e agli strumenti di Volta. ⁷

In quegli anni '80, per iniziativa del primo studente di Storia della Fisica, Domenico Bertoloni Meli, oggi in cattedra all'Università di Bloomington nell'Indiana, si sono svolti dei seminari al Collegio Ghislieri e in seguito una serie di corsi rivolti al pubblico organizzati dalla Provincia di Pavia. Alessandra Ferraresi⁸ ci ha portato le competenze di una 'vera' storica. Partiva inoltre in collaborazione con Armida Batori il progetto Clavis Scientiarum, che oggi conta più di 8000 titoli; ⁹ Lia Rotolo e Ciro Giordano della Biblio-

-

³ Bevilacqua, F. – Kennedy, P. (eds.) (1983), *Proceedings of the International Conference on Using History of Physics*, in *Innovatory Physics Education*, Pavia, La Goliardica Pavese.

⁴ Pavilacqua, F. (eds.) (1992) William (1993) History (1

⁴ Bevilacqua, F. (ed.), (1993), History of Physics in Europe in the 19th and 20th Centuries. Proceedings of the 1st European Physical Society Conference on History of Physics, Bologna, SIF-Compositori.

⁵ Cassani, L. – Raccanelli, B.M. (1988), *Un dibattito sull'etere. L'esperienza di Michelson-Morley nella interpretazione di Lorentz*, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Pavia, La Goliardica Pavese; Galdabini, S. – Rossi, O. (1988), *De' Curiosi Esperimenti. Memorie sull'elettricità e sul magnetismo di C.A. Coulomb e H.Ch. Oersted*, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Pavia, La Goliardica Pavese.

⁶ Bonera, G. (1995), Galileo oggi, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Pavia, La Goliardica Pavese.

⁷ Bevilacqua, F. – Bonera, G. (eds.) (1999), A. Volta: On the Electricity excited by the mere Contact of conducting Substances of different kinds. Bicentenary Edition in French, English, German and Italian of the Letter to Sir Joseph Banks of the 20th of March 1800, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Milano, Hoepli, pp. 1-102; Bellodi, G. – Bevilacqua, F. – Bonera, G. – Falomo, L. (a cura di) (2002), Gli Strumenti di Alessandro Volta. Il Gabinetto di fisica dell'Università di Pavia, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Milano, Hoepli, pp. 1-384; Bevilacqua, F. – Bonera, G. – Falomo, L. (2002), Alessandro Volta, edizione nazionale delle Opere e dell'Epistolario, Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, CD-ROM, Milano, Hoepli; Bonera, G. – Bevilacqua, F. (1998), Le Celebrazioni Voltiane, in Università degli Studi di Pavia: Inaugurazione dell'Anno Accademico 1997-1998, Pavia, pp. 85-96.

⁸ Bevilacqua, F. – Bonera, G. – Ferraresi, A. (a cura di) (2002), *Regesto dei manoscritti del Cartellario Voltiano*, Università degli Studi di Pavia, Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Milano, Hoepli, pp. 1-438.

⁹ Batori, A., (1986), *Clavis Scientiarum*, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Pavia, La Goliardica Pavese; Batori, A. – Bevilacqua, F. (a cura di) (1990), *Catalogo del Fondo Storico di Fisica della Biblioteca Universitaria e della Biblioteca A. Volta di Pavia. Secolo XIX. Parte I. A-K. pp. 1-522; <i>Parte II. L-Z.* pp. 1-530. Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Pavia, La Goliardica Pavese.

teca Universitaria hanno poi proseguito la collaborazione. Giuseppe Giuliani si dedicava alla Storia della Fisica¹⁰ e iniziava un'importante attività di ricerca e di documentazione. Giuliano Bellodi organizzava le nostre prime mostre. Lucio Fregonese iniziava i suoi studi voltiani che l'avrebbero portato poi, tra l'altro, a coordinare la *Nuova Voltiana*¹¹ e a organizzare una serie di mostre internazionali (che sono arrivate anche in Cina e in Egitto).

A partire da progetti di simulazione al computer percorsi insieme ad Anna de Ambrosis, Lidia Borghi, Isella Massara, ¹² gli ipertesti, la multimedialità e la digitalizzazione ¹³ sono stati impegni costanti del Gruppo di Storia della Fisica e mi sembra che i risultati non siano mancati, soprattutto per merito dell'impegno generoso e instancabile di Lidia Falomo con il valido appoggio di Roberto Gaetano e di Luigi Cattaneo. Sul finire degli anni '80 Lea Cardinali ha cominciato una stabile collaborazione con noi partecipando a una sperimentazione sugli ipertesti.

Dopo alcuni corsi di aggiornamento organizzati con Jurgen Teichmann al Museo di Monaco abbiamo fondato il gruppo di Storia dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica. 14 Nel 1989 abbiamo partecipato con Michael Matthews a Tallahassee a un primo convegno di Storia della Scienza e Didattica e poi alla fondazione della rivista *Science & Education*, oggi un punto di riferimento nel settore, e dell'*International History of Philosophy Science Teaching Group* che nel 1999 ha tenuto un importante convegno a Pavia. 15 Questa rivista e questo gruppo rappresentano oggi la maggiore realtà internazionale nel settore. A partire dalla fine degli anni '80 abbiamo potuto contare sull'appoggio costante, generoso e indispensabile del Rettore Roberto Schmid. Agli inizi degli anni '90 il nostro Gruppo è diventato numeroso: sono arrivati Enrico Giannetto e poi Franco Giudice, 16 oggi entrambi a Bergamo; hanno collaborato a lungo Stefano Bordoni 17 e Andrea Vai.

La legge sulla diffusione della cultura scientifica 133/91, poi 6/2000, e i progetti strategici e finalizzati del CNR sono stati importanti canali di coordinamento e finanziamento. Paolo Mascheretti è stato sempre impareggiabile nella costruzione di exhibit storici. ¹⁸ Carla Garbarino ha portato per molti anni un contributo di idee e di impegno progettuale,

Milano, Springer, pp. 185-207.

¹⁰ Giuliani G. (a cura di) (1988), The Origins of Solid State Physics in Italy: 1945-60, Bologna, SIF-Compositori.

¹¹ Bevilacqua, F. – Fregonese, L. (eds) (2000, 2003), *Nuova Voltiana*. Vol. I-V, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Milano, Hoepli.

¹² Bevilacqua, F. – Bonera, G. – Borghi, L. – De Ambrosis, A. – Massara, C. I. (1990), *Computer Simulations and Historical Experiments*, in «European Journal of Physics», 11, pp. 15-24.

¹³ Bevilacqua, F. – Falomo, L. (1992), *Innovazione didattica e nuove tecnologie: un approccio ipermediale alla fisic*a, in: «Annali della Pubblica Istruzione», XXXVIII n. 5-6. Settembre-Dicembre 1992, pp. 615-28.

Bevilacqua, F. – Gandolfi, A. (a cura di) (1988), Storia della Fisica e Didattica, Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Pavia, La Goliardica Pavese.
 Bevilacqua, F. – Giannetto, E. – Matthews, M. (eds.) (2001), Science Education and Culture. The

Contribution of History and Philosophy of Science, Kluwer, Dordrecht, pp. IX-XV, 1-3, 103-107, 227-228.

¹⁶ Bonera, G. – Giudice, F. (1996), Le teorie di Galileo sul Galleggiamento, Atti del XVI Congresso di Storia

della Fisica, Como, pp. 125-150.

17 Bordoni, S. (1995), Eleveremo a questa congettura, Collana di Storia della Scienza dell'Università di

Pavia, Pavia, La Goliardica Pavese.

18 Bevilacqua, F. – Falomo, L. – Fregonese, L. – Giannetto, E. – Giudice, F. – Mascheretti, P. (2005), Interpreting the Pendulum: from Constrained Fall to the Concept of Potential, in The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical & Educational Perspectives, Matthews, M. – Gauld, C. – Stinner, A. (eds). (2005).

286 Fabio Bevilacqua

sempre con grande bravura e simpatia. 19 Ricordo con piacere le celebrazioni voltiane di fine millennio, da te coordinate, che sono state un momento entusiasmante ricco di attività e progetti.

Con l'aiuto di Alberto Calligaro è seguito poi l'impegno nella trasformazione del Centro Interdipartimentale Musei Scientifici in Sistema Museale d'Ateneo. Qui è iniziata una collaborazione con Patrizia Contardini, oramai un punto di riferimento per il Sistema e in particolare per le nostre attività. Grazie al suo coordinamento nel 2005 abbiamo affrontato le celebrazioni dell'annus mirabilis einsteiniano, in cooperazione con Jurgen Renn²⁰ e il Max Planck di Storia della Scienza di Berlino e con l'Università Ebraica di Gerusalemme. Hanno collaborato alla grande mostra Einstein, ingegnere dell'Universo Peter Heering di Oldenburg e Giovanni Vergara Caffarelli di Pisa; il suo Laboratorio di Galileo fa ora parte delle nostre collezioni. Ha iniziato a collaborare con noi Antonella Berzero che si dedica oggi attivamente al Sistema Museale. Non possiamo dimenticare il contributo eccezionale che ci continua a dare Angelo Chierico con le sue eccellenti traduzioni e impaginazioni dal latino, inglese, tedesco, francese. Mi fa anche particolare piacere che oggi lavori con noi Giorgio Zambotti, che mi accolse molto generosamente nel suo ufficio nel 1975. Gabriele Albanesi e Cristina Trevaini hanno costruito reti di scuole elementari, medie e superiori con cui portiamo avanti numerosi progetti e formiamo gli 'explainers'.

Nel 2011 per una mostra sull'energia abbiamo unito antico e moderno con la collaborazione di Lucio Andreani e Claudio Marabelli. ²¹ Un impegno notevole lo abbiamo dedicato anche alla Division of History of Science and Technology dell'International Union of History and Philosophy of Science, e alla fondazione a Parigi della European Society for History of Science che coordina le società nazionali di Storia della Scienza e organizza convegni che vedono una numerosa partecipazione (Maastricht 2004, Vienna 2006, Cracovia 2008, Barcellona 2010, Atene 2012).

Caro Gianni, quante attività, quanti amici e colleghi, quanti studi, quanti progetti, quanto impegno. Una valorizzazione delle fonti primarie: strumenti, libri, manoscritti; delle fonti secondarie con confronti e dibattiti storiografici; degli aspetti concettuali delle discipline fisiche nel contesto storico di origine e sviluppo; delle applicazioni didattiche con materiali multimediali ed exhibit interattivi, degli strumenti Web 2.0 come i wiki, blog, filmati in rete. Senza il tuo costante impegno questo Gruppo pavese, questa disciplina e queste collaborazioni nazionali e internazionali non ci sarebbero state. Anche se oggi, come del resto anche ieri, la situazione sembra difficile, adesso in realtà abbiamo una carta in più: questa piccola-grande tradizione che abbiamo costruito e che certamente, soprattutto per merito dei più giovani, continuerà a dare dei buoni frutti.

¹⁹ Bevilacqua, F. – Falomo, L. – Garbarino, C. (a cura di) (2003), *Musei e collezioni dell'Università di Pavia*,
 Collana di Storia della Scienza dell'Università di Pavia, Milano, Hoepli, pp. 1-112.
 ²⁰ Bevilacqua, F. – Renn, J. (a cura di) (2005), *Einstein Ingegnere dell'Universo*, Milano, Skira, p. 300.

Bevilacqua, F. – Renn, J. (a cura di) (2005), Einstein Ingegnere dell'Universo, Milano, Skira, p. 300
 Falomo, L. (a cura di) (2010), Energia, questa trasformista. Laboratorio storico interattivo, Pavia.

Caro Gianni mi sembra possiamo dire che il lavoro iniziato nel 1975 con la fondazione del Centro Studi per la Didattica della Facoltà di Scienze abbia portato buoni frutti. Questo volume lo dimostra.

Dopo l'esperienza della SILSIS, che a Pavia è stata molto importante e positiva, nel 2010 il 'vecchio' Centro ha ripreso vita come Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze con la partecipazione di molti Dipartimenti. Al momento della pubblicazione di questi *Proceedings* del Convegno del 7 maggio 2010, giunge notizia dell'istituzione (finalmente!) del tirocinio per l'abilitazione all'insegnamento nelle scuole e presto (si spera) si passerà all'istituzione delle nuove lauree. Sono passati trentasette anni! Un periodo lungo ma appassionante e affascinante.

Caro Gianni, ripensando a tutti questi anni ti vorrei dire, anche a nome di tutti gli altri, un affettuoso e sincero grazie.

History, Education, Sciences: Pavia 1975-2010

Proceedings of the Conference (University of Pavia, May 7th 2010)

Edited by Fabio Bevilacqua – Patrizia Contardini

English Abstract

In 1975 the Science Faculty of the University of Pavia founded the Science Education Seminar, renamed in 1980 the Center of Studies for Science Education. Many researchers active in the fields of Science Education and History of Science took part in its activities and in the important experience of the SILSIS (1999-2008). In 2010 the Science Faculty renewed its commitment to this field with the foundation of the Interdepartmental Research Center on Science Education and History of Science, which inherited the tradition of the previous Center of Studies. This is a particularly notable commitment on the eve of the approval by the Ministry of Education of the new degrees and of the pre-service training courses required for school teaching. Many departments, including some in the Humanities, joined this new Center. On May 7th 2010 the Center organised a conference to commemorate and discuss Pavia's tradition in the field, the local, national and international cooperations that have taken place, the results achieved and current projects. Part of the day, introduced by Angiolino Stella, Rector of the University of Pavia, was dedicated to a celebration of Gianni Bonera, first Director of the Science Education Seminar and Dean of the Science Faculty from 1976 to 1979. The numerous papers discussed are collected in this volume and published by Pavia University Press both online (freely available in PDF format) and through "print on demand". We hope that this might improve their accessibility and encourage young researchers to commit themselves to this field of scientific, cultural and social relevance, at a time when the new requirements to become a school teacher in Italy have finally been approved.

Fabio Bevilacqua, full professor of History of Science at the Science Faculty of the University of Pavia, is the director of the Interdepartmental Research Center on Science Education and History of Science. He is the editor of the series on History of Science of the Physics Department and president of the European Society of History of Science (2012-14).

Patrizia Contardini coordinates the Museum System of the University of Pavia from its foundation (2005). She contributes to the realization of exhibitions and events for the enhancement and promotion of the University's scientific cultural heritage. She also participates in the activities of the Interdepartmental Research Center on Science Education and History of Science.

Fabio Bevilacqua, professore ordinario di Storia della Scienza presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Pavia, è direttore del *Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze*. Dirige la Collana di Storia della Scienza del Dipartimento di Fisica ed è presidente della Società Europea di Storia della Scienza (2012-14).

Patrizia Contardini è coordinatore del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Pavia dalla fondazione (2005). Collabora alla realizzazione di mostre ed eventi volti alla promozione e valorizzazione del patrimonio scientifico culturale ivi conservato. Partecipa inoltre alle attività del *Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze*.

Nel 1975 la Facoltà di Scienze dell'Università di Pavia ha fondato il *Seminario Didattico*, rinominato dal 1980 *Centro Studi per la Didattica*. Molti ricercatori che hanno svolto le loro ricerche nel campo della Didattica e della Storia delle Scienze hanno partecipato alle attività del Centro e all'importante esperienza della SILSIS (1999-2008).

Nel 2010 la Facoltà di Scienze ha rinnovato il proprio impegno nel settore con la fondazione del *Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze*, che ha raccolto la tradizione del *Centro Studi* precedente, impegno particolarmente importante alla vigilia dell'approvazione ministeriale delle nuove lauree e del 'tirocinio' per l'insegnamento nelle scuole. A questo nuovo Centro hanno aderito numerosi Dipartimenti, anche delle Facoltà Umanistiche.

Il 7 maggio 2010 il nuovo *Centro Interdipartimentale di Ricerca* ha organizzato un convegno per illustrare e dibattere la tradizione 'pavese' nel settore, le collaborazioni locali, nazionali e internazionali che si sono sviluppate, i risultati raggiunti e i progetti in corso. Una parte della giornata, introdotta dal Magnifico Rettore Angiolino Stella, è stata dedicata a Gianni Bonera, primo direttore del Seminario Didattico e Preside della Facoltà di Scienze dal 1976 al 1979. I numerosi contributi presentati il 7 maggio 2010 si trovano qui raccolti, pubblicati dalla Pavia University Press sia online (scaricabili gratuitamente in formato PDF) sia con la modalità del 'print on demand'. Speriamo che questo possa facilitarne la diffusione e possa incoraggiare giovani ricercatori a impegnarsi in questo settore di grande rilevanza scientifica, culturale e sociale nel momento in cui vengono finalmente istituzionalizzate in Italia le nuove procedure di accesso alla docenza scolastica.

Nella sezione "Editoria scientifica" Pavia University Press pubblica esclusivamente testi scientifici valutati e approvati dal Comitato scientifico-editoriale. www.paviauniversitypress.it/scientifica





€ 27,00