

SCUOLA DI SCIENZE
Dipartimento di Fisica e Astronomia
Corso di Laurea magistrale in Astrofisica e Cosmologia

**La divulgazione dell'astronomia in Italia:
il caso del passaggio della
Cometa di Halley**

Tesi di laurea

Presentata da:
Matteo Boni

Relatore:
Chiar.mo Prof. Eugenio Bertozzi



Ricordiamo quegli eoni nei quali non c'erano esseri sulla Terra a meravigliarsi delle comete; speriamo, almeno fino alla morte del Sole, che non sarà mai più così.

Carl Sagan, Ann Druyan, Comet, 1985



La cometa di Halley fotografata nei passaggi del 1910 e del 1986.

C'è un concetto di base nella scienza che va infatti ricordato, e cioè che ogni scoperta, ogni invenzione è sempre il frutto di ricerche precedenti che hanno preparato il terreno, per così dire.

Piero Angela, Viaggio nella Scienza, vol. 3, 2009

Abstract

Negli ultimi decenni, nella storia delle scienze – e in particolare in quella della fisica e dell’astronomia – si è sviluppato un certo interesse per la comunicazione delle discipline, delle loro nuove scoperte e teorie verso un pubblico di non specialisti, indicata in genere come divulgazione scientifica.

Spesso tale interesse è limitato al mondo anglosassone, mentre per altri Paesi poco è stato scritto. Per quanto riguarda l’Italia, ad esempio, la letteratura è ancora abbastanza confinata ai primi decenni successivi all’unificazione nazionale.

Si vuole qui fornire un caso di studio per la divulgazione italiana di inizio Novecento, che permetta di osservare come venivano comunicate l’astronomia e la fisica e come esse interagissero nella diffusione delle nuove idee scientifiche: il passaggio della cometa di Halley del 1910 nelle parole del fisico Augusto Righi e dell’astronomo Elia Millosevich.

Per contestualizzarle, nell’*Introduzione* si affrontano la storia della divulgazione scientifica, con la specificità italiana, e lo sviluppo avvenuto nell’astronomia a partire dall’Ottocento. Si identificano successivamente *I criteri di analisi* applicati ai testi considerati, partendo dalla letteratura di ricerca in storia e sociologia della scienza, per fornire sia una visione generale che una particolare delle tecniche comunicative utilizzate. Si osservano poi *Le comete nella storia*, per tracciare l’evolversi delle conoscenze inerenti questi astri al passare dei secoli.

Nel capitolo *Il passaggio della cometa di Halley del 1910* è affrontato il contesto storico, sociale e culturale in cui si muovono Millosevich e Righi. Di quest’ultimo, fisico bolognese di rilevanza internazionale, si abbozza una breve biografia nel capitolo omonimo, *Augusto Righi*.

Nel capitolo *Le conferenze di Millosevich e Righi* vengono esposti l’analisi e il confronto dei testi “Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley” di Elia Millosevich e “Comete ed elettroni” di Augusto Righi. *Il passaggio della cometa di Halley del 1986* offre uno spunto per possibili studi futuri riguardanti i cambiamenti nella comunicazione scientifica avvenuti nel corso del ventesimo secolo.

Infine, nelle *Appendici* si trovano l’ode che Giovanni Pascoli dedicò *Alla cometa di Halley*, dei *Cenni biografici di alcuni astronomi italiani* del 1910 citati nelle prossime pagine, il testo della conferenza di Millosevich e la bibliografia del testo di Righi, commentata.

Il presente lavoro, nell'affrontare le differenti contestualizzazioni storiche e scientifiche fa uso sia di letteratura di ricerca che di fonti primarie, risalenti ai diversi periodi considerati nei vari capitoli. In questo modo si è cercato di avere un'idea della popolazione che poteva essere raggiunta dalla divulgazione scientifica di inizio Novecento, al fine di identificare l'insieme di conoscenze scientifiche disponibili sulle comete, alle quali Righi e Millosevich poterono attingere per costruire i loro interventi. Di questi sono stati identificati i punti focali e il loro approccio alle novità dell'astrofisica, osservando le tecniche retoriche utilizzate.

Indice

Abstract	i
Indice.....	iii
Indice delle figure.....	v
Introduzione	1
La situazione italiana.....	3
Lo sviluppo dell’Astronomia tra Ottocento e Novecento	7
Una nota sulla terminologia.....	9
I criteri di analisi.....	12
Bridging the knowledge gap.....	13
Accounting for explanation in popular science texts	16
Accommodating Science	19
Il cambio di genere	19
Il cambio nel tipo di affermazioni	20
La teoria della stasi.....	22
Le comete nella storia.....	26
L’ipotesi di Halley e il Settecento	31
Gli studi dell’Ottocento	36
Le apparenze.....	36
Meteore, stelle cadenti e comete.....	41
La spettroscopia.....	45
Le novità del Novecento.....	48
Dagli anni Cinquanta alla Halley Armada.....	50
Cenni alle conoscenze più recenti	54
Il passaggio della cometa di Halley del 1910	57
Il contesto italiano	57
I giornali	60
La Scienza per tutti	65
Le conferenze degli astronomi	69
Augusto Righi	72
Cenni biografici.....	73
L’attività scientifica.....	75
L’attività politica	77
Le conferenze di Millosevich e Righi.....	79
Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley.....	81
Comete ed elettroni.....	85
Analisi e confronto dei due testi	94

Il passaggio della cometa di Halley del 1986	101
Il contesto	101
I giornali	104
Le Scienze	107
Conclusioni.....	110
Ringraziamenti	114
Bibliografia.....	115
Introduzione.....	115
I criteri di analisi.....	116
Le comete nella storia.....	117
Il passaggio della cometa di Halley del 1910	117
Augusto Righi.....	118
Le conferenze di Millosevich e Righi.....	118
Il passaggio della cometa di Halley del 1986	118
Conclusioni.....	119
Appendici	119
Alla cometa di Halley.....	119
Cenni biografici di alcuni astronomi italiani	119
Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley.....	119
Riferimenti per le immagini usate nel testo	119
Appendici	121
Alla cometa di Halley.....	123
Cenni biografici di alcuni astronomi italiani	126
Padre Giovanni Boccardi.....	126
Giovanni Celoria	127
Pio Emanuelli	128
Elia Millosevich	128
Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley.....	130
La Bibliografia di Comete ed elettroni	137

Indice delle figure

La cometa di Halley fotografata nei passaggi del 1910 e del 1986.	
La cometa di Halley nel 1066. Dettaglio dall'arazzo di Bayeux, celebrante la conquista normanna dell'Inghilterra. XI secolo.	27
Raffigurazione realistica di una cometa, probabilmente ispirata dal passaggio della cometa di Halley del 1301. Dettaglio dell'Adorazione dei Magi di Giotto (1266-1337), 1303-1305. Cappella degli Scrovegni, Padova.	27
Alcuni esempi di apparizioni cometary, di Maria Clara Eimmart (1676-1707). Museo della Specola di Bologna.	31
Edmond Halley. Dipinto di Richard Phillips (circa 1720), dettaglio. National Portrait Gallery, London.	32
Primo spettro di una cometa. Da <i>Astronomische Nachrichten</i> 62, Nr. 1488 (1864).	45
Foto e spettri della cometa di Halley ottenuti all'Osservatorio di Madrid nel maggio 1910. Da <i>Nature</i> , 83(2117), 26 maggio 1910.	49
Sono qui rappresentate tutte le missioni cometary, dall'International Cometary Explorer (ICE) nel 1985, ad oggi. Giotto, Stardust e Deep Impact incontrarono due comete ciascuna. 1P/Halley è stata visitata da cinque veicoli spaziali in pochi giorni, mentre la cometa 9P/Tempel 1 è stata incontrata due volte, in passaggi al perielio consecutivi. La linea continua per la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko rappresenta il periodo di due anni nei quali è stata studiata dalla sonda Rosetta.	56
Mosaico dei nuclei cometari visitati da sonde spaziali. In alto, da sinistra: 1P/Halley (sonda: Giotto, distanza: 1917 km); 19P/Borrelly (Deep Space 1, 3417 km); 81P/Wild 2 (Stardust, 238 km). In basso, da sinistra: 9P/Tempel 1 (Deep Impact, 500 km); 103P/Hartley 2 (EPOXI, circa 700 km); 67P/Churyumov-Gerasimenko (Rosetta, 64 km). Immagini non in scala.	56
Esempi di pubblicità apparse nel maggio 1910 su <i>Il Corriere della Sera</i> e <i>La Stampa</i>	65
Copertina della rivista <i>La Scienza per Tutti</i>	66
Augusto Righi.	73
Frontespizio del fascicolo di Conferenze e Prolusioni del 1-15 maggio 1910, in cui è riportata la conferenza di Millosevich.	81
Copertina del volume <i>Comete ed elettroni</i>	85
Copertina della rivista <i>Le Scienze</i>	107
La cometa di Halley su Bologna nel 1682. Dettaglio dall'Insignia degli Anziani Consoli del quinto bimestre 1682. Cortesia del prof. Fabrizio Bònoli.	121
Giovanni Boccardi.	126
Giovanni Celoria.	127
Pio Emanuelli.	128
Elia Millosevich.	128
Elementi orbitali.	131

Introduzione

*La Scienza esiste perché gli scienziati sono scrittori ed oratori. [...] In quanto forma condivisa di conoscenza, la comprensione scientifica è inseparabile dalla parola scritta e parlata. Non ci sono confini, né muri, tra il fare scienza e la sua comunicazione; comunicare è fare scienza.*¹

Che si tratti della conversazione tra colleghi in una pausa, in un *coffee talk* o in una conferenza internazionale; che riguardi la scrittura di un *paper* o *proposal* scientifico o che si tratti di interviste, conferenze, libri e articoli divulgativi, lo scienziato comunica.

Comunicando, condivide le conoscenze e le scoperte del suo settore di ricerca, mantenendo attivo un carattere fondante della scienza moderna in contrasto con altre forme di conoscenza: la scienza “nasce come sapere pubblico, controllabile, riproducibile e verificabile da tutti, universale e fondato sul principio dell’uguaglianza delle intelligenze”².

Ma la comunicazione della scienza non è una realtà monolitica e immutabile.

Se la comunicazione tra pari avveniva già tra gli adepti di caste sacerdotali o di scuole filosofiche nell’antichità e si è mantenuta nel confronto intellettuale in tutte le epoche, tra le novità della scienza moderna vi è la platea a cui l’oratore - o lo scrittore - si rivolge.

Così, nelle corti moderne il filosofo naturale comunica i risultati del proprio lavoro in modi comprensibili a non esperti, quali i principi mecenati dei suoi studi.

L’uso del volgare e di generi letterari come il dialogo permette poi, nella prima metà del Seicento, di allargare il pubblico dei lettori di Galileo Galilei (1564-1642) fuori dalle corti e dalle università, agli artigiani che creano gli strumenti di cui lo studioso si serve nelle sue ricerche.

Ma solo verso la fine del secolo e nel successivo iniziano ad apparire opere di filosofia naturale *per* il pubblico.

¹ Scott L. Montgomery, “Communicating Science”, in *The Chicago guide to communicating science* (Chicago: University of Chicago Press, 2003), 1. Traduzione dell’autore.

² Marco Ciardi, “Gli ippogrifi di Galileo”, in *Galileo & Harry Potter. La magia può aiutare la scienza?* (Roma: Carocci, 2014), 21.

Le *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686) di Bernard Le Bovier de Fontanelle (1657-1757), in cui l'autore discorre con una dama delle nuove scoperte astronomiche, sono considerate il primo libro di divulgazione scientifica. Ad esso si ispireranno altri autori del periodo illuminista, come Francesco Algarotti (1712-1764) per il suo *Il newtonianismo per le dame* (1737).

L'Illuminismo si sviluppa tanto nei salotti aristocratici quanto nei caffè borghesi. Il famoso motto: "Sapere aude!" di Immanuel Kant (1724-1804), nella *Risposta alla domanda: che cos'è l'Illuminismo?* (1784), trova una sua espressione nell'interesse per la scienza di un vasto pubblico di studiosi e appassionati che condividono valori e ideali, promuovendo la creazione di un'opinione pubblica come forza politica.

Agli scopi educativi e religiosi già presenti nelle corti, si aggiunge ora un nuovo ruolo della comunicazione scientifica: la scienza diventa uno "strumento d'intervento politico"³.

Con lo sviluppo della scienza e della sua comunicazione, cambia anche l'idea di pubblico e il modo con il quale ad esso si rivolgono gli esperti.

La scienza popolare sviluppata tramite diversi generi letterari, lezioni e incontri nei salotti e nelle piazze del Settecento raggiunge diversi strati della popolazione, ma soprattutto le élite istruite cui appartengono politici e imprenditori.

Nell'Ottocento, con l'industrializzazione le cose cambiano. Si definisce la figura professionale dello scienziato, sempre più specializzato, e si legano le scoperte scientifiche e le innovazioni tecnologiche al progresso che il Positivismo celebra come avanguardia della civilizzazione e della modernità.

Nelle nazioni più sviluppate la letteratura di scienza popolare diventa *scienza per tutti*, strumento da un lato di dialogo tra esperti di settori di ricerca differenti, dall'altro di diffusione di sapere utile, pratico o che desti meraviglia nel lettore.

Vi è cioè una distinzione netta tra produttori e consumatori di scienza, ma rimane un'idea di continuità tra questa e il senso comune. Si sviluppano gradualmente e parallelamente una scienza accademica ed una scienza popolare fatta da appassionati, in grado di competere con gli scienziati.

In generale, tale situazione andrà avanti fino alla fine della Belle Époque, anche se negli ultimi anni inizieranno già a vedersi i mutamenti nella comunicazione scientifica che caratterizzeranno il primo dopoguerra.

³ Paola Govoni, "La scienza e il suo pubblico", in Umberto Eco (Ed.), *L'Ottocento: l'età del Romanticismo. Filosofia, scienze e tecniche* [L'età moderna e contemporanea, vol.11] (Roma: Gruppo editoriale L'Espresso, 2012), 806.

Dalla scienza per tutti si passa alla *volgarizzazione* ed alla *divulgazione scientifica*, in cui la distinzione tra scienziati e pubblico si fa più marcata.

Il divulgatore semplifica il discorso per una massa “ignorante”, che oggettivamente stenta a capire le profonde novità portate dalle nuove scoperte, soprattutto a causa della rottura col senso comune impresso dalla nuova fisica, che si sta sviluppando e che sarà percepita come sempre meno controllabile dall’opinione pubblica, nonché connessa alle dinamiche di potere e militari nella guerra fredda⁴.

Solo a partire dagli anni Settanta del Novecento inizierà a svilupparsi un discorso sulle dinamiche della comunicazione della scienza, che porterà al superamento dell’idea di un pubblico ostile per mancanza di nozioni scientifiche (*deficit model*) e solo nel decennio successivo inizieranno a svilupparsi pratiche e indirizzi volti a migliorare il rapporto tra esperti e pubblico.

Questi cambiamenti portano alla nascita della *Public Understanding of Science* (PUS), formalmente associata alla pubblicazione del *Bodmer Report* (1985), ed ai successivi sviluppi, quali i modelli di coinvolgimento del pubblico del nuovo millennio (PEST)⁵.

La situazione italiana

Rispetto alla situazione generale appena descritta, l’Italia tra Otto e Novecento presenta alcune peculiarità. Mentre l’industrializzazione e gli ideali positivisti si sviluppano in Regno Unito, la penisola è divisa e percorsa dai moti risorgimentali. Raggiunta l’unificazione, il nuovo Stato si deve confrontare con diversi problemi, non ultimo l’alto tasso di analfabetismo. Nel 1861 il 75% degli italiani è analfabeta, con enormi differenze tra le diverse regioni⁶.

La prima generazione di scienziati post-unitari, che da giovane si era trovata coinvolta nei moti del 1848 e negli ideali positivisti provenienti dalle grandi nazioni europee (Regno Unito, Francia, Germania), si sente investita del compito di diffondere un maggior grado di civiltà nel nuovo paese tramite conferenze pubbliche, esposizioni e, soprattutto, la letteratura di scienza popolare⁷.

⁴ Per l’evoluzione dell’idea di pubblico si veda Bernadette Bensaude-Vincent, “A genealogy of the increasing gap between science and the public”, in *Public Understanding of Science*, 10(1) (2001).

⁵ Si vedano il Bodmer Report: The Royal Society, “The public understanding of science. Report of a Royal Society ad hoc Group endorsed by the Council of the Royal Society” (1985); Constance Holden (2002, Ottobre 4), “From PUS to PEST”, *Science*, vol. 298(5591), 49; e Giuliana Bevilacqua, “La comunicazione scientifica: il delicato rapporto tra scienza, media e pubblico”, in AA.VV., *Testo, Contesto ed Evento. Geomorfologia, una nuova frontiera delle Scienze della Terra* [Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia, vol. XCVI] (Roma: Ispra, 2014).

⁶ Paola Govoni, *op. cit.* (nota 3), 811.

⁷ Si vedano Cristiano Turbil, “Paolo Mantegazza and the dream of ‘making’ science popular circa 1860-1900.”, in *Public Understanding of Science*, 26(5) (2017); Paola Govoni, “Professionalizzazione dello scienziato e ingresso delle

Letteratura che diventa anche strumento di battaglia politica nell'età liberale, tra le posizioni di scienziati religiosi come il gesuita Angelo Secchi (1818-1878), direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano in una Roma che solo nel 1870 verrà annessa al Regno d'Italia, e di anticlericali come il naturalista Michele Lessona (1823-1894)⁸.

Nei decenni dall'Unità al primo conflitto mondiale la scienza popolare conosce alterne fortune, raggiungendo un picco nel numero di pubblicazioni negli anni Ottanta dell'Ottocento. Queste fortune sono legate innanzitutto alla difficile creazione di una comunità scientifica nazionale, nonostante la retorica che circonda episodi come la spedizione italiana in Sicilia per osservare l'eclissi di Sole del dicembre 1870⁹.

La letteratura di scienza popolare in Italia è costituita principalmente da opere di singoli autori, siano esse traduzioni di libri stranieri (soprattutto dal mondo anglosassone e dalla Francia) o libri di scrittori e scienziati-divulgatori italiani – alcuni dei quali verranno tradotti anche in altri Paesi europei, grazie a progetti editoriali come la *Biblioteca Scientifica Internazionale*, che legava in un'unica iniziativa editori europei e statunitensi, edita in Italia dalla Dumolard. Non durano invece le riviste, sia per problemi di organizzazione del lavoro tra i collaboratori che per mancanza di mercato: un esempio è il caso de *La Natura*, la versione italiana di *Nature*¹⁰, pubblicata tra il 1884 e il 1885.

Nonostante le intenzioni degli autori della scienza per tutti, che con spirito positivista vorrebbero raggiungere le classi sociali più povere del Paese “per aiutarle ad emanciparsi finanziariamente e per liberarle da secoli di ‘oscurantismo’, cioè l’influenza della Chiesa Cattolica [oppure difenderle] dagli attacchi dei cosiddetti ‘preti della scienza’, politicamente vicini alle élite liberali”¹¹, i lettori della scienza popolare sono soprattutto uomini e donne della ricca borghesia e delle nuove classi

donne nella scienza accademica. I casi inglese e italiano a confronto”, in Silvano Montaldo (Ed.), *Cesare Lombroso. Gli scienziati e la nuova Italia* (Bologna: il Mulino, 2011); Paola Govoni, “The rise and fall of science communication in late nineteenth century Italy”, in Martin W. Bauer, Massimiano Bucchi (Ed.), *Journalism, Science and Society. Science Communication between News and Public Relations* (New York: Taylor & Francis Group, 2007).

⁸ Sullo scontro tra scienziati laici e cattolici si veda Paola Govoni, “Dalla scienza popolare alla divulgazione. Scienziati e pubblico in età liberale”, in Francesco Cassata, Claudio Pogliano (Ed.), *Storia d'Italia. Annali 26. Scienza e cultura dell'Italia unita* (Torino: Einaudi, 2011), 70-72.

⁹ Si veda in proposito Massimo Mazzotti, “I significati della precisione. Per una storia socioculturale dell'astrofisica italiana”, in Paola Govoni (Ed.), *Storia, Scienza e Società. Ricerche sulla scienza in Italia nell'età moderna e contemporanea* [Bologna Studies in History of Science, vol.11] (Bologna: CIS-Dipartimento di Filosofia, 2006), 162-166.

¹⁰ Si veda Paola Govoni, ““La Natura”. Un sogno infranto”, in *Un pubblico per la scienza. La divulgazione scientifica nell'Italia in formazione* (Roma: Carocci, 2002), 271-313.

¹¹ Paola Govoni, “The Power of Weak Competitors: Women Scholars, “Popular Science,” and the Building of a Scientific Community in Italy, 1860s-1930s”, in *Science in Context*, 26(3) (2013), 407. Traduzione dell'autore.

media e medio-bassa; solo nelle poche zone industriali c'è anche qualche lettore delle classi più povere. D'altronde, nel 1901 è analfabeta ancora il 48% della popolazione¹².

Tra l'ultimo decennio dell'Ottocento e l'inizio del Novecento la diminuzione di titoli di scienza popolare è legata sicuramente alla crisi economica internazionale di fine diciannovesimo secolo e ad un cambio di gusti del pubblico, col neoidealismo di inizio ventesimo secolo; ma rappresenta anche un diverso impegno degli scienziati divulgatori. O, meglio, di quella generazione di scienziati che si è formata nei primi decenni dall'Unità e che appare intenta ad aumentare la qualità della produzione scientifica nazionale più che a volgarizzare la scienza.

Questa tendenza continuerà almeno fino ai primi anni Venti del Novecento e porterà effettivamente ad una strutturazione della scienza italiana - il Cnr viene istituito nel 1923 - e al riconoscimento dell'opera di diversi scienziati italiani a livello internazionale, ma la divulgazione scientifica non sarà più la stessa: gli scienziati si impegneranno in una divulgazione più *alta*, con conferenze e libri rivolti a un pubblico acculturato¹³.

Del resto, lungo tutta la storia dall'Unità all'Italia odierna i dati riguardanti la diffusione della letteratura scientifica mostrano come il pubblico sia ristretto, nonostante la qualità delle pubblicazioni in varie epoche¹⁴.

Con l'avvento del Fascismo i principali mutamenti sono legati all'intreccio tra politica totalitaria e costruzione del consenso. Essi influirono molto sull'interesse degli italiani per la radio: numerosi furono i periodici e la manualistica pubblicata sul tema. Inoltre, tali mutamenti legarono l'editoria nazionale ai fondi pubblici, con conseguenti autocensure da parte degli editori e la pubblicazione di opere e riviste che ne sostengono le politiche razziali e sessiste, dando loro basi scientifiche.

Nonostante ciò, continua la pubblicazione di numerosi autori invisibili al regime – i cui articoli appaiono in genere sotto pseudonimo – e la traduzione di opere di divulgazione estere.

È inoltre negli anni Venti che anche in Italia appaiono le figure del giornalista scientifico e dell'esperto di divulgazione scientifica, e nel 1935 nasce la rivista di divulgazione scientifica *Sapere*, pubblicata ancora oggi.

¹² Per un confronto, nel 1860 l'analfabetismo era del 30% in Francia e del 26% in Regno Unito e nel 1900 era sceso, rispettivamente, al 5% e al 3% [Paola Govoni, “Scienza popolare”. Autori, editori e pubblico dopo l'Unità”, in *op. cit.* (nota 10), 109].

¹³ Si vedano ad esempio i giudizi espressi negli articoli de *La Scienza per Tutti* riportati più avanti.

¹⁴ Per quanto riguarda l'editoria scientifica si veda Paola Govoni, “Scienza ed editoria dall'Unità alla rete”, in Francesco Cassata, Claudio Pogliano (Ed.), *Storia d'Italia. Annali 26. Scienza e cultura dell'Italia unita* (Torino: Einaudi, 2011); riassunto in Paola Govoni, “Popularizing science in Italy: a historical perspective. An interview with Paola Govoni”, in *Journal of Science Communication*, 10(01) (2011).

Nel frattempo, il tasso di analfabetismo rimane elevato ed anche nel secondo dopoguerra calerà lentamente¹⁵.

Dagli anni Cinquanta in poi la divulgazione scientifica ha comunque un buon pubblico, anche e soprattutto legato alle tematiche che nei vari periodi dominano la discussione sociale e politica: l'energia nucleare durante i primi anni della guerra fredda, le tematiche spaziali durante la corsa alla Luna, i temi ambientali a partire dagli anni Settanta e, in maniera dominante e sempre presenti, le tematiche sanitarie, come si nota dagli articoli sui quotidiani generalisti¹⁶.

Per quanto concerne le pubblicazioni strettamente di divulgazione scientifica si ricorda che nel 1968 nasce *Le Scienze*, versione italiana di *Scientific American*, e che nei primi anni Ottanta si ha un nuovo, temporaneo, successo della pubblicistica a tema tecnico-scientifico o medico.

Se a fine Ottocento la comunicazione scientifica poteva avvenire essenzialmente solo dal vivo o per iscritto, il Novecento ha portato allo sviluppo di diversi nuovi media: il cinema e la radio, innanzitutto, ma soprattutto la televisione nel secondo dopoguerra e internet a cavallo del nuovo millennio. Pertanto, nonostante la scarsa propensione degli italiani alla lettura¹⁷ e il necessario interesse per presenziare a conferenze e ad altri eventi pubblici, non andrebbe trascurato, nell'indagare il pubblico della divulgazione scientifica, lo sviluppo di programmi di qualità nei nuovi media ed i fenomeni di costume da essi generati: un esempio per tutti, le trasmissioni di Piero Angela (1928-2022), in particolare i programmi *Quark* (1981-1989) e *Superquark* (1995-in corso)¹⁸.

¹⁵ Nel 1931 è analfabeta ancora il 20,9% della popolazione [Paola Govoni, *op. cit.* (nota 11), 409], mentre nel 1951 lo è il 12,9% e nel 1981 il 3,1%. Si ricorda che la definizione di analfabetismo è cambiata nel corso dei vari censimenti [Istat, "Istruzione", in *L'Italia in 150 anni. Sommario di statistiche storiche 1861-2010*, 341-342, 352, tavola 7.1 (2012)]. Per un confronto, il dato più recente, riferito al 2019, indica come analfabeta lo 0,6% della popolazione [Istat, "Il Censimento permanente della popolazione e delle abitazioni. Prima diffusione dei dati definitivi 2018 e 2019", 21, prospetto 18 (2020)].

¹⁶ Si veda Massimiano Bucchi, Renato G. Mazzolini, "Big science, little news: science coverage in the Italian daily press, 1946-1997", in *Public Understanding of Science*, 12(1) (2003).

¹⁷ Le indagini Istat chiedono alle persone di 6 anni o più se si è letto "almeno un libro nei 12 mesi precedenti l'intervista per motivi non strettamente scolastici e/o professionali", libro che non deve necessariamente essere cartaceo nell'era digitale, ma comprende le varie forme (compresi gli audiolibri). Le percentuali di lettori che ne risultano partono dal 16,6% del 1965 per poi assestarsi intorno al 40% dalla fine degli anni Ottanta ad oggi. Dal 36,6% del 1987-88 al 41,4% del 2020 con un picco nel 2010 del 46,8% [Istat, "Cultura e tempo libero", in *op. cit.* (nota 15, 2012), 426, tavola 8.7; e Istat, "Lieve flessione della produzione libraria, in aumento il numero di lettori", in *statistiche. report – Produzione e lettura di libri in Italia| Anno 2020*, 8, figura 6 (2022)].

¹⁸ Lo sviluppo di una metodologia di analisi dei nuovi media e la sua applicazione va oltre gli obiettivi fissati per il presente lavoro.

Lo sviluppo dell'Astronomia tra Ottocento e Novecento

L'astronomia osservativa della prima metà dell'Ottocento portò alla scoperta di nuovi corpi celesti¹⁹, ma soprattutto ad una progressiva standardizzazione delle pratiche di osservazione che continuerà per tutto il secolo, volte a creare i cataloghi stellari e calcolare le effemeridi dei diversi corpi celesti²⁰. Queste erano utili alla navigazione e ad altre attività pratiche, ma poco interessanti per un pubblico più generale²¹. Di fianco a queste pratiche, vi furono due innovazioni molto importanti, i cui frutti si ebbero a partire dalla seconda metà del secolo.

Innanzitutto, lo sviluppo delle tecniche fotografiche permise un'alternativa ai disegni delle osservazioni²² e la possibilità di registrarle per una analisi successiva.

Inoltre, il progresso di altre scienze permise un'ulteriore novità negli studi astronomici: se già tra il 1812 e il 1815 il fisico Joseph von Fraunhofer (1787-1826) determinò con precisione la posizione di diverse righe scure nello spettro solare, fu soltanto nel 1859 che il fisico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) e il chimico Robert Wilhelm von Bunsen (1811-1899) le identificarono con le righe caratteristiche di alcuni elementi chimici, dando inizio all'*astronomia fisica*, poi detta *astrofisica*.

L'inizio delle analisi spettroscopiche negli anni Sessanta dell'Ottocento portò alle prime indagini sulla composizione chimico-fisica dei diversi corpi celesti e alle loro prime classificazioni.

In tale contesto, l'Italia appena unita si mostrò molto attiva. Nonostante il gran numero di Osservatori ereditati dagli Stati preunitari (11 dopo l'annessione di Roma, mentre la Francia ne aveva 3 e il Regno Unito 7) e le divisioni politiche non aiutassero a indirizzare in maniera utile i fondi, tra i pochi astronomi italiani si ebbero diversi attori della nuova ricerca spettroscopica.

¹⁹ Oltre alla scoperta di comete, già oggetto di ricerca nei secoli precedenti, furono scoperti ad esempio Cerere (1801) e Nettuno (1846). Il primo, scoperto dal direttore dell'Osservatorio di Palermo Giuseppe Piazzi (1746-1826) e ritenuto un pianeta per mezzo secolo, declassato poi ad asteroide ed oggi classificato come pianeta nano; il secondo osservato dagli astronomi dell'Osservatorio di Berlino Johann Gottfried Galle (1812-1910) ed Heinrich Louis D'Arrest (1822-1875) nella zona di cielo prevista dai calcoli di meccanica celeste dell'astronomo e matematico francese Urbain Le Verrier (1811-1877).

²⁰ Molta dell'attività degli astronomi ottocenteschi, riportata nei principali journals astronomici europei – come *Astronomische Nachrichten*, riguarda le effemeridi dei diversi corpi celesti.

²¹ Si veda il peculiare articolo di Kevin Donnelly, “On the boredom of science: positional astronomy in the nineteenth century”, in *The British Journal for the History of Science*, 47(3) (2014). In esso si trova anche un particolare giudizio sull'opera divulgativa dell'astronomo francese Camille Flammarion (1842-1925), apparso alla sua morte su *Popular Astronomy*, che riportiamo tradotto: “La sua reputazione scientifica ha sofferto [a causa della] attività che ha mostrato nel volgarizzare la scienza.” Esso risuona con il problema ancora attuale del riconoscimento dell'attività divulgativa nei contesti accademici, come riportato, per esempio, in Silvia Benvenuti, Roberto Natalini, “Comunicare la matematica: chi, come, dove, quando e, soprattutto, perché?!” in *Matematica, Cultura e Società. Rivista dell'Unione Matematica Italiana, Serie I, Vol. 2* (2017), 177.

²² I disegni delle osservazioni visuali rimarranno comunque una pratica degli astronomi a lungo; si pensi ad esempio alle osservazioni dei “canali di Marte” da parte di Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910) o ai disegni delle varie comete osservate fino ai primi anni del Novecento.

Nel 1860 Giovanni Battista Donati (1826-1873) pubblicò a Firenze una Memoria in cui per la prima volta si parlava dell'analisi spettrale di stelle diverse dal Sole²³ e nel 1864 osservò per primo lo spettro di una cometa²⁴ (la cometa C/1864 N1, Tempel 1864 II).

Angelo Secchi propose la prima classificazione stellare in diversi lavori a partire dal 1863 e insieme a Pietro Tacchini (1838-1905) fondò nel 1871 la *Società degli Spettroscopisti Italiani*, cui aderirono diversi Osservatori italiani e che dal 1872 pubblicò la prima rivista scientifica internazionale dedicata all'astrofisica: le *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*. Queste verranno pubblicate per quasi cinquant'anni, quando la stessa Società subì importanti cambiamenti a seguito della creazione della *International Astronomical Union* (1919)²⁵.

A causa della formazione dei nuovi astronomi – più legata all'astronomia di posizione che alla nuova astrofisica - e delle risorse sempre insufficienti a gestire una decina di Osservatori nazionali, l'astrofisica italiana rimase a lungo poco competitiva con quella di altre nazioni, soprattutto con gli sviluppi che avvennero nel mondo anglosassone.

A livello internazionale, progetti di astrometria come la *Carte du Ciel* tennero occupati diversi Osservatori per decenni (per l'Italia da fine Ottocento fu coinvolto l'Osservatorio di Catania), mentre le nuove forme di indagine astrofisica, il miglioramento della strumentazione e le ulteriori novità nelle scienze fisiche condussero nella prima metà del Novecento a notevoli avanzamenti nella comprensione del cosmo: basti pensare al *Grande Dibattito* tra gli astronomi statunitensi Harlow Shapley (1885-1972) e Heber Doust Curtis (1872-1942) che negli anni Venti portò a definire la natura extragalattica delle nebulose spirale.

Tra gli anni Trenta e Quaranta si mossero anche i primi tentativi di studio dell'universo in onde radio²⁶, sviluppati poi nel secondo dopoguerra nella nuova branca della *radioastronomia*.

Tra i problemi aperti nella seconda metà del Novecento, il funzionamento interno delle stelle che originava gli spettri osservati fu considerato alla luce delle nuove conoscenze di fisica nucleare a partire dagli anni Cinquanta²⁷, decennio che vide anche l'inizio dell'*era spaziale*.

²³ Si veda Giovanni Battista Donati, "Intorno alle striae degli spettri stellari", in *Il Nuovo Cimento* (1855-1868), 15 (1862), pubblicato come Memoria a Firenze nel 1860.

²⁴ Giovanni Battista Donati, "Schreiben des Herrn Professors Donati, Directors der Sternwarte in Florenz, an den Herausgeber", in *Astronomische Nachrichten*, 62(1488) (1864).

²⁵ Per un racconto del periodo che portò dalla fine della *Società degli Spettroscopisti Italiani* alla nascita della *Società Astronomica Italiana* si veda Ileana Chinnici, "Thus was established the Italian Astronomical Society", in *Il Nuovo Saggiatore*, 36(3-4) (2020).

²⁶ Ad esempio, Karl G. Jansky, "Radio Waves from Outside the Solar System", in *Nature*, 132 (1933); Grote Reber, "Notes: Cosmic Static", in *The Astrophysical Journal*, 91 (1940).

²⁷ L'articolo di svolta, noto come B²FH, è: Fred Hoyle, William A. Fowler, Geoffrey R. Burbidge, Eleanor Margaret Burbidge, "Origin of the Elements in Stars", in *Science*, 124(3223) (1956).

Con lo sviluppo delle missioni spaziali, si aprirono per l'astrofisica due possibilità eccezionali: divenne possibile osservare l'universo alle lunghezze d'onda assorbite dall'atmosfera, dando origine all'*astrofisica delle alte energie*, e visitare con sonde diversi corpi del Sistema solare, dai pianeti, agli asteroidi, alle comete.

Nei prossimi capitoli si affronterà la comunicazione scientifica che ha riguardato le conoscenze su queste ultime nel corso del Novecento, prendendo in considerazione in particolare la situazione **italiana** in occasione dei due passaggi della **cometa di Halley**, avvenuti nel **1910** e nel **1986**, analizzando e contestualizzando alcuni testi delle due epoche.

Una nota sulla terminologia

I termini *comunicazione della scienza* e *comunicazione scientifica* sono intesi, nel corso di questo elaborato, come un ombrello generico che contiene tutte le forme di dialogo e narrazione della scienza, dal vivo o tramite qualsiasi media: dalle comunicazioni più o meno formali tra scienziati afferenti a una stessa disciplina a quelle tra specialisti di diversi settori; alla comunicazione verso non esperti e istituzioni fatta da scienziati, enti di ricerca e comunicatori scientifici a vario titolo (giornalisti scientifici, divulgatori e semplici appassionati in contesti come le associazioni astrofile e di divulgazione delle scienze).

Lo si specifica poiché, nella letteratura storica e sociologica degli ultimi trent'anni si è aperto un forte dibattito riguardante il significato di diverse espressioni durante varie epoche e il rapporto tra comunicatore e audience che tali terminologie sottintendono.

Da un punto di vista storico, come già accennato in precedenza, si ha una evoluzione del modo di intendere la comunicazione ad un pubblico di non esperti legata all'idea di pubblico stesso: così si definisce una *scienza popolare* diversa dalla *scienza vera*, accademica; una *scienza per tutti* volta a diffondere gli strumenti pratici e utili della ricerca scientifica e dei suoi risultati anche a chi si occupa di altro; una *popolarizzazione* o *volgarizzazione scientifica* che semplifica i concetti per un pubblico non in grado di comprendere la scienza vera; una *divulgazione scientifica* che attira il pubblico con la meraviglia delle scoperte scientifiche e semplificandone i contenuti (si noti comunque come il *divulgatore scientifico* sia una figura non negativa nel contesto della

comunicazione scientifica odierna, in quanto figura professionale in grado di aiutare in una buona comunicazione tra scienziati e audience generale)²⁸.

Dal punto di vista degli studi sociali, i temi discussi vanno dalla visione della scienza come qualcosa di *altro* rispetto alla società, in cui la popolarizzazione serve a mantenerne l'autorità e l'autonomia, ai modelli di pubblico e a come questo percepisse la scienza in tempi diversi, fino alla circolazione della conoscenza scientifica.

Negli anni, l'idea di una scienza separata dal resto della società è stata superata e si è iniziato a parlare di “scienza come culturalmente situata. Sia che venga data un'interpretazione debole (“scienza *nella* cultura”) o forte (“scienza *come* cultura”), gli studi [mostrano] come la forma e il successo delle scienze siano dipesi da un insieme completo di relazioni sociali che collegano diverse comunità con vari alleati”²⁹.

Sono inoltre stati identificati alcuni modelli e delle visioni dominanti nelle modalità di divulgazione scientifica, utili per riconoscerne i problemi e superarli. In particolare, un modello dicotomico che distingue tra due culture indipendenti (tipico esempio, per quanto riguarda l'Italia, l'idea di divisione tra cultura umanistica e cultura scientifica) ed un modello dominante e pervasivo, in cui la cultura scientifica viene prodotta da un'élite e poi portata alla maggioranza dall'alto verso il basso, dopo una serie di semplificazioni e distillazioni, rendendo la versione popolare più uno strumento di autorità che di condivisione della scienza³⁰.

Ad esempio, conseguenza del secondo modello indicato è che la divulgazione scientifica sia “definita nei termini di ciò che non è”³¹, cioè scienza, trascurando anche che “la precisione con cui un'affermazione viene formulata è chiaramente una questione di gradi”³², rischiando così di definire erroneamente “qualsiasi pratica scientifica non professionale che non sia modellata e

²⁸ Per gli aspetti storici si vedano equivalentemente: Paola Govoni, *op. cit.* (nota 8), 65-66; Paola Govoni, “The Historiography of Science Popularization: Reflections Inspired by the Italian Case”, in Faidra Papanelopoulou, Agustí Nieto-Galan, Enrique Perdiguer (Ed.), *Popularizing Science and Technology in the European Periphery, 1800-2000* (Farnham: Ashgate, 2009), 23-25; Paola Govoni, “Introduzione”, in *op. cit.* (nota 10), 20-21.

²⁹ Roger Cooter, Stephen Pumfrey, “Separate spheres and public places: reflections on the history of science popularization and science in popular culture”, in *History of Science*, 32 (1994), 240. Traduzione dell'autore.

³⁰ Si vedano le analisi in Roger Cooter, Stephen Pumfrey, *op. cit.* (nota 29) e Stephen Hilgartner, “The Dominant View of Popularization: Conceptual Problems, Political Uses”, in *Social Studies of Science*, 20(3) (1990).

Per le difficoltà nella relazione tra letteratura e scienza si veda anche Gillian Beer, “Translation or Transformation? The Relations of Literature and Science”, in *Notes and Records of the Royal Society of London*, 44(1) (1990).

³¹ Greg Myers, “Discourse studies of scientific popularization: questioning the boundaries”, in *Discourse Studies*, 5(2) (2003), 265. Traduzione dell'autore.

³² Stephen Hilgartner, *op. cit.* (nota 30), 525. Traduzione dell'autore.

vincolata dalle attuali norme e regolamenti della comunità accademica [...] come una pseudo-scienza”³³.

Limitando in tal modo il ruolo della divulgazione a quello di descrizione della scienza e trascurandone il contributo a definirla, grazie agli scambi che la divulgazione scientifica crea anche all’interno della comunità degli scienziati, concorrendo a quel consenso che “nella scienza è particolarmente importante in quanto “un campo che svaluta le intuizioni personali...cerca necessariamente il consenso come segno di validità”³⁴.

Alcune considerazioni riguardano poi il fatto che “gli esperti diventano meno esperti non appena escono dalla loro specializzazione molto limitata”³⁵, ma vengono in genere interpellati come tali su temi più vasti di essa.

Infine, ulteriori osservazioni riguardano la natura sociale della conoscenza e la centralità della sua circolazione, considerando quindi anche *la scienza come una forma di comunicazione*, che influenza e viene influenzata dai contesti in cui si muove (siano essi filosofici, geografici, economici, ecc.) senza però doversi considerare confinata da essi³⁶.

³³ Bernadette Bensaude-Vincent, *op. cit.* ([nota](#) 4), 106. Traduzione dell’autore.

³⁴ Danette Paul, “Spreading Chaos. The Role of Popularizations in the Diffusion of Scientific Ideas”, in *Written Communication*, 21(1), 50. Traduzione dell’autore.

³⁵ Greg Myers, *op. cit.* ([nota](#) 31), 268. Traduzione dell’autore.

³⁶ Si vedano James A. Secord, “Knowledge in Transit”, in *Isis*, 95(4) (2004); Massimiano Bucchi, “Style in science communication”, in *Public Understanding of Science*, 22(8) (2013).

I criteri di analisi

I testi considerati nei prossimi capitoli sono stati studiati sotto tre aspetti essenziali: contestualizzazione storica, contenuto scientifico e analisi del testo.

Il primo aspetto serve a metterli in prospettiva: chi era l'autore, a quale pubblico si rivolgeva e quale pubblico effettivamente poteva raggiungere con la sua opera.

Il secondo riguarda come il testo si posizioni rispetto alle conoscenze scientifiche disponibili all'epoca sulle comete.

Il terzo aspetto è più elaborato. Non è semplice e univoco definire un criterio di analisi del testo che permetta di valutarne la bontà dal punto di vista della divulgazione di contenuti scientifici.

Per cercare criteri di analisi testuale interessanti sono stati valutati numerosi articoli in letteratura, cercando di capire quali criteri potessero risultare effettivamente i più adatti ad analizzare i testi in studio. L'analisi richiede sia criteri generali, che aiutino a definire il modo in cui è costruito il discorso, sia criteri più particolari, per evidenziare l'utilizzo di eventuali strumenti retorici o letterari specifici.

Tre articoli in particolare sono risultati interessanti e sono stati utilizzati per l'analisi dei testi: *Bridging the knowledge gap: An analysis of Albert Einstein's popularized presentation of the equivalence of mass and energy* (2014) di Shulamit Kapon, *Accounting for explanation in popular science texts—an analysis of popularized accounts of superstring theory* (2004) di Jon Turney e *Accommodating Science. The Rhetorical Life of Scientific Facts* (1986) di Jeanne Fahnestock.

Ne riportiamo in seguito i contenuti³⁷.

I primi due articoli riguardano criteri particolari di analisi, a volte quasi intercambiabili, sebbene il focus dei due lavori sia differente. Il terzo articolo, invece, riguarda criteri più generali.

Si nota inoltre che esiste una versione precedente e meno completa dell'articolo di Turney, pubblicata con il titolo *Passing it on: redescribing scientific explanation* nel volume *Explanations*.

³⁷ I riferimenti completi sono: Shulamit Kapon, "Bridging the knowledge gap: An analysis of Albert Einstein's popularized presentation of the equivalence of mass and energy", in *Public Understanding of Science*, 23(8) (2014); Jon Turney, "Accounting for explanation in popular science texts—an analysis of popularized accounts of superstring theory", in *Public Understanding of Science*, 13(4) (2004); Jeanne Fahnestock, "Accommodating Science. The Rhetorical Life of Scientific Facts", in *Written Communication*, 3(3) (1986).

Styles of Explanation in Science (2004), curato da John Cornwell³⁸ e che l'articolo di Fahnestock è stato ristampato almeno due volte in anni successivi, poiché ritenuto ancora attuale nei suoi propositi originari³⁹.

Bridging the knowledge gap

Questo articolo mostra come sia possibile sviluppare una argomentazione alternativa a quella strettamente scientifica, evitando la derivazione formale, per spiegare al pubblico generalista un concetto, mantenendone il senso di derivazione, ma ponendolo su basi differenti.

Per farlo, analizza l'articolo divulgativo $E = mc^2$: *The most urgent problem of our time* (1946) di Albert Einstein (1879-1955), in cui il fisico usa la storia della scienza e la natura dell'indagine scientifica per derivare l'equivalenza tra massa ed energia, evitando così la matematica del suo articolo scientifico del 1905⁴⁰.

Kapon evidenzia come l'obiettivo della divulgazione scientifica non sia solo l'intrattenimento, ma anche di carattere pedagogico. Per raggiungere la comprensione del pubblico, l'autore deve allora fare i conti non solo col bagaglio culturale dell'audience, ma anche con i vincoli del mezzo di comunicazione.

Se ipotizzare uno scarso background matematico del pubblico serve all'intento di raggiungere il maggior numero di persone possibili, tenere conto degli spazi ridotti disponibili su molti media, come negli articoli di giornale, implica ridurre al minimo le spiegazioni scientifiche e i dettagli. Inoltre, le norme e la cultura del mezzo di comunicazione usato differiscono molto da quelle della comunità scientifica, implicando la necessità di comunicare in maniera diversa. L'autrice, richiamando l'articolo di Fahnestock, ricorda il rischio in cui può incorrere il divulgatore citando la “doppia trappola di offuscamento e semplificazione eccessiva” indicata da Einstein⁴¹:

“Chiunque abbia mai provato a presentare in modo popolare un argomento scientifico piuttosto astratto, conosce le grandi difficoltà di un tale tentativo. O riesce ad essere intelligibile,

³⁸ Jon Turney, “Passing it on: redescribing scientific explanation”, in John Cornwell (Ed.), *Explanations. Styles of Explanation in Science* (Oxford: Oxford University Press, 2004).

³⁹ Si trova infatti, con lo stesso titolo, in W. McRae (Ed.), *The Literature of Science – Perspectives on Popular Scientific Writing* (Athens, GA: University of Georgia Press, 1993) e in *Written Communication*, 15(3) (1998).

⁴⁰ I due articoli sono: Albert Einstein, “ $E = mc^2$: The most urgent problem of our time”, in *Science Illustrated*, 1(1) (1946); Albert Einstein, “Does the inertia of a body depend upon its energy-content?”, traduzione inglese dell'articolo: “Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?”, in *Annalen der Physik*, 18 (1905).

⁴¹ Shulamit Kapon, *op. cit.* (nota 37), 1014. Traduzione dell'autore.

nascondendo il nocciolo del problema e offrendo al lettore solo aspetti superficiali o vaghe allusioni, ingannando così il lettore suscitando in lui l'ingannevole illusione della comprensione; oppure fornisce un resoconto esperto del problema, ma in modo tale che il lettore inesperto è incapace di seguire l'esposizione e diventa scoraggiato dal continuare a leggere.”

Tale trappola si affronta impostando “spiegazioni basate su linguaggio, profondità, ampiezza e norme argomentative che differiscono notevolmente da quelle delle spiegazioni scientifiche formali, pur trasmettendo un messaggio corretto.”

Kapon individua quindi cinque criteri utilizzati da Einstein nel suo articolo del 1946, basati sulla generalizzazione del principio di conservazione dell'energia a nuove forme di energia scoperte dagli scienziati nelle diverse epoche e su aspetti più narrativi.

Analogia. Permette di capire concetti non familiari o nuove idee componendo ed elaborando termini e connessioni, in un processo di mappatura che evidenzia ed esplicita le relazioni comuni tra due soggetti. La mappatura ripetuta di relazioni strutturali evidenzia una caratteristica importante della natura della scienza, cioè che le teorie scientifiche sono creazioni umane che cambiano ed evolvono nel tempo. La struttura dell'analogia enfatizza inoltre l'importanza della coerenza tra le teorie scientifiche ed il loro riduzionismo, che cerca di considerare un gran numero di fenomeni in virtù di un numero minimo di principi teorici.

Analogia positiva: è una mappatura sistematica tra due situazioni: una nuova che si vuole raggiungere (obiettivo) ed una familiare usata come punto di partenza (fonte). La mappatura è regolata da interrelazioni funzionali, matematiche e causali condivise dalle due situazioni.

Analogia ponte o Ancora ponte: è una analogia intermedia tra obiettivo e fonte, utile ad agevolare un confronto significativo quando le due situazioni sono percepite come troppo remote per una analogia diretta.

Metafora: è una figura retorica basata su una analogia o una similitudine sottintesa, in cui un vocabolo o una locuzione sono usati per esprimere un concetto diverso da quello usuale. Un esempio di metafora è la descrizione degli scienziati come detective che risolvono i misteri della natura.

Estensione di categoria. La categorizzazione richiede una classificazione ed etichettatura dell'oggetto di studio basate su alcune proprietà. Estendendo ed arricchendo le proprietà di una certa categoria vi si possono includere nuovi elementi, pur mantenendo le caratteristiche originali.

Nell'articolo di Einstein questo punto è rappresentato dalla progressiva estensione del significato di energia per includerne di nuove forme.

Storie. Sono una strategia efficace nel presentare argomenti, poiché le persone organizzano le proprie memorie ed esperienze di eventi principalmente sotto forma di storie. In esse, il significato di un testo è spesso derivato da un altro testo, piuttosto che da attente deduzioni o dalla considerazione di evidenze empiriche; le persone capiscono le azioni del protagonista leggendo e conoscendo ciò che lo motiva.

Con storia si intende qui un qualsiasi tipo di narrazione. Essa può essere sia il seguire un filo narrativo storico della scienza che una vera e propria storiella con protagonista lo scienziato, il quale supera eroicamente gli ostacoli nella sua indagine delle leggi di natura, o un agente esplicativo che rappresenti metaforicamente l'oggetto di studio – l'atomo e i suoi figli come rappresentanti degli atomi del decadimento radioattivo nell'articolo di Einstein; un fotone personificato di cui seguiamo il viaggio. Alcuni elementi possono essere:

uso del conflitto cognitivo: le buone storie presentano spesso conflitti cognitivi che permettono di esperire una sorta di catarsi quando vengono risolti, in modo analogo a quanto avviene coi cambiamenti concettuali nella storia della scienza.

uso di esperimenti reali, raccontati e descritti, o mentali: come strumento creatore di senso.

storia della scienza come narrativa: lo sviluppo storico delle idee scientifiche e la natura della scienza possono risultare espedienti esplicativi che sostituiscono la derivazione formale delle idee, come avviene con l'estensione del principio di conservazione dell'energia nell'articolo di Einstein.

Rivolgersi esplicitamente e direttamente al pubblico.

Per evidenziare l'importanza: indica perché l'argomento è importante per il pubblico, esplicitandone le implicazioni, soprattutto nella vita quotidiana – che potrebbero non essere chiare ai non esperti. Risulta una strategia importante, poiché le persone sono più attente a cose che le riguardano.

Con domande vicine al senso comune del pubblico: rispondere a domande, poste esplicitamente o sottintese, che l'autore si aspetta gli verrebbero fatte da un pubblico attento, dà legittimità alle domande stesse e incoraggia a pensare criticamente a quanto esposto, ponendo l'audience in una posizione attiva di dialogo con l'autore.

Retorica. Questo elemento è in realtà mutuato dall'articolo di Fahnestock. Kapon nota la natura epidittica dell'articolo di Einstein, in cui gli esempi sono presentati come evidenze – cosa inaccettabile in un articolo scientifico, in cui non si potrebbero usare giustificazioni basate su evidenze come spiegazioni; ma qui il principale obiettivo del ragionamento è mostrare la significatività della scoperta della massa come forma di energia.

Accounting for explanation in popular science texts

Secondo Turney la spiegazione è centrale in gran parte della comunicazione scientifica, in quanto l'elaborazione di spiegazioni è alla base della scienza come attività sociale, in cui le riformulazioni devono essere comprensibili agli altri, dai colleghi professionisti al pubblico inesperto.

Se è coinvolta una radicale riconcettualizzazione, che può dare spazio a fraintendimenti tra i professionisti, quando se ne vuole parlare a un pubblico più ampio è necessaria una riformulazione, che non è una semplice traduzione, ma una ri-creazione della novità.

La “missione di spiegare” della divulgazione implica allora la spiegazione come “insegnare come si deve intendere qualcosa”⁴². Per essere efficace, la comunicazione scientifica dovrà allora essere contestualizzata sia in termini di pubblico e di argomenti trattati che di spiegazione.

Pertanto merita di essere descritto come essa avvenga nei libri di divulgazione scientifica, che offrono il vantaggio – rispetto ad altri mezzi – di poter utilizzare qualche centinaio di pagine per spiegare concetti scientifici e tutto ciò di cui si deve tener conto, sviluppato in più anni e discipline dalla comunità scientifica.

L'autore nota poi alcuni dei classici problemi che il divulgatore deve considerare nella stesura del libro, quale la formazione matematica del pubblico, e ricorda che alcuni accorgimenti cambiano col tempo. Ricorda inoltre che se la spiegazione è una parte vitale della divulgazione scientifica e può essere distinta in più tipi in base all'incomprensione che si vuole risolvere, essa è comunque una storia.

Cioè, quando qualcosa viene spiegato al di fuori della particolare disciplina accademica, lo farà nella forma di una storia. L'idea è che sia utile radicare la spiegazione nella narrazione, sia nell'educazione che nella divulgazione scientifica.

Ci sono diversi tipi di narrazione: alcuni permettono una maggiore immedesimazione del lettore nei personaggi (e sono, secondo Turney, quelle cercate dagli editori); altri sono più utili al dialogo

⁴² Jon Turney, *op. cit.* (nota 37), 331-332. Traduzione dell'autore.

tra scienziati, soprattutto nell'opera di convincimento della bontà di un nuovo paradigma rispetto a un altro; altre, infine, sono intrinseche a certe discipline che mettono in relazione lo svolgersi degli eventi nel tempo – come la cosmologia, creando una “nuova epica della scienza”, per cui “l'esistenza di questa nuova “grande narrativa” è una parte importante dell'attrazione della divulgazione scientifica contemporanea”⁴³.

Il fatto che ogni spiegazione possa essere raffigurata come storia non intende affermare che la scienza sia solo un'altra forma di *storytelling* e valga quanto ogni altra, ma che si tratti di una storia convincente per il lettore e soddisfacente per lo scienziato, mentre cerca di descrivere correttamente realtà scientificamente fondate.

Per capire cosa conta come una buona spiegazione di un argomento scientifico per un pubblico generico, l'autore nota somiglianze e differenze tra la divulgazione delle novità scientifiche e l'insegnamento di argomenti scientifici ormai consolidati: entrambe si rivolgono a un pubblico di non scienziati, sebbene con finalità differenti.

Turney prende in esame lo sviluppo negli ultimi decenni della teoria delle superstringhe e considera la possibilità di applicare alla sua divulgazione recente, in particolare al libro *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory* (2000)⁴⁴ di Brian Greene, il *framework* sviluppato da Jon Ogborn e colleghi in *Explaining Science in the Classroom* (1996)⁴⁵, in cui gli autori identificano tre caratteristiche vitali della spiegazione come storia e quattro fasi della spiegazione nell'insegnamento scolastico.

Le caratteristiche della storia sono: 1) la presenza di un cast di protagonisti, ciascuno con le sue proprie capacità che lo rendono ciò che è; 2) i membri di questo cast mettono in scena una delle tante serie di eventi di cui sono capaci; 3) questi eventi hanno una conseguenza che segue dalla natura dei protagonisti e degli eventi che recitano.

In particolare, “la storia coinvolge oggetti sconosciuti che fanno cose sconosciute in un mondo inaccessibile”⁴⁶, come la gravità intesa come cambiamento nella curvatura dello spaziotempo intorno a un oggetto massiccio; la spiegazione deve rendere comprensibili entità lontane dall'esperienza quotidiana.

⁴³ Jon Turney, *op. cit.* (nota 37), 334. Traduzione dell'autore.

⁴⁴ Brian Greene, *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory* (London: Vintage, 2000).

⁴⁵ Jon Ogborn, Gunther Kress, Isabel Martins, Kieran McGillicuddy, *Explaining Science in the Classroom* (Buckingham: Open University Press, 1996).

⁴⁶ Jon Turney, *op. cit.* (nota 37), 335. Traduzione dell'autore.

Le quattro fasi in cui viene divisa la spiegazione dell'insegnante e che Turney prova a riadattare al contesto divulgativo sono:

Creare differenze. È il motore fondamentale della comunicazione tra i partecipanti a una conversazione, tra i quali vi è una differenza di conoscenza riconosciuta, che permette di richiedere una spiegazione. In un libro divulgativo è la differenza di conoscenza dell'argomento tra chi scrive e chi legge, il cui contrasto è ottenibile in vari modi: dall'attribuzione di certe visioni direttamente al lettore, descrivendo cosa pensa qualcun altro – un altro scienziato, un personaggio storico o di un'altra cultura, delineando il senso comune, persuadendo il lettore che il tema richieda effettivamente una spiegazione.

Costruire entità. In questa fase si popola la storia esplicativa, introducendo i protagonisti e le loro capacità, proprietà e motivazioni utili a raccontare la storia e spiegare il fenomeno. Qui sta molto del lavoro, riguardante le risorse su cui poi sarà costruita successivamente la spiegazione; ad esempio, qui si introducono i concetti scientifici. Nella scrittura divulgativa, *metafore* e *analogie* sono importanti per rendere chiare le nuove entità in termini di altre già note al lettore. Si possono inoltre avere *marcatori di imprecisione*, quali le espressioni: *in un certo senso, grosso modo, in qualche maniera, uno potrebbe pensare a...* utili a segnalare un lavoro di costruzione delle nuove idee in corso.

Trasformare la conoscenza. In aula è il continuo processo di produzione e riproduzione delle idee, cui contribuiscono le spiegazioni della classe. Nei testi è un punto sottile e difficile, perché richiede necessariamente trattazioni estese di singoli argomenti, anche chiedendo di pensare a un'entità in modi diversi man mano che procede la spiegazione; è spesso fatto procedendo storicamente. Hanno qui un ruolo chiave *metafore, analogie e narrativa*.

Dare significato alla materia. In classe è la parte pratica, fatta da dimostrazioni ed esperimenti riprodotti dallo studente, che mostrano che il mondo materiale si comporta davvero come indicato dalle idee ed entità discusse. Nei testi va ricondotta al racconto di esperimenti o dimostrazioni o all'uso di esperimenti mentali e di alcuni espedienti retorici e letterari, come l'immedesimarsi nell'entità di cui si tratta.

Turney evidenzia come l'aspetto critico di questo approccio alle spiegazioni come storie non sia nella differenza tra tipi di storie, ma nella gamma dei possibili protagonisti scientifici, poiché alcune entità possono essere distanti dall'esperienza quotidiana o di difficile descrizione una volta

evitata la matematica. Quindi, nello studio specifico riguardante le superstringhe, le difficoltà maggiori risultano nel costruire entità e nel dare significato alla materia, per la quale il vocabolario disponibile sembra inadeguato.

Accommodating Science

L'autrice, ritenendo la scrittura scientifica un campo appropriato per l'analisi retorica, le applica in questo articolo idee della retorica classica e tecniche di *close reading* tipiche dell'analisi del discorso, per vedere cosa accade quando la comunicazione scientifica passa dalle pubblicazioni per gli esperti a quelle per un pubblico generale.

Fahnestock nota che “il cambio di contesto causa uno spostamento di genere da forense a celebrativo e un cambio nella stasi da fatti e cause a valori e azione. Questi cambi di genere, audience e propositi affliggono inevitabilmente il materiale e la maniera di ripresentarlo in modi prevedibili”⁴⁷. Nella ristampa del 1998, alle originali preoccupazioni concernenti l'impatto della comunicazione scientifica sulle decisioni pubbliche e la natura di corsi di scrittura tecnica e professionale, l'autrice aggiungeva la necessità di indagine sul divario tra il diritto del pubblico di sapere e la sua capacità di comprendere.

Richiamando la “doppia trappola” di Einstein, Fahnestock identifica almeno tre punti da considerare: 1) il cambio di genere che avviene tra la presentazione originale di un lavoro scientifico e la sua divulgazione; 2) il cambio nel tipo di affermazioni che avviene rivolgendosi a un pubblico più vasto; 3) l'utilità della classica teoria della stasi nello spiegare cosa accade nella “vita retorica”⁴⁸ di un'osservazione scientifica.

Il cambio di genere

Il discorso è classificabile secondo la *divisione tripartita dei tipi di oratoria di Aristotele* in tre qualità di discorso persuasivo a seconda di proposito, pubblico, situazione e dominio del tempo interessato:

Forense. Discute natura e cause di eventi passati. È tipico delle corti giudiziarie, poiché convalida.

⁴⁷ Dalla introduzione alla ristampa dell'articolo su *Written Communication*, 15(3) (1998). Traduzione dell'autore.

⁴⁸ Jeanne Fahnestock, *op. cit.* (nota 37), 291. Traduzione dell'autore.

Deliberativo. È l'oratoria del dibattito sul miglior andamento possibile di azioni future, ed è quindi tipico di assemblee legislative, in cui l'oratore esorta o dissuade dall'intraprendere una azione.

Epidittico. Riguarda un giudizio attuale, sul fatto che qualcosa meriti lode o biasimo. È tipico delle cerimonie e aiuta a sedimentare valori condivisi dal pubblico.

Gli articoli scientifici originali sono interessati soprattutto a stabilire la validità delle osservazioni riportate, cioè a validare dei fatti passati: i dati sperimentali. Sono perciò importanti le sezioni su materiali, metodi, risultati e la presenza di tabelle e grafici nella struttura dell'articolo.

Pur non mancando parti epidittiche e deliberative per motivare le osservazioni fatte all'interno di un dibattito noto al destinatario (tipicamente si trovano le motivazioni nei paragrafi introduttivi e le indicazioni di azioni future in quelli conclusivi dei *paper*), gli articoli scientifici sono classificabili come discorsi *forensi*.

Gli articoli divulgativi hanno solitamente lo scopo retorico di celebrare, pertanto risultano essenzialmente *epidittici*. Essi devono esplicitare l'importanza delle affermazioni riguardanti il valore della scoperta scientifica di cui parlano, poiché il pubblico non la conosce. Richiedono di adattare l'informazione ai valori e alle assunzioni dell'audience, utilizzando alcuni topoi tipicamente commemorativi: enfasi su unicità, rarità, originalità dell'osservazione, conferimento di maggior certezza ai fatti riportati.

Fanno leva su due argomenti tipici del discorso celebrativo: la meraviglia e l'applicazione.

La meraviglia serve a lodare o criticare qualcosa riferendolo a una categoria il cui valore è noto al pubblico - ad esempio, gli incredibili poteri e segreti della natura, le scoperte e i risultati degli scienziati; mentre l'applicazione serve a dar valore a qualcosa perché porta a successivi benefici. Questo rende più difficile parlare di alcuni temi - come la matematica - rispetto ad altri - i numerosi articoli giornalistici di ambito medico che trattano di nuove cure meno dolorose o costose.

Il cambio nel tipo di affermazioni

Il cambio di retorica che occorre dall'articolo scientifico a quello divulgativo si riflette nel tipo di affermazioni usate. Nella divulgazione si tende a sostituire i segnali e i dati riportati nell'articolo di ricerca con gli effetti e i risultati, aumentando così la significatività e la certezza dell'argomento trattato, mentre se ne rivendica esplicitamente l'importanza.

Il divulgatore non teme il contraddittorio degli esperti, che controlleranno nel *paper* i dettagli ed eventuali citazioni ad altri lavori – anch’esse rimosse nel pezzo divulgativo, poiché la loro presenza ridurrebbe il grado di certezza di quanto affermato.

Ci possono essere alcune differenze di stile in un pezzo divulgativo a seconda che a scriverlo sia uno scienziato o un divulgatore, ma in entrambi i casi il focus di chi scrive è trovare il punto di interesse nell’argomento per un pubblico inesperto, più che la traduzione dei tecnicismi (comunque presente). Il pezzo divulgativo può inoltre riportare affermazioni non presenti negli articoli scientifici originali, frutto di interviste e contatti con gli autori dei *paper* o loro colleghi.

Tutte queste variazioni, pur rispettando i principi di organizzazione giornalistica delle informazioni, possono portare a contenuti abbastanza diversi da quelli delle ricerche originali; questo può perciò risultare un problema, soprattutto quando i temi trattati sono sensibili (ad esempio, le tematiche sanitarie), poiché l’articolo può influenzare – o addirittura creare – l’opinione del lettore sul tema.

Per provare a formalizzare l’osservazione di questi cambiamenti nell’informazione tra articoli scientifici e divulgativi, Fahnestock valuta l’uso della *tassonomia dei tipi di affermazione nel discorso scientifico* proposta dai sociologi Bruno Latour e Steve Woolgar (1979)⁴⁹, che identifica cinque tipi di affermazioni a seconda del grado di certezza portato:

Tipo 5. Le affermazioni più certe. Riguardano conoscenze autoevidenti agli addetti ai lavori, che vengono esplicitate e precisate solo quando richiesto da domande di estranei, in quanto altrimenti presupposte informazioni note.

Tipo 4. Informazioni non controverse che sono comunque rese esplicite. È quanto avviene, ad esempio, nei libri di testo.

Tipo 3. Mostrano dettagli, modalità o qualifiche che suggeriscono che l’informazione contenuta non sia indiscutibile. Si tratta di modalità che possono essere sottili, come la citazione a referenze numerate o fonti a seguito di un’affermazione, che indeboliscono leggermente la certezza di una affermazione perché suggerisce la necessità di un supporto. È pertanto l’opposto di quanto solitamente si associa alle citazioni nel contesto scientifico. Si nota anche da espressioni come: “è stato recentemente riportato”.

Tipo 2. Come nel tipo 3, mostrano dettagli, modalità o qualifiche che suggeriscono che l’informazione contenuta non sia indiscutibile. Ma in questo caso le qualifiche sono più

⁴⁹ Bruno Latour, Steve Woolgar, *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts* (Beverly Hills, CA: Sage, 1979).

forti: ad esempio, la frase pone attenzione alla disponibilità o mancanza di evidenze, includendo termini o espressioni quali: *potrebbe, sembra, suggerisce, appare essere*, che indicano lo stato incerto dell'affermazione.

Tipo 1. Le affermazioni più apertamente e francamente speculative. Ammettono l'insufficienza di evidenze e la natura molto blanda di un'affermazione. Appaiono tipicamente in discussioni private tra scienziati, ma a volte si trovano anche in articoli scientifici.

In genere la divulgazione scientifica si muove tra i tipi 4 e 5 (certezze esposte), mentre gli articoli scientifici sono tra i tipi 1 (speculativi) e, più spesso, 2.

Questa tassonomia cerca di essere molto sensibile ai minimi cambiamenti nella certezza delle affermazioni, ma l'autrice nota come la scala possa "introdurre un rigore specioso nell'indagine di ciò che accade alla "informazione" mentre viaggia da un pubblico limitato ad uno più ampio. Dopotutto, il grado di certezza veicolato da un'affermazione può dipendere più dal contesto che dalla formulazione."⁵⁰

La teoria della stasi

Sebbene non sia stato utilizzato nell'analisi dei testi di cui si tratterà, si accenna, per completezza, anche l'ultimo punto identificato da Fahnestock: l'uso della teoria della stasi della retorica classica nel descrivere il movimento di un'osservazione scientifica dalla ricerca alla divulgazione, ovvero della sua "vita retorica".

Il cambio nel tipo di affermazioni e propositi della spiegazione che avviene tra i due contesti non è solo dato dalla necessità di interessare il pubblico più ampio, ma anche dal tipo di domande che ci si pone in diverse fasi dell'osservazione scientifica.

La teoria della stasi definisce e ordina le tipologie di domande che possono essere poste in una controversia legale o giudiziaria:

I domanda. Cosa è successo esattamente e chi lo ha fatto?

II domanda. Qual era la natura o la definizione dell'atto?

III domanda. Qual è la qualità dell'atto, cioè quali erano le circostanze attenuanti o aggravanti?

IV domanda. Chi ha giurisdizione in questo caso e che azione è chiamato a compiere?

⁵⁰ Jeanne Fahnestock, *op. cit.* ([nota 37](#)), 289-290. Traduzione dell'autore.

Questo schema generale è un sistema pratico di ordinare le domande, considerando come gli argomenti si sviluppano naturalmente nel dibattito pubblico.

Le persone vanno inevitabilmente convinte che una situazione esista, prima che chiedano cosa l'abbia causata o arrivino a decidere la bontà della situazione e cosa fare a riguardo (e chi debba agire).

La stasi descrive allora i cambiamenti in propositi e contenuti nella comunicazione scientifica professionale e divulgativa. Le domande della prima fase, congetturale – Esiste questa cosa? È avvenuto realmente un evento o un effetto? – sono tipiche della ricerca scientifica, in cui le affermazioni si scontrano con evidenze o definizioni, identificando fatti e cause.

Le domande successive, in cui si omette il contraddittorio e si prende per garantito il tema – Qual è il motivo dell'effetto? Che valore gli si dovrebbe attribuire? Cosa si dovrebbe fare a riguardo, se qualcosa va fatto? – sono invece tipiche del dibattito pubblico creato dalla diffusione di parti dell'osservazione scientifica originale. Anche quando le informazioni arrivate non sono distorte dalle esigenze epidittiche di un articolo divulgativo, il pubblico le sposterebbe da fatti e cause a valori e azione, cioè a domande come: “Perché sta succedendo? È una buona o cattiva notizia? Cosa dovremmo fare al riguardo?”⁵¹

Per quanto riguarda i passaggi della cometa di Halley, queste ultime domande della stasi potrebbero effettivamente trovarsi, sottintese, non già negli articoli divulgativi, bensì in quelli dei quotidiani volti a fare ironia su personaggi o a raccontare episodi curiosi avvenuti tra la popolazione “spaventata” dalla cometa.

Ma prima di passare alla contestualizzazione storica, tratteremo una evoluzione delle conoscenze scientifiche disponibili sulle comete nei vari periodi.

⁵¹ Jeanne Fahnestock, *op. cit.* ([nota 37](#)), 292. Traduzione dell'autore.

Bridging the knowledge gap	
Analogia	Analogia positiva Analogia ponte o Ancora ponte Metafora
Estensione di categoria	
Storie	uso del conflitto cognitivo uso di esperimenti reali, raccontati e descritti, o mentali storia della scienza come narrativa
Rivolgersi esplicitamente e direttamente al pubblico	Per evidenziare l'importanza Con domande vicine al senso comune del pubblico
Retorica (<i>vedi Fahnestock</i>)	

Accounting for explanation in popular science texts	
Creare differenze	
Costruire entità	marcatore di imprecisione metafore analogie
Trasformare la conoscenza	metafore analogie narrativa
Dare significato alla materia	uso di esperimenti reali, raccontati e descritti, o mentali espedienti retorici e letterari

Accommodating Science		
Divisione tripartita dei tipi di oratoria di Aristotele	Tassonomia dei tipi di affermazione nel discorso scientifico di Bruno Latour e Steve Woolgar	Teoria classica della Stasi
Forense (natura e cause passato)	Tipo 5 (certezza autoevidente)	I) Cosa è successo esattamente e chi lo ha fatto?
Deliberativo (azioni future)	Tipo 4 (certezza esplicita)	II) Qual era la natura o la definizione dell'atto?
Epidittico (presente celebrativo)	Tipo 3 (informazione leggermente discutibile)	III) Qual è la qualità dell'atto, cioè quali erano le circostanze attenuanti o aggravanti?
	Tipo 2 (informazione discutibile)	IV) Chi ha giurisdizione in questo caso e che azione è chiamato a compiere?
	Tipo 1 (speculazione)	

In questa pagina e nella precedente sono riportati schematicamente i criteri di analisi espressi da ciascun articolo considerato nel presente capitolo.

Le comete nella storia

Da queste riflessioni, e da tante e tante altre che per brevità risparmio al lettore, mi sembra risultarne evidentemente: [...] Che le comete non debbono inquietarci né punto né poco, non più che l'apparizione degli altri astri [...] Che esse per la loro pochissima densità non hanno in natura la stessa importanza degli altri corpi [...] Che le loro apparizioni son conseguenza delle loro rivoluzioni periodiche, e non possono essere che oggetti di semplice curiosità [...] Che la loro noiosa influenza si manifesta solamente contra gli astronomi, perché sono questi obbligati ad osservarle con assiduità in tempo di notte, ed a calcolarne con lungo e faticoso lavoro le osservazioni in tempo di giorno...⁵²

Sin dall'antichità l'osservazione delle comete ha interessato le diverse civiltà, poiché esse erano fenomeni non prevedibili, in un cielo pieno di oggetti che si muovevano con regolarità nel corso delle stagioni e degli anni. L'associazione degli eventi celesti con quelli umani, poi, rese gli imprevedibili passaggi delle comete messaggeri celesti di eventi terreni. Questi potevano essere sia eventi devastanti che annunci celebrativi, secondo quella che era la scansione degli eventi di chi raccontava: morte di regnanti, pestilenze, carestie, guerre da un lato; nascite regali, conquiste e prosperità dall'altro.

Nonostante la difficoltà a confermare gli eventi celesti riportati nelle cronache pervenute dalle diverse civiltà antiche, lo stretto legame tra il cielo e la Terra era presente quasi sempre. Secondo la cultura cinese, per la quale il “disordine da una parte, portava al disordine dall'altra, il che significava, non solo che irregolarità nel cielo causavano calamità sulla Terra, ma che azioni malvagie dell'uomo sulla natura portavano disordine nel cielo. Eclissi e comete erano il segnale che l'imperatore o gli ufficiali avevano peccato, governato male o trascurato i cerimoniali”⁵³, il

⁵² Niccolò Cacciatori, “Riflessioni sull'imminente ritorno della Cometa di Halley; per la gente di buon senso del 1835”, citato in Ileana Chinnici, “Nineteenth-Century Comets: Studies and Observations in Sicily”, in *Journal for the History of Astronomy*, 46(2) (2015), 152, nota 29.

⁵³ Anton Pannekoek, *A History of Astronomy* (London: G. Allen & Unwin Ltd., 1961), 54. Traduzione a cura degli studenti di STORIA DELL'ASTRONOMIA del Corso di Laurea in Astronomia dell'Università degli Studi di Bologna. Revisione a cura del titolare del corso: Fabrizio Bòoli. Febbraio 2004.

legame era tale che, ancora in epoche successive all'incontro con la civiltà europea medievale, per le comete “venivano abitualmente registrati la data delle osservazioni, la costellazione e il moto. Queste osservazioni cinesi delle comete sono state importanti per l'astronomia successiva, per la particolare attenzione dedicata loro, cosa che non successe altrove in quei secoli. In tal modo le apparizioni di comete nel 989, 1066, 1145 e 1301 poterono essere collegate alle prime comparse della cometa di Halley.”⁵⁴



La cometa di Halley nel 1066. Dettaglio dall'arazzo di Bayeux, celebrante la conquista normanna dell'Inghilterra. XI secolo.

Le civiltà mediterranee, invece, pur associando alle comete eventi umani, fino a tutto il Medioevo non furono così meticolose; a volte venivano registrati come comete altri fenomeni celesti, ad esempio le esplosioni di novae. Spesso l'associazione delle comete serviva a evidenziare l'importanza di un evento, come ci ricorda William Shakespeare (1564-1616) nel suo *Giulio Cesare*, quando fa dire a Calpurnia, moglie di Cesare:



Raffigurazione realistica di una cometa, probabilmente ispirata dal passaggio della cometa di Halley del 1301. Dettaglio dell'Adorazione dei Magi di Giotto (1266-1337), 1303-1305. Cappella degli Scrovegni, Padova.

“Quando muoiono i mendicanti non si vedono comete;
I cieli stessi proclamano avvampando la morte dei principi.”⁵⁵

La cometa veniva quindi associata a posteriori all'evento: magari essa era stata vista qualche anno prima o qualche anno dopo, ma era *certamente* legata a quel preciso evento umano. In alcuni casi, poi, il passaggio della cometa sembra essere stato completamente inventato.

⁵⁴ Anton Pannekoek, *op. cit.* ([nota](#) 53), 58-59.

⁵⁵ William Shakespeare, “Giulio Cesare” (trad: Sergio Perosa; testo inglese a fronte da edizione del 1623), in Giorgio Melchiori (Ed.), *I Drammi Classici*. [Teatro Completo di William Shakespeare. Volume V] (Milano: Arnoldo Mondadori, 1978), atto II, scena 2, 318-319.

Fino a tempi abbastanza recenti, come si può notare anche dalla lettura dei quotidiani, il passaggio di una cometa ha in genere causato qualche apprensione, con circoscritti casi di “panico da cometa” nelle popolazioni. Spesso la parte di popolazione più acculturata e benestante ha associato tale apprensione all’ignoranza della popolazione più povera, ma ciò non sembra trovare un reale riscontro, nonostante il focus sull’ignoranza sia spesso ripetuto anche nella letteratura della comunicazione scientifica con fare paternalistico.

Risulta invece interessante l’interpretazione che nei secoli si è data di *cosa sia* una cometa. L’associazione tra eventi celesti ed eventi terrestri dette vita all’astrologia che, “indipendente dalla costituzione fisica del mondo alla quale faceva riferimento”⁵⁶, sarà tutt’uno con l’astronomia fino alla teoria della gravitazione universale di Isaac Newton (1643-1727)⁵⁷: “Da quel momento in poi, l’astronomia e l’astrologia presero due strade diverse: la prima continuò il suo percorso scientifico, l’altra divenne definitivamente una pseudoscienza.”⁵⁸

Ma a fianco dell’astrologia e della interpretazione antropocentrica del loro apparire, diversi intellettuali del passato hanno provato a definire la sostanza di cui erano costituite le comete e cosa effettivamente fossero. Per secoli l’idea dominante nel mondo mediterraneo è stata l’interpretazione *meteorologica* di esse data dal filosofo greco Aristotele (circa 384 a.C.-322 a.C.). Egli, dividendo il mondo celeste incorruttibile da quello sublunare soggetto a mutamenti dei quattro elementi che lo costituiscono, identificò le comete come il prodotto visibile dell’incontro di esalazioni aeriformi calde e secche, provenienti dalla superficie terrestre, con la sfera del fuoco: la rotazione della sfera trascina con sé tali esalazioni, incendiandole e giustificando così anche il fatto che le comete partecipino del moto di rotazione giornaliero del cielo, nonostante appartengano al mondo sublunare.

Già nell’antichità vi furono altre opinioni, come quella del filosofo latino Lucio Anneo Seneca (4 a.C.-65 d.C.), che nel settimo libro delle *Naturales Quaestiones* si occupa di comete:

“Dicono che se [le comete] fossero pianeti si troverebbero nello zodiaco. Ma chi impone ai pianeti un unico corso? [...] Perché stupirci se per le comete, delle quali la natura ci offre spettacolo così

⁵⁶ Marco Ciardi, “La fine dell’astrologia”, in *Breve storia delle pseudoscienze* (Milano: Hoepli, 2021), 21.

⁵⁷ Secondo il calendario gregoriano.

⁵⁸ Marco Ciardi, *op. cit.* ([nota 56](#)), 25.

raramente, non abbiamo ancora trovato una legge che le regoli e non sappiamo dove comincia e dove finisce un giro che le fa ritornare dopo immensi intervalli di tempo?”⁵⁹

Ma queste opinioni rimasero minoritarie a lungo. L’astronomo greco Claudio Tolomeo (circa 100-175) non parla delle comete nel suo *Almagesto*, il più importante trattato di astronomia dell’antichità, che è alla base delle conoscenze astronomiche del mondo islamico e di quello europeo basso medievale, in seguito all’integrazione tra la visione del mondo cristiana medievale e quella antica greco-latina operata dal teologo Tommaso d’Aquino (circa 1225-1274).

Di comete parla Dante Alighieri (1265-1321) in alcuni passi delle sue opere: nei canti XV e XXIV del *Paradiso* gli astri sono usati come metafora⁶⁰, mentre nel *Convivio* si riporta come Marte “dissecca e arde le cose, perché lo suo calore è simile a quello del fuoco; e questo è quello per che esso pare affocato di colore, quando più e quando meno, secondo la spessezza e raritade de li vapori che ’l seguono: li quali per lor medesimi molte volte s’accendono, sì come nel primo de la Metaura è diterminato. E però dice Albumasar che l’accendimento di questi vapori significa morte di regi e transmutamento di regni; però che sono effetti de la signoria di Marte.”⁶¹

In generale, quindi, fino alla fine del Medioevo e ancora all’inizio dell’età moderna domina in Europa una visione duplice: le comete sono un fenomeno atmosferico, ma anche “mostri celesti”, come le definisce Ulisse Aldrovandi (1522-1605), cioè rare eccezionalità astronomiche rimaste inspiegate.

In Europa, le prime isolate osservazioni di posizione e descrittive delle comete furono fatte nel Quattrocento da Paolo dal Pozzo Toscanelli (1397-1482). Egli osservò cinque comete nel 1433, 1449, 1456, 1457 e 1472, riportandone le posizioni misurate su mappe celesti disegnate da lui stesso “prendendo stelle di posizione nota dall’Almagesto di Tolomeo e aggiungendo altre stelle da lui misurate a partire dalle prime”⁶² e concentrandosi soprattutto sulla posizione della testa e l’orientamento esatto delle code, disegnate in modo schematico. La cometa del 1472 fu osservata anche da Johannes Müller (Regiomontano, 1436-1476), il quale oltre a descriverla, provò a misurarne la parallasse per determinarne la natura celeste, non riuscendovi. Successivi sviluppi si

⁵⁹ Piero Tempesti, *I segreti delle comete* [Biblioteca di Astronomia] (Roma: Armando Curcio, 1984), 22.

⁶⁰ Si vedano: *Paradiso*, canto XV, versi 13-18, pagina 662 e canto XXIV, versi 10-12, pagina 717 in Dante Alighieri, *Divina Commedia. Edizione integrale*, a cura di Stefano Jacomuzzi, Attilio Dughera, Giovanna Ioli e Vincenzo Jacomuzzi (Torino: Società Editrice Internazionale, 2003).

⁶¹ Passo riportato dall’Unione Astrofili Italiani nel sito:

<http://astrocultura.uai.it/astroarte/astroletteratura/cognizioni/convivio.htm#comete>. Ultimo accesso: 1 agosto 2022.

⁶² Paolo Maffei, *La cometa di Halley* (Milano: Arnoldo Mondadori, 1984), 30.

ebbero solo negli anni Trenta del Cinquecento, quando osservando alcune comete apparse tra il 1531 e il 1532 – e ricordando quanto riportato da altri per la cometa del 1472 – Girolamo Fracastoro (1479-1553) e Pietro Apiano (1495-1552) notarono indipendentemente che la coda di una cometa era sempre diretta in senso opposto al Sole.

Le cose iniziarono a cambiare verso la fine del Cinquecento. Nel 1577, Tycho Brahe (1546-1601) scoprì una cometa e, come già fatto per la supernova del 1572, la osservò per determinarne la parallasse⁶³ – cosa che farà successivamente anche per altre comete. A partire da tali misure ricavò che la cometa si trovava a una distanza almeno sei volte maggiore di quella della Luna e che pertanto si trattava di un oggetto celeste.

La novità non fu comunque accettata subito dai contemporanei. Ancora nel 1623, a seguito di una disputa sull'origine delle comete nata dall'osservazione di tre di questi corpi celesti nel 1618, Galileo Galilei scriverà ne *Il Saggiatore*:

“Ma che in una questione massima e difficilissima, qual è il volermi persuadere trovarsi realmente, e fuor di burle, in natura un particolare orbe celeste per le comete, mentre che Ticone non si può sviluppar nell'esplicazion della difformità del moto apparente di essa cometa, la mente mia debba quietarsi e restar appagata d'un fioretto poetico, al quale non succede poi frutto veruno”⁶⁴.

E ancora: “Quelli che per via della paralasse voglion determinar circa 'l luogo della cometa, àno bisogno di stabilir prima, lei esser cosa fissa e reale, e non un'apparenza vaga, atteso che la ragion della paralasse conclude ben negli oggetti reali, ma non negli apparenti [...] aggiunge poi, la mancanza di paralasse rendere incompatibili le due proposizioni d'Aristotile, che sono, che la cometa sia un incendio, ch'è cosa tanto reale, e sia in aria molto vicina alla Terra”⁶⁵.

Cioè che affinché sia valida la scoperta di Brahe, deve essere prima dimostrato che le comete non siano un fenomeno ottico dovuto al meteo. Nei successivi decenni del Seicento, comunque, l'idea che le comete fossero un oggetto astronomico e non atmosferico si consolidò, con diverse ipotesi sulla loro origine negli spazi oltre Giove e Saturno. L'uso astronomico del cannocchiale, l'affermarsi del modello cosmologico copernicano e la bontà delle leggi delle orbite planetarie

⁶³ Si ricorda che la parallasse è la misura dello spostamento angolare di un oggetto celeste osservato nello stesso momento da due luoghi distanti sulla Terra o da uno stesso luogo a distanza di alcuni mesi (in genere sei).

⁶⁴ Galileo Galilei, *Il Saggiatore* [Universale Economica. I Classici] (Milano: Feltrinelli, 2008), 42.

⁶⁵ Galileo Galilei, *op. cit.* (nota 64), 43-44.

trovate da Johannes Kepler (Keplero, 1571-1630) a partire dai dati osservativi di Brahe, portarono invece a indagare l'orbita percorsa dalle comete.

Inoltre, la possibilità di utilizzare il telescopio porterà alla nascita, tra gli appassionati osservatori del cielo, anche dei “cacciatori di comete”. Tra di essi, Charles Messier (1730-1817), che nell'attesa del previsto ritorno della cometa di Halley del 1758, osservando altre comete apparse quell'anno, inizierà a compilare un catalogo di oggetti nebulosi fissi nel cielo. Il catalogo sarà pubblicato in più versioni tra il 1771 e il 1784 (la versione definitiva conterrà 110 oggetti) e serviva innanzitutto a non confondere questi oggetti per comete da seguire nelle notti di ricerca.



Alcuni esempi di apparizioni cometarye, di Maria Clara Eimmart (1676-1707). Museo della Specola di Bologna.

L'ipotesi di Halley e il Settecento

L'orbita percorsa dalle comete rimase dibattuta lungo tutto il Seicento. Secondo René Descartes (Cartesio, 1596-1650) esse vagavano tra i vortici stellari nello spazio esterno all'orbita di Saturno, avvicinandosi e allontanandosi alternatamente; per Keplero esse correvano attraverso lo spazio passando oltre il Sole lungo linee rette; Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) propose delle orbite circolari oblique (note in matematica come *ovali di Cassini*), mentre tra il 1665 e il 1668 il matematico Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) e l'astronomo Johannes Hevelius (1611-1687) proposero indipendentemente delle orbite paraboliche.

Il passaggio di una cometa nel 1680 fornì a Newton l'occasione per dare una base teorica alle coniche utilizzate per calcolare l'orbita delle comete, indicandole come ellissi con forte eccentricità e per questo assimilabili a parabole nel breve tratto visibile dalla Terra, indicando inoltre un metodo per effettuare il calcolo da poche osservazioni.

Questi risultati finirono nel 1687 nei volumi dei *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, la cui pubblicazione si deve a Edmond Halley (1656-1742). Egli, applicando il nuovo metodo di Newton alle ventiquattro comete di cui aveva dati a disposizione, apparse tra il 1337 e il 1698, osservò che tre di esse avevano orbite molto simili.

Nel 1705 pubblicò i risultati in *Astronomiae cometicae synopsis*⁶⁶:



Edmond Halley. Dipinto di Richard Phillips (circa 1720), dettaglio. National Portrait Gallery, London.

“Finora ho considerato le orbite delle comete come esattamente paraboliche [...] Ma poiché appaiono abbastanza frequentemente, e poiché alcune di esse si possono trovare muoversi con un moto iperbolico, o un moto più rapido di quello che potrebbe acquisire una cometa per la sua gravità rispetto al Sole, è altamente probabile che si muovano piuttosto in orbite ellittiche molto eccentriche e facciano il loro ritorno dopo lunghi periodi di tempo. In questo modo il loro numero sarà determinato e, forse, non [risulterà] così grande. Inoltre, lo spazio tra il Sole e le Stelle Fisse è così immenso, che c'è abbastanza spazio perché una cometa giri, sebbene il periodo della sua rivoluzione sia enormemente lungo.”⁶⁷

Con alcune considerazioni geometriche Halley giustifica la creazione di una tabella di elementi orbitali e prosegue:

“ogni volta che apparirà una nuova cometa, potremmo essere in grado di sapere, confrontando tra loro gli elementi, se si tratta di una di quelle che sono apparse in precedenza, e di conseguenza determinarne il periodo e l'asse della sua orbita e predirne il ritorno. E invero ci sono molte cose che mi fanno credere che la cometa che Apiano osservò nell'anno 1531, fosse la stessa che Keplero e Longomontano più accuratamente descrissero nell'anno 1607; e che io stesso ho visto tornare e osservato nell'anno 1682. Tutti gli elementi concordano, e nulla sembra contraddire questa mia opinione, a parte la disuguaglianza delle rivoluzioni periodiche. Disuguaglianza che non è nemmeno così grande [...] E sono tanto più convinto nella mia opinione che sia la stessa perché nell'anno 1456, nel periodo estivo, una cometa fu vista passare retrograda tra la Terra e il Sole, in quasi lo stesso modo: sebbene nessuno abbia fatto osservazioni su di essa, tuttavia dal suo periodo e dal modo del suo transito non posso pensare diversa da quelle che ho appena menzionato. E

⁶⁶ Una copia della traduzione inglese dell'opera, *A Synopsis of the Astronomy of Comets*, fatta a Londra nel 1705, è disponibile all'indirizzo: <https://archive.org/details/synopsisofastron00hall/mode/2up?ref=ol&view=theater>.

⁶⁷ Edmond Halley, “A Discussion of Elliptical Orbits of Comets”, in Harlow Shapley & Helen E. Howarth (Ed.), *A Source Book in Astronomy* [Gregory D. Walcott (Ed.), *Source Books in the History of the Sciences*] (New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1929), 94. Traduzione dell'autore.

poiché esaminando le storie delle comete trovo, ad un uguale intervallo di tempo, una cometa che è stata vista verso Pasqua nell'anno 1305, che è un altro doppio periodo di 151 anni prima del precedente, penso di potermi azzardare a predire che ritornerà di nuovo nell'anno 1758. E, se dovesse tornare, non avremo motivo di dubitare che anche le altre possano tornare. Pertanto gli astronomi hanno un grande campo in cui esercitarsi per molti secoli, prima che possano conoscere il numero di questi tanti e grandi corpi che girano intorno al comune centro del Sole e ridurre i loro moti a certe leggi.”⁶⁸

Negli anni appena precedenti il previsto ritorno era ormai diventato chiaro che le perturbazioni dell'orbita delle comete causate dai pianeti del Sistema solare erano notevoli, rendendo quindi possibile che una data cometa tornasse qualche tempo prima o dopo di quanto previsto dalla semplice applicazione della legge di Newton.

Ad esempio, per giustificare il minor periodo intercorso tra l'ultimo passaggio della cometa del 1682 e il precedente del 1607 rispetto al periodo tra questo e quello del 1531 identificati da Halley, Leonhard Euler (Eulero, 1707-1783) nel 1746 propose l'esistenza di un etere cosmico agente con un effetto frenante sulla cometa.

Così, in attesa del ritorno della cometa previsto da Halley, la quale sarebbe potuta apparire già nel 1757 per le perturbazioni, i francesi Alexis Claude Clairaut (1713-1765), Joseph Jérôme de Lalande (1732-1807)⁶⁹ e Madame Nicole Reine Lepaute (1723-1788) computarono l'orbita della cometa, giungendo nell'autunno 1758 a prevederne in particolare il perielio per l'aprile 1759, con un'incertezza di un mese sulla data. Il 14 novembre 1758, davanti all'Accademia delle Scienze di Parigi, Clairaut così introduceva la previsione:

“La cometa attesa da più di un anno è divenuta oggetto di un interesse ben più vivo di quello che il pubblico mette ordinariamente nelle questioni astronomiche. I veri amanti delle scienze desiderano il suo ritorno, perché ne deve risultare una bellissima conferma di un sistema a favore del quale depongono quasi tutti i fenomeni. Quelli che, al contrario, amano vedere i filosofi immersi nell'incertezza e nella confusione sperano che non tornerà e che le scoperte sia di Newton che dei

⁶⁸ Edmond Halley, *op. cit.* (nota 67), 94-96. Traduzione dell'autore.

⁶⁹ Alcune ipotesi sulle comete di Lalande saranno nel 1773 oggetto di preoccupazione in Francia, come ricostruito nella tesi di dottorato di Ilaria Ampollini, *Non è la fine del mondo. Lalande, le comete e la comunicazione del rischio nel Settecento* (Università degli Studi di Trento. Dottorato in Studi Umanistici, 2015), disponibile all'indirizzo: <http://eprints-phd.biblio.unitn.it/1812/1/tesiAmpollini.pdf>. L'autrice ne ha ricavato il libro: Ilaria Ampollini, *Cronaca di una cometa non annunciata. Astronomia e comunicazione della scienza nel XVIII secolo* (Roma: Carocci, 2019).

suoi seguaci si troveranno al livello delle ipotesi prodotte solo dall'immaginazione. Diverse persone di quest'ultima categoria già trionfano e considerano un anno di ritardo, dovuto soltanto a previsioni prive di qualsiasi fondamento, come sufficiente per condannare i newtoniani.”⁷⁰

Quando nel dicembre 1758 la cometa fu avvistata e le ultime correzioni all'orbita applicate, il perielio risultò infine per il marzo 1759, confermando al contempo la bontà della legge di gravitazione di Newton e la previsione di Halley. È da questo periodo che la cometa venne identificata effettivamente come la *cometa di Halley*.

Le complessità nel calcolo dell'orbita delle comete, che a causa delle perturbazioni dovute agli altri corpi del Sistema solare non permetteva una relazione semplice, furono affrontate da molti studiosi. Il primo metodo ad avere largo successo fu esposto da Heinrich Wilhelm Matthias Olbers (1758-1840) nel suo *Abhandlung über die leichteste und bequemste Methode die Bahn eines Cometen aus einigen Beobachtungen zu berechnen* (1797)⁷¹. In esso, Olbers nota come:

“Dai tempi di Newton molti dei più grandi geometri si sono occupati di questo problema, hanno dimostrato o apprezzato l'impossibilità di una soluzione diretta, rigorosamente esatta, e hanno fornito un gran numero di metodi con cui possiamo essere condotti alla conoscenza degli elementi dell'orbita di una cometa. Alcuni di questi metodi sono più brevi, altri più lunghi; alcuni più, altri meno esatti [...] Sembra quindi interessante esaminare nuovamente il problema delle comete per le sue difficoltà e riunire tutti quei metodi in un'indagine generale che serva a stimare il loro vario valore nel complesso, in modo da poter selezionare il più breve e praticabile modo per determinare l'orbita di una cometa.”⁷²

Oltre alla valutazione degli altri metodi, Olbers introduce qui il suo metodo, con una osservazione che ci permette di vedere come si fosse evoluta l'idea dell'orbita cometaria rispetto al secolo precedente – l'ellisse è considerata la soluzione vera:

⁷⁰ Paolo Maffei, *op. cit.* ([nota](#) 62), 79.

⁷¹ “Trattato sul metodo più facile e più semplice di calcolare l'orbita di una cometa da alcune osservazioni”. Altri metodi noti furono legati alle innovazioni matematiche introdotte da Carl Friedrich Gauss (1777-1855) o a perfezionamenti di quello di Olbers stesso, come quello dovuto a Johann Franz Encke (1791-1865).

⁷² Heinrich Wilhelm Matthias Olbers, “On the Determination of a Comet's Orbit”, in Harlow Shapley & Helen E. Howarth (Ed.), *op. cit.* ([nota](#) 67), 177. Traduzione dell'autore.

“Sebbene le comete non descrivano quasi mai orbite paraboliche attorno al sole, è risaputo che possiamo tranquillamente trattare come parabolica la piccola parte del loro percorso ellittico che giace vicino al sole e nel quale la cometa è visibile a noi.”⁷³

Nella conclusione, per evidenziare la validità del suo metodo, l'autore conclude con la seguente osservazione:

“Il valore di un metodo per calcolare l'orbita di una cometa deve essere stimato come congiuntamente proporzionale alla sua brevità e alla sua accuratezza. Tutti i metodi danno risultati che richiedono ancora una correzione, ma più il primo risultato è vicino alla verità, più facile sarà questa correzione. Se applichiamo questi criteri al metodo delineato [...] risulterà, mi lusingo, avere un vantaggio su tutti gli altri.”⁷⁴

Così, con le prime osservazioni di una data cometa si può calcolare un'orbita parabolica provvisoria poi, aumentando il numero e la qualità delle osservazioni, ricavare un valore di eccentricità che permetta di indicarne l'orbita definitiva. Per la maggior parte delle comete l'orbita rimane incerta, con valori troppo prossimi a uno per poter definire un'altra conica; per alcune l'eccentricità risulta sufficientemente superiore all'unità da individuare un'orbita iperbolica, mentre per un numero più elevato di comete si riesce a definire un'orbita ellittica, tale da renderne prevedibile il ritorno periodico.

A seguito della proposta di Halley, comunque, altri studiosi provarono a rintracciare nelle cronache vecchie osservazioni della cometa, con risultati mai definitivi. Nel 1737 arrivò in Francia un manoscritto, *Catalogue des comètes vues à la Chine depuis l'an 613 avant JC. Jusqu'à l'an 1539*, del missionario gesuita Antoine Gaubil (1689-1759), contenente un estratto della parte astronomica di un'opera cinese scritta tra il 1254 e il 1586. Esso portava in Europa uno dei primi contributi dell'astronomia orientale. Questa traduzione era frutto della collaborazione che i gesuiti erano riusciti a costruire con l'apparato governativo dell'impero cinese a partire dal Seicento, collaborazione che avrà grande importanza soprattutto a partire dall'Ottocento, quando giungeranno numerose altre osservazioni giapponesi, coreane e cinesi antiche (si arriva fino al secondo millennio a.C., pur con incertezze maggiori) che permetteranno la ricostruzione storica di numerose orbite della cometa di Halley e di altre comete fino a epoche remote, a volte con disegni

⁷³ Heinrich Wilhelm Matthias Olbers, *op. cit.* ([nota](#) 72), 178. Traduzione dell'autore.

⁷⁴ Heinrich Wilhelm Matthias Olbers, *op. cit.* ([nota](#) 72), 179. Traduzione dell'autore.

schematici del loro aspetto. Molte di queste ricostruzioni avverranno però soprattutto nella seconda metà del Novecento, grazie all'avvento dei computer.

Ma non solo le orbite delle comete erano oggetto di studio. Anche l'aspetto di questi astri veniva accuratamente registrato sin dai disegni degli osservatori del Seicento, sebbene solo nell'Ottocento la descrizione sistematica delle apparenze e del loro mutare, accompagnate da disegni – e da fotografie dalla metà del secolo, porterà a una loro analisi e alle prime ipotesi in merito alla loro struttura fisica e, successivamente, alla composizione chimica grazie agli studi spettroscopici.

Gli studi dell'Ottocento

All'inizio del diciannovesimo secolo⁷⁵ diverse sono le questioni aperte in merito alle comete. Innanzitutto, rimangono alcuni problemi per quanto riguarda le orbite di questi corpi celesti: anche riuscendo a definire sempre meglio le perturbazioni gravitazionali cui è soggetta una particolare cometa, rendendo prevedibile con uno scarto sempre minore – dell'ordine di qualche ora o giorno a seconda dell'astro – il periodo del successivo passaggio al perielio, rimane una componente perturbativa non gravitazionale di origine non chiara. Altre domande aperte sono: “Qual è l'origine delle comete? Come sono strutturate? Perché la coda non si forma sempre ma, quando c'è, è sempre opposta alla direzione del Sole? Perché si formano le code? Come mai l'aspetto delle comete varia continuamente? Quali sono le condizioni fisiche delle comete e qual è la loro composizione chimica?”. Le osservazioni e lo sviluppo delle scienze ottocentesche aggiungeranno via via ulteriori quesiti.

Le apparenze

Sin dalle osservazioni successive al ritorno della cometa di Halley, parte delle ricerche e delle osservazioni furono volte a verificare la possibile periodicità di altre comete. Il primo successo fu con la cometa di Encke⁷⁶, per la quale Johann Franz Encke (1791-1865) ricavò un periodo orbitale

⁷⁵ Per i paragrafi riguardanti la storia degli studi scientifici delle comete negli ultimi due secoli si è partiti dai lavori di Ileana Chinnici, *op. cit.* ([nota](#) 52); Anton Pannekoek, *op. cit.* ([nota](#) 53); Piero Tempesti, *op. cit.* ([nota](#) 59); Piero Tempesti, *Parliamo di comete* [Quaderni di Didattica della Scienza N.1] (Teramo: Edigrafital, 1973); Paolo Maffei, *op. cit.* ([nota](#) 62); integrando con gli articoli citati man mano nelle prossime pagine.

⁷⁶ La nomenclatura delle comete prima del ventesimo secolo era abbastanza variabile. Successivamente è stato definito un sistema con una prima designazione provvisoria, seguita poi da una definitiva ad orbita calcolata, ma ha subito numerose variazioni nel tempo. L'attuale metodo definito dalla International Astronomical Union è in uso dal 1994,

di 3,3 anni dalle apparizioni avvenute dalla sua scoperta nel 1786 – da parte di Pierre Méchain (1744-1804) – fino al 1818, pubblicando nel 1819 la sua conclusione e la previsione del ritorno nel 1822. Sin dalla comparsa della cometa Lexell nel 1770, che passò a circa 2,2 milioni di chilometri dalla Terra – e dall’osservazione dei passaggi di altre comete in prossimità di Giove, fu chiaro che le comete dovessero avere masse piccole rispetto a quelle planetarie, in quanto le loro orbite deviavano, mentre quelle dei pianeti non risultavano mai perturbate da questi incontri ravvicinati.

L’idea di cometa che ne risultava sin dal Settecento era allora quella di un piccolo nucleo solido circondato da una vasta e rarefattissima nube di gas che riflette la luce solare e dalla quale la forza della radiazione solare soffia via la materia, andando a formare la coda. Questo modello era suggerito dalla presenza del puntino luminoso nella testa della cometa, il nucleo ottico ben osservato da Olbers nella grande cometa del 1811, e permise di parlare di comete come di un “nulla visibile” al fisico Jacques Babinet (1794-1872)⁷⁷.

Un modello di cometa porta con sé anche un’idea della sua formazione. Così ne parlava in un opuscolo del 1812 l’astronomo Giuseppe Piazzi (1746-1826), esponendo l’idea di una formazione per accrescimento di materia fluida in diverse fasi evolutive, fino alla dissoluzione nell’etere – per spiegare l’esistenza delle comete non periodiche:

“se egli è vero che le masse di questi corpi sono tenuissime [tanto che la maggior parte delle comete] probabilmente dopo una o due rivoluzioni intorno al sole cessa di esistere [...] Forse l’urto di una cometa contro la terra non potrà cagionarvi maggiore disordine, che non possa farne un granello di arena contro uno scoglio. [...] non è congettura lontana dal vero, che tratto tratto [le comete] e si formino e si distruggano, e che quelle che si aspettavano e non sono ritornate, probabilmente già sciolte in vapori e consonte, abbiano servito di alimento alla formazione delle nuove che appajano.”⁷⁸

reso necessario dalle numerose comete scoperte grazie agli strumenti odierni e indica anche l’eventuale periodicità di una cometa o il suo risultare dispersa. In generale, comunque, le comete sono indicate con l’anno della scoperta e i nomi degli scopritori, oltre ad altre lettere e numeri progressivi di vario significato. Eccezioni notevoli alla regola dei nomi sono le quattro comete il cui nome associato è di chi per primo ne ha calcolato l’orbita. Esse sono: la cometa di Halley (1P/Halley), la cometa Lexell (D/1770 L1), la cometa di Encke (2P/Encke) e la cometa Crommelin (27P/Crommelin). La cometa Lexell fu scoperta nel 1770 da Charles Messier, mentre la Crommelin fu scoperta nel 1818 da Jean-Louis Pons (1761-1831) – il quale scoprì trentasette comete tra il 1801 e il 1827. Crommelin ne ricavò l’orbita nel 1930, collegando le apparizioni della cometa avvenute nel secolo trascorso dalla scoperta.

⁷⁷ “J’avais dit et on a répété que les comètes sont un rien visible.” Jacques Babinet, in *Études et Lectures sur les Sciences d’Observation et leurs Applications Pratiques. Cinquième Volume* (Paris: Mallet-Bachelier, 1858), 138.

⁷⁸ Ileana Chinnici, *op. cit.* ([nota](#) 52), 151, note 15-19.

Idee simili a quelle espresse negli stessi anni sull'origine delle comete da Pierre Simon de Laplace (1749-1827) nella quarta edizione della *Exposition du Système du Monde* (1813) e sull'origine delle nebulose secondo William Herschel (1738-1822). Secondo Laplace le comete si originano per cattura gravitazionale da parte del Sole di materia diffusa interstellare. Nel 1860, Giovanni Virginio Schiaparelli dimostrerà che questa idea non funziona, poiché considerando la velocità del Sole rispetto alla materia diffusa interstellare le orbite della materia stessa risulterebbero iperboliche, pertanto non in una cattura nel Sistema solare, ma in una fuga da esso.

Un'altra cometa interessante ai fini della modellizzazione di questi astri risultò quella di Biela. Scoperta da Wilhelm von Biela (1782-1856) nel 1826 sulla base dell'atteso ritorno di una cometa di alcuni anni prima, di cui Biela stesso calcolò il periodo orbitale, fu osservata solo in alcuni dei successivi ritorni attesi. I più interessanti furono quello del 1846, nel quale la testa della cometa apparve divisa in due parti, che aumentarono la distanza reciproca nel corso di poche notti, e quello del 1852 in cui riapparve come due comete separate. Dal successivo passaggio, atteso nel 1858 ma mai avvenuto, la cometa fu data per dispersa e dal 1872 nel periodo in cui la Terra incrociava l'orbita con quella della cometa, si ebbe lo sciame meteorico delle Andromedidi (o Bielidi), esauritosi nell'Ottocento – a seguito di una forte deviazione dello sciame causata da due suoi passaggi vicino a Giove, nel 1890 e nel 1901.

La cometa di Biela fu la prima osservata dividersi. Altre furono osservate già nell'Ottocento e in genere la divisione accadeva a causa di passaggi molto ravvicinati della cometa con Giove o col Sole (quando la cometa sopravviveva a un passaggio ravvicinato con la stella). Nella seconda metà del secolo ne nascerà il modello del nucleo cometario *a mucchio di sassi*.

Ma il nucleo è solo una parte della cometa e ancora nella seconda metà del Novecento sarà difficile conoscerne la natura fisica con le osservazioni da terra: il nucleo ottico, molto più grande di quello fisico, rimane comunque un punto luminoso difficile da delimitare rispetto al resto della chioma che costituisce la testa della cometa. Ma ciò che caratterizza le comete è lo sviluppo – quasi sempre – di una o più estese code quando si avvicinano al Sole, in genere a partire da una distanza intorno a tre unità astronomiche dalla stella. Queste code cambiano nel corso delle notti e assumono diverse curvature, rimanendo così tenui da potervi osservare attraverso le stelle sullo sfondo.

All'inizio dell'Ottocento, le perturbazioni non gravitazionali nelle orbite delle comete venivano giustificate con la presenza di un mezzo resistente nello spazio interplanetario. Nella prima metà

del secolo, però, Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) propose una spiegazione diversa: il moto delle comete poteva essere accelerato o rallentato dalla forza di reazione conseguente all'emissione continua di gas e di particelle solide dal nucleo. Questa emissione avveniva in getti e involucri di materia luminosa, che iniziarono ad essere osservati nelle comete intorno alla metà del secolo e che, quando fluiva dal nucleo dalla parte rivolta al Sole, pareva venir respinta in direzione opposta.

Tale spiegazione giustificava anche l'esistenza di diverse code con direzioni differenti e la loro variabilità, ma non sarebbe stato facile applicarla completamente fino all'avvento dell'elettronica. Inoltre, dall'osservazione della cometa di Halley al suo passaggio del 1835, lo stesso Bessel propose una teoria della forma della coda e calcolò la forza repulsiva del Sole rispetto alla sua attrazione gravitazionale, immaginando – come altri contemporanei – una possibile repulsione elettrica della stella⁷⁹.

Questo lavoro sulle forze repulsive sarà continuato da Bredichin⁸⁰ a partire dagli anni Sessanta dell'Ottocento, permettendo di spiegare le diverse forme delle code tramite i rapporti tra le forze repulsive e attrattive in esse agenti e creando così una classificazione dei tipi di code, basata sulla loro curvatura e legata alla loro composizione chimica. In particolare, Bredichin distinse tre classi⁸¹: la prima – coda di idrogeno – corrisponde alle code di gas nella moderna classificazione delle code cometarie; la seconda – coda di idrocarburi – e la terza – coda di vapori di ferro – corrispondono alle code di polvere.

In un lavoro sulla direzione iniziale delle code delle comete del 1860, Schiaparelli riassumeva così le conoscenze su questi astri:

“noi ignoriamo assolutamente la natura delle cause, che producono nell'interno delle Comete sì gigantesche e maravigliose rivoluzioni. Avvezzi come siamo a rapportare i fenomeni celesti ai terrestri per via di paragoni più o meno adatti, noi parliamo di atmosfere, di espansioni gazoze, di

⁷⁹ Solo nel 1900 Svante August Arrhenius (1859-1927), chimico-fisico svedese e premio Nobel per la chimica nel 1903, propose la pressione della luce, derivante dagli studi di Maxwell e Bartoli (1851-1896), come possibile forza repulsiva. Nel 1951, quando era ormai chiaro che la pressione di radiazione non era un contributo sufficiente, fu l'astronomo tedesco Ludwig Biermann (1907-1986) a proporre il vento solare come origine della forza repulsiva, nell'interazione con gli ioni che avrebbero poi composto la coda; l'idea fu perfezionata pochi anni dopo dal fisico svedese Hannes Alfvén (1908-1995). L'osservazione delle code di gas delle comete è oggi un modo per avere informazioni sul vento solare, così nominato dall'astronomo Eugene Newman Parker (1927-2022) negli anni Cinquanta.

⁸⁰ Fëdor Aleksandrovič Bredichin (1831-1904), astronomo russo che in fonti occidentali dell'epoca è identificato anche come Theodor o Teodoro Bredikhine.

⁸¹ Si veda a esempio, Theodor Bredichin, “The Tails of Comets”, in *The Observatory*, 3 (1880), 454-455.

getti luminosi, di forze polari ec. Ma egli è possibile, che il movente, il quale produce tutte queste apparenze sia di natura tale, che non trovi fra le forze e le materie, che noi siamo avvezzi a considerare, alcun paragone. [...] la direzione delle Comete tende verso la plaga opposta al Sole. [...] ci permetteremo una sola ipotesi, oggidì quasi universalmente dagli Astronomi riconosciuta; ed è che la coda delle Comete sia formata da un effluvio di particelle materiali, moventisi sotto l'influenza del Sole e del nucleo, influenza sulla cui natura non vogliamo pregiudicare. [...] Volendo solo determinare la direzione iniziale della coda] non avrò bisogno di fare ipotesi sulla natura delle azioni che il Sole ed il nucleo esercitano su una particella della Cometa. [...] Mentre i getti luminosi e le altre asimmetrie nella testa della cometa, occupando uno spazio piccolissimo, non influiscono sulla direzione della coda, essa] dovrà, alla sua radice, seguire il prolungamento del raggio vettore.”⁸²

Ancora nel 1862, Giovanni Battista Donati, trattando i suoi studi della cometa da lui scoperta nel 1858 (cometa Donati, C/1858 L1), concludeva:

“Dall’insieme di tutte le apparenze da me attentamente osservate, sembrami di non poter dubitare che l’azione del sole abbia successivamente distaccato dalla testa della Cometa della materia, la quale si è poi dispersa per formare la chioma e la coda.”⁸³

Infine, nel 1888 Bredichin commentava così l’origine delle comete periodiche:

“Abbiamo già cercato di studiare con attenzione l’origine e lo sviluppo della chioma delle comete e siamo riusciti a determinare i valori numerici delle forze e delle velocità iniziali coinvolte in questo fenomeno. Abbiamo anche mostrato come queste velocità o impulsi iniziali applicati alle particelle delle comete siano sufficienti a produrre sciame di meteore, mentre disperdono la massa della cometa nello spazio. Ora, l’osservazione ci mostra che la disintegrazione delle comete può essere influenzata su scala più considerevole; intendo la divisione di una cometa in parti più o meno grandi. Così la cometa di Biela fu divisa in due comete indipendenti; la cometa di Lia (1860), osservata dopo il suo passaggio al perielio, appariva doppia; la cometa del 1882 II si suddivise dopo il passaggio al perielio, e presentò cinque distinti centri di condensazione; oltre a questo, nelle vicinanze della cometa principale ne esistevano altre secondarie che furono viste in tempi diversi

⁸² Giovanni Virginio Schiaparelli, “Sulla direzione iniziale della coda delle comete”, in *Il Nuovo Cimento*, 12(1) (1860), 381-384, 392.

⁸³ Giovanni Battista Donati, “Sulle apparenze fisiche della cometa V, del 1858”, in *Il Nuovo Cimento*, 15(1) (1862), 392.

da diversi osservatori [...] Nella chioma della cometa del 1882 II sono state osservate delle condensazioni (nuvole di Schmidt) la cui origine corrispondeva ai momenti della divisione del nucleo della cometa, e che confermano l'idea che tale divisione sia dovuta ad un processo eruttivo. [...] Nelle sorprendenti somiglianze delle orbite delle comete del 1843 I, 1880 I e 1882 II, si può vedere il risultato del distacco dei loro nuclei dal nucleo di qualche altra grande cometa avente quasi la stessa distanza del perielio [...] L'azione di Giove nella trasformazione delle orbite delle comete che passano non lontano da lui è mostrata in diversi casi. D'altra parte, il raddoppio del nucleo della cometa porta anche alla trasformazione della sua orbita [...] Pertanto, nell'origine delle comete periodiche, questi due agenti devono essere tenuti d'occhio.”⁸⁴

Meteore, stelle cadenti e comete

Nel 1794 Ernst Chladni (1756-1827) espose in un libro l'idea di un'origine non terrestre dei meteoriti. L'idea era nata studiando un meteorite ferroso e confrontando vari reperti caduti di recente con l'apparizione di bolidi e fu inizialmente molto criticata. Solo nel 1803, ad esempio, fu accettata dall'Accademia delle Scienze di Parigi, a seguito di una relazione di Jean-Baptiste Biot (1774-1862). Nel 1834, Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) identificò alcuni composti organici in una meteorite del tipo condrite carbonacea⁸⁵ caduta nel 1806. Ma cosa c'entrano queste scoperte con le comete?

Nel corso dell'Ottocento vi furono due scoperte importanti riguardanti gli sciami meteorici – anche noti come stelle cadenti – che legheranno le condriti carbonacee non ad asteroidi o corpi planetari del Sistema solare, come avviene oggi per le altre meteoriti, bensì alle comete. Gli studi avvenuti nella seconda metà del Novecento porteranno poi ad un legame diretto con le origini del Sistema solare stesso.

Nel 1833 si scoprì che le piogge di stelle cadenti che avvengono intorno a metà novembre, con grande intensità registrata ogni trentatré anni circa a partire dal 1766, divergevano tutte da una piccola zona nella costellazione del Leone. Scoperto così il *punto radiante* delle Leonidi, nei successivi anni si iniziarono a registrare i punti radianti anche per altri sciami meteorici, come

⁸⁴ Theodor Bredikhine, “On Comets and Meteors”, in Harlow Shapley & Helen E. Howarth (Ed.), *op. cit.* (nota 67), 360-361. Traduzione dell'autore.

⁸⁵ Le condriti sono meteoriti rocciose non differenziate. Di queste, una minoranza detta carbonacea contiene acqua e, come scoperto da Berzelius e da indagini sempre più raffinate nel corso del Novecento, composti organici come gli amminoacidi.

quello delle Perseidi – il cui picco di intensità avviene intorno al 10-12 agosto. Partendo da questi studi del fenomeno, che alcuni pensavano fosse meteorologico, tra il 1866 e il 1867 Schiaparelli giunse a una spiegazione degli sciami meteorici in una piccola serie di pubblicazioni:

“Allorquando non si conoscevano altre piogge meteoriche, che quelle di Agosto e di Novembre si poteva supporre, che certe nuvole cosmiche si aggirassero intorno al Sole in piccole orbite con un tempo rivolutivo eguale esattamente ad un anno o ad un mezzo anno. [...] circa all’origine delle piogge meteoriche [...] vedremo, se non si arriva a migliori frutti abbandonando l’ipotesi planetaria ed esaminando l’altra, secondo cui si assimilerebbero le stelle meteoriche alle comete. [...] Passo senz’altro a dimostrar questa tesi in apparenza molto ardità: dopo di che sarà tolto ogni dubbio, che ancora potesse rimanerci sulla vera origine delle piogge meteoriche. [...] Noi abbiamo trovate analogie fra i sistemi di stelle meteoriche ed i sistemi di comete. Non potrebbe immaginarsi l’esistenza di sistemi misti, nei quali una nube d’asteroidi fosse aggruppata nello spazio intorno ad uno o più nuclei maggiori, cioè intorno ad una o più comete? [...] io ho calcolato la parabola descritta nello spazio dalle stelle cadenti del 10 Agosto, stelle che per brevità d’ora innanzi chiamerò *Perseidi*, dalla costellazione onde a noi sembrano uscire. [...] Ora prego V. S. Ill. a comparare gli elementi sopra riferiti con questi altri che appartengono alla grande cometa del 1862 [è la cometa 109P/Swift-Tuttle, ...] Si vede che i due sistemi d’elementi non differiscono tra loro che per quantità facilmente imputabili alla poca precisione con cui si può determinare così la posizione del nodo delle Perseidi, come anche quella del loro punto di divergenza.”⁸⁶

E ancora:

“Non molto tempo dopo si venne a scoprire che l’ellisse di 33 anni, calcolata per le stelle di novembre [Leonidi] sui medesimi principii, era identica di grandezza, di posizione e di forma all’orbita descritta dalla unica cometa che apparve nel 1866. [è la cometa 55P/Tempel-Tuttle] Più tardi nacque fondata congettura, che le stelle cadenti del 10 dicembre descrivano nello spazio la medesima ellisse che la cometa enigmatica di BIELA⁸⁷: e sono pochi giorni, dacché una simile

⁸⁶ Giovanni Virginio Schiaparelli, *Intorno al corso ed all’origine probabile delle stelle meteoriche. Lettere di G. V. Schiaparelli al P. A. Secchi* (Roma: Tipografia delle scienze matematiche e fisiche, 1866), 13-15, 31-32. La prima lettera è anche riportata in Padre Angelo Secchi, Giovanni Virginio Schiaparelli, “Intorno al corso ed all’origine probabile delle stelle meteoriche”, in *Il Nuovo Cimento*, 26(1) (1867), 386-403.

⁸⁷ Si rimanda a [pagina](#) 37.

relazione fu annunciata come molto probabile fra le stelle cadenti del 20 aprile [Liridi], e la prima cometa del 1861 [C/1861 G1 Thatcher].”⁸⁸

I risultati di questi studi furono in parte espressi da Bredichin nel 1888:

“in generale le espulsioni delle *particelle* verso il Sole possono essere considerate come le sorgenti delle stelle cadenti. È facile dimostrare con il calcolo che le emissioni provenienti da una cometa con orbita parabolica possono essere fonte di flussi meteorici, con ripetizioni annuali. [...] queste orbite saranno in genere ellissi e iperboli [...] la progressione dei tempi di rivoluzione *implica* la possibilità di incontri annuali della Terra con le meteore emesse da una cometa da tempo lontana dal Sole nella sua orbita parabolica [...] Le orbite che formano lo sciame meteorico non sono affatto parallele tra loro; di conseguenza il punto radiante delle meteore non sarà mai ridotto ad un solo punto del cielo, ma dovrà abbracciare un’intera area, più o meno considerevole”⁸⁹.

Questi studi e le coeve osservazioni spettroscopiche portarono a dibattiti negli anni Settanta e Ottanta dell’Ottocento il cui esito fu l’idea di nucleo delle comete espressa nel *modello a mucchio di sassi*, che rimarrà la modellizzazione principale di questi corpi celesti fino al 1950.

Per questo modello, il nucleo orbita inerte fino a quando, avvicinandosi al Sole sotto una certa distanza – in genere sotto le tre unità astronomiche, ma in alcuni casi già molto prima – comincia a risentire degli effetti del calore solare che lo risveglia dal letargo. Tale risveglio avviene poiché il calore solare costringe i gas adsorbiti nel nucleo a fuoriuscire⁹⁰.

Un nucleo monolitico garantirebbe una riserva di gas troppo esigua rispetto a quella necessaria per la formazione della chioma e della coda osservate ad ogni passaggio al perielio di una cometa. Si riteneva pertanto che il nucleo fosse costituito dall’aggregato di un gran numero di corpi molto più piccoli – con conseguente superficie complessiva molto più grande, che avrebbe risentito maggiormente del calore solare ad ogni passaggio. Inoltre, questa struttura a mucchio si accordava con l’associazione delle comete alle piogge meteoriche, poiché tale insieme può facilmente

⁸⁸ Giovanni Virginio Schiaparelli, *Note e riflessioni intorno alla teoria astronomica delle stelle cadenti* (Firenze: Stamperia Reale, 1867), 2-3.

⁸⁹ Theodor Bredikhine, *op. cit.* ([nota](#) 84), 358-360. Traduzione dell’autore.

⁹⁰ Mentre nell’assorbimento la sostanza assorbita si mescola o lega chimicamente con quella assorbente, nell’adsorbimento il gas o liquido adsorbito aderisce alla superficie di un solido poroso. Risulta quindi importante la superficie disponibile per determinare la riserva di gas o liquido trattenuta.

seminare lungo l'orbita un gran numero di particelle, fino eventualmente a disgregarsi completamente in uno sciame meteorico.

La piccolissima massa di questa struttura, col suo debole campo gravitazionale, rendeva però dubbia la possibilità che il mucchio rimanesse unito e non si disperdesse nello spazio rapidamente; ma nel 1902 Pierre Jean Octave Callandreau (1852-1904) dimostrò teoricamente “che un insieme di particelle avente la massa di un nucleo cometario, alle distanze minime dal Sole a cui si porta la stragrande maggioranza delle comete, è stabile purché il raggio sia inferiore a duemila chilometri. Poiché già allora ci si era resi conto che il nucleo non poteva superare le dimensioni di alcune decine di chilometri, la condizione di stabilità era assicurata”⁹¹. La stabilità di questo nucleo risulterebbe compromessa solo dalle forze mareali sentite in passaggi troppo ravvicinati a corpi di massa enormemente superiore, come il Sole o Giove: effettivamente queste erano le occasioni in cui si era osservata la frammentazione o la disgregazione di comete.

Calcoli successivi mostreranno però un altro problema di questo modello di nucleo cometario: la quantità di gas adsorbita non riesce né a giustificare lo sviluppo di chioma e code per i lunghi tempi osservati in ciascun passaggio di una cometa al perielio né la possibilità per le comete di sopravvivere a più di una decina di rivoluzioni come corpi attivi.

L'applicazione della fotografia alle osservazioni delle comete aveva permesso in questi decenni sia l'osservazione di comete molto più deboli che quelle di alcune loro apparenze (come l'osservazione dei getti dal nucleo) e la misura di altre (quali le curvature delle code), aggiungendo alle osservazioni visuali e ai disegni anche dettagli non visibili ad occhio, dovute alla sensibilità delle lastre fotografiche a frequenze appena fuori dal visibile. Questi aspetti risulteranno ancora più comodi nelle osservazioni spettroscopiche e nella possibilità di una loro registrazione per analisi successive.

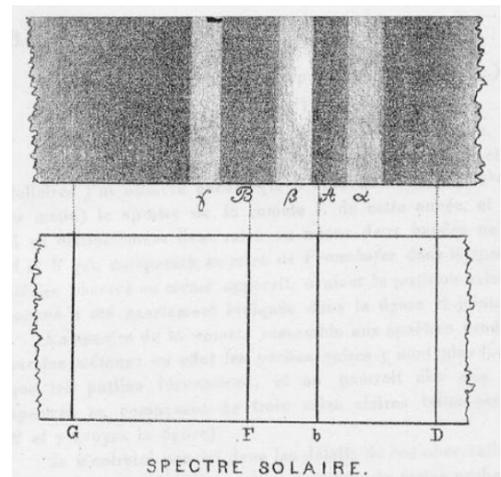
⁹¹ Piero Tempesti, *op. cit.* ([nota](#) 59), 91.

La spettroscopia

Intorno alla metà dell'Ottocento si ebbero anche le prime osservazioni di polarizzazione della luce delle comete⁹², ma la maggiore novità fu portata dall'applicazione della spettroscopia anche a questi astri.

Nel 1864 Donati ottenne il primo spettro di una cometa (C/1864 N1, Tempel 1864 II), riportandone l'osservazione su *Astronomische Nachrichten*:

“Con lo stesso apparato con cui ho osservato gli spettri stellari ho osservato ancora [...] lo spettro della cometa I di quest'anno, e vi ho visto distintamente due righe o meglio due bande nere A e B che, rispetto alle righe di *Fraunhofer* nello spettro solare osservato con lo stesso apparato, avevano la posizione relativa come è stato esattamente mostrato nella figura allegata. Lo spettro della cometa ricorda gli spettri prodotti dai metalli; infatti le parti nere sono lì più larghe delle parti luminose, e si potrebbe dire che questi spettri sono composti da tre righe chiare α , β e γ (vedi figura). Non entrerò qui nei dettagli di queste osservazioni, né nell'esame delle conseguenze più o meno probabili che se ne possono dedurre. Noterò solamente che confrontando lo spettro delle diverse comete tra loro, e con gli spettri di altre sorgenti luminose, potremo conoscere qualcosa in più sulla natura sempre misteriosa di questi astri.”⁹³



Primo spettro di una cometa. Da *Astronomische Nachrichten* 62, Nr. 1488 (1864).

Nel corso di pochi anni, queste osservazioni furono verificate e confermate da studi indipendenti di Secchi, William Huggins (1824-1910) e altri astronomi che nella seconda metà dell'Ottocento si specializzarono negli studi spettroscopici. I primi spettri riguardavano la testa delle comete, poiché le strumentazioni disponibili non erano in grado inizialmente di ottenere lo spettro dalla luce delle tenui code cometarie.

Già nel 1867, Secchi riportava di “conclusioni inaspettate, ma che confermano la moderna teoria italiana della loro [delle comete] origine riconosciuta ormai per estranea al nostro sistema, e comune ad esse e alle stelle cadenti. Tre problemi si presentano immediatamente. 1.° Sono tutte le

⁹² Si veda, a esempio, Angelo Secchi, “*Continuazione e fine delle Osservazioni e ricerche astronomiche sulla grande cometa del 6 Giugno 1861*”, in *Il Nuovo Cimento*, 14(1) (1861), 289-331.

⁹³ Giovanni Battista Donati, *op. cit.* (nota 24), 378.

comete della stessa natura? 2.° Sono esse composte di sostanze quali abbiamo in terra, e ci si manifestano nelle masse cadenti? 3.° La luce delle comete è loro propria o solo riflessa dal sole? Le ricerche che qui soggiungo, se non risolvono completamente questi problemi, li fanno molto avanzare verso la loro soluzione. Apparirà infatti [...] che la loro luce spettrale è discontinua come quella delle nebulose, e di analogo stato gassoso ma non di identica sostanza. Che una diversifica dall'altra onde la materia non è identica in tutte. Che abbiamo in esse del carbone in istato gassoso e luminoso. Che questa sostanza trovata nel meteorolite di Orgueil e in quello del Capo di Buona Speranza in tanta copia, ci si presenta nelle comete in modo distintissimo. Queste scoperte fatte da noi [...] sono state confermate indipendentemente dal sig. Huggins".⁹⁴

Huggins stesso, in un articolo del 1897, ricordava gli studi degli anni Sessanta:

“Il fatto inaspettato è emerso dalla stretta relazione delle orbite di alcune comete con quelle di periodici sciami di meteore. Solo un anno prima che fossero fatte le osservazioni di cui sto per parlare, Odling aveva illuminato il teatro della Royal Institution con il gas portato da un meteorite dallo spazio celeste. Due anni prima, Donati mostrò che la luce di una piccola cometa era in parte autoemessa, e quindi non del tutto riflessa dalla luce solare. Io stesso, nel caso di tre deboli comete, nel 1866, nel 1867 e nel gennaio 1868, ho scoperto che parte della loro luce era peculiare di esse e che la luce dell'ultima consisteva principalmente di tre bande luminose. [La sera del 22 giugno 1868, osservando al telescopio la luminosa cometa apparsa quel mese] Ho misurato le posizioni nello spettro [...] delle bande più luminose sul lato rosso. La mattina dopo fui non poco sorpreso di scoprire che le tre bande della cometa concordavano in posizione con tre bande simili nella parte più luminosa dello spettro del carbonio.”⁹⁵

Il confronto avvenne con spettri che aveva ricavato in precedenza, soprattutto da idrocarburi. Le bande osservate nella cometa risultavano identiche e nelle stesse posizioni di quelle ottenute facendo scattare la scintilla in un gas di etilene. Huggins allestì perciò un sistema per poter confrontare contemporaneamente i due spettri e poche sere dopo “confrontando per la prima volta lo spettro di un gas terrestre con quello della luce di una cometa [osservò che] Lo spettro della cometa visto insieme a quello del gas concordano in tutti gli aspetti precisamente. [...] La parte

⁹⁴ Angelo Secchi, “Studii spettrali sulle comete”, in *Il Nuovo Cimento*, 28(1) (1867), 136-137.

⁹⁵ William Huggins, “Spectra of Comets”, in Harlow Shapley & Helen E. Howarth (Ed.), *op. cit.* (nota 67), 296-298. Traduzione dell'autore.

principale della sua luce era emessa da vapori luminosi di carbonio. Questo risultato era in armonia con la natura del gas trovato occluso nei meteoriti.”⁹⁶

Nell’articolo del 1867 già citato, Secchi continuava evidenziando il significato della scoperta di Huggins: la luce delle comete non è che in minima parte luce del Sole riflessa ed è inoltre simile a quella di gas terrestri. Concludeva notando che “sapere come questo gas possa essere di per sé luminoso in mezzo allo spazio, è assai grave e difficile [, ma] Ammessa questa luce propria si capirebbe meglio la facilità con cui si accendono le stelle cadenti, poiché allora sarebbe la materia cometaria già disposta all’accensione per la sua condizione luminosa.”⁹⁷

Pochi anni dopo, Secchi riassumeva così le questioni aperte: “1. È lo spettro delle comete al loro comparire identico a quello che sviluppano appresso nella massima loro luce? 2. Le [bande spettrali] sono in tutte [le comete] le stesse non solo nel posto, ma anche nella intensità? 3. Che influenza vi ha la luce solare? 4. È questa polarizzata?”⁹⁸

Alcune risposte arrivarono già negli anni Ottanta del diciannovesimo secolo. Studiando gli spettri di numerose comete, oltre a confermare la presenza di carbonio molecolare e idrocarburi, gli astronomi osservarono le diverse intensità degli spettri continui e delle bande spettrali tra diverse comete e in periodi differenti dell’orbita di ciascuna. Nel 1882 fu notata l’apparizione delle righe del sodio in alcune comete quando esse si trovavano in prossimità del perielio, righe dominanti al punto da occultare lo spettro degli idrocarburi, ma che sparivano quando le distanze con la stella tornavano ad aumentare⁹⁹. La prima cometa di cui furono ottenute con successo sia una fotografia che uno spettro fotografico fu la grande cometa del 1881 (C/1881 K1)¹⁰⁰. Di questa cometa Huggins e Henry Draper (1837-1882) ottennero indipendentemente un debole spettro di righe di Fraunhofer, confermando la presenza di luce solare riflessa, e alcune righe nella parte ultravioletta dello spettro, che rivelavano la presenza di azoto e cianogeno.

⁹⁶ William Huggins, *op. cit.* (nota 95), 298. Traduzione dell’autore. Nelle meteoriti erano all’epoca state identificate la presenza di idrogeno, monossido di carbonio, anidride carbonica e grandi percentuali di idrocarburi.

⁹⁷ Angelo Secchi, *op. cit.* (nota 94), 142.

⁹⁸ Ileana Chinnici, *op. cit.* (nota 52), 156, nota 68.

⁹⁹ A partire dalle osservazioni di Annibale Riccò (1844-1919), Bernhard Hasselberg (1848-1922) spiegò la presenza delle righe di sodio con l’evaporazione dell’elemento a causa dell’aumento di temperatura sulla superficie della cometa, dovuto all’azione del calore solare e delle scariche elettriche prodotte dal Sole sulla superficie del nucleo cometario.

¹⁰⁰ Ileana Chinnici, *op. cit.* (nota 52), 143, 157, note 76-79.

L'identificazione di ulteriori molecole negli spettri delle comete e di molecole organiche in alcuni meteoriti, il legame tra comete e piogge meteoriche, gli studi sullo sviluppo delle code, la teoria elettromagnetica di Maxwell – in particolare l'idea della pressione di radiazione di Bartoli – e gli studi sulle cariche elettriche e la materia ionizzata condurranno, all'inizio del Novecento, alle spiegazioni della fisica delle comete cui si rifanno i testi di Augusto Righi ed Elia Millosevich analizzati nei prossimi capitoli.

Le novità del Novecento

All'inizio del nuovo secolo, gli studi di Arrhenius sull'equilibrio e la carica elettrici del Sole partivano dall'osservazione della pressione della radiazione solare sulle code cometarie. Inoltre, le orbite con afeli vicini ai pianeti giganti di molte comete facevano pensare a una loro origine tramite eiezioni da Giove, Saturno o dai loro satelliti¹⁰¹. Lo stesso Arrhenius proponeva poi una teoria dell'origine della vita tramite *panspermia*: i meteoriti, oltre ad ospitare composti organici, avrebbero potuto ospitare anche i semi della vita.¹⁰²

Nel primo decennio del Novecento continuava il raffinamento delle osservazioni spettroscopiche e fotografiche. Esso consentì di individuare e seguire nel loro moto alcune strutture nelle code cometarie, ricavandone le velocità crescenti con la distanza dal nucleo che confermava la repulsione di materiale da parte del Sole; ma permise anche di notare una “notevole differenza di costituzione chimica fra cometa e cometa, che l'osservazione spettrale, specialmente fotografica, ha dimostrato essere fatto pressoché generale.”¹⁰³

¹⁰¹ Oltre all'idea dell'origine delle comete nel Sistema solare odierno, ancora nel 1948 vi erano proposte sull'origine interstellare delle comete, come quella di Raymond Arthur Lyttleton (1911-1995) che riprendeva l'idea di Laplace, con la differenza che le comete non venivano catturate, ma generate dal Sole attraverso la sua attrazione gravitazionale sulla materia interstellare.

¹⁰² Secondo questa idea, la vita viene trasportata nei vari mondi da spore espulse dai corpi di origine da forze elettromagnetiche; queste spore, dopo aver vagato per milioni di anni nello spazio interstellare, troverebbero gli habitat per svilupparsi. I meteoriti, e le comete da cui alcuni di essi avrebbero origine, risulterebbero perciò tali spore. Le teorie di *panspermia* vissero un periodo di declino tra gli anni Trenta e Cinquanta del Novecento, a seguito dello sviluppo delle teorie del *brodo prebiotico primordiale* di Aleksandr Oparin (1894-1980) e John Haldane (1892-1964) e dell'esperimento di Miller e Urey del 1953. Riguardarono una parziale considerazione dagli anni Settanta a seguito delle osservazioni radio di composti organici, compresi alcuni amminoacidi semplici, nelle nubi interstellari e del ritrovamento di basi azotate e amminoacidi in alcune meteoriti.

¹⁰³ Annibale Riccò, “Osservazioni astrofisiche della cometa “Morehouse”, eseguite nel R. Osservatorio di Catania”, in *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, 38 (1909), 41.

In attesa della cometa di Halley, William Frederick Denning (1848-1931) già nel 1908 portava l'attenzione allo sciame meteorico delle Acquaridi, ritenute legate alla cometa, in una breve nota su *Nature*¹⁰⁴, mentre la comunità scientifica si preparava al ritorno con grandi attese, legate soprattutto alle novità tecniche nate dopo il suo precedente passaggio, come delineava Percival Lowell (1855-1916) nell'introduzione di uno dei bollettini del 1910 del suo Osservatorio:

“Particolare interesse è attribuito all'esito delle osservazioni della cometa di Halley al ritorno appena passato perché è stato il primo in cui si sono potuti impiegare moderni metodi strumentali di indagine. Durante i settantacinque anni trascorsi dall'ultima volta che il mondo vide la cometa nel 1835, sono stati inventati e portati nell'utilizzo astronomico due grandi motori di ricerca celeste, la fotografia e la spettroscopia. La prima ci ha messi in possesso di possibilità di precisione e certezza nel nostro studio fisico della cometa, soprattutto a fini comparativi, carenti ai nostri antenati; mentre la seconda ci ha svelato la costituzione del corpo stesso. Oltre ciò che ciascuna è direttamente in grado di dirci [da sola, insieme hanno dato] risultati combinati [tra cui] l'informazione [congiunta] sulla repulsione molecolare dovuta alla pressione della luce.”¹⁰⁵

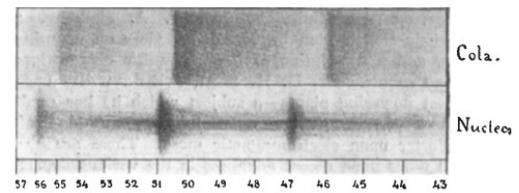


Foto e spettri della cometa di Halley ottenuti all'Osservatorio di Madrid nel maggio 1910. Da *Nature*, 83(2117), 26 maggio 1910.

Gli studi che seguirono questo passaggio della cometa di Halley contribuirono nella conoscenza dell'estrema rarefazione dei gas nelle code, ma per la spiegazione dei fenomeni osservati – come la presenza persistente di radicali, ioni molecolari che non dovrebbero trovarsi in un gas all'equilibrio – bisognerà attendere gli sviluppi della teoria atomica nei due decenni successivi e la scoperta di altri fenomeni, come il vento solare.

¹⁰⁴ William Frederick Denning, “The meteors of Halley’s comet.”, in *Nature*, 77(2099) (1908, April 30), 619. È lo sciame meteorico delle Eta Acquaridi visibile tra aprile e maggio, ritenuto legato alla cometa di Halley come lo sciame delle Orionidi visibile in ottobre.

¹⁰⁵ Percival Lowell, “Motion of molecules in the tail of Halley’s comet 1910”, in *Lowell Observatory Bulletin*, 1 (1910), 256. Traduzione dell'autore.

Dagli anni Cinquanta alla Halley Armada

Nel 1950 furono proposte due grandi novità riguardanti l'origine delle comete e la modellizzazione del loro nucleo, ispirate da lavori dei precedenti vent'anni. Per quanto riguarda l'origine, Jan Hendrik Oort (1900-1992) propose l'esistenza di una nube che circonda il Sistema solare e che funge da riserva di comete:

“Gli effetti combinati delle stelle e di Giove sembrano determinare le principali caratteristiche statistiche delle orbite delle comete. Da una ventina di orbite originali ben osservate è mostrato che le “nuove” comete di lungo periodo generalmente provengono da regioni comprese tra circa 50.000 e 150.000 U.A. di distanza. Il sole deve essere circondato da una generica nube di comete con un raggio di quest'ordine, contenente circa 10^{11} comete di dimensioni osservabili; la massa totale della nube è stimata nell'ordine da 1/10 a 1/100 di quella terrestre. Per azione delle stelle nuove comete vengono continuamente trasportate da questa nube alla prossimità del sole.”¹⁰⁶

Questa idea è supportata, secondo Oort, dalla distribuzione casuale dei piani orbitali delle comete e dall'elevato numero di orbite quasi paraboliche, segno delle perturbazioni agenti su questi corpi celesti. Sarebbe inoltre in grado di spiegare sia il maggior numero di comete su orbite dirette rispetto a quelle retrograde, che lo sviluppo di involucri luminosi più estesi da parte delle comete che si avvicinano per la prima volta al sole rispetto a quelle più vecchie¹⁰⁷. Le dimensioni della nube la rendono tale da poter risentire dell'effetto perturbativo di stelle vicine, ma rimanendo parte del Sistema solare, di cui condivide il moto galattico. Secondo Oort:

“L'esistenza dell'enorme nube di comete trova una spiegazione naturale se si considerano le comete (e i meteoriti) pianeti minori fuggiti, in una fase iniziale del sistema planetario, dall'anello degli asteroidi e portati in orbite grandi e stabili attraverso le azioni perturbatrici di Giove e delle stelle.”¹⁰⁸

¹⁰⁶ Jan Hendrik Oort, “The Structure of the Cloud of Comets Surrounding the Solar System and a Hypothesis Concerning Its Origin”, in Kenneth R. Lang & Owen Gingerich (Ed.), *A Source Book in Astronomy and Astrophysics* [Edward H. Madden (Ed.), *Source Books in the History of the Sciences*] (Cambridge: Harvard University Press, 1979), 134. Traduzione dell'autore.

¹⁰⁷ Le osservazioni di comete nei decenni successivi confermeranno l'idea che le comete nuove sono più ricche di materiale, come le polveri, rispetto a quelle periodiche.

¹⁰⁸ Jan Hendrik Oort, *op. cit.* (nota 106), 134. Traduzione dell'autore. Nei decenni successivi, pur rimanendo accettata l'idea della nube di Oort, si riterrà più probabile la sua formazione non come disgregazione antica di un corpo planetario, ma come residuo *fossile* della originaria nebulosa solare da cui si è formato il Sistema solare.

Per quanto riguarda il modello del nucleo cometario, Fred Lawrence Whipple (1906-2004) propose un superamento del *mucchio di sassi*, presentando la sua idea e applicandola al moto della cometa di Encke. Il nuovo *modello a ghiaccio sporco* o *della palla di neve sporca*:

“risolve i principali problemi dei moti anormali delle comete e tiene conto di una serie di altri fenomeni cometari.

Il nucleo è visualizzato come un conglomerato di ghiacci, come H_2O , NH_3 , CH_4 , CO_2 o CO , ($C_2N_2?$), e altri possibili materiali volatili a temperatura ambiente, combinati in un conglomerato con materiali meteorici, tutti inizialmente a temperature estremamente basse ($<50^\circ K$). La vaporizzazione dei ghiacci mediante radiazione solare applicata esternamente lascia una matrice esteriore di materiale meteorico isolato non volatile. Lo studio quantitativo e qualitativo mostra che il trasferimento di calore attraverso sottili strati meteorici nel vuoto avviene principalmente per irraggiamento, che il trasferimento di calore è inversamente proporzionale al numero effettivo di strati e che può verificarsi un apprezzabile ritardo nel trasferimento di calore per un nucleo cometario rotante. A causa del ritardo temporale, un tale nucleo cometario rotante in senso “diretto” emetterà i suoi ghiacci vaporizzati [in modo tale che il] gas emesso spingerà il nucleo in avanti, riducendo il moto medio e aumentando l’eccentricità dell’orbita. [...] La rotazione retrograda può produrre un’accelerazione del moto medio e una diminuzione dell’eccentricità, come osservato per la cometa Encke. [...] Un secondo articolo [...] di prossima pubblicazione riguarderà i problemi fisici della struttura della cometa, la perdita di materiale meteorico e gassoso e le correlazioni con i fenomeni meteorici osservati.”¹⁰⁹

Questo modello tiene conto anche dell’appartenenza al Sistema solare delle comete, come membri antichi che solo un passaggio ravvicinato di altre stelle potrebbe espellere dal sistema, e del fenomeno di cattura planetaria come principale fonte di comete periodiche. Giustifica, inoltre, i tempi in cui si sviluppano e mantengono le chiome e le code delle comete, nonché la loro possibilità di rimanere attive per molte più rivoluzioni rispetto al modello precedente. Considera anche gli effetti orbitali della perdita di massa, della forma irregolare o multipla dei nuclei e dei possibili

¹⁰⁹ Fred Lawrence Whipple, “A Comet Model I: The Acceleration of Comet Encke”, in Kenneth R. Lang & Owen Gingerich (Ed.), *op. cit.* (nota 106), 137. Traduzione dell’autore. L’idea della spinta impressa dai gas alla cometa riprende l’idea espressa da Bessel a inizio Ottocento e corrisponde essenzialmente all’effetto razzo, cioè alla risultante delle forze di reazione date dalla rotazione del nucleo della cometa e dall’emissione di ghiacci e molecole che sublimano ed evaporano da esso.

effetti di loro disgregazione e dell'eventualità che alla fine “tutta l'attività cessi quando l'ultima delle sue riserve di ghiaccio è esaurita. [...] Nelle fasi successive rimane solo un piccolissimo nucleo [costituito dai] frammenti meteorici più grandi (si noti l'asteroide Hidalgo come possibile esempio).”¹¹⁰

Negli anni Sessanta, Ludwig Biermann e Eleonore Trefftz (1920-2017)¹¹¹ ricavarono teoricamente che una conseguenza del modello di nucleo cometario di Whipple fosse l'esistenza di un alone di idrogeno – estensione della chioma – osservabile tramite l'emissione della riga Lyman- α nelle lunghezze d'onda ultraviolette.

Questa fu osservata nel 1970, quando il satellite *Orbiting Astronomical Observatory 2* (OAO-2) ottenne la prima immagine ultravioletta di una cometa (la cometa C/1969 T1 Tago-Sato-Kosaka) e fu in seguito confermata anche intorno ad altre comete con osservazioni da satelliti e razzi negli anni successivi.

Negli anni Cinquanta fu notato come le comete *di corto periodo* (inferiore ai duecento anni) avessero orbite inclinate in genere meno di quaranta gradi rispetto all'eclittica, mentre quelle *di lungo periodo* (superiore ai duecento anni) avessero inclinazioni più casuali. Ciò suggerì che le prime provenissero da una zona diversa del Sistema solare rispetto alla *nube di Oort*, un disco – o un toroide – esteso per alcune decine di unità astronomiche oltre l'orbita di Nettuno. Quest'area è nota solitamente come *fascia di Kuiper*¹¹².

Dal secondo dopoguerra, lo sviluppo della radioastronomia e la possibilità di mettere in orbita satelliti per osservare lungo tutto lo spettro elettromagnetico hanno reso possibile studi sempre più dettagliati dei fenomeni fisici e chimici presenti nelle comete e negli altri corpi celesti ¹¹³.

¹¹⁰ Fred Lawrence Whipple, *op. cit.* ([nota](#) 109), 139. Traduzione dell'autore. Nonostante le sue peculiarità, Hidalgo rimane classificato come asteroide. Esistono oggi alcuni oggetti classificati sia come asteroidi che come comete, per erronea designazione iniziale o in quanto veri e propri *centauri* che presentano caratteristiche di entrambe le classi.

¹¹¹ Spesso indicata come Eleanor Trefftz.

¹¹² L'origine della nube di Oort e della fascia di Kuiper sarebbe differente. La prima sarebbe stata creata da oggetti formatisi vicino ai pianeti giganti espulsi verso l'esterno dalle perturbazioni gravitazionali poco dopo la formazione del Sistema solare, la seconda sarebbe costituita da oggetti che non hanno subito tali interazioni, rimanendo vicino al disco di accrescimento.

¹¹³ Ad esempio, l'osservazione radio della riga a 21 centimetri dell'idrogeno neutro (negli anni Cinquanta; riga prevista dagli anni Quaranta) e di molecole complesse, anche organiche, nelle nebulose da cui nascono i sistemi solari e nei singoli corpi celesti.

Negli anni Ottanta, con l'avvicinarsi del ritorno della cometa di Halley fu organizzato un coordinamento internazionale tra missioni spaziali, osservazioni professionali e amatoriali per gestire le attività, collezionare e archiviare i dati, l'*International Halley Watch* (IHW).

In tale contesto furono inserite alcune sonde che avrebbero visitato la cometa con dei *flyby* a diverse distanze, soprannominate *Halley Armada*¹¹⁴: le sovietiche *Vega 1* e *2*, le giapponesi *Suisei* e *Sakigake*, l'europea *Giotto*¹¹⁵. Esse permisero di ricavare la composizione delle polveri e delle molecole costituenti la chioma, di studiare le sue interazioni con il vento solare e di osservare il nucleo della cometa. Questo si presentò molto diverso dalle attese, legate al *modello della palla di neve sporca* dominata dai ghiacci: un unico nucleo rotante di forma irregolare e molto allungata, con una superficie molto scura e attività localizzata in poche zone di emissione dei getti di polvere¹¹⁶. L'analisi dei dati portò per diversi anni ad accettare l'idea che le comete fossero «palle di neve» coperte da una crosta scura di carbonio¹¹⁷.

¹¹⁴ Nonostante i piani originali, la Nasa non poté contribuire al progetto da cui nacque la sonda europea o creare altre missioni per giungere alla cometa di Halley. Perciò, oltre alle osservazioni previste tramite altre sonde, come le *Pioneer 7* e *Venus Orbiter*, decise di utilizzare la sonda *International Sun/Earth Explorer 3* (ISEE 3) – in orbita nel punto lagrangiano L1 dal 1978 per studiare l'interazione del campo magnetico terrestre col vento solare (prima sonda a monitorarlo). Rinominandola nel 1982 *International Cometary Explorer* (ICE) e facendole lasciare lo stesso anno il punto L1 per effettuare diverse manovre orbitali che le avrebbero permesso di compiere un *flyby* nella coda di plasma della cometa 21P/Giacobini-Zinner, a 7800 chilometri dal nucleo, l'11 settembre 1985 – divenendo la prima sonda ad esplorare una cometa. Ne caratterizzò il plasma e misurò la forte interazione col vento solare, nonché le interazioni di plasma e vento coi campi magnetici. Il 28 marzo 1986 osservò la cometa di Halley a una distanza dal nucleo di 28 milioni di chilometri.

¹¹⁵ Le sonde *Vega 1* e *2* prevedevano dei *flyby* di Venere e della cometa di Halley; il massimo avvicinamento alla cometa avvenne rispettivamente il 6 marzo 1986 (8890 chilometri) e il 9 marzo 1986 (8030 chilometri). La giapponese *Suisei* (nota anche come *Planet-A*) passò l'8 marzo 1986 a 150 000 chilometri dal nucleo della cometa, mentre la *Sakigake* si avvicinò l'11 marzo 1986 a 6,99 milioni di chilometri e non prevedeva immagini. La sonda *Giotto* passò a 596 chilometri dal nucleo la notte tra il 13 e il 14 marzo 1986, inviando le prime immagini a colori da una cometa. Il 10 luglio 1992 passò a circa 200 chilometri dal nucleo della cometa 26P/Grigg-Skjellerup, ma non poté inviare immagini, poiché la fotocamera si era rotta durante il passaggio ravvicinato con la cometa di Halley.

¹¹⁶ La chioma risultò creata soprattutto da molecole di acqua, monossido di carbonio e anidride carbonica. Il nucleo apparve di circa $16 \times 8 \times 8$ km, con una densità stimata inferiore a $0,5$ g/cm³ senza differenziazione tra strati esterni e interni – costituiti da agglomerati di materiali porosi, condriti carbonacee o particelle costituite principalmente da carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto – e con una temperatura superficiale molto superiore a quella cui sublima il ghiaccio d'acqua (ghiacci non visibili in superficie). Il periodo di rotazione del nucleo è di 52-54 ore. Per ulteriori dettagli, si veda H. U. Keller, "Results of the space missions to comet Halley", in *Current Science*, 66 (7-8) (1994), 603-611.

¹¹⁷ Piero Bianucci (1987, maggio 27), "Grande show nei cieli del Sud". *La Stampa. TuttoScienze*, p. 2.

Cenni alle conoscenze più recenti

Dagli anni Novanta¹¹⁸, nuove *facilities* e strumenti terrestri e spaziali hanno consentito indagini sempre più approfondite sulle comete. Inoltre, partendo dal successo delle missioni alla cometa di Halley, furono sviluppate nuove missioni che prevedevano *flyby* verso questi corpi celesti¹¹⁹. A seguire, vi fu la più recente missione europea *Rosetta*, lanciata nel 2004 e rimasta in orbita¹²⁰ intorno alla cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, dopo l'atterraggio del *lander Philae* sul nucleo, tra il 2014 e il 2016. In quel periodo osservò l'evolversi della cometa nel suo viaggio verso il perielio, studiando i processi che conducono alla formazione ed evoluzione di chioma e coda.

L'insieme di informazioni ricavate da tutti i mezzi odierni ha permesso di notare grandi differenze tra cometa e cometa e ha portato a una nuova rappresentazione di questi corpi e della loro origine. Innanzitutto, si ritiene che vi siano nel Sistema solare tre serbatoi di comete: oltre alla *nube di Oort* e alla *fascia di Kuiper* – cui va aggiunto un *disco diffuso* che si estende a distanze e inclinazioni maggiori¹²¹ – si ha anche la *fascia principale degli asteroidi*.

Nei modelli attuali di formazione planetaria questi serbatoi si formerebbero in modi differenti, differenze che oggi dovremmo individuare nella diversa chimica delle comete delle varie zone. Le comete vengono classificate secondo le loro orbite¹²² e cosa le distingue dagli asteroidi appare

¹¹⁸ Per approfondire quanto esposto in questa sezione si veda il volume *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 375(2097) (2017). In particolare, gli interventi: Geraint H. Jones, Matthew M. Knight, Alan Fitzsimmons, Matt G. G. T. Taylor, "Introduction: Cometary science after Rosetta"; K. J. Meech, "Setting the scene: what did we know before Rosetta?"; Michael F. A'Hearn, "Comets: looking ahead".

¹¹⁹ A cavallo del nuovo millennio furono lanciate quattro missioni Nasa con obiettivo *flyby* cometari: *Deep Space 1* (1998), *Stardust* (1999), *Contour* (2002, fallita al lancio), *Deep Impact* (2005). La prima raggiunse la cometa 19P/Borrelly il 22 settembre 2001 a una distanza minima di 2171 chilometri. La seconda raccolse anche campioni dalla coda – successivamente spediti a terra – della cometa 81P/Wild 2 il 2 gennaio 2004 da una distanza minima di 238 chilometri; rinominata *Stardust-NEXT*, raggiunse il 14 febbraio 2011 la cometa 9P/Tempel 1 a una distanza minima di 181 chilometri, per documentare il cratere lasciato dall'impatto del proiettile della sonda *Deep Impact*. Quest'ultima aveva raggiunto la cometa 9P/Tempel 1 a una distanza minima di 500 chilometri il 4 luglio 2005, dopo aver fatto impattare una parte della sonda, con lo scopo di osservare l'interno della cometa; rinominata *EPOXI*, tra i nuovi obiettivi ebbe il sorvolo della cometa 103P/Hartley 2, effettuato il 4 novembre 2010 a una distanza minima di 694 chilometri. Inoltre, la sonda europea e statunitense *Ulysses* per lo studio del Sole e dell'eliosfera, lanciata nel 1990 e disattivata nel 2009, ha fortuitamente attraversato – e potuto studiare – le code di tre comete: la cometa C/1996 B2 Hyakutake nel 1996, C/1999 T1 McNaught-Hartley nel 2000 e C/2006 P1 McNaught nel 2008.

¹²⁰ La distanza minima dal nucleo della cometa raggiunta dalla sonda in orbita è stata di 29 chilometri. Tra i numerosissimi risultati, il ritrovamento di uno strato di ghiacci sotto circa venti centimetri di polvere da parte del *lander* e le differenze isotopiche di idrogeno nelle molecole di acqua, che fanno pensare che l'acqua non possa essere arrivata sulla Terra tramite le comete.

¹²¹ A seconda dell'interpretazione, si sostituisce o sovrappone alla *fascia di Kuiper* e la prosegue fino a confondersi con la nube di Oort più interna; le inclinazioni orbitali rispetto all'eclittica sono anche maggiori di 40°.

¹²² Si hanno le *comete di lungo periodo*, quando hanno un periodo orbitale superiore ai duecento anni. Se inoltre si determina che sono al primo – o ai primi – passaggi nel Sistema solare interno dalla nube di Oort, le comete a lungo periodo sono dette *dinamicamente nuove* – o *giovani*. Si hanno poi le *comete di corto periodo*, con periodi orbitali

sfocato. Però i serbatoi odierni potrebbero non essere realmente legati a zone di formazione cometaria ben definita, poiché le molecole di sostanze volatili trovate nelle comete – soprattutto in quelle a lungo periodo – sembrano indicare un rimescolamento dinamico su larga scala nella nube solare primordiale. Le comete si sono formate probabilmente per aggregazione tramite collisioni a bassissime velocità relative di corpi più piccoli altamente porosi preesistenti nella nube. Pur rimanendo differenze chimiche, fisiche, geologiche e di attività tra i nuclei visitati, differenze la cui origine primordiale o evolutiva non è chiara, oggi i modelli di nucleo cometario partono dall'idea opposta al modello di Whipple, cioè al predominare della componente rocciosa rispetto a quella ghiacciata.

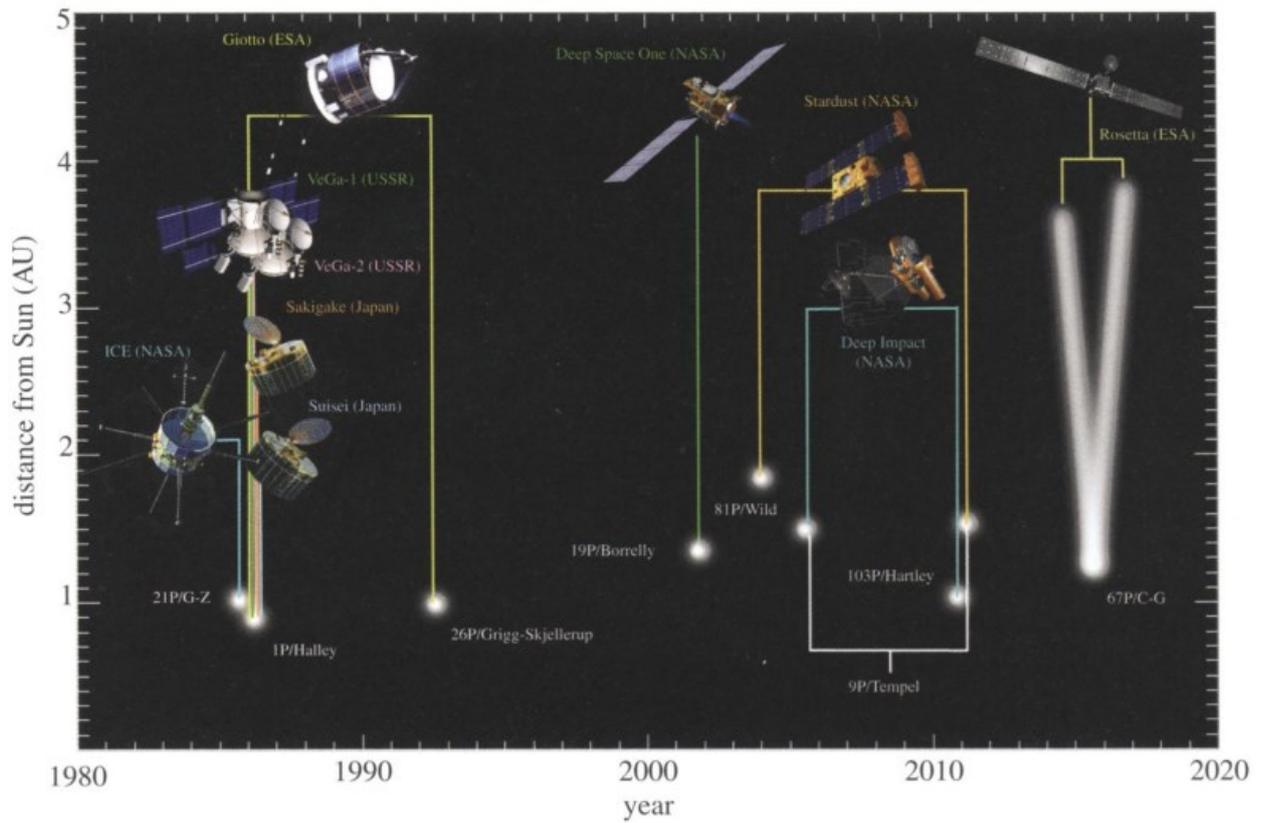
Si hanno così dei modelli di nuclei costituiti da mucchi di pietrisco molto poroso modificato da collisioni, probabilmente avvenute in gran parte nelle fasi primordiali, con basse densità e robustezza¹²³. Questi mucchi di pietrisco sono miscugli di grani di ghiacci e polveri, in cui la sostanza volatile dominante è il ghiaccio d'acqua, mentre a guidare le fasi di attività al perielio, con gli strati più superficiali soggetti a evoluzione dovuta al calore solare, sarebbe la sublimazione del ghiaccio di anidride carbonica. Le differenze osservate tra diverse comete¹²⁴ e nella stessa a tempi diversi, i processi che avvengono sulla superficie dei nuclei e la loro struttura interna rimangono ad oggi oggetto di studio.

Passiamo ora a contestualizzare il periodo e la comunicazione scientifica in cui avvennero le conferenze e le pubblicazioni di Righi e Millosevich, in occasione del passaggio della cometa di Halley del 1910.

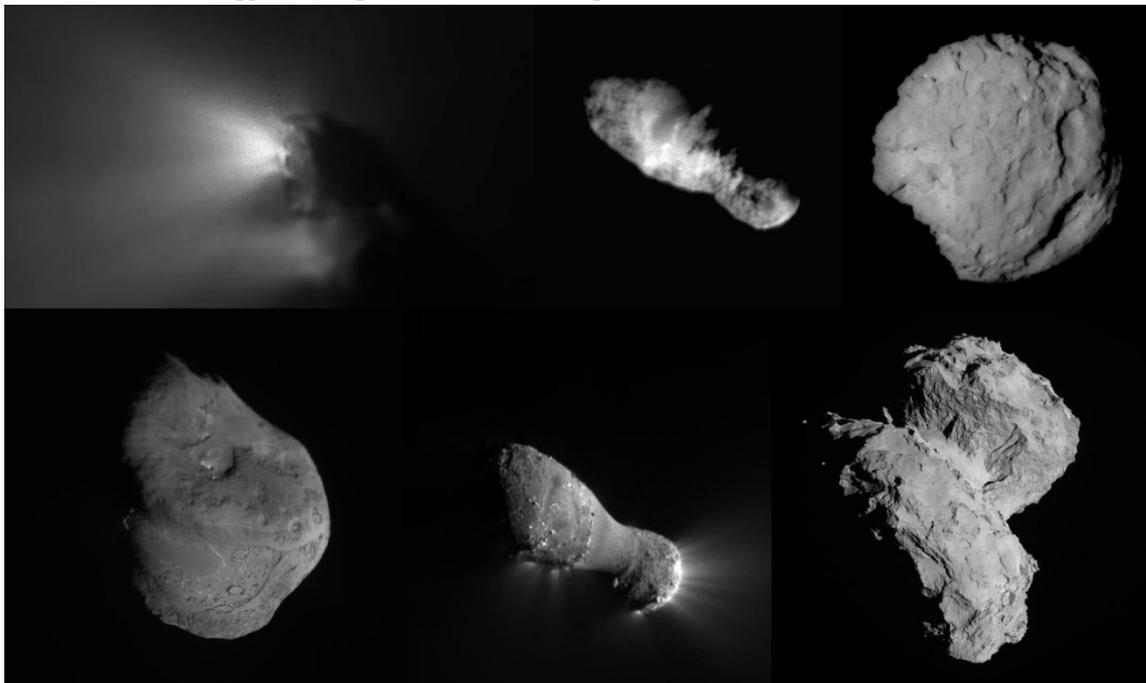
inferiori ai duecento anni, tra le quali si trovano la *famiglia di Giove*, le cui orbite sono controllate dal pianeta e hanno orbite poco inclinate e con periodi inferiori ai vent'anni, e le comete del *tipo Encke*, con orbite interne all'orbita di Giove. Le comete *tipo Halley* hanno orbite con alta inclinazione e periodi intermedi (tra i venti e i duecento anni) e originano probabilmente nella nube di Oort. Infine, le *comete della fascia principale* sono oggetti dinamicamente asteroidali con code di polvere che si pensa siano guidate da sublimazione di materiali volatili.

¹²³ Il nucleo si presenta di dimensioni dell'ordine dei chilometri – raggio medio di 1,4 chilometri – con albedo bassa, circa il 4%, e con una densità media che si aggirerebbe intorno a 0,5 g/cm³. Non sembra essere stratificato, ma oltre a differenze di composizione e porosità tra gli strati più superficiali e quelli sottostanti, potenzialmente primordiali. Non sono stati osservati ghiacci in superficie e le temperature superficiali risultano maggiori di quelle di sublimazione dei ghiacci stessi; la fuoriuscita di materiale dei getti potrebbe parzialmente essere controbilanciata dal depositarsi di materiale durante diversi momenti della rotazione diurna. Tra le polveri sono stati identificati minerali, come i silicati, e composti organici.

¹²⁴ Alle comete del Sistema solare, si è aggiunta nel 2019 anche l'osservazione della prima cometa interstellare, 2I/Borisov. Il primo oggetto interstellare, osservato transitare nel Sistema solare nel 2017, 1I/'Oumuamua, fu inizialmente classificato come cometa a causa della sua orbita iperbolica, ma fu poi riconosciuto come asteroide.



Sono qui rappresentate tutte le missioni cometarie, dall'International Cometary Explorer (ICE) nel 1985, ad oggi. Giotto, Stardust e Deep Impact incontrarono due comete ciascuna. 1P/Halley è stata visitata da cinque veicoli spaziali in pochi giorni, mentre la cometa 9P/Tempel 1 è stata incontrata due volte, in passaggi al perielio consecutivi. La linea continua per la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko rappresenta il periodo di due anni nei quali è stata studiata dalla sonda Rosetta.



Mosaico dei nuclei cometari visitati da sonde spaziali. In alto, da sinistra: 1P/Halley (sonda: Giotto, distanza: 1917 km); 19P/Borrelly (Deep Space 1, 3417 km); 81P/Wild 2 (Stardust, 238 km). In basso, da sinistra: 9P/Tempel 1 (Deep Impact, 500 km); 103P/Hartley 2 (EPOXI, circa 700 km); 67P/Churyumov-Gerasimenko (Rosetta, 64 km). Immagini non in scala.

Il passaggio della cometa di Halley del 1910

Il contesto italiano

L'Italia di inizio Novecento è un Paese in fermento: l'industrializzazione, per quanto geograficamente limitata in uno Stato ancora fortemente agricolo, contribuisce a posizionare la giovane nazione tra le grandi potenze europee e mondiali dell'epoca.

Le politiche dei governi di Giovanni Giolitti (1842-1928)¹²⁵ consentono una stabilizzazione economica del Paese liberale, lo sviluppo di diverse infrastrutture e attuano numerose riforme sociali, di cui beneficia anche la popolazione più povera, operaia e contadina – soprattutto al nord.

Ciò nonostante, l'Italia è ancora un paese con una vasta popolazione analfabeta¹²⁶ e con una divisione in classi molto marcata, in cui una piccola parte della popolazione può esprimersi politicamente: ne è un esempio l'ingresso italiano nel primo conflitto mondiale, dovuto al nazionalismo e all'interventismo di una piccola parte del ceto medio rispetto a una popolazione in maggioranza contraria.

Anche dal punto di vista culturale questi sono anni di fermento: al Positivismo che ha caratterizzato buona parte della Belle Époque, ed in opposizione al quale si inizia a sviluppare il Neoidealismo, si affiancano nuove tendenze molto diverse tra loro.

Dallo stile *Liberty*, che esalta l'artigianato in opposizione alla meccanizzazione industriale, alle avanguardie come il Futurismo¹²⁷, che esaltano invece le nuove tecnologie.

Nelle pubblicazioni dell'epoca, è così possibile trovare ancora argomenti che hanno caratterizzato l'Italia sin dall'Unità, come l'anticlericalismo liberale che parla della “tirannide sacerdotale”¹²⁸ e

¹²⁵ Nell'anno della cometa, il 1910, furono tuttavia in carica i governi di Sidney Sonnino (1847-1922) e Luigi Luzzatti (1841-1927) – quest'ultimo comunque di area giolittiana.

¹²⁶ Si passa dal 48% di analfabeti del 1901 a circa il 43% nel 1911.

¹²⁷ *Il Manifesto del Futurismo* fu pubblicato da Filippo Tommaso Marinetti (1876-1944) su diversi giornali nel febbraio 1909.

¹²⁸ Titolo di una conferenza presente nella rivista *Conferenze e Prolusioni*, II(3) (1909), una rivista quindicinale pubblicata dal 1907 al 1923.

che vede nella scienza qualcosa che “si evolve continuamente, [...] al contrario della Fede”¹²⁹, ma che le somiglia, poiché “quanto più le scienze o per la loro natura (come la matematica) o per i loro progressi (come la fisica) sono vicine alla perfezione, tanto più si accostano ad una specie di dogmatismo che non esito a definire di buona lega”¹³⁰.

Queste affermazioni sono tratte da una conferenza tenuta all’Università Popolare di Firenze il 9 novembre 1908, in cui lo psichiatra Eugenio Tanzi (1856-1934) indica come “doveri dell’insegnamento” quelli di “sintetizzare le nozioni più utili e dare uno schema, quanto è più possibile semplice, delle conquiste scientifiche” e spiega che:

“La scienza cresce, [...] come un’immensa città, che tutto assorbe; che si rinnova con demolizioni interne e con ricostruzioni periferiche; che cresce; che crea a sé stessa uffici sempre più alti e più nuovi, che plasma, mobilita, riscalda, alimenta, fortifica e rende – per quanto è possibile – sereno, se non felice, chi vive in essa e per essa.”¹³¹

Un’idea di scienza dogmatica, tipica di certi positivisti italiani, soprannominati “preti della scienza” dagli oppositori.

Ma nelle stesse pubblicazioni è possibile trovare anche la nuova esaltazione tecnologica, legata ai nuovi mezzi di comunicazione come la radio, il telegrafo senza fili, il treno e l’aereo.

Così si esprime il critico Ugo Ojetti (1871-1946) all’Associazione della Stampa di Roma, il 2 aprile 1909:

“La felicità, per essere piena e sicura, non può essere egoistica ma sociale, non può essere un oblio ma una azione; non può essere involontaria ma deve essere cosciente e intelligente e capace di misurare sé stessa sopra un metro preciso – cioè sulla diminuzione dell’infelicità altrui. Ebbene, per raggiungere questa felicità [...] è necessario che tutti gli uomini si conoscano l’un l’altro, [...] che la piccolezza del mondo entri nella coscienza d’ognuno [...] E questa reciproca conoscenza, questa pietà e questa fratellanza diffuse verranno, se verranno, un giorno proprio dalla rapidità e dalla facilità sempre maggiori dei mezzi di comunicazione fra gli uomini. [...] Le macchine [...]

¹²⁹ Eugenio Tanzi, “Crisi e rinnovamento nel progresso del sapere.”, in *Conferenze e Prolusioni*, II(6) (1909), 122.

¹³⁰ Eugenio Tanzi, *op. cit.* (nota 129), 122.

¹³¹ Eugenio Tanzi, *op. cit.* (nota 129), 122-123.

che domani [...] per mezzo della velocità rimpiccioliranno il mondo e ne faranno non pure una città ma una casa, non pure una patria ma una famiglia. [...] questa è la nostra speranza”¹³².

Le due conferenze citate sono tratte da una rivista pensata per gli intellettuali italiani¹³³. In essa sono riportate o riassunte numerose conferenze di intellettuali e docenti universitari italiani e stranieri (tradotte), sui più vari temi¹³⁴, compresi quelli astronomici.

Riviste pensate per un pubblico più ampio sono invece quelle di scienza popolare, che già dagli ultimi decenni dell’Ottocento riuscirono a raggiungere anche le donne della classe media e medio-bassa (non grazie ad un’azione mirata da parte di scrittori ed editori), contribuendo alla scelta di un percorso di studi scientifico – e in alcuni casi, ad una effettiva carriera scientifica – di circa un terzo delle studentesse universitarie.

Questo fenomeno è peculiare, perché mentre in altre nazioni europee con una comunità scientifica consolidata, come il Regno Unito, gli studi e la carriera scientifica delle donne non vengono agevolati – quando non ostacolati attivamente, nell’Italia unita e fino alla fine del primo conflitto mondiale molti scienziati incoraggiano le studentesse. La situazione cambierà negli anni Venti, con il consolidamento di una comunità scientifica nazionale¹³⁵.

Prima di analizzare alcuni articoli sulle comete apparse tra il 1909 e il 1910 su riviste di scienza per tutti, consideriamo come si parlava di comete nei quotidiani del periodo¹³⁶.

¹³² Ugo Ojetti, “Velocità e felicità.”, in *Conferenze e Prolusioni*, II(8) (1909), 164.

¹³³ Così apre il primo numero della rivista del 1910: “la redazione di CONFERENZE E PROLUSIONI nulla trascura per rendere il periodico sempre più vario, interessante, intellettuale”.

¹³⁴ A titolo di esempio, vi si trovano diversi studi letterari; questioni giuridiche, morali e sanitarie – come l’igiene in Italia; resoconti tecnici dal terremoto di Messina del 1908; molti discorsi del presidente americano Theodore Roosevelt (1858-1919); un discorso sulla politica estera tedesca del 29 marzo 1909, del cancelliere Bernhard von Bülow (1849-1929) al Reichstag, in cui il redattore nota come non venga mai nominata l’Italia, nemmeno nel contesto della Triplice alleanza.

¹³⁵ Paola Govoni, *op. cit.* (nota 11).

¹³⁶ Il passaggio della cometa di Halley era tema di attualità, ritrovandosi anche in qualche opera letteraria. Si vedano le *Appendici* in merito.

I giornali

I giornali sono un importante elemento della vita moderna, poiché contribuiscono alla diffusione delle informazioni e alla creazione dell'opinione pubblica, soprattutto in una società di massa quale quella che si sta sviluppando in Italia in questi anni.

Ma l'ampliamento del pubblico comporta anche alcune valutazioni etiche, come si può evincere dalle considerazioni del giornalista statunitense Henry Joseph Haskell (1874-1952):

“Perché, si domanda buona parte del pubblico, il giornale moderno è così poco curante della verità – per adoperare un eufemismo –, così frivolo, così dedito alla superficialità e al sensazionalismo, così avverso agli argomenti seri? Perché i dettagli e i particolari che esso narra sono quasi sempre errati o inventati di sana pianta? [...] Anche se non si voglia attribuire alla stampa il compito di plasmare l'opinione pubblica, non può negarsi che essa la desta e l'unifica quando non la dirige. [...] Una delle accuse che viene mossa spessissimo, e non sempre a torto, al giornalismo moderno, è la sua spiccata, quasi morbosa tendenza verso tutto ciò che è sensazionale. Ma ciò non deve sorprendere, perché è appunto il pubblico che, senza confessarlo, desidera il sensazionalismo.”¹³⁷

Considerazioni simili esprime il giornalista inglese Henry William Massingham (1860-1924):

“In genere si può dire che la stampa moderna prende un indirizzo sempre più commerciale, [...] è più libera, più indipendente, ma molto meno seria, e non ha altro oggetto che quello di soddisfare i gusti, i sentimenti, le opinioni comuni del pubblico. [...] Adattandosi a queste masse incolte, assetate di piaceri, impressionabili, volubili, la stampa popolare ha finito col rifletterne le deficienze e i difetti: e primo fra tutti la curiosità, una curiosità meschina, inquisitiva, che si contenta d'illusioni romantiche nutrite da invenzioni fantastiche o da pettegolezzi sociali. [...] dobbiamo ricordare ch'è esso [il giornalismo moderno] pure un prodotto dei tempi.”¹³⁸

Nel 1910, in Italia si hanno diversi quotidiani abbastanza diffusi – con tirature dalle decine alle centinaia di migliaia di copie. In una nazione con un alto tasso di analfabetismo, sicuramente i

¹³⁷ Henry Joseph Haskell, “Il pubblico e il problema del giornale”, in *Conferenze e Prolusioni, II*(18) (1909), 362-364. La conferenza riportata fu tenuta a Kansas City il 9 novembre 1908.

¹³⁸ Henry William Massingham, “La stampa moderna e il suo pubblico”, in *Conferenze e Prolusioni, III*(19) (1910), 376-379. Conferenza tenuta al Trinity College di Dublino.

quotidiani hanno un'influenza limitata rispetto a quanto avviene in altri Stati, ma la loro diffusione è certamente maggiore rispetto a quella di riviste specializzate.

Per vedere come si è parlato delle comete nel periodo del passaggio della cometa di Halley si è scelto di considerare un solo quotidiano campione.

La prima idea è stata considerare un quotidiano importante per Bologna, poiché il fisico Augusto Righi qui ha condotto la maggior parte della sua attività, compresa la conferenza da cui è ricavato il volume *Comete ed elettroni* analizzato più avanti¹³⁹.

Il quotidiano più importante di Bologna nel 1910 è *Il Resto del Carlino*, ma “purtroppo non esiste un archivio consultabile online. Inoltre in quegli anni l'archivio non esisteva.”¹⁴⁰

Si è allora guardato il primo quotidiano nazionale, *Il Corriere della Sera*, ma l'archivio online non risultava di comodo accesso.

Infine, si è selezionato un altro quotidiano importante e pubblicato ancora oggi, molto diffuso nel nord Italia del 1910, *La Stampa*. Nel suo archivio storico online¹⁴¹ sono stati cercati gli articoli che parlano di comete tra il 1909 e il 1911, cioè dall'anno in cui la cometa di Halley poteva essere avvistata da un Osservatorio fino a un periodo in cui la cometa poteva potenzialmente dare ancora notizia (comunicazione di nuovi risultati, uso della cometa come metafora in casi giornalistici).

Nei tre anni considerati, i termini “cometa” o “comete” appaiono in 128 edizioni del quotidiano, ma eliminando errori di indicizzazione e gli annunci delle date di uno spettacolo in un teatro torinese, il numero di edizioni si riduce a 64.

Di queste, 8 sono del 1909, 51 del 1910 e le restanti 5 del 1911.

Possiamo poi trascurare le edizioni del 1911, poiché questi casi si riducono a brevi trafiletti in cui si annuncia la scoperta di qualche nuova cometa¹⁴².

Gli articoli del 1909 mostrano invece l'inizio dell'attesa per il ritorno della cometa di Halley. Nell'editoriale del 2 febbraio 1909, intitolato “La guerra e la cometa.”, l'astronomia si intreccia con la politica:

¹³⁹ Per informazioni su Augusto Righi e la sua conferenza si rimanda ai successivi capitoli.

¹⁴⁰ Da una comunicazione privata con la redazione del quotidiano.

¹⁴¹ La Stampa – Archivio Storico dal 1867: <http://www.archiviolaStampa.it/>.

¹⁴² Un solo articolo riguarda altro: l'astronomo Annibale Riccò spiega cosa è un bolide, a seguito della notizia di uno di questi oggetti passato sui cieli della Sicilia.

“La Triplice – che è stata un’alleanza pacifica – essendo prossima alla fine, molti hanno il terrore che la nascita Quadruplice anglo-francese-italo-russa [...] debba essere necessariamente una lega bellicosa [...] che faccia scoppiare la guerra europea. [...] Ma in realtà, fra tutte le maniere di stragi con le quali si può giuocare una mezz’ora di conversazione, la guerra europea è forse quella di cui è lecito discorrere con maggiore serenità di antiveggenza e anche con più larga profusione di motti spiritosi. Perché questo disastro [...] è impossibile. Se ci diverte di evocare la fine del mondo, possiamo scegliere fra la guerra europea e la cometa che porterà via la terra, nella sua coda fiammante come lo strascico di una signora [...] io ho più paura della cometa che della conflagrazione internazionale. [segue resoconto dei costi che la guerra avrebbe per i vari Stati.]”

Altri articoli riguardano invece le previsioni di alcuni scienziati allarmisti, che il giornalista presenta con ironia. È il caso degli annunci degli astronomi Percival Lowell e Camille Flammarion, che sono accolti da affermazioni quali: “Non è la prima volta che un uomo di scienza ha preso in considerazione la possibilità della fine del mondo.”; “Ma le comete, che potrebbero, seguendo l’ipotesi di Flammarion, asfissiarci tutti, sono in fatto delle brave persone. Si direbbe che si calmano con l’allegria. È forse per questa ragione che le comete precedenti passarono senza fare del male?”¹⁴³. A queste e altre battute che richiamano anche i *vaudeville*, seguono considerazioni sulla possibilità o meno dell’incontro tra la coda della cometa di Halley e la Terra, ritenuta improbabile. Si accenna poi alla possibile presenza del gas cianogeno nella coda, un composto di carbonio e azoto particolarmente tossico e infiammabile.

Infine, alcuni articoli intorno alla metà del settembre 1909 annunciano l’avvenuto ritrovamento della cometa di Halley grazie alla sensibilità delle lastre fotografiche (la cometa è ancora troppo debole per essere osservata direttamente al telescopio). La scoperta è anche occasione per cenni retorici su “quella nebulosità che ha avuto una parte assai grande nella storia cometaria attraverso i secoli e che tanti occhi hanno contemplato prima con spavento e poi con sorpresa ed ammirazione” e la scienza: il ritorno della cometa di Halley “ha meravigliosamente confermato le leggi che regolano la gravitazione universale e quello che attualmente accade ci dimostra ancora di più la precisione e la grandezza della scienza astronomica.”¹⁴⁴

¹⁴³ Si tratta, rispettivamente, dei quotidiani del 5 aprile e del 8 dicembre 1909.

¹⁴⁴ Entrambe le citazioni si trovano nella rubrica “Arti e Scienze”, sul quotidiano del 16 settembre 1909, 5.

Per quanto riguarda il 1910, la cometa di Halley era prevista superare l'orbita terrestre per avvicinarsi al Sole intorno al 20 marzo, raggiungere il perielio il 21 aprile e incrociare l'orbita terrestre circa un mese dopo. La previsione era che la Terra passasse attraverso la coda della cometa nelle prime ore del mattino del 19 maggio.

Gli articoli de *La Stampa* sono quindi concentrati soprattutto nella prima metà dell'anno. I pezzi che accennano a comete da luglio a dicembre sono trafiletti riferiti alla scoperta di altre comete da parte di Osservatori e il necrologio di Schiaparelli.

Il 1910 si apre con l'attesa dell'incontro con la cometa di Halley, ma dalla seconda metà di gennaio a fine febbraio gli articoli sono concentrati tutti su un ospite inatteso: la **Grande Cometa del 1910** (C/1910 A1). Si parla delle osservazioni da varie città italiane ed europee e delle superstizioni che la accompagnano presso la popolazione.

Le sono attribuite le alte temperature di Torino, l'inondazione di Parigi, il cattivo meteo nel Fiorentino e altre note di colore dall'estero, come: “La notizia dell'apparizione della cometa [...] ha messo la popolazione in profondo terrore. La gente smarrita percorre le strade tutta la notte. La guardia notturna [prega] il ministro dell'interno di volere intervenire presso l'istituto meteorologico per invitarlo ad allontanare questa pericolosa cometa dalle vicinanze dell'Ungheria.”¹⁴⁵

Padre Giovanni Boccardi (1859-1936), direttore dell'Osservatorio di Torino, interviene spesso in merito alle due comete, con brevi comunicazioni o interviste che il giornalista trasforma in veri e propri racconti rassicuranti.

Del resto, i pareri dei vari astronomi citati negli articoli sono in genere ottimisti: o il passaggio della Terra attraverso la coda della cometa non avverrà, o avverrà senza conseguenze diverse da qualche colorazione atmosferica, stelle cadenti e variazione nelle misure di magnetismo terrestre. L'avvelenamento da cianogeno sembra più un timore di alcuni giornalisti – che cercano conferme dai fisiologi, che un reale timore degli astronomi, i quali evidenziano la scarsa quantità del gas in una coda rarefatta.

¹⁴⁵ “Il ricatto della cometa” (1910, febbraio 9). *La Stampa*, p. 6.

Da marzo l'attenzione torna alla cometa di Halley, la quale "si mostrerà a noi [e] vorrà anche farci una carezza, o, meglio, scoparci con la sua coda. In termini più scientifici, la terra passerà, verso la metà di maggio, attraverso la coda della cometa di Halley."¹⁴⁶

Il numero di articoli cresce avvicinandosi all'evento di maggio, per poi scemare entro metà giugno. Molti pezzi raccontano dei timori superstiziosi delle popolazioni contadine italiane ed estere, che attribuiscono alla cometa eventi meteorologici e la morte del re inglese Edoardo VII; altri articoli riguardano singoli episodi comici o tragici causati dal timore della cometa e come alcuni governi europei cerchino di limitare questi comportamenti.

Si moltiplicano le interviste agli astronomi, che spiegano la struttura delle comete ("La materia tutta di una cometa può essere rinchiusa in una borsetta da signora"¹⁴⁷), le informazioni ottenute tramite la spettroscopia e cosa potrebbe accadere in un incontro tra la Terra e la coda: "i gas [della coda] potrebbero mescolarsi con l'aria, e sarebbe come se in aperta campagna si aprisse un recipiente contenente del gas. La alterazione dell'aria sarebbe minore di quella che circonda le officine industriali o di prodotti chimici, ove pare si svolgono gas asfissianti o venefici"¹⁴⁸, ma commentano anche gli "inconsci, stupidi timori della fine del mondo, le paure tragicomiche dell'anno mille."¹⁴⁹

Da quando, l'11 maggio, la cometa di Halley diventa effettivamente visibile – sebbene a un'ora "un poco incomoda"¹⁵⁰, tutti gli articoli sembrano richiamare il prossimo incontro che diventa l'argomento di attualità fino a poco dopo il 20 maggio.

Così, in un pezzo su un dibattito si legge: "Anche il processo ha avuto dunque la sua cometa di Halley"¹⁵¹, e il giornale si riempie di articoli di colore su Edmond Halley, sui precedenti passaggi della cometa dall'antichità (cui sono associati eventi della storia umana), pubblicità a tema e pezzi ironici.

Nei quotidiani del 19 e del 20 maggio si racconta cosa è accaduto nella notte, tra ritrovi più timorosi e più festivi o culturali nelle varie zone e città d'Italia e del mondo¹⁵².

¹⁴⁶ "Giornali e riviste" (1910, marzo 22). *La Stampa*, p. 3.

¹⁴⁷ "La cometa di Halley secondo l'opinione del prof. Riccò" (1910, aprile 23). *La Stampa*, p. 3.

¹⁴⁸ "Il 19 maggio potrebbe piover sassi" (1910, aprile 25). *La Stampa*, p. 2. L'affermazione è di Annibale Riccò.

¹⁴⁹ "La cometa d'Halley e i vari pareri degli astronomi" (1910, aprile 20). *La Stampa*, p. 2. L'affermazione è di Giovanni Virginio Schiaparelli.

¹⁵⁰ "La cometa è visibile" (1910, maggio 11). *La Stampa*, p. 5.

¹⁵¹ "L'avv. Carnelutti continua ad infierire contro Maria Tarnowsky assente" (1910, maggio 13). *La Stampa*, p. 4.

¹⁵² Per quanto riguarda l'Italia, tra gli episodi festivi si accenna ad esempio di come a Milano e Roma alcuni ragazzi avessero sfilato per le vie della città "vestiti da astronomi, con lunghi cappelli di carta e con grandi cannocchiali" o "astronomi dalle lunghe barbe, dalle lunghe toghe e dagli ancor più lunghi copricapi" o come "astronomi da strapazzo [...] vestiti di nero col cappello a cilindro [...] portando un lungo tubo di ferro che voleva figurare un telescopio e con

In generale, traspare delusione perché non si è visto niente né a livello popolare né astronomico: tra gli astronomi ci sono opinioni diverse sul fatto che l'incontro tra la Terra e la coda della cometa ci sia effettivamente stato.



Esempi di pubblicità apparse nel maggio 1910 su *Il Corriere della Sera* e *La Stampa*.



La cometa non sarà più visibile tra fine maggio e inizio giugno; i pochi trafiletti sui quotidiani in questi giorni riportano qualche notizia dalle prime misure e continuano con l'ironia: “Valeva la pena di far tanto chiasso per una cometa che è assai meno bella di quella di gennaio...”¹⁵³.

L'attenzione ricevuta dagli astronomi in questi mesi non fu poca; così, commentando un'eclisse di luna avvenuta la notte precedente, a novembre un giornalista scrive: “Gli astronomi, che, con la cometa, avevano avuto un quarto d'ora, anzi, un quarto di mese di celebrità, da qualche tempo non erano più intervistati e, non sapendo più che fare in terra, erano costretti, per disperazione, ad occuparsi del cielo.”¹⁵⁴

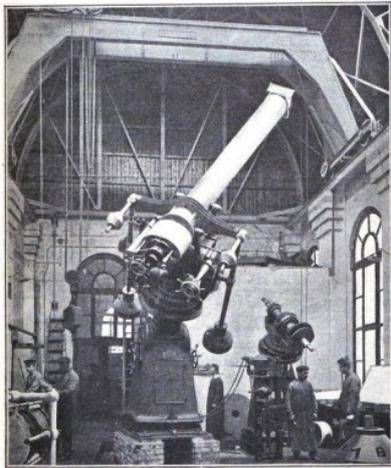
La Scienza per tutti

Dopo aver visto come si parla delle comete in un quotidiano generalista, si è guardato come se ne tratta in una rivista specializzata, non già nella sola astronomia, ma in argomenti tecnico-scientifici in generale. Si è scelto di guardare a una rivista di scienza popolare poiché esse potevano raggiungere una popolazione potenzialmente più ampia rispetto a pubblicazioni monografiche, grazie ai costi in genere più contenuti.

sopra un cartello, dove [avevano scritto]: «Alla ricerca della cometa», o di come le comitive di giovani “profittavano dell'occasione per «flirtare», mentre a Napoli ci fu “l'idea di spaventare i passanti mediante l'odore delle mandorle amare, che, come si sa, è caratteristico del cianogeno.”

¹⁵³ “Cometa in cielo e pace in terra” (1910, maggio 28). *La Stampa*, p. 6.

¹⁵⁴ “L'eclisse di luna della scorsa notte” (1910, novembre 17). *La Stampa*, p. 5.



IL GRANDE TELESCOPIO EQUATORIALE DEL DIAMETRO DI 30 CENTIMETRI recentemente installato allo Stabilimento "Urania" di Zurigo.

Copertina della rivista *La Scienza per Tutti*.

Come rivista campione si è scelta *La Scienza per tutti*, un quindicinale pubblicato dal 1879 al 1943, una delle più longeve riviste di questo genere in Italia, sebbene con lunghe interruzioni e una storia assai accidentata, caratterizzata da uno stile fortemente didattico¹⁵⁵, i cui intenti sono così espressi nel frontespizio:

“La **Scienza per tutti** si rivolge ugualmente agli uomini di scienza ed ai profani. Intesa a vulgarizzare le più grandi conquiste del pensiero scientifico contemporaneo, essa rappresenta una vera e propria Enciclopedia di tutte le scienze e una palestra libera e sempre aperta alla discussione dei più importanti ed interessanti problemi scientifici.”

In questa rivista, tra gli articoli firmati, sono stati pubblicati pezzi di Augusto Righi¹⁵⁶.

La ricerca è stata fatta sui numeri degli anni dal 1909 al 1911¹⁵⁷. Sono stati trovati 9 articoli a tema comete: 3 nei fascicoli del 1909, 6 in quelli del 1910 e nessuno nel 1911.

Dei tre articoli del 1909, uno consta in una lettera di un conte sulla cometa di Halley, accompagnata dall'immagine del percorso previsto per la cometa e da due dettagli di fotografie che la ritraggono, fatte dall'Osservatorio di Yerkes negli ultimi giorni di settembre, commentate.

Un altro riguarda le comete in generale, risultando celebrativo delle conoscenze che se ne hanno e che parzialmente elenca, accompagnato da una serie di disegni che mostrano possibili forme di questi corpi celesti.

L'ultimo articolo, firmato da Pio Emanuelli (1888-1946)¹⁵⁸, riguarda la cometa di Halley. Rivolgendosi direttamente al lettore, parla del telegramma con cui è stata annunciata l'osservazione della cometa su una lastra fotografica¹⁵⁹, di quando la cometa sarà al perielio e di quando diventerà

¹⁵⁵ Ne accennano Silvia Bencivelli e Francesco Paolo de Ceglia, *Comunicare la scienza* (Roma: Carocci, 2013), 22.

¹⁵⁶ Nelle annate considerate è stato in particolare trovato il suo articolo “I nuovi raggi magnetici”.

¹⁵⁷ I volumi dal 1879 al 1895 e dal 1909 al 1928 si trovano digitalizzati sul sito della Biblioteca Nazionale Centrale di Roma: <http://digitale.bnc.roma.sbn.it/tecadigitale/emeroteca/classic/TO00194960>.

¹⁵⁸ Pio Emanuelli sarà astronomo a Roma a partire dal 1910. Questo è il solo articolo firmato dall'autore trovato sulle comete in *La Scienza per tutti*, ad eccezione di quelli tradotti di Camille Flammarion.

¹⁵⁹ Il ritrovamento avvenne il 12 settembre 1909, annunciato dall'astronomo Max Wolf (1863-1932) dell'Osservatorio di Heidelberg.

visibile, di come potrebbe apparire. Racconta della possibile congiunzione tra la cometa e un'eclisse di Sole che sarà visibile in Tasmania l'anno successivo. Chiude poi con retorica celebrativa:

“la predizione del nuovo astro, le posizioni nel cielo che esso avrebbe dovuto occupare, furono calcolate in anticipo con tanta sicurezza e precisione da far andare superbo chiunque a cui stia a cuore il progresso ed il perfezionamento della Scienza. Progresso e perfezionamento! Oggi, nel 1909, abbiamo rintracciato la cometa mediante uno dei più grandi e potenti mezzi che possiede l'astronomia, il fotografico, circa 200 giorni prima che essa passasse al perielio; nell'ultima apparizione del 1835 fu scoperta mediante il semplice cannocchiale, solo 101 giorni prima; nell'antecedente apparizione del 1759, ad occhio nudo, da un contadinello chiamato Palitsch, appena 75 giorni avanti. [...] Oggi [...] due cose ci colpiscono profondamente: il meccanismo perfetto e mirabile delle forze che reggono l'Universo, e l'alto valore scientifico dell'uomo, di questo essere immensamente piccolo, il quale è pervenuto alla conoscenza di quelle leggi che regolano l'immensamente grande.”

Dei sei articoli del 1910, due sono brevi trafiletti: uno riguarda il telescopio con il quale la cometa di Halley era stata inizialmente individuata nel 1909, l'altro elenca le comete osservate e attese durante l'anno.

Degli altri quattro, tre sono attribuiti a Camille Flammarion, ma tutti sembrano, almeno in parte, essere delle traduzioni rimaneggiate dagli articoli del *Bulletin de la Société astronomique de France* del 1910¹⁶⁰.

In un articolo si danno le prime informazioni osservative e spettroscopiche sulla Grande Cometa del 1910, negli altri si parla della cometa di Halley. Il primo parla del “Probabile incontro della cometa di Halley colla Terra”:

“questa volta la cometa di Halley riserva forse agli umani una sorpresa poco piacevole. [...] non è escluso il caso che [la coda] della cometa di Halley possa venire a contatto con la Terra. Senza tornare su quanto ho espresso nel mio libro *La fine del Mondo*, possiamo dire che la nostra ignoranza rispetto al genere di morte o di vita che tale incontro ci riserverebbe è completa. Non è

¹⁶⁰ I volumi del *Bulletin de la Société astronomique de France* si trovano digitalizzati sul sito della biblioteca digitale della Biblioteca Nazionale di Francia, Gallica: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9671976r/f13.image>.

probabile che l'umanità perisca per avvelenamento prodotto da gas deleteri della coda della cometa. Una combinazione fra l'ossigeno dell'atmosfera e l'idrogeno della cometa, vorrebbe dire la soffocazione completa del genere umano. Se invece avvenisse una diminuzione di azoto, la razza umana perirebbe in un parossismo di gioia, di delirio e di follia universale. L'ossido di carbonio porterebbe invece l'intossicazione dei polmoni. Ma l'analisi spettrale non ci ha ancora rivelato quali gas predomineranno nella coda della cometa. Questi pronostici non devono del resto inquietarci oltre misura. È bensì vero che le code delle comete sono [...] talmente rarefatte, talmente tenui, che la nostra Terra può passare come una massa di piombo a loro confronto.”

Nel secondo articolo sono invece riassunti “in forma breve, concisa e da tutti comprensibile” i dati noti, si accenna ad alcune misure che verranno fatte in occasione dell'incontro di maggio (come l'invio di palloni sonda e la liquefazione dell'aria per cercare residui dei gas della cometa) e alla storia delle osservazioni della cometa – e alle superstizioni passate e presenti.

Si esalta il “progresso delle Scienze” che permetterà di determinare le sostanze che compongono un oggetto celeste che “riappare periodicamente e regolarmente durante un lasso di tempo di venti secoli”, il cui nucleo si pensa costituito “da uno sciame di meteore che stanno in una piccola quantità di gas molto rarefatti. Queste meteore devono distare di molto l'una dall'altra, poiché si può, attraverso i loro interstizi, distinguere lo sfondo del cielo.”

Infine, l'articolo si inserisce nelle polemiche nate dalle dichiarazioni di Flammarion: “Non possiamo chiudere questi cenni senza dire una parola degli attacchi mossi contro il Flammarion per quanto egli ha esposto. Le sue intenzioni vennero, forse ad arte, svisate, e si è voluto coprire di ridicolo il vecchio ed insigne astronomo francese [...] Contrariamente a quanto vogliono far credere [...] il Flammarion si è ben guardato dal dire che la Terra potrebbe perire per un incontro colla cometa di Halley, e più specialmente colla sua coda. Egli ha fatto semplicemente rilevare quello che *potrebbe* accadere, senza affermare e senza negare, con quella scienza suprema che consiste nel dire: *Non so*, dove sapere non si può.”

L'ultimo articolo riguarda “la disillusione del 19 maggio”:

“Avevo, in un mio precedente articolo, diviso l'umanità nelle due categorie delle persone istruite e del gran pubblico, timoroso quest'ultimo più o meno degli effetti possibili del passaggio della cometa di Halley attraverso l'orbita terrestre, tranquille di tutto punto le prime. Ed accennavo ad

una possibile disillusione che avrebbe colpito il gran pubblico, qualora, nella notte dal 19 al 20 maggio, non fosse successo veramente nulla. In quella notte tanto temuta da tanti, non succedette proprio niente, e grande fu la disillusione della maggior parte dell'umanità.”

Rispetto all'articolo originale nel *Bulletin*, in cui si riportano in quasi quaranta pagine i risultati di numerose osservazioni scientifiche fatte in tutto il mondo il 19 maggio, l'articolo de *La Scienza per tutti* accenna a qualche risultato straniero, per poi concentrarsi sull'unico contributo italiano:

“Il prof. Millosevich, che con cura particolare ha osservato l'astro durante le tre settimane precedenti al 19 maggio, ha constatato infatti che la coda seguiva una linea retta, ma che aveva delle tendenze a deviare leggermente. Osservandola il 19 mattina, al momento stesso in cui avremmo dovuto essere immersi nella coda, poté scorgerla nettamente prima del levar del Sole, allungandosi fino alla stella Altare nella costellazione dell'Aquila. [...] Sono queste le osservazioni più importanti che si siano fatte sulla coda della cometa, e son degne di tutta la nostra fiducia.”

L'articolo si conclude sempre sulle note della delusione, ma con l'esaltazione della Scienza:

“Questa cometa di Halley ha fatto triste figura nelle sue tre ultime apparizioni, del 1759, del 1835 e del 1910. Si è anche prestata assai poco a delle investigazioni astronomiche. Pure, le sue posizioni che poterono venir osservate affermano ancora una volta il trionfo del calcolo, perché corrispondono, giorno per giorno, a quelle calcolate, dal settembre ultimo ad ora.”

Le conferenze degli astronomi

Nel 1910 in Italia una cinquantina di persone si occupa a livello professionale di astronomia¹⁶¹, tra università e Osservatori. Oltre a intervenire sui giornali, come visto nei paragrafi precedenti, diversi sono attivi con conferenze pubbliche.

Nei volumi consultati di *Conferenze e Prolusioni*¹⁶² abbiamo trovato i riassunti di due conferenze del già incontrato padre Giovanni Boccardi¹⁶³, all'epoca direttore dell'Osservatorio di Torino, e di

¹⁶¹ Questo dato è ricavato dall'archivio Inaf “Astronomi in Italia dall'Unità ai nostri giorni”: <http://www.astropa.inaf.it/archivio-storico/astronomi/>. Ultimo accesso: 1 agosto 2022.

¹⁶² Corrispondenti alle annate 1909 e 1910 della rivista.

¹⁶³ Per una nota biografica degli astronomi italiani qui citati si rimanda alle *Appendici*.

due conferenze tenute da Giovanni Celoria (1842-1920), allora direttore dell'Osservatorio astronomico di Brera (Milano). Una conferenza di Elia Millosevich (1848-1919), direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano, è invece riportata per intero e se ne parlerà diffusamente più avanti.

Le due conferenze di Boccardi riguardano tematiche generali di astronomia e dei limiti tra scienza e filosofia di alcune domande. Nella prima, *Segrete cose*¹⁶⁴, l'astronomo tratta dell'origine e della costituzione degli astri e della possibilità di vita aliena in essi: “sono o no gli astri abitati? Codesta è questione più di filosofi che di astronomi [che] non negano che negli astri possano esistere degli esseri viventi, ma sino ad ora la scienza non ha assolutamente potuto accertare l'esistenza [...] e solo può dire che, se esistono, sono esseri di costituzione, per necessità ambientale del tutto diversa da quelli che abitano sulla terra.”

Nella seconda, *Donde vengono gli astri?*¹⁶⁵, tratta dell'evoluzione del sistema cosmogonico dal Settecento al presente e conclude che: “La scienza procede per gradi, perfezionando sempre più i suoi mezzi d'investigazione. Lo scopo immediato è il riconoscere le leggi secondo [cui] accadono i fenomeni. La ricerca delle cause ultime sfugge alla scienza.”

Le due conferenze di Celoria parlano invece di comete. La prima, *Grandezza e decadenza di una cometa*¹⁶⁶, tratta del progressivo aumento di corpi noti nel sistema solare, che una volta scoperti rendono però giustizia della precisione e attendibilità dei calcoli orbitali raggiunta. L'astronomo spiega che le comete sono numerose e non tutte note, per la difficoltà a prevederne l'esistenza, e quindi è ancora possibile che, oltre agli astronomi “cercatori di comete” professionisti, a trovarle siano astronomi dilettanti, come nel caso della Grande Cometa del 1910 appena rinvenuta e della quale si afferma che “essa fu sempre abbastanza lontana dalla terra perché non sia mai esistito il pericolo di uno *scontro*, con la sua coda e tanto meno col nucleo.”

Nella seconda, *Supposte influenze e pericoli delle comete*¹⁶⁷, l'astronomo racconta, smontandole, di come le superstizioni antiche sulle comete si siano a volte trasmesse anche negli studi astrofisici,

¹⁶⁴ Giovanni Boccardi, “Segrete cose”, in *Conferenze e Prolusioni*, II(8) (1909), 152. La conferenza fu tenuta a Palazzo Madama a Torino, sede dell'Osservatorio, il 23 dicembre 1908.

¹⁶⁵ Giovanni Boccardi, “Donde vengono gli astri?”, in *Conferenze e Prolusioni*, III(9) (1910), 180. La conferenza fu tenuta all'Università popolare torinese, il 21 aprile 1910. Se ne trova traccia, a conferenza avvenuta, anche in un trafiletto de *La Stampa* del 1910.

¹⁶⁶ Giovanni Celoria, “Grandezza e decadenza di una cometa”, in *Conferenze e Prolusioni*, III(3) (1910), 59-60. La conferenza fu tenuta al Circolo Filologico di Milano, il 30 gennaio 1910.

¹⁶⁷ Giovanni Celoria, “Supposte influenze e pericoli delle comete”, in *Conferenze e Prolusioni*, III(9) (1910), 178-180. La conferenza fu tenuta al Circolo Filologico di Milano, il 16 febbraio 1910.

in cui l'idea di influenze dirette delle comete sulla Terra ha generato varie ipotesi: il calore e la radiazione solare focalizzati o ostacolati dalla cometa disturbano con fenomeni calorifici ed elettrici l'equilibrio atmosferico, provocando fenomeni meteorologici intensi (cicloni, meteore, piogge diluviali); la massa dispersa dalle comete può finire nell'atmosfera e portare germi pestilenziali o gas irrespirabili (come gli idrocarburi); l'azione gravitazionale del nucleo solido di una cometa che passasse molto vicina potrebbe strappare la Luna dall'orbita intorno alla Terra, generare enormi maree¹⁶⁸, cambiare l'asse dell'eclittica del pianeta o alterarne l'orbita intorno al Sole. Celoria ammette che non si sa con certezza cosa succederebbe se il nucleo di una cometa e la Terra si scontrassero, ma parlando dell'incontro con la coda conclude: “La tenuità della massa della cometa [è tale che] la terra non ha nulla da temere, così come non ha nulla da temere il Monte Bianco quando viene investito da una nuvola, [...] questa certezza giunge assai opportuna, poiché l'eventualità del passaggio della terra attraverso alla coda d'una cometa si realizzerà assai probabilmente tra poco, a proposito della cometa di Halley.”

Si può quindi notare come gli astronomi nel 1910 siano stati attivi nel cercare di tranquillizzare il pubblico rispetto ai timori nati con l'attesa della cometa di Halley, anche se non sempre efficaci – forse anche solo per la possibile platea che erano in grado di raggiungere realmente.

La conferenza di Millosevich verrà analizzata in un prossimo capitolo, messa a confronto con il volume *Comete ed elettroni* di Augusto Righi, frutto di una analoga conferenza tenuta nel periodo del passaggio della cometa di Halley. Prima però si vuole raccontare chi era il fisico Augusto Righi, anche per motivare l'interesse per il passaggio di una cometa da parte di uno scienziato che non si era occupato di questi corpi celesti.

¹⁶⁸ Qui Celoria cita un episodio avvenuto alla fine del Settecento in Francia, analizzato in Ilaria Ampollini, *op. cit.* (nota 69, 2019).

Augusto Righi

*È tra essi Augusto Righi il più grande continuatore del pensiero dell'Hertz, la cui opera sulla ottica delle oscillazioni elettriche è un monumento della sua mirabile attività nei campi più delicati della fisica. In questi ultimi tre lustri, mentre tramontava la meccanica classica, mentre le idee sorte da Rankine e da Ostwald andavano conquistando terreno, mentre la critica matematica entrava direttamente nelle scienze fisiche, mentre gli ideali edifici dell'atomo subivano scosse vivaci e gli elettroni venivano formando la nuova scheletrizzazione dell'energia, il Righi rappresentava con pochi altri il manipolo italiano, che con sicurezza affrontava i problemi nuovi della costituzione delle masse e della natura dell'energia. [...] l'opera di Pacinotti, di Ferraris e di Righi basta a mantenere la secolare grandezza italiana nella fisica sperimentale. E se la telegrafia e la telefonia senza fili trovano in Hertz il primo padre, debbono riconoscere in Righi l'ispiratore più diretto.*¹⁶⁹

Augusto Raffaele Luigi Francesco Maria Righi¹⁷⁰ è stato “il fisico più eminente che abbia avuto l'Italia dall'epoca di Alessandro Volta”. In questi termini ne parlava Orso Mario Corbino (1876-1937) alla commemorazione di Righi svolta nel 1921 all'Accademia dei Lincei¹⁷¹.

Pietro Cardani (1858-1924) evidenziava su *Il Nuovo Cimento*¹⁷²:

“Si può ben dire che, in questi ultimi cinquant'anni, ogni nuova scoperta o importante questione, riguardante specialmente l'ottica, l'elettricità e il magnetismo e le loro reciproche relazioni, abbia ricevuto il poderoso contributo di Augusto Righi, mentre Egli stesso, con lavori suoi originali, apriva nuovi campi all'indagine scientifica. Aveva però qualche argomento preferito, sul quale

¹⁶⁹ Ernesto Bertarelli, “Trenta anni di vita delle scienze sperimentali in Italia”, in *Conferenze e Prolusioni, II*(20) (1909), 388. Discorso del direttore dell'Istituto d'Igiene per l'inaugurazione dell'anno accademico 1908-1909, tenuto nell'aula magna della R. Università di Parma.

¹⁷⁰ Il nome completo risulta dalla pagina sul senatore Augusto Righi dell'Archivio Storico del Senato della Repubblica: <https://notes9.senato.it/web/senregno.nsf/e56bbbe8d7e9c734c125703d002f2a0c/d295e83dafa738b74125646f005f0764?OpenDocument>. Ultimo accesso: 1 agosto 2022.

¹⁷¹ Antonio Rostagni, *Augusto Righi e la sua opera a mezzo secolo dalla scomparsa. 11 dicembre 1971* (Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 1972), 3.

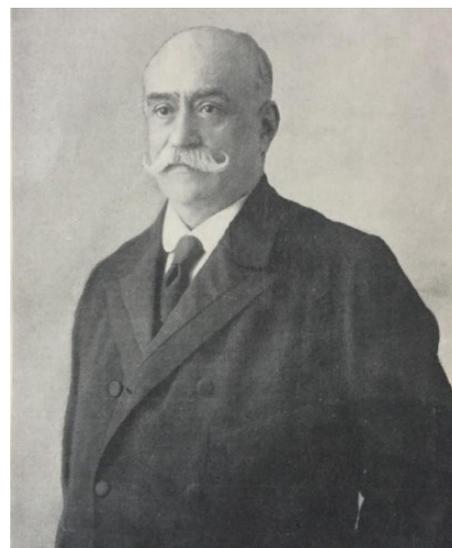
¹⁷² Pietro Cardani, “In Memoria di Augusto Righi”, in *Il Nuovo Cimento*, 21, 58 (1921).

ritornava volentieri, per colmare qualche lacuna, per coordinare le sue esperienze alle nuove vedute.”

Questi sono solo alcuni esempi delle celebrazioni che sono state tributate ad Augusto Righi non solo dopo la scomparsa, ma anche in vita, come testimoniato anche dal volume *Le feste giubilari di Augusto Righi per la inaugurazione del nuovo Istituto di Fisica*¹⁷³, che univano le celebrazioni per i venticinque anni di insegnamento universitario del fisico con l'inaugurazione del nuovo istituto¹⁷⁴. Ma chi era Augusto Righi?

Cenni biografici

Augusto Righi nacque a Bologna il 27 agosto 1850. Della sua formazione¹⁷⁵ è importante ricordare la frequentazione del Regio Istituto Tecnico di Bologna fino al 1867, dove ebbe tra gli insegnanti Antonio Pacinotti (1841-1912), al cui posto subentrerà nel 1873. Dal 1867 Righi frequentò il corso di laurea di Matematica dell'Università di Bologna e, dopo i quattro anni previsti del corso, frequentò l'anno integrativo per diplomarsi come Ingegnere civile e architetto¹⁷⁶ nel 1872. In questi anni era già stato inserito come assistente del professore di fisica nell'ateneo e dal 1877 otterrà la libera docenza in fisica presso l'Università di Bologna.



Augusto Righi.

Nel 1880 lasciò il posto all'Istituto Tecnico e divenne professore ordinario di Fisica Sperimentale alla Scuola di applicazione per ingegneri presso l'Università di

¹⁷³ *Le feste giubilari di Augusto Righi per la inaugurazione del nuovo Istituto di Fisica (XII aprile MCMVII)* (Bologna: Zanichelli, 1907).

¹⁷⁴ Si tratta dell'edificio che è oggi la sede storica, in via Irnerio 46, del Dipartimento di Fisica e Astronomia “Augusto Righi” – DIFA dell'Università di Bologna.

¹⁷⁵ La biografia di Augusto Righi è ricavata dagli articoli: Giorgio Dragoni, “Augusto Righi: Fisico e Matematico – una rilettura biografica”, in *Quaderni di Storia della Fisica*, 19(1) (2017); Matteo Leone, Nadia Robotti, “Augusto Righi”, in *Giornale di Fisica*, 61(3) (2020); Eugenio Bertozzi, “Augusto Righi and the intuition of the experiment. A scientific portrait of one of the leading Italian physicists across the end of the 19th and the beginning of the 20th century”, in *Il Nuovo Saggiatore*, 36(5-6) (2020), 51-60; Eugenio Bertozzi, ““And nothing else exists to constitute the Universe”: Augusto Righi and the ultimate physical reality at the dawn of the 20th Century”, in *Il Nuovo Cimento C*, 44(4-5) (2021), 1-4.

¹⁷⁶ All'epoca a Bologna non esisteva la laurea, cui tale diploma equivale, così come non esisteva la possibilità di laurearsi in Fisica presso l'ateneo bolognese.

Palermo, dove rimase fino al trasferimento all'Università di Padova come professore ordinario di Fisica Sperimentale nel 1885.

Nel 1889 si trasferì infine all'Università di Bologna, sempre come professore ordinario di Fisica Sperimentale. Qui rimarrà fino alla morte, avvenuta l'8 giugno 1920.

Sin dai primi anni di attività Righi ottenne numerosi riconoscimenti e premi, cui successivamente si aggiunsero anche alcune lauree *honoris causa*, da parte di istituzioni e università italiane ed estere. Fu socio di numerose Accademie e Società – fu tra i fondatori della Società Italiana di Fisica – e di alcune fu anche presidente in diverse occasioni.

Ricoprì più volte il ruolo di Preside della Facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali dell'Università di Bologna, concedendone gli spazi e la collaborazione di personale anche a iniziative come l'Università popolare “G. Garibaldi” (1900-1916).

Fu candidato ininterrottamente dal 1905 al 1920 al premio Nobel per la Fisica¹⁷⁷, senza che gli fosse tuttavia mai assegnato, ma venendo citato direttamente per i suoi contributi nelle *Nobel Lectures* di Pieter Zeeman (1902), Philip E. A. von Lenard (1905), Karl Ferdinand Braun e Guglielmo Marconi (1909)¹⁷⁸. Dal 1918 membro dell'Istituto Solvay, Righi era impegnato nel comitato scientifico organizzatore della conferenza del 1921, dedicata ad *Atomi ed elettroni*, insieme a Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), Marie Curie (1867-1934), William Henry Bragg (1862-1942) ed Ernest Rutherford (1871-1937).

Righi era ritenuto dai contemporanei un grande insegnante e uno spettacolare conferenziere, grazie alla sua chiarezza espositiva e ai numerosi esperimenti che presentava in occasione di conferenze e lezioni. Esperimenti che per Righi erano importantissimi, non solo come mezzo didattico, ma anche e soprattutto come modo di indagare le idee fisiche – nella commemorazione in Senato, Giacomo Luigi Ciamician (1857-1922) parlerà di “intuizione dell'esperimento”.

Secondo Rostagni: “Augusto Righi fu, nel grande periodo nel quale è nata la fisica di oggi, l'unico fisico italiano di statura internazionale, considerato dai grandi della fisica europea come uno di loro. Il Corbino, nella commemorazione [afferma che] Righi rappresenta, fra i Fisici italiani dell'ultimo secolo, come un monte isolato ed altissimo; e resterà tale purtroppo, almeno per una

¹⁷⁷ Questa la pagina delle nomine sul sito del premio Nobel:

https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=7738. Ultimo accesso: 1 agosto 2022.

¹⁷⁸ Si rimanda alle pagine web dei singoli vincitori del premio Nobel per la Fisica:

<https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-physics/>.

generazione ancora”¹⁷⁹. Affermazione profetica secondo Rostagni, poiché pochi anni dopo la scomparsa di Augusto Righi apparirà sulla scena internazionale Enrico Fermi (1901-1954).

L'attività scientifica

L'opera scientifica di Righi si estende per quasi cinquant'anni, dal 1872 al 1920, con numerose pubblicazioni che spaziano su pressoché tutti i campi della ricerca fisica dell'epoca e quasi tutte firmate senza coautori. In esse si trovano contributi sia teorici e matematici che sperimentali e applicativi, nonché attenzione agli aspetti educativi e filosofici dei fenomeni naturali studiati, in una interpretazione del mondo fisico che sembra rimanere ancorata all'idea di uno scienziato ancora non specializzato, come invece andrà progressivamente ad affermarsi nel corso del Novecento. Molte sue pubblicazioni furono tradotte in francese, tedesco o altre lingue rapidamente, ma anche alcuni suoi articoli non tradotti dall'italiano ebbero grande diffusione internazionale.

Sin dalla tesi di laurea si nota la capacità teorica e pratica: per essa realizzò un elettrometro ad induzione, una macchina elettrostatica moltiplicatrice di cariche (utilizzabile per rilevare cariche molto deboli) che può essere considerata un antenato del generatore di Robert Jemison Van de Graaff (1901-1967), utilizzato dagli anni Trenta per accelerare particelle elettricamente cariche.

Nel 1878 brevettò poi un telefono che usava le linee telegrafiche e che perfezionava la recente invenzione di Alexander Graham Bell (1847-1922), rendendo il ricevitore un altoparlante e il trasmettitore un microfono a polveri conduttrici, ma che non ebbe successo commerciale, nonostante le dimostrazioni pubbliche in Italia e all'Esposizione universale di Parigi di quell'anno.

Lungo tutta la sua carriera Righi creò o perfezionò gli strumenti che usava per i suoi esperimenti, i quali partivano spesso da sperimentazioni di altri scienziati, ma venivano progressivamente modificati o reinventati con nuove idee basate sulle sue stesse osservazioni o ipotesi di lavoro.

Così, nei primissimi anni di lavoro si dedicò a ricerche di elettrostatica, ma anche alla composizione di moti vibratorii e alla visione binoculare (o stereoscopica) e agli studi di interferenza della luce e altri problemi di ottica e magneto-ottica.

Si occupò a più riprese di studi sulla natura delle scariche elettriche e sul loro passaggio in liquidi e gas, con l'idea che il passaggio di elettricità fosse legato al moto di particelle cariche, in una anticipazione della teoria della ionizzazione. Questa idea lo portò ad accettare presto l'esistenza dell'elettrone (e all'idea di un elettrone positivo, per ragioni di simmetria) e a valutare alcuni

¹⁷⁹ Antonio Rostagni, *op. cit.* ([nota](#) 171), 12.

modelli atomici nei primi anni del Novecento, tra i quali il modello nucleare “saturniano” di Hantaro Nagaoka (1865-1950), anche con studi teorici sul moto dell’elettrone intorno a una massa puntiforme positiva molto più massiccia.

Nel 1879, studiando la magnetizzazione dell’acciaio, Righi scoprì un fenomeno – che James Alfred Ewing (1855-1935) denominò isteresi magnetica nel 1882 – pochi mesi prima di Emil Gabriel Warburg (1846-1931), cui in genere si attribuisce la scoperta.

Negli anni palermitani Righi si dedicò a studi che oggi si definirebbero di fisica dello stato solido, riguardanti il bismuto e il selenio, e a studi legati ai fenomeni elettrici e magnetici che in quegli anni venivano scoperti (effetto Hall, effetto Kerr, effetto Righi-Leduc). Si occupò inoltre delle ombre elettriche, fenomeno che diventerà l’antenato dei sistemi di fotocopia elettrostatica che saranno implementati e commercializzati nella seconda metà del Novecento.

Nel periodo a Padova, Righi continuò i suoi studi teorici e sperimentali sulla luce polarizzata in interazione con la materia e con campi elettrici e magnetici, tra cui l’effetto Kerr magnetico, e riprese recenti studi di Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), ma con esperimenti completamente nuovi, identificando l’effetto che denominò fotoelettrico – scoperto indipendentemente e poco tempo prima da Wilhelm Hallwachs (1859-1922).

Ritornato a Bologna, Righi continuò gli studi in tutti i campi già considerati: scariche e scintille elettriche, effetti prodotti dal campo magnetico, problemi di ottica e acustica, effetto fotoelettrico – studiato anche sui raggi X, che Righi affrontò praticamente appena scoperti nel 1895 da Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923).

Ma gli studi che lo resero celebre furono soprattutto quelli condotti a partire dai lavori di Hertz sull’ottica delle oscillazioni elettriche. Laddove Hertz era riuscito a produrre onde elettromagnetiche, verificandone alcune proprietà ottiche e così supportando la teoria elettromagnetica della luce di James Clerk Maxwell (1831-1879), Righi riuscì a completare il lavoro con numerose altre proprietà ottiche, generando onde elettromagnetiche di lunghezza d’onda inferiore e più facili da trattare in laboratorio rispetto a quelle utilizzate da Hertz, confermando così definitivamente la natura di onda elettromagnetica della luce.

Tra l’altro, questo lavoro di Righi ebbe un risvolto applicativo importante: non solo nel suo oscillatore a tre scintille o nella migliore sensibilità del suo apparato sperimentale, ma nella possibilità di trasmettere le onde a lunghe distanze. Essa fu alla base del sistema di telegrafia senza fili che Guglielmo Marconi (1874-1937) ideò – dopo aver frequentato il laboratorio di Righi a Bologna (non ne fu mai studente) – e per il quale vincerà nel 1909 il premio Nobel.

A seguito della scoperta dell'effetto Zeeman (1896), della teoria elettronica di Lorentz e dei primi modelli atomici, Righi si occupò anche di questo fenomeno a livello teorico e sperimentale, così come dei fenomeni di radioattività da poco scoperti.

Nel 1908, studiando l'influenza dei campi magnetici sui fenomeni di scarica nei tubi a gas, Righi propose l'idea dei raggi magnetici, particolari sistemi legati instabili dei componenti subatomici in una specie di nuovo stato della materia, antesignano della fisica dei plasmi odierna. Questa idea però, per quanto fece molto clamore, non fu accettata dalla comunità scientifica per la difficile riproducibilità sperimentale, e si rivelò infine errata.

In tutti questi studi, Righi rimase legato a un approccio classico alla fisica, senza mai davvero addentrarsi in quelle ipotesi che porteranno alla meccanica quantistica e rimanendo a lungo convinto dell'esistenza dell'etere: nella conferenza *Comete ed elettroni* di cui si parlerà nel prossimo capitolo, Righi afferma infatti che “come per l'addietro si ammetteva oltre all'etere universale un'entità fondamentale chiamata materia caratterizzata dalla proprietà chiamata inerzia, e con essa si cercava di render conto d'ogni fenomeno, si può oggi raggiungere lo stesso fine cogli elettroni e coll'etere, e in pari tempo rendere conto della stessa materia”¹⁸⁰, riducendo dalle tre precedenti (materia ponderabile, etere e fluido elettrico, come affermava in interventi precedenti) a sole due componenti potenziali la costituzione dell'intero universo.

Nel 1918 Righi inizierà a ragionare della relatività di Einstein in diversi articoli teorici, in relazione soprattutto all'esperimento di Michelson e Morley¹⁸¹, che dopo aver analizzato avrebbe voluto replicare e sottoporre a nuove verifiche sperimentali; verifiche che rimasero un progetto a causa della sua scomparsa.

L'attività politica

Augusto Righi fu impegnato anche in politica, come consigliere comunale e assessore dei comuni di Bologna e Montese (Modena) e come Senatore del Regno d'Italia dal 1905¹⁸². In quest'ultimo ruolo si occupò di istruzione e ricerca, in particolare per quanto riguarda il ruolo degli assistenti universitari e la figura del professore emerito. Il primo caso riguardava la novità dell'obbligo del concorso per l'ammissione all'insegnamento nelle scuole medie governative, in cui – a seguito

¹⁸⁰ Augusto Righi, *Comete ed Elettroni* (Bologna: Zanichelli, 1910), 35.

¹⁸¹ Albert Abraham Michelson (1852-1931) e Edward Williams Morley (1838-1923), fisici statunitensi (prussiano naturalizzato il primo).

¹⁸² Il Senato era allora di nomina regia. Righi fu nominato in quanto “membro della Regia Accademia delle Scienze dopo sette anni di nomina”.

della posizione di alcuni fisici senatori – laureati e assistenti universitari avrebbero ottenuto qualche riguardo; il secondo era riferito ai tentativi di abolire la figura, che ottennero solo parziale successo in quei decenni.

Ma il Senatore Righi si occupò anche della promozione di nuovi impianti di derivazione delle acque a fini energetici e della posta aerea. In occasione della seduta per l'approvazione del servizio di posta aerea tra "il Continente e la Sardegna" del 28 giugno 1917, Righi affermava con orgoglio: "si può asserire oggi che fra tutte le nazioni civili l'Italia istituisce per prima un servizio regolare di trasporti con un mezzo che non hanno ancora osato adottare le altre nazioni. Si tratta per ora di trasportare lettere, corrispondenze, oggetti, e molto probabilmente anche, in futuro, persone. [...] Nulla di meglio dunque che utilizzare per questo scopo di pace tutto quel materiale, che si è venuto accumulando. [Parla poi della costruzione totalmente nazionale degli idroplani usati nel servizio e aggiunge che] se non fui male informato, molti di simili apparecchi noi forniamo adesso ai nostri alleati".

Per quanto scritto del fisico Augusto Righi, si può capire l'interesse nel dedicare un discorso (e il conseguente volume) alle comete, in occasione dell'avvenuto passaggio della cometa di Halley nel 1910. Non già un interesse astronomico, ma un interesse per la fisica che tali corpi celesti avrebbero permesso di svelare alla luce delle nuove teorie fisiche che si stavano sviluppando, in particolare per quanto riguarda la pressione di radiazione nei gas, la struttura della materia e i fenomeni elettrici. Prima, però, vedremo la conferenza di un astronomo dell'epoca, Elia Millosevich, per osservare la differenza di approccio al medesimo soggetto.

Le conferenze di Millosevich e Righi

Il passaggio della cometa di Halley nel 1910 era interessante per gli astronomi poiché sarebbe stato il primo ritorno della cometa documentabile non più solo attraverso osservazioni visive e disegni, come era stato per il precedente passaggio del 1835, ma anche con i nuovi mezzi fotografici e spettroscopici – la grande novità, applicata a partire dal 1860 ai corpi celesti, che ne rendeva finalmente conoscibile la composizione chimica.

Il previsto incontro tra la Terra e la coda della cometa per il maggio 1910, inoltre, interessava gli scienziati, compresi i fisici, per la possibilità di studiare le interazioni elettromagnetiche tra l'atmosfera terrestre e le particelle costituenti la coda, alla luce sia delle nuove strumentazioni e tecniche disponibili (elettrometri, magnetometri, palloni sonda, liquefazione dell'aria, ...) che delle nuove teorie atomiche e dei fenomeni di radioattività da poco scoperti.

In tale contesto si inseriscono due conferenze: una tenuta dall'astronomo Elia Millosevich il 26 febbraio 1910 nell'aula magna dell'Istituto di Fisica di Roma, intitolata *Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley*, di cui si trova traccia su alcuni quotidiani del giorno seguente¹⁸³ e che si trova riportata integralmente nella rivista *Conferenze e Prolusioni* del maggio 1910¹⁸⁴; l'altra tenuta dal fisico Augusto Righi il 22 giugno 1910 quale discorso inaugurale della seduta plenaria della R. Accademia delle Scienze di Bologna, intitolata *Comete ed elettroni*, riportata nel *Supplemento*¹⁸⁵ delle *Memorie della Reale Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna* e pubblicata – con lo stesso titolo – come volumetto a sé stante dall'editore Zanichelli più tardi nello stesso anno e tradotta in tedesco nel 1911.

¹⁸³ Se ne parla in un trafiletto delle "Recentissime" de *La Nazione* di Firenze del 27 febbraio 1910 e nell'articolo "La Cometa di Halley e le sue consorelle" in terza pagina de *La Stampa* di Torino dello stesso giorno. Quest'ultimo descrive più dettagliatamente i contenuti della conferenza.

¹⁸⁴ Più precisamente, si trova in *Conferenze e Prolusioni*, III(9) (1910), 161-164 del 1-15 maggio 1910. Nello stesso fascicolo, a riprova dell'interesse per il prossimo evento astronomico, si trovano i riassunti delle conferenze "Supposte influenze e pericoli delle comete" e "Dove vengono gli astri?" di Celoria e Boccardi rispettivamente, già discusse nel capitolo *Il passaggio della cometa di Halley del 1910*.

¹⁸⁵ Questo *Supplemento* contiene la relazione della seduta del 22 giugno 1910, nella quale si portava a compimento la creazione della Classe di Scienze Morali in aggiunta a quanto veniva a costituire la Classe di Scienze Fisiche dell'Accademia bolognese e si inaugurava una lapide commemorativa dell'evento scritta dal poeta Giovanni Pascoli (1855-1912), il quale tenne anche una conferenza su *Virgilio e Dante* subito dopo la conferenza di Augusto Righi.

Entrambe le conferenze, per quanto sicuramente non tecniche, si rivolgono a platee dell'alta società del periodo: i presenti – almeno coloro di cui rimane traccia – risultano infatti essere soprattutto colleghi professori universitari, anche di discipline umanistiche nel caso dell'intervento di Righi, senatori e altre autorità locali¹⁸⁶. Non è invece noto quanti possano aver letto le due conferenze nelle trascrizioni edite per il pubblico interessato – certamente sufficientemente attento alle tematiche scientifiche – a una divulgazione alta.

Prima di passare all'analisi dei due testi, un inciso che riguarda l'impegno pubblico di Millosevich nel 1910. Nel necrologio che gli dedicherà l'astronomo Vincenzo Cerulli (1859-1927) nel 1919¹⁸⁷, l'autore ricorda come l'astronomo fosse “rimasto parecchio seccato” da una “serie di interviste, a cui il Millosevich dovè sobbarcarsi, [...] in occasione del ritorno della cometa di Halley nel 1910. I giornali quotidiani crearono allora attorno al suo nome come un'aureola di popolarità, che egli era ben lontano dal vagheggiare, dal momento che la vedeva ambita, e sovente con successo, da ignoranti e ciarlatani. Il pericolo, anzi, che il gran pubblico si abituasse ai suoi responsi, e lo distraesse dai suoi lavori, gli si rappresentava così vivace allo spirito, da indurlo a farsi burbero con gli *intervistanti*, mentre suo vero carattere era una grande ed espansiva cordialità. Ciò non vuol dire, per altro, che egli rifuggisse dalla pubblicità al segno da non vedere quanto utile rechi alla scienza il farsene banditori per entro un pubblico scelto e capace di apprezzarla. Fu anzi notevole l'opera sua di conferenziere.”

Cerulli ricorda inoltre che: “Lo stile del Millosevich appare qua e là involuto ed oscuro, quantunque egli non scrivesse se non di cose che possedeva a fondo. Spesso gli nocque soverchio studio di brevità in argomenti che gli parevano assai semplici e forse non erano. Ma egli era un *autodidatta*, e si sa che con la facilità d'apprendere non si sviluppa di pari passo quella dell'insegnare”, problema che fortunatamente non sembra apparire nel testo della sua conferenza esaminata.

¹⁸⁶ Negli articoli sui quotidiani riguardanti la conferenza di Millosevich si accenna alla fine “fra gli invitati anche numerose signore”, non meglio specificate.

¹⁸⁷ Vincenzo Cerulli, “Elia Millosevich”, in *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, 2(8) (1919), 102-103.

Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley

Il testo¹⁸⁸ è suddividibile essenzialmente in tre parti: le prime due compongono la sezione **I. – LE COMETE**, mentre la terza corrisponde alla sezione **II. – LA COMETA DI HALLEY**.

La prima parte, dopo una breve introduzione storica, si occupa del moto delle comete sotto l'azione gravitazionale del Sole e corrisponde ai paragrafi: **Due parole di storia, Le orbite cometary, D'onde vengono le comete?, Un po' di statistica, L'azione disgregante del sole**. La seconda parte tratta della fisica delle comete e corrisponde ai paragrafi **Costituzione delle comete e Cenni di teorie fisiche**. La terza parte è suddivisa in tre paragrafi: **Halley e i calcoli sulla cometa, Il passaggio al perielio di quest'anno e Impressioni umane**.

Dei criteri di analisi utilizzati¹⁸⁹, quelli indicati negli articoli di Shulamit Kapon e di Jon Turney risultano più difficili da applicare, se non per poche considerazioni generali in merito alla conferenza e per qualche dettaglio in alcuni paragrafi.

Per quanto concerne l'approccio di Turney, si può dire che in generale *a creare differenze* sia soprattutto il ruolo di esperto di Millosevich rispetto al pubblico cui si rivolge: l'astronomo si è occupato direttamente di comete, comprese alcune osservazioni recenti della cometa di Halley¹⁹⁰. Nel suo resoconto delle conoscenze sulle comete, infatti, Millosevich sembra descrivere cosa pensano altri solo per accennare all'evoluzione storica delle conoscenze in merito a questi corpi celesti, mai per creare tensioni che richiedano una spiegazione. Anche il *dare significato alla materia* non è applicabile se non verso la fine del testo, quando le conoscenze scientifiche portate contribuiscono a dare maggiore serenità al pubblico in merito agli effetti attesi dovuti al prossimo incontro tra la Terra e la coda della cometa.



Frontespizio del fascicolo di Conferenze e Prolusioni del 1-15 maggio 1910, in cui è riportata la conferenza di Millosevich.

¹⁸⁸ Il testo completo di questa conferenza è riportato nelle *Appendici*.

¹⁸⁹ Si rimanda al capitolo *I criteri di analisi*.

¹⁹⁰ Ad esempio, del dicembre 1909: Elia Millosevich, Emilio Bianchi, Giovanni Zappa, "Beobachtungen des Halleyschen Kometen 1909 c", in *Astronomische Nachrichten*, 183(4373) (1909), 79-80.

Per quanto riguarda il *costruire entità* e il *trasformare la conoscenza*, invece, Millosevich costruisce l'idea di orbita delle comete – pur dando per scontato alcuni concetti, come quello di raggio vettore, data la platea cui sta parlando – nella prima parte della conferenza e di costituzione fisica delle comete nella seconda parte, utilizzando l'evoluzione storica delle conoscenze e identificando esplicitamente ciò che è ancora incerto o ignoto, come l'effettiva struttura fisica nonostante le recenti teorie accennate.

Degli strumenti identificati da Kapon, si nota soprattutto l'utilizzo della *storia della scienza come narrativa* e l'*estensione di categoria* nel definire man mano le caratteristiche delle orbite prima e delle comete poi, nelle prime due parti della conferenza. Nell'ultima parte, invece, diventa importante il *rivolgersi al pubblico*, sebbene non sia mai davvero fatto direttamente, ma rispondendo chiaramente alle *domande di senso comune* che il passaggio della cometa vicino alla Terra può generare e all'evidenziare l'*importanza delle conoscenze* scientifiche nel poter affrontare con tranquillità l'evento.

Dal punto di vista dei criteri individuati da Jeanne Fahnestock è invece chiaramente definibile il passaggio tra i differenti generi retorici e nel tipo di affermazioni dominanti in ciascun paragrafo.

La *retorica* appare *epidittica* nel passaggio storico introduttivo e nella terza parte della conferenza, in cui si celebrano lo sviluppo storico delle conoscenze e il progressivo miglioramento creato da esse, come si può notare dal suggerimento letterario finale:

“Un giorno, non molto remoto da noi, la paura, la superstizione e l'ignoranza opprimevano lo spirito umano all'apparire d'insolita cometa; oggi noi possiamo tranquillamente, nelle prime ore della notte del 19 maggio [...] leggere una pagina di Edgar Poe [in cui si racconta l'evento] che distrusse la terra divorata dalla fiamma intensa nata dall'urto della cometa¹⁹¹. La tranquillità dello spirito e il godimento letterario di quel momento si debbono ad una cosa sola, alla scienza.”

Gli altri paragrafi appaiono invece tipici di una *retorica forense*, in cui si sviluppano le conoscenze anche attraverso l'utilizzo di formule matematiche, precisazioni, elenco di dati osservativi e cenni a lavori di vari esperti: Schiaparelli per il legame tra comete e sciami meteorici, Bredichin per i diversi tipi di code e il legame tra l'azione attrattiva e repulsiva del Sole, Arrhenius per la pressione di radiazione.

¹⁹¹ Si riferisce al racconto breve dello scrittore statunitense Edgar Allan Poe (1809-1849) intitolato “The conversation of Eiros and Charmion” del 1839-1845, pubblicato in italiano sotto diversi titoli leggermente differenti tra loro.

Il *tipo di affermazioni* all'interno della conferenza si muove tra il *tipo 3* e il *tipo 5* della scala proposta da Latour e Woolgar. Sono di *tipo 5* le affermazioni contenute nei paragrafi più celebrativi, mentre sono esplicitate le conoscenze certe, soprattutto nella prima parte della conferenza (*tipo 4*), e sottolineate apertamente le incertezze riguardanti la fisica delle comete prima e gli effetti dell'incontro con la cometa di Halley poi, nelle altre due parti (*tipo 3*).

Osserviamo ora le tre parti separatamente.

L'iniziale nota sulle superstizioni del passato ci porta direttamente a "scorgere qualche lume di scienza in tanto tenebre" a partire dal Cinquecento, quando si notò che le code erano dirette nel senso opposto al Sole rispetto alla testa delle comete e che queste non appartenevano ai fenomeni atmosferici, come ritenuto in precedenza.

Subito appare l'importanza della parabola nel descrivere l'orbita delle comete, considerando solo la cometa e il Sole nella sua determinazione (problema dei due corpi), poiché per determinarla bastano tre osservazioni intorno al perielio e un elemento in meno rispetto alle altre coniche (l'eccentricità è uno), grazie agli strumenti matematici introdotti da Newton e perfezionati da altri, come Olbers.

La successiva domanda retorica: "Sono in verità tutte ellittiche le orbite delle comete?" permette a Millosevich di accennare sia al problema dell'origine delle comete – interne o esterne al sistema solare, che alle perturbazioni delle loro orbite causate dai pianeti più grandi, che possono cambiarne drasticamente le caratteristiche, fino ai processi dinamici di "cattura d'una cometa" o inversi ad esso. Diverse comete mostrano l'afelio intorno all'orbita di Giove, risultando pertanto periodiche. Passando poi a un veloce elenco storico, Millosevich nota come prima dell'invenzione del telescopio fossero state registrate, in tutta la storia umana nota, alcune centinaia di comete viste ad occhio nudo, mentre le osservazioni telescopiche abbiano raddoppiato tale numero e permesso il calcolo orbitale di oltre la metà di tutte le comete registrate, sebbene in maggioranza su orbite paraboliche a causa delle incertezze già indicate. Di pochissime poi si sono osservati e registrati due o più passaggi al perielio.

L'astronomo chiude questa parte citando l'azione disgregante del Sole, che da una cometa originaria crea gruppi di comete, e l'associazione di alcune comete a sciami meteorici.

La parte sulla fisica delle comete è quella da cui giungono le maggiori incertezze. Dopo una rapida definizione degli aspetti di chioma, nucleo e coda di una cometa, si evidenzia che: "Hanno le

comete certamente luce propria, che serbano anche a grande distanza dal perielio, ma in vicinanza di questo rivelano luce riflessa dal sole”. Si accenna poi alla descrizione del grande volume e bassissima densità delle comete e di come le code varino molto in poco tempo e risultino diverse tra osservazione visuale e fotografica.

Millosevich si occupa quindi delle osservazioni spettroscopiche e di come sembra che il Sole eserciti sulle comete non solo l’attrazione gravitazionale, ma anche una forza repulsiva che permette alle particelle solide involtate nei gas delle comete di fuggire via¹⁹², probabilmente per fenomeni elettrici non chiari o per altri ancora in studio, come la pressione di radiazione, concludendo che: “Far dipendere tutti questi fatti e tanti altri taciuti dalle teorie o dalle ipotesi della fisica moderna è cosa ardua e si può dire inferiore alle forze della scienza presente” e, ancora, che è “in gran parte impotente la nostra fisica teorico-sperimentale a dare spiegazioni che possano acquietare lo spirito.”

Nell’ultima parte, dopo aver ricordato gli studi originali di Halley sulla cometa – e l’importanza di Halley nella pubblicazione dei *Principia* di Newton, Millosevich accenna alle successive correzioni apportate nei secoli da vari studiosi, dovute alle perturbazioni spiegate all’inizio e volte a prevedere con sempre maggior precisione il successivo passaggio al perielio della cometa e alla identificazione dei passaggi precedenti: ventotto quelli noti su oltre due millenni di storia umana.

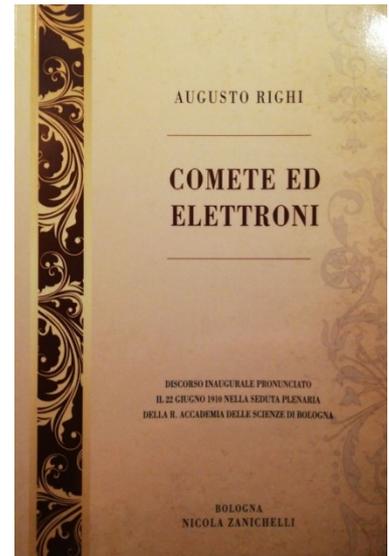
Parla poi del passaggio del 1910, accennando al ritrovamento fotografico della cometa e alle successive correzioni nella data del perielio, per raccontare infine dei fenomeni attesi durante l’avvicinamento tra Terra e cometa di Halley: la proiezione sul disco solare del nucleo della cometa, visibile in Asia e Australia, e la possibilità che alcune particelle della coda entrino a contatto con l’atmosfera, causando forse piccoli fenomeni luminosi e perturbazioni elettromagnetiche. Chiude la conferenza citando uno dei passaggi storici della cometa di Halley e i meriti rasserenanti della scienza odierna.

¹⁹² L’idea è che un intenso riscaldamento della cometa al perielio generi le emissioni, ma ciò non risolve tutta l’emissione osservata. Millosevich domanda allora: “D’onde viene il riscaldamento della materia cometaria e la sua luce propria? Si può mai ammettere che la semplice energia termica del sole sia capace di giustificare anche a grandissime distanze dal sole gli spettri degli idrocarburi?”.

Comete ed elettroni

Nella sua *Memoria* di Righi, Pietro Cardani (1858-1924) riassume così la conferenza in esame¹⁹³:

“La parte principale del discorso è rivolta a discutere le probabili cause fisiche che possono determinare le manifestazioni delle code cometarie: e mentre dimostra come nella pressione delle radiazioni debba trovarsi la ragione dell’aspetto delle comete, ritiene che altrove debba ricercarsi la spiegazione di altre interessanti particolarità da esse offerte; e questa spiegazione Egli crede debba ricercarsi nei fenomeni di ionizzazione che devono prodursi per molteplici cause nelle code delle comete. [...] Questo discorso, denso di acute ed originali osservazioni, venne anche tradotto in lingua tedesca.”



Copertina del volume *Comete ed elettroni*.

Nel volume *Comete ed elettroni*, Righi suddivide la conferenza in sei capitoli, ben delineando gli argomenti trattati: **Introduzione, La pressione di radiazione, Costituzione delle code cometarie, La pressione di radiazione nei gas, Fenomeni elettrici nelle comete, Il supposto incontro del 19 maggio**. Infine, aggiunge anche una bibliografia con oltre quaranta riferimenti, tra volumi e articoli scientifici¹⁹⁴. Consideriamo i sei capitoli separatamente.

Anche in Righi osserviamo nell’Introduzione della conferenza la *creazione di differenze* dell’approccio di Turney, sebbene il fisico sia da subito chiaro sulla natura ancora incerta di molti temi che affronterà. Si *rivolge* però *direttamente al proprio pubblico*, contestualizzando l’*importanza* delle novità di cui tratterà, in un incipit la cui retorica appare da subito celebrativa delle nuove scoperte fisiche (*retorica epidittica*), con affermazioni certe (*tipo 5*). Afferma perciò che la visita della cometa di Halley è stata “Preceduta dai soliti poco giustificati allarmi, a cui si opposero rassicurazioni forse troppo recisamente ottimiste, ma a cui i fatti hanno dato ragione” e che i fenomeni fisici di cui parlerà in relazione alle comete e alle loro interazioni con altri corpi celesti sono “congetture non direttamente controllabili [...] giustificate, [...] quasi imposte, da leggi e risultati sperimentali incontrovertibili [...] scoperti nel corso di questi ultimi anni”. Pertanto tratterà di onde elettromagnetiche, ioni ed elettroni non dimenticando le conoscenze del pubblico a loro riguardo.

¹⁹³ Pietro Cardani, *op. cit.* ([nota](#) 172), 103.

¹⁹⁴ Si rimanda alle *Appendici* per tale bibliografia.

Il secondo capitolo si apre con una nota sulla probabile esistenza di una forza repulsiva proveniente dal Sole in opposizione alla gravità: questa serve a giustificare il formarsi delle code delle comete. L'idea è che dalla chioma partano getti luminosi verso il Sole, che incurvandosi finiscono per andare nella direzione opposta fino alla coda, "a guisa d'un getto liquido che ricade dopo avere raggiunto una certa altezza". Questo fenomeno è ritenuto associato a una reale azione della luce.

Righi prosegue quindi con uno *sviluppo storico* della spiegazione del fenomeno, già intuito da Keplero, ma non condiviso da Newton, che riguarda la possibilità per le radiazioni di esercitare una pressione sui corpi colpiti. Elenca quindi i tentativi fatti per osservare e misurare tale pressione tra il Settecento e l'Ottocento, tutti rimasti inconcludenti anche se produttivi in altre direzioni.

L'effettiva osservazione della pressione di radiazione è recente, ma Righi ci arriva per gradi. Innanzitutto nota come Maxwell ne avesse dimostrato l'esistenza nel suo libro¹⁹⁵: "E poiché oggi le prove sperimentali in favore della teoria elettromagnetica della luce sovrabbondano, si sarebbe ampiamente persuasi dell'esistenza della pressione di radiazione, quand'anche la diretta conferma sperimentale mancasse. Questa tuttavia è stata finalmente raggiunta". Prima di elencare tali conferme, però, l'autore si sofferma su un contributo teorico coevo al lavoro di Maxwell, in cui il fisico italiano Adolfo Bartoli¹⁹⁶ prevedeva e calcolava "la pressione della luce fondandosi semplicemente sul secondo principio della termodinamica"¹⁹⁷.

Segue un esperimento mentale proposto da Bartoli, scelto da Righi invece del ragionamento di Boltzmann "che richiede il giuoco di un apparecchio ideale più semplice e di realizzazione meno difficile [...] in quanto [...] richiede l'uso di stantuffi mobili in un cilindro" per celebrare il "compianto fisico italiano".

Questo esperimento prevede una sfera a una temperatura qualsiasi e con superficie completamente assorbente (corpo nero), due gusci sferici con superficie riflettente e con raggi maggiori della sfera, concentrici ad essa, tutti contenuti in una cavità sferica concentrica praticata in un corpo nero a temperatura più bassa della sfera centrale. La sfera irradia continuamente parte della sua energia

¹⁹⁵ James Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism* (Oxford: Oxford University Press, 1873). In particolare, della pressione di radiazione si parla nel secondo volume, nel capitolo XX, "Electromagnetic Theory of Light."

¹⁹⁶ Così lo si ricorda in Ernesto Bertarelli, *op. cit.* (nota 169): "Adolfo Bartoli, coi suoi studi sulle radiazioni solari, sulla conducibilità elettrica delle combinazioni organiche, sulle leggi della termodinamica che da lui e da Maxwell prendono nome, sul calore specifico dell'acqua e del mercurio".

¹⁹⁷ Adolfo Bartoli, *Sopra i movimenti prodotti dalla luce e dal calore e sopra il radiometro di Crookes* (Firenze: Le Monnier, 1876), parzialmente ristampato in "Il calorico raggianti e il secondo principio della termodinamica", in *Il Nuovo Cimento*, 15 (1884), 193-202.

che le torna riflessa dal guscio sferico, il quale, diminuendo gradualmente di raggio, obbliga l'energia presente tra sfera e guscio a passare sulla sfera, aumentandone l'energia contenuta. Allora, per far passare energia dal corpo nero esterno alla sfera centrale serve far sparire in maniera alternata i due gusci sferici, in modo da portare – con le loro diminuzioni di raggio – l'energia irradiata dal corpo nero esterno a contatto con quello interno alla cavità. E poiché il secondo principio della termodinamica vieta il passaggio di energia da un corpo qualunque a uno con temperatura maggiore senza che vi sia al contempo un lavoro meccanico, Bartoli suppose che tale lavoro fosse fatto quando la superficie del guscio sferico, diminuendo, si muove contro le radiazioni che si riflettono su di esso, esistendo perciò una pressione dovuta alle radiazioni.

Righi torna poi sulla storia recente, in quanto le conferme sperimentali dell'esistenza della pressione di radiazione – e la sua misura – sono arrivate all'inizio del Novecento, e ne cita gli autori.

La pressione di radiazione dovuta alla luce solare è trascurabile rispetto all'attrazione gravitazionale per un corpo normale, ma le due forze diventano paragonabili per corpi piccolissimi, poiché la superficie di un corpo – da cui dipende la pressione di radiazione – diminuisce meno rapidamente del volume di un corpo – da cui dipende la forza di gravità, tramite la massa – di pari densità, permettendo quindi che il Sole possa respingere particelle di materia piccolissime più di quanto le attragga a sé.

In questo capitolo si possono osservare la *storia della scienza come narrativa* e l'*uso di un esperimento mentale*, per spiegare il fenomeno pressione di radiazione tramite una *storia*, e l'*evidenziazione dell'importanza* di questo concetto per quanto riguarda la fisica in generale e le code delle comete in particolare, secondo i criteri individuati da Kapon.

Dal punto di vista di Turney, qui si trova tutto lo schema dal *creare differenze* al *dare significato alla materia* in merito al concetto di pressione di radiazione: l'*entità* viene *costruita* tramite l'osservazione dei getti luminosi nelle comete e *trasformata* utilizzando la *storia della scienza*, fino al significato creato con l'esperimento mentale di Bartoli e le successive indicazioni di esperimenti fisici e l'applicazione al caso delle code delle comete.

Per quanto riguarda Fahnestock, si nota che la *retorica* è *forense* nello sviluppo storico delle conoscenze, ma diventa *celebrativa* quando introduce Bartoli, per poi esplicitarne l'esperimento nuovamente con una retorica forense. Anche il *tipo di affermazioni* rimane in genere di *tipo 4*, certo ed esplicito, ma si muove al *tipo 3* quando tratta le informazioni più dubbie, legate alle conoscenze ancora in discussione.

Il terzo capitolo risulta essenzialmente speculativo. Secondo i criteri di Fahnstock qui domina una *retorica forense*, che mostra tutti i dati disponibili e le supposizioni conseguenti, con affermazioni che oscillano dal puramente speculativo (*tipo 1*) alle informazioni più o meno discutibili (*tipi 2 e 3*) e mostrano ben poche certezze esplicitate, ad esempio “la presenza di gas nelle code delle comete” (*tipo 4*). Dichiarando i dubbi e richiamando gli studi degli ultimi decenni, la *costruzione dell’entità* è riempita di *marcatori di imprecisione* (“Si ritiene oggi, a me pare, ...”), ma si cerca comunque di *trasformare la conoscenza* con quanto noto dagli studi recenti, senza però ottenere nulla di definitivo nel processo identificato da Turney. Per quanto riguarda i criteri di Kapon, man mano che le spiegazioni procedono, sembrano rispondere a *domande di senso comune* sottintese, generate dal passaggio precedente della spiegazione, in un discorso che somiglia allo sviluppo stesso dell’indagine scientifica.

Nel trattare la costituzione delle code cometarie, Righi accenna inizialmente agli studi di Bredichin e Arrhenius che identificano la presenza di particelle solide nei gas delle code, dalla cui curvatura Bredichin aveva provato a ricavare il rapporto tra la forza repulsiva e attrattiva del Sole su diverse comete (e le diverse code di quelle che ne presentavano multiple), ottenendone rapporti diversi, giustificati con diversa dimensione media delle particelle o diversa densità.

L’idea di Arrhenius è che le code siano formate da una polvere cosmica che ha origine nelle eruzioni solari; polvere fatta di piccolissime particelle solide o liquide, “generate nella cometa per azione dell’intenso riscaldamento in essa prodotto allorché si avvicina al perielio” e ottenute dalla condensazione di gas intorno a nuclei costituiti da ioni o elettroni negativi¹⁹⁸ emessi dal Sole. Tali particelle, sospinte dalla pressione di radiazione si allontanano in tutte le direzioni e sono origine di diversi fenomeni, dalla corona solare alle aurore polari, ma possono anche aggregarsi in corpi più massicci, come i meteoriti.

Righi riporta poi come si pensa che “il nucleo di una cometa sia principalmente costituito da un gran numero di piccoli corpi solidi simili a quelli che [...] divengono [...] stelle cadenti, allorché traversano l’atmosfera terrestre”, che quindi a causa dell’intenso riscaldamento, avvicinandosi al Sole sono soggetti a fusioni ed evaporazioni, e condensando formano le particelle di pulviscolo sulle quali agirà la pressione di radiazione: “Se per la natura del materiale costituente il nucleo o

¹⁹⁸ In una delle possibili concezioni della struttura della materia del 1910 si parla sia di elettroni negativi che positivi in merito alle cariche elettriche presenti negli atomi. Altre vedono semplicemente una massa carica positivamente non meglio definita, insieme agli elettroni.

per altri motivi si formano minute particelle di più ordini di grandezza, si formeranno più code. Quelle meno incurvate saranno prodotte dalle particelle più minute e quindi più vivamente respinte dal sole.”

L'autore continua a dettagliare le tante possibili interazioni cui queste particelle possono essere soggette, in virtù della loro velocità inferiore a quella della radiazione e ai vari fenomeni che le coinvolgono (urti, moti browniani, evaporazione e aggregazione, fenomeni elettrici, ...), per concludere che, a suo parere “la teoria, secondo la quale la coda d'una cometa è principalmente costituita da pulviscolo partito dal nucleo e sospinto dalle radiazioni solari, sia degna della massima considerazione, e meriti che si cerchi di completarla nei dettagli” e che “per quanto riguarda i limiti delle code e la loro durata”, viste tutte le complicazioni portate dalle interazioni, “non tutte le particelle emesse dal nucleo rimangono indefinitamente a formare la coda”, disperdendosi, soprattutto nelle parti della coda più distanti dal nucleo.

Nel quarto capitolo si sviluppa ulteriormente il tema della pressione di radiazione, con ragionamenti, esempi e congetture basate su numerosi articoli scientifici citati – per gli aspetti teorici come per le conferme sperimentali. Secondo i criteri di analisi dei testi di Fahnestock, questo capitolo appare essenzialmente *forense*, con affermazioni più o meno discutibili (*tipo 1-3*) poiché i ragionamenti partono da ipotesi sulle molecole necessariamente arbitrarie. Tra i criteri individuati da Kapon, invece, vi sono alcuni paragoni e similitudini utili a definire fenomeni osservati, che possono essere considerati *analogie*, e si ha un uso delle *storie* nella forma di un *conflitto cognitivo*, dovuto a osservazioni opposte nell'applicare la pressione di radiazione ai gas delle comete, e del resoconto dei vari risultati che hanno portato alla conferma dell'esistenza della pressione di radiazione a livello molecolare. Infine, della struttura individuata da Turney si può osservare la ricerca della *costruzione* dell'entità «pressione di radiazione applicata ai gas» e il tentativo, con esempi e *analogie*, di *trasformare la conoscenza* a riguardo per poterla applicare alle code delle comete.

Righi inizia questa parte raccontando come, nel calcolare il rapporto fra repulsione apparente dovuta alle radiazioni del Sole e la sua forza d'attrazione, conti la dimensione del corpo con cui la radiazione interagisce. Infatti Karl Schwarzschild (1873-1916) ha notato che, quando la radiazione interagisce con una sfera il cui raggio è paragonabile alla lunghezza d'onda della radiazione stessa, la pressione di radiazione segue un andamento diverso da quello atteso per corpi di grandi dimensioni: invece di crescere indefinitamente rispetto alla gravitazione col diminuire delle

dimensioni del corpo, cresce solo fino a un certo valore massimo, per poi diminuire fino a risultare trascurabile.

I rapporti trovati nelle code delle comete da Bredichin vengono allora legati a questo andamento, applicato a singole molecole gassose presenti nelle code, ipotizzate come sfere piccolissime: molecole che però risultano di dimensioni tali che per Schwarzschild l'effetto della pressione di radiazione risulta trascurabile. Ma i gas nelle code ci sono, come osservato negli spettri delle comete.

Da questo contrasto, l'autore porta a una serie di considerazioni sui limiti e le capacità della scienza e sulla moderna teoria di interazione tra radiazione e materia, con la quale spiega l'assorbimento di alcune frequenze della radiazione da parte dei gas negli spettri con un fenomeno di risonanza, il quale fa vibrare gli elettroni dentro le molecole, sottraendo energia alla radiazione e generando una forza che, da alcuni esperimenti citati, risulta essere quella dovuta alla pressione di radiazione nel caso delle onde elettromagnetiche sui gas:

“Ed ecco che, seguendo una nuova via e con induzioni ed esperienze indirette, si è giunti ad acquistare la convinzione, che debba esistere quella pressione di radiazione sui gas, che era stata ammessa dapprima in base a diverse e meno accettabili considerazioni, e più tardi negata. E così, dopo aver oscillato fra l'ammissione e la negazione della pressione generata dalla luce sui gas, si è arrivati ad un risultato, che in questi giorni ha ricevuto la sanzione dell'esperienza. Infatti il Lebedew¹⁹⁹ ha da poco confermato mediante esperimenti delicati, l'esistenza della detta pressione su vari gas (anidride carbonica, acetilene, ecc.), e l'ha anche misurata, trovando valori assai concordanti colle previsioni.”

Righi torna quindi sulle code delle comete che, pur costituite principalmente dal pulviscolo cosmico, possono contenere gas provenienti dal nucleo a causa della pressione di radiazione solare. Questi gas devono però essere molto rarefatti e fuggire dalla coda, disperdendosi nello spazio anche più facilmente del pulviscolo. Per giustificare questa osservazione, richiama la “debole massa del materiale non gassoso” della coda cometaria e il modo in cui una molecola di gas può fuggire dagli strati più alti e rarefatti di un'atmosfera planetaria. Dalla spiegazione dei moti dei gas nelle atmosfere planetarie giunge ad affermare per le comete che: “Il contenuto in gas sarà dunque decrescente nel senso che va dal nucleo all'estremità della coda”. Nota, infine, che le particelle liquide nelle code cometarie durano poco poiché presto passano allo stato aeriforme.

¹⁹⁹ Pëtr Nikolaevič Lebedev (1866-1912), fisico russo.

Nel capitolo successivo, Righi introduce le novità legate ai fenomeni elettrici, per poi applicarle alle comete. Definisce quindi gli elettroni come “semplici quantità elementari o atomi di elettricità [che insieme all’esistenza di] forze speciali aventi sede nell’etere, del quale forse gli elettroni non sono che modificazioni localizzate” bastano a “costruire un soddisfacente modello dell’universo e dei fenomeni che in esso si svolgono.”

Definisce inoltre l’atomo come “un aggregato di elettroni positivi e negativi, o secondo alcuni un sistema costituito da elettroni negativi e da una massa unica o grande elettrone positivo” e gli ioni come atomi cui fenomeni chimici o elettrici hanno dato o tolto elettroni negativi rispetto all’atomo neutro. Parla inoltre dell’importanza degli elettroni negativi, in quanto se ne hanno maggiori prove rispetto ai corrispettivi positivi e descrive i due processi di ionizzazione che risultano più utili per le code delle comete: l’espulsione di elettroni da un corpo colpito da alcune radiazioni e la “emissione di elettroni da parte di corpi incandescenti ad altissima temperatura posti in un gas molto rarefatto”. Dopo aver specificato gli effetti che elettroni e ioni possono avere nei gas – e i loro legami con l’emissione di radiazione elettromagnetica, commenta: “Sarebbe vera presunzione il pretendere oggi di rendere conto in modo completo dei fenomeni elettrici che hanno luogo nei corpi celesti, e nelle comete in particolare; ma dell’esistenza di alcuni di essi non sembra potersi dubitare.”

Tra questi fenomeni viene citato l’effetto fotoelettrico sulle particelle del pulviscolo cosmico, che rendono tali particelle in gran parte positive; questo rende le particelle soggette non solo alla pressione di radiazione, ma anche a una forza elettrica esercitata dal Sole, ritenuto nel suo complesso carico positivamente.

Righi si concentra quindi temporaneamente sul Sole, ritenuto un corpo incandescente²⁰⁰ che emette continuamente elettroni molto veloci. Tali elettroni da un lato potrebbero legare le macchie solari a fenomeni elettromagnetici terrestri, dall’altro causano un dubbio su ciò che del Sole rimane: un corpo carico positivamente che in qualche modo riesce a emettere cariche negative su grandi distanze grazie al raggiungimento di uno stato stazionario tra l’emissione e un fenomeno di compensazione ignoto. Per evitare il problema, l’autore propone di considerare “ciò che accade nel sole, non nel suo complesso, ma nelle varie sue parti, spesso in condizioni assai differenti fra loro in un dato momento qualunque.” Suggerisce allora che, mentre la maggior parte della superficie

²⁰⁰ Nel 1910 il meccanismo di funzionamento delle stelle ritenuto più probabile è il *modello di Kelvin-Helmholtz dell’equilibrio idrostatico*, per il quale il Sole emette a causa dell’energia gravitazionale accumulata nella sua formazione e riemessa progressivamente per contrazione, lungo una vita stimata nelle decine di milioni di anni. Era comunque un modello discusso, poiché in disaccordo con dati già conosciuti dagli studi di geologia ed evoluzionismo.

solare emette elettroni, vi sia una emissione di raggi positivi (anodici) dalle macchie solari. Esse sono legate alle protuberanze solari, che “presentano i caratteri dei raggi positivi, sia dal punto di vista della loro velocità, sia da quello spettroscopico”.

Dopo l'inciso solare, Righi torna alla coda delle comete, trattando di come essa sia composta da particelle di polvere cosmica e gas con diverse cariche elettriche. Essi, interagendo tra loro e con gli elettroni emessi dal Sole e dal nucleo della cometa stessa in modi complessi, generano movimenti difficili da descrivere e scariche elettriche tra singole particelle come tra gruppi di esse, “come nella nostra atmosfera possono raccogliersi le goccioline d'acqua in nubi distinte di diverso segno di carica”.

Risulta allora verosimile “che la luce per la quale le code cometarie si rendono visibili, pur essendo certamente in parte luce solare riflessa o diffusa, sia principalmente di origine elettrica, e simile a quella che sappiamo produrre nei nostri tubi da scariche contenenti certi gas”.

Ricordando che il primo spettro di una cometa si deve a Donati, l'autore descrive brevemente come esso si presenti, continuando poi l'analogia tra la coda di una cometa e il tubo da scariche, cercando di risolvere qualche possibile incongruenza: come rimangono cariche positive in un pulviscolo continuamente rifornito di elettroni – risolto con l'effetto fotoelettrico della radiazione solare e dal non rimanere nella coda degli elettroni stessi; come le variazioni di estensione e forma della coda siano giustificabili con l'intensità delle scariche elettriche – tale da rendere visibili alcune parti e non altre in tempi diversi, evitando l'assunzione di enormi velocità per il materiale che le costituisce.

Righi chiude il capitolo con un'osservazione importante, utile anche a introdurre l'ultima parte del suo intervento:

“È sommamente verosimile, che ciò che si vede d'una coda cometaria sia soltanto una parte di essa. Infatti la scarica luminosa, cui si considera qui principalmente dovuta la luce della coda, deve andare attenuandosi verso i limiti effettivi di questa, e cioè tanto verso i limiti laterali che verso la sua estremità più lontana dal nucleo, tanto da cessare di essere percettibile in luoghi ove scarseggiano ma non mancano ancora particelle di pulviscolo e molecole gassose. D'onde questa conseguenza, e cioè che il passaggio della terra entro le parti periferiche d'una coda cometaria può avvenire anche quando, stando alle osservazioni dirette, si sarebbe indotti a credere, che il nostro globo passi invece a qualche distanza.”

In questo capitolo il discorso appare essenzialmente *forense*, sebbene le affermazioni oscillino tra certe ed esplicite (*tipo 4*), riferite alle nuove conoscenze di particelle e fenomeni elettrici, ed

affermazioni più discutibili, fino a supposizioni (*tipi 1-3*), quando parla della loro applicazione ai corpi celesti. Se dai criteri di Fahnstock passiamo a quelli individuati da Turney, osserviamo la *costruzione delle entità* dei fenomeni elettrici (ioni, elettroni, atomi neutri) e il loro uso per *trasformare la conoscenza* sia dei fenomeni elettrici che di quelli cometari, *dando così significato alla materia* e alle tesi esposte nel capitolo. Dal punto di vista di Kapon, si nota l'uso di *domande di senso comune* e del *conflitto cognitivo* per far avanzare i ragionamenti esposti.

Nell'ultimo capitolo, Righi si occupa dei primi risultati noti degli esperimenti svolti in Europa durante il previsto incontro tra la coda della cometa di Halley e la Terra. Il tono è essenzialmente *celebrativo* degli studi svolti, che racconta abbastanza rapidamente (si sofferma un po' di tempo in più sulle osservazioni bolognesi, ma solo per evidenziare una possibile nuova linea di ricerca suggerita da un risultato particolare). Le affermazioni sono in gran maggioranza certe, trattandosi del racconto di risultati sperimentali; solo nelle supposizioni e opinioni iniziali la certezza non è così assoluta: perciò si può indicare una oscillazione tra i *tipi 2 e 4* della scala di Latour e Woolgar (Fahnstock). Dei criteri di analisi individuati da Kapon si nota come *storia il racconto degli esperimenti* e si vede come l'autore si *rivolga direttamente al suo pubblico* per evidenziare l'importanza di essi. Tutto il capitolo può infine essere visto come la fase in cui *dare significato alla materia* esposta lungo tutto il libro, secondo l'approccio di Turney.

Righi introduce i primi risultati scientifici dell'incontro con la cometa notando come le osservazioni ed esperienze eseguite “sono di tal natura da generare un senso di delusione in coloro, che si aspettavano effetti di grande rilievo”, al punto che è messo in dubbio il fatto stesso che l'incontro tra la Terra e la coda sia avvenuto. Secondo Righi è probabile che la Terra abbia incontrato una porzione estremamente diradata della coda e che, supponendo la Terra carica positivamente per gli elettroni che perde negli strati più alti e rarefatti dell'atmosfera, abbia modificato la coda allontanando gran parte della materia che la costituisce, ma attirando elettroni, ioni e pulviscolo carichi negativamente. Questa opinione è legata ai risultati che elenca, tutti riferiti a deboli effetti – spesso spiegabili anche con altri fenomeni terrestri o atmosferici, come egli stesso ammette – che sembrano segnalare l'ingresso di pulviscolo cosmico nell'atmosfera, ma non di gas dalla cometa. Commenta quindi che nonostante i risultati siano ancora parziali, l'autore non si aspetta novità eccezionali e conclude “che nessun effetto grandioso si è rivelato per opera della cometa di Halley, e che tutt'al più non ci ha regalato che un poco di pulviscolo, il quale finirà per cadere sino alla superficie del suolo.”

Accennando in chiusura alle misure svolte a Bologna dal fisico Lavoro Amaduzzi (1875-1931), da sé e da altri collaboratori, la principale nota riguarda una particolare lastra fotografica a cui Righi non vuole dare particolare importanza, se non quella di suggerire una nuova linea di studi riguardanti la “possibile emissione di raggi penetranti per parte d’un gas ionizzato”, sperando di poter ripetere l’osservazione con un’altra cometa il prima possibile “affinché si abbiano presto sicuri elementi per giudicare qual grado di fiducia meritino i concetti esposti sui fenomeni fisici aventi sede nelle code delle comete.”

Analisi e confronto dei due testi

Le due conferenze si differenziano innanzitutto per due aspetti: il ruolo del conferenziere e quando sono state pronunciate.

Laddove la conferenza di Millosevich, astronomo, dedica molto spazio alle problematiche di meccanica orbitale e solo qualche cenno alle questioni di fisica delle comete, il fisico Righi ignora completamente gli aspetti orbitali e si concentra invece sulle teorie fisiche, sin dalla loro genesi non direttamente collegata alle comete.

La conferenza di Millosevich si tenne alcuni mesi prima dell’incontro tra la Terra e la coda della cometa. Quindi, l’astronomo poté al più parlare dei fenomeni attesi dall’evento, mentre l’intervento di Righi avvenne un mese dopo l’incontro astronomico e gli fu pertanto possibile accennare ai primi risultati delle ricerche avvenute a maggio. In entrambi gli interventi si può osservare come l’attesa di fenomeni fisici dall’incontro tra i due corpi celesti fosse minima.

Inoltre, mentre Millosevich dedica molto tempo allo sviluppo storico delle conoscenze sulle comete all’interno della sua conferenza, Righi mostra meno interesse per esso e molto più nel dettagliare i singoli fenomeni fisici di cui parla: la pressione di radiazione, le particelle elettricamente cariche e le loro interazioni, il loro ruolo nelle comete e in altre interazioni tra corpi celesti del Sistema solare.

Lo stile della comunicazione dei due scienziati appare molto diverso, nonostante in entrambi dominino elementi di retorica oratoria *forense* rispetto a quelli *epidittici*.

Sin dalle prime parole, Millosevich imprime una narrazione *storica e certa* (secondo i criteri di Kapon e di tassonomia da Fahnestock) al suo discorso:

“L’antichità e tutto il medio evo nulla seppero della fisica delle comete, l’apparizione delle quali non suscitò che spavento, non creò che pregiudizi e non servì che a mistificazioni. È giocoforza

pervenire, pur ricordando qualche veduta di Seneca, al secolo decimosesto, per scorgere qualche lume di scienza in tanto tenebrore.”

Questa narrazione viene sviluppata nel corso della conferenza con un elenco, celebrativo dei diversi personaggi che si sono occupati nei secoli dello studio delle comete, che permette all'autore di arrivare dal Cinquecento al presente in poche battute e di soffermarsi con qualche dettaglio solo su quei punti che ritiene importanti, come il calcolo delle orbite delle comete.

Nel corso della conferenza, Millosevich non si rivolge mai direttamente al pubblico, ma pone a volte domande retoriche che, oltre a introdurre parti importanti del discorso, sembrano prevedere le domande dell'audience. Ad esempio, dopo aver *creato e trasformato* l'idea di orbita delle comete, nell'*estendere la categoria* di orbite possibili, l'astronomo chiede: “Sono in verità tutte ellittiche le orbite delle comete?”, per poi rispondere che a causa delle incertezze nel calcolo dell'eccentricità “Noi dobbiamo concludere allo stato presente della scienza che il problema così altamente filosofico non è risolto.”

Inoltre, l'astronomo raramente si sofferma a definire i termini tecnici che utilizza, quali “effemeridi” o “raggio vettore”, ma ciò è forse legato anche al pubblico cui si sta rivolgendo. Egli appare, invece, spesso intento a *evidenziare l'importanza* dei temi trattati, sebbene nei paragrafi in cui accenna alle conoscenze fisiche disponibili riguardanti le comete il focus sembri evidenziare maggiormente le carenze o il grado di incertezza (con affermazioni classificabili come di *tipo 2 o 3* nella scala di Latour e Woolgar) delle osservazioni rispetto al contenuto delle teorie. Alcuni esempi: “Se dalla meccanica si passa alla fisica delle comete, le nostre cognizioni assumono un carattere d'incertezza, che in molti punti la scienza attuale non ha rimosso.”; “È *probabile* che avvengano scariche elettriche fra le particelle solide enormemente piccole attraverso i gas che le inviluppano [...] *Forse* tanto la teoria elettrica quanto quella della pressione della luce potrebbero coesistere, poiché quest'ultima è dovuta ad una reazione elettromagnetica, e *non è improbabile* che le minutissime particelle di materia abbiano cariche elettriche.”

L'ultimo punto sul quale Millosevich si sofferma è il prossimo passaggio al perielio e in vicinanza della Terra della cometa di Halley, dei quali enfatizza qualche dato: “Accade questa volta ciò che non è mai occorso nei 28 passaggi precedenti, cioè quasi al momento che la cometa è in congiunzione inferiore passa anche per il nodo discendente ($237^{\circ} 16'$, 1910.0) [...] Il primo fatto che deriva da questa eccezionalissima coincidenza è che per le regioni che hanno il sole sull'orizzonte (Australia-Asia) il nucleo della cometa si proietta sul disco del sole. [...] Il secondo fatto è che le particelle cosmiche che compongono la coda potrebbero investire la nostra atmosfera

e la terra, qualora la lunghezza della coda eccedesse i 24 milioni di chilometri e fosse comparabile a un solido geometrico simmetrico rispetto al raggio vettore prolungato. Questo secondo fatto è incerto in tutte le sue parti, e qualora si verificasse, l'inconcepibile tenuità della coda, di cui neppure ben sappiamo la sua natura e costituzione (specialmente nelle parti remotissime del nucleo), può dar luogo soltanto a qualche tenue fenomeno luminoso e forse a qualche innocua azione elettromagnetica di ben difficile previsione, e forse anche a nulla di tutto ciò.”

Nell'insieme, quindi, dal testo di Millosevich si possono osservare i temi di studio di suo maggior interesse (il calcolo delle orbite cometarie e lo sviluppo storico delle conoscenze), uno stile abbastanza tecnico – utilizza anche qualche formulazione matematica, per quanto semplice – e alcune difficoltà nell'applicare i criteri di analisi identificati (su questo punto si tornerà più avanti e nelle conclusioni).

Lo stile comunicativo di Righi appare da subito differente. Come già ricordato in precedenza, introducendo il tema della conferenza egli si *rivolge direttamente al proprio pubblico* e continuerà a farlo lungo tutta la conferenza, mostrando attenzione a un'audience variegata: “Dovrò dunque parlarvi, non solo di onde elettromagnetiche o luminose, ma altresì di ioni e di elettroni; però cercherò di farlo colla massima discrezione procurando di non dimenticare, che non tutti quelli che mi ascoltano possono avere con quei vocaboli quotidiana familiarità.”

Nel *creare e trasformare* le conoscenze dei diversi concetti che tratta, l'autore è inoltre attento a descrivere lo sviluppo di questi, non già creando un senso di derivazione alternativa alla ricerca scientifica, come trovato da Kapon nell'articolo divulgativo di Einstein, quanto fornendo un elenco piuttosto completo degli sforzi fatti per individuare e quantificare la presenza, ad esempio, di una pressione sui corpi dovuta alla radiazione o l'importanza di tale concetto nel contesto della fisica delle comete.

In questo modo la spiegazione dell'esperimento mentale di Bartoli, il racconto di ipotesi e obiezioni inerenti l'azione della pressione di radiazione sui gas e l'introduzione alla teoria atomica e della ionizzazione permettono di raccontare al pubblico non già di risultati certi, ma dello sviluppo del dibattito scientifico in corso, grazie all'uso della *storia* della scienza e del *conflitto cognitivo* che porta a osservare “il fatto non raro, che si arrivi a conclusioni giuste o giudicate tali solo in modo assintotico, cioè dopo una serie di successive correzioni, e spesso [...] dopo aver compiuto una serie di successive oscillazioni, fortunatamente d'ampiezza decrescente, da una parte e dall'altra della verità.”

Altri due elementi che Righi utilizza sono le risposte a *domande di senso comune* e le similitudini. Le prime non sono quasi mai esplicite, ma si possono individuare nello sviluppo del ragionamento interno ai capitoli. Così, ad esempio, l'intero capitolo **Costituzione delle code cometarie** sembra rispondere a tre possibili quesiti dell'audience: "Di cosa sono fatte le comete? Come questo materiale porta allo sviluppo delle code? Come mai il numero e la forma delle code variano così tanto?".

Le poche similitudini presenti nel testo hanno un ruolo simile alle *analogie positive* in Kapon: collegare le nuove idee a preesistenti per agevolarne la comprensione. Un esempio riguarda "l'assorbimento per parte del gas di quelle radiazioni, che hanno certe determinate periodicità, rivelato dal presentarsi di certe righe nere nello spettro delle radiazioni trasmesse dal gas medesimo. Si rende conto di ciò, come è noto, ammettendo, che avvenga un fenomeno analogo a quello, che in acustica si chiamò un tempo fenomeno delle vibrazioni simpatiche, ed ora fenomeno di risonanza; e cioè supponendo che gli elettroni facenti parte degli atomi e quindi delle molecole del gas entrino in vibrazione per risonanza, sottraendo così parte dell'energia spettante a quelle radiazioni, la cui periodicità è eguale a quella delle vibrazioni proprie degli elettroni [... Le esperienze di Lebedew con onde sonore, elettromagnetiche e idrodinamiche indicano che] Rimane così confermata in base ad una analogia la previsione dello stesso fisico, secondo la quale le molecole d'un gas sono spinte dalle onde luminose o calorifiche nel senso in cui queste si propagano, se il gas assorbe per risonanza qualcuna delle radiazioni che lo investono."

Nel suo insieme il testo di Righi rispetta perfettamente le dichiarazioni iniziali dell'autore: parla di comete da un punto di vista fisico, cercando di indicarne struttura e fenomeni, nonché le interazioni con lo spazio interplanetario e con le radiazioni solari. Le comete non sono un semplice pretesto per parlare della pressione di radiazione o della teoria atomica e dei fenomeni che si stanno scoprendo e studiando in quegli anni, ma sono un vero e proprio laboratorio di fisica da utilizzare per verificare ipotesi e conoscenze considerate acquisite in questi e altri ambiti della fisica coeva. Il dettaglio con il quale i diversi temi vengono trattati, pur richiedendo termini tecnici, non crea problemi al lettore in quanto i termini stessi vengono definiti nel corso della spiegazione, che procede con una serie di ragionamenti concatenati e molto serrati. Questi ragionamenti possono creare qualche difficoltà in alcuni punti, essenzialmente per la grande quantità di dettagli e osservazioni esplicitate per ogni tema (ad esempio tutti i fenomeni di ionizzazione accennati e descritti come sorgente di particelle cariche) o se non si tiene conto di elementi della fisica e dell'astronomia dei primi anni del Novecento (come l'idea di etere o della carica elettrica positiva

prevista per i corpi del Sistema solare). Anche in questo caso i criteri di analisi identificati in precedenza sono risultati di non facile applicazione.

Non è semplice quantificare la bontà dei criteri di analisi dei testi che sono stati applicati nel presente lavoro, poiché spesso si è lavorato considerando larghe le definizioni, come ad esempio successo per l'associazione delle similitudini alle analogie positive. Considerando separatamente i criteri proposti da Kapon, Turney e Fahnstock, si cercherà ora di delineare un'idea della buona riuscita delle differenti analisi.

Per quanto riguarda i criteri proposti da Kapon, nell'analisi del testo di Millosevich sono state identificate quattro estensioni di categoria nella prima parte del testo, inerenti l'estensione dell'idea di orbita di una cometa, e una nella seconda parte, per definire la costituzione di una cometa. È stato individuato due volte l'utilizzo della storia della scienza come narrativa, nella prima e nella terza parte del testo e l'uso di domande di senso comune (sottintese) e di evidenziazioni dell'importanza di un concetto rispettivamente tre e quattro volte: una domanda di senso comune per ogni parte in cui è stata divisa la conferenza nelle pagine precedenti e due evidenziazioni sia per la seconda che per la terza parte della conferenza. Non sono state individuate analogie.

Analizzando il testo di Righi, invece, sono state individuate tre similitudini nel quarto capitolo, considerate analogie positive, e numerose storie: nel secondo capitolo viene descritto l'esperimento mentale di Bartoli ed utilizzata la storia della scienza come narrativa; nel quarto e nel quinto capitolo è stato individuato l'uso del conflitto cognitivo (una volta per capitolo), mentre si è considerato l'elenco degli esperimenti e dei risultati del sesto capitolo come racconto di esperimenti. Righi si rivolge al pubblico direttamente ed esplicitamente lungo tutta la conferenza. Sono state identificate tre volte in cui si evidenzia in tal modo l'importanza di qualcosa (una volta nel primo e due volte nell'ultimo capitolo) e tre volte in cui vengono utilizzate domande di senso comune (esplicite o implicite): una volta nel terzo capitolo e due volte nel quinto.

In tutti i casi evidenziati, la selezione delle frasi appare però molto soggettiva.

Applicando ai due testi i criteri proposti da Turney il risultato è altrettanto incerto. Nel caso del testo di Millosevich non si riesce a individuare una creazione di differenze (se non quella data dal ruolo di esperto assegnabile a chi tiene la conferenza), mentre la costruzione dell'entità si osserva in due occasioni: nella prima parte della conferenza per l'idea di orbita di una cometa, nella seconda parte per quella di composizione fisica della cometa. Nel secondo caso, sono anche presenti dei

marcatori di imprecisione a causa della natura incerta delle conoscenze fisiche relative a tali corpi celesti. Le conoscenze costruite vanno poi incontro a trasformazione nelle stesse parti del testo, anche grazie alla storia della scienza utilizzata come narrativa. Infine, solo i paragrafi finali della terza parte sembrano dare significato alla materia.

Per il testo di Righi solo lo sviluppo del concetto di pressione di radiazione sembra seguire quasi tutto il percorso, dal creare differenze alla trasformazione della conoscenza, mentre a dare significato sono solo alcuni elementi degli ultimi due capitoli. I capitoli terzo, quarto e quinto contengono principalmente la costruzione di nuove entità (le code delle comete, la pressione di radiazione applicata ai gas, i fenomeni elettrici nelle comete, ...) e la trasformazione di conoscenze utile a meglio comprendere le entità stesse. Spesso la costruzione delle entità è accompagnata da marcatori di imprecisione (una volta nel secondo e quarto capitolo, tre nel quinto e quattro nel terzo). La presenza di numerosi marcatori di imprecisione nel testo di Righi rispetto a quello di Millosevich può indicare una prima differenza interessante: laddove l'astronomo crea un resoconto delle conoscenze abbastanza consolidate e accenna solo a quelle ancora dubbie, il fisico ha esposto soprattutto queste ultime, nell'intento di coinvolgere il pubblico (ascoltatore o lettore) nel ragionamento sulle novità.

Considerando i criteri proposti da Fahnestock, infine, si nota come questi siano di più facile applicazione rispetto ai precedenti, ad eccezione della teoria classica della stasi (per la quale si rimanda alle Conclusioni). La divisione dei tipi di oratoria di Aristotele permette una primissima e veloce identificazione del carattere di un discorso. Nel caso dei testi di Millosevich e Righi qui considerati non si ha mai il caso deliberativo, mentre domina il carattere forense. Solo il primo paragrafo della prima parte e il terzo dell'ultima del testo di Millosevich appaiono epidittici e in maniera analoga solo il primo e l'ultimo capitolo del testo di Righi (oltre a singoli paragrafi in memoria di Bartoli e in merito al metodo scientifico nei capitoli secondo e quarto) risultano celebrativi.

La tassonomia dei tipi di affermazione di Latour e Woolgar consente di affinare l'analisi del testo, sebbene rimanga un certo grado di soggettività nella scelta delle frasi. Per la conferenza di Millosevich risultano dominare le affermazioni di tipo 4 (certezza esplicita), seguite da quelle di tipo 3 (informazione leggermente discutibile), mentre risultano completamente assenti affermazioni di tipo 1 (speculazione). Anche nella conferenza di Righi dominano le affermazioni di tipo 4, ma la somma delle affermazioni speculative e discutibili (tipi 1-3) mostra, come i

marcatori di imprecisione di Turney, la natura differente dell'approccio del fisico al problema delle conoscenze riguardanti le comete.

Si può infine affermare che, sebbene i criteri di Kapon e Turney non siano risultati ottimali nell'analisi dei testi considerati, il secondo abbia permesso di individuare una caratteristica confermata anche con un metodo di analisi differente e di più ampio respiro, proposto da Fahnestock. Per ulteriori riflessioni sui criteri di analisi si rimanda alle Conclusioni.

Prima, però, un rapido sguardo al successivo ritorno della cometa di Halley, avvenuto settantasei anni dopo le conferenze e gli studi di Millosevich e Righi, nel 1986.

Il passaggio della cometa di Halley del 1986

Il ritorno della cometa di Halley nel 1986 offre la possibilità di vedere l'evoluzione della comunicazione scientifica e farne un confronto nell'arco di uno stesso secolo. Si tratta però di un secolo molto particolare, il Novecento, già oggetto di interpretazioni peculiari, come quella del saggio *Il secolo breve* dello storico Eric Hobsbawm (1917-2012).

L'estrema vicinanza ad oggi di questo passaggio, avvenuto meno di quaranta anni fa, permette la raccolta di testimonianze dirette dell'evento, ma rende difficile uno studio storiograficamente serio e corretto. Pertanto, nel presente capitolo si forniscono essenzialmente alcuni spunti per eventuali studi futuri, senza pretesa di completezza, riguardanti la comunicazione scientifica durante l'ultimo passaggio della cometa di Halley.

Nel farlo, si è scelto di mantenere una struttura simile al precedente capitolo *Il passaggio della cometa di Halley del 1910*, guardando ai periodici e ai quotidiani del periodo, ma evitando di addentrarsi nell'analisi di testi divulgativi specifici e conseguenti confronti con i testi di inizio secolo.

Il contesto

L'Italia degli anni Ottanta è un Paese che esce dalle lotte sociali e dalla crisi economica del decennio precedente, rinnovata. Si diffonde una sensazione di benessere, legata allo sviluppo di distretti industriali specializzati (costituiti da reti di piccole-medie imprese, invece che da poche grandi industrie come in precedenza) diffusi su larga parte del territorio nazionale e dallo sviluppo dei settori dei servizi e del volontariato. Alle azioni collettive si va sostituendo un accentuato individualismo.

Ne è uno specchio l'atteggiamento decisionista del governo di Bettino Craxi (1934-2000)²⁰¹, le cui politiche garantiscono una stabilità economica immediata, ma non risolvendo limiti strutturali

²⁰¹ Il suo governo fu in carica dal 1983 al 1987, coprendo quindi anche il periodo del passaggio della cometa di Halley di nostro interesse.

del Paese (servizi inefficienti, scarso investimento nei settori tecnologici e nella ricerca, lavoro spesso precario) porteranno a un necessario risanamento finanziario nei primi anni Novanta.

Sul piano internazionale, l'Italia rimane una delle potenze occidentali, sempre più interconnesse tra loro, ed è impegnata in una progressiva integrazione europea.

La popolazione italiana è ormai alfabetizzata²⁰², gode di uno Stato sociale che permette tutele, garanzie e rappresentanza e può sperare in un proprio miglioramento sociale (meno che nel periodo del miracolo economico a cavallo degli anni Sessanta), ma si sta rompendo il rapporto tra società e istituzioni.

Per quanto riguarda la comunicazione scientifica, due fenomeni sono interessanti.

Dalla fine degli anni Cinquanta il numero di opere pubblicate è in costante crescita in tutti i settori e per quanto riguarda la divulgazione scientifica raggiunge un temporaneo picco nella prima metà degli anni Ottanta. Si ha in questo periodo non solo la pubblicazione di numerose opere monografiche (sia di autori nazionali che tradotti dall'estero), con particolare riguardo per i temi scientifici di attualità, ma anche una grande proliferazione di periodici tematici²⁰³. Così, a *Sapere* e *Le Scienze* si aggiunge, ad esempio, il mensile *Scienza e Vita Nuova* (1979-1992).

Per il settore astronomico alla storica rivista *Coelum*, fondata da Guido Horn d'Arturo (1879-1967) nel 1931 e pubblicata dall'Osservatorio Astronomico di Bologna fino alla chiusura nel 1986, si aggiungono dalla fine degli anni Settanta le riviste: *Giornale di Astronomia* (1975-in corso) della Società Astronomica Italiana (SAIt)²⁰⁴, *Orione* (1977-1991), curata dall'astronomo Walter Ferreri (1948), e *L'Astronomia* (1979-2008), curata dagli astrofisici Margherita Hack (1922-2013) e Corrado Lamberti (1947-2020)²⁰⁵.

Nel 1986, rispetto al 1910, ai tradizionali mezzi disponibili alla divulgazione (conferenze, libri, riviste e articoli di giornale) si aggiungono i nuovi media; in particolare, la televisione.

²⁰² Nel 1981 risulta analfabeta il 3,1% della popolazione, dato che scenderà al 2,1% nel censimento del 1991 [Istat, *op. cit.* (nota 15, 2012)].

²⁰³ Si veda Paola Govoni, *op. cit.* (nota 14).

²⁰⁴ La SAIt è la società nata nel 1920 dalle ceneri della Società degli Spettroscopisti Italiani. Le *Memorie* della Società si trasformarono da rivista scientifica a pubblicazione di atti di convegni, mentre il *Giornale di Astronomia* nacque per soddisfare l'obiettivo di "promuovere la diffusione scientifica nel nostro paese", come riportato sul sito della Società: <https://www.sait.it/giornalediastronomia.html>. Ultimo accesso: 1 agosto 2022.

²⁰⁵ A *Orione* subentrò la rivista *Nuovo Orione* dal 1992, mentre Hack e Lamberti fonderanno *Le Stelle* nel 2002, entrambe confluite nel 2019 nella rivista *Cosmo*, ancora in corso. Negli anni Novanta si aggiungeranno anche la rivista *Astronomia* dell'Unione Astrofili Italiani e *Coelum Astronomia*, entrambe pubblicate ancora oggi, sebbene sempre più in formato solo digitale.

In essa si parla molto della cometa – anche se spesso a fini di intrattenimento più che di divulgazione – e, nella notte in cui la sonda europea Giotto sorvola il nucleo dell’astro, il noto divulgatore Piero Angela conduce una trasmissione che porta agli spettatori le novità in diretta, man mano che giungono le informazioni dal satellite agli scienziati che lo gestiscono. Così veniva annunciata la programmazione televisiva sul quotidiano *La Repubblica*:

“L’attesa è finita: stanotte ci saranno svelati i misteri dello spazio, forse l’origine del sistema solare e non solo agli addetti ai lavori. Anche gli astronomi smetteranno per qualche ora di scrutare il cielo. A spiare nel cuore di Halley, a trasmettere i suoi segreti ci penseranno la telecamera della missione Giotto, le antenne del centro operativo Esa di Darmstadt in Germania, i sistemi radiotelevisivi. Anche l’Italia è in allerta, e con lei la Rai tivù, rete 1. Dalle ore 22,50 Piero Angela interpreterà per i telespettatori le immagini in arrivo dall’oscurità planetaria, dove Giotto si avvicinerà a circa 500 chilometri dal nucleo della cometa. [...] la trasmissione, che finirà alla una e mezzo del mattino farà di tutto per porgere al pubblico un prodotto comprensibile, finito. [...] Ma se il clou della notte di Halley sarà intorno alla mezzanotte (per la precisione intorno alle 0,02), la cometa farà la sua prima consistente comparsa sugli schermi nazionali alle 18,30, come copertina di Italia Sera: sarà l’occasione per vedere le immagini riprese dalla sonda sovietica Vega Uno [...] E per chi volesse contemplare da solo il fenomeno, a cielo aperto? Innanzitutto dovrà leggere almeno uno dei libri fatalmente usciti per l’occasione”²⁰⁶.

La cometa viene citata in diverse opere letterarie, cinematografiche e musicali del periodo, segno dell’interesse nella cultura popolare. L’*International Halley Watch* e le istituzioni astronomiche dei vari Paesi organizzarono eventi e iniziative per coinvolgere astrofili, appassionati e curiosi. Altri eventi di quell’anno avranno notevoli impatti successivi: l’esplosione alla partenza dello Space Shuttle Challenger il 28 gennaio²⁰⁷ – che insieme all’equipaggio, tra gli strumenti, trasportava anche un esperimento volto all’osservazione dello spettro ultravioletto di coda e chioma della cometa²⁰⁸; l’esplosione del quarto reattore della centrale nucleare di Chernobyl il 26 aprile.

²⁰⁶ Susanna Nirenstein (1986, marzo 13), “Canzoni, film e una diretta tv. Così lo spazio diventa spettacolo”. *La Repubblica*. <https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/1986/03/13/canzoni-film-una-diretta-tv-cosio.html>. Ultimo accesso: 13 luglio 2022.

²⁰⁷ Delle successive indagini parla parte del libro di Richard P. Feynman, «*Che t’importa di ciò che dice la gente?*» (Bologna: Zanichelli, 1989).

²⁰⁸ NASA Space Science Data Coordinated Archive. Spartan Halley: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=SPATN-H>. Ultimo accesso: 13 luglio 2022.

Prima di guardare come si è parlato della cometa di Halley sui giornali, accenniamo ad alcune differenze rispetto al passaggio precedente.

La cometa, non più osservata dal giugno 1911, fu ritrovata già il 16 ottobre 1982 al riflettore di cinque metri dell'Osservatorio di Monte Palomar²⁰⁹, equipaggiato con un CCD, mentre divenne visibile con ottima strumentazione amatoriale sotto un buon cielo buio all'inizio del 1985 e risultò visibile a occhio nudo dal novembre dello stesso anno. Rispetto al passaggio del 1910, la cometa sarebbe rimasta più lontana dalla Terra, con una distanza minima di circa sessantatré milioni di chilometri. Raggiunto il perielio il 9 febbraio 1986, la cometa apparve più luminosa tra marzo e aprile, mentre rimaneva all'orizzonte all'alba e al tramonto per gli osservatori nell'emisfero settentrionale della Terra, quindi anche per l'Italia.

La cometa fu osservata, da alcuni Osservatori professionali, fino alla seconda metà del marzo 1991²¹⁰.

I giornali

Per confronto con il 1910, abbiamo considerato la presenza della cometa di Halley sul quotidiano *La Stampa* negli anni Ottanta. Dagli ultimi mesi del 1981, il quotidiano presenta un inserto settimanale dedicato alle notizie scientifiche, *Tuttoscienze*, dove si trovano in genere le notizie tecnico-scientifiche in forma più approfondita.

Nell'archivio storico online del quotidiano sono stati cercati gli articoli che parlano di comete da quando la cometa di Halley fu ritrovata fino alle ultime osservazioni all'inizio degli anni Novanta. Per comodità si è divisa la ricerca in quattro periodi: da metà ottobre 1982 a fine anno, per vedere se e come era stato comunicato l'avvenuto ritrovamento; il biennio 1983-1984, per osservare l'attesa del ritorno; il biennio 1985-1986, per valutare eventuali cambiamenti nell'approccio alla cometa di Halley durante il periodo di visibilità; il periodo 1987-1991, per vedere cosa se ne scriveva a incontro avvenuto.

²⁰⁹ All'epoca era il secondo più grande telescopio ottico al mondo, superato solo dal sovietico con specchio primario di sei metri.

²¹⁰ Fu successivamente ritrovata nel gennaio 1994 e nel marzo 2003. Questi periodi risultano dal Minor Planet Center: https://www.minorplanetcenter.net/db_search/show_object?object_id=1P. Ultimo accesso: 2 agosto 2022.

Negli anni considerati, i termini “cometa” e “comete” appaiono diverse centinaia o migliaia di volte, riferiti in genere a prodotti o eventi commerciali; è difficile distinguere quando l’articolo è astronomico, senza scorrerli direttamente uno per uno.

Si è pertanto optato per cercare espressamente “cometa di Halley”: risultano 8 articoli nel periodo del ritrovamento, fine anno 1982; 61 articoli nel biennio 1983-1984; 389 articoli nel biennio 1985-1986 e 115 nel periodo 1987-1991. La maggior parte degli articoli è concentrata nei periodi vacanzieri, col quotidiano in edizione ridotta e un numero maggiore di articoli di colore rispetto ad altre settimane. L’eccezione principale a questo andamento è il biennio 1985-1986, in cui la maggior parte degli articoli è concentrata tra l’autunno del 1985 e la primavera del 1986, corrispondenti al periodo di massima visibilità della cometa di Halley dall’emisfero boreale e, dopo il passaggio al perielio della cometa, all’avvicinamento delle sonde della *Halley Armada*.

Eliminando errori di indicizzazione, pubblicità, articoli di astrologia e filatelia, il numero di articoli si riduce notevolmente.

La maggioranza degli articoli rimasti, quando non riguarda suggerimenti di osservazione e fotografia della cometa o riferisce di conferenze, mostre e pezzi teatrali a tema, aggiorna con notizie delle missioni spaziali verso la cometa (accordi tra agenzie, progetti, lanci, situazione e risultati dalle diverse missioni) e, a partire dal 1984, coi risultati delle osservazioni terrestri.

Dal 1982 al 1984 sono inoltre presenti brevi trafiletti in cui si annuncia l’osservazione della cometa da parte delle varie nazioni; annunci che vengono eventualmente estesi in successivi articoli nell’inserito *Tuttoscienze*. Ad esempio, il primo ritrovamento della cometa, il 16 ottobre 1982, appare in un trafiletto del 22 ottobre nel quotidiano, poi ripreso nell’inserito scientifico il 10 novembre e approfondito la settimana seguente.

Nel biennio 1985-1986 si aggiungono sempre più numerosi articoli di colore legati alle osservazioni storiche della cometa, al suo legame con Giotto e le festività natalizie, e i progetti futuri che si stanno delineando per le missioni spaziali degli anni Novanta e Duemila, nella cornice europea e in quella della collaborazione internazionale tra i due blocchi della guerra fredda.

In tutto il periodo, la cometa di Halley è citata fuori dal contesto scientifico solo in riferimento alla riscoperta di autori di inizio Novecento; diversamente dal passaggio del 1910, non è usata metaforicamente in racconti politici o giudiziari.

Anche lo spazio dedicato alla cometa – di solito alle sonde spaziali che la visitano – è ridotto rispetto a inizio secolo e raggiunge solo raramente l’intera prima pagina dell’inserito scientifico.

In genere, gli articoli divulgativi più elaborati celebrano i progressi conoscitivi e tecnologici acquisiti nei secoli, e proiettano fiduciosi le medesime aspettative sui futuri piani che si stanno discutendo per l'inizio del nuovo millennio.

Negli anni successivi l'incontro tra le sonde e la cometa di Halley, essa diviene il metro di paragone per tutte le altre comete che appaiono, mentre tutte le nuove missioni europee vengono confrontate con la sonda Giotto.

Ma tutta la comunicazione scientifica di questi anni potrebbe non aver ottenuto effetti duraturi; in un articolo del 10 gennaio 1991, l'astrofisico Paolo Maffei (1926-2009) scrive:

“Ogni tanto qualcuno, forse memore del rumore e delle imprese scatenati dal passaggio del 1986, ripensa alla cometa di Halley e chiede agli astronomi sue notizie: se si è persa di vista, in quale parte del sistema solare si trovi ora, e soprattutto pone l'immane domanda, un po' inquisitoria, sui risultati raggiunti dopo l'assalto scientifico del 1985-86, dei quali afferma di non sapere nulla, scuotendo la testa come se questi risultati non ci fossero stati. In realtà si fece troppo rumore in occasione di quel passaggio che per la spettacolarità sarebbe stato, come risultava dalle effemeridi, il peggiore degli ultimi due millenni. L'ampia disponibilità di tempo per preparare e montare un grande affare commerciale basato sulla fama dell'astro e sul ricordo, reso vivo dai testimoni oculari del precedente passaggio del 1910, avevano spinto a fare di tutto. Un centinaio di Stati emise francobolli commemorativi isolati, in serie o in foglietti. Strumenti ottici, libri, poster, carte celesti, cassette audio e video furono venduti a migliaia in tutto il mondo. Furono organizzati ovunque: conferenze, viaggi nell'emisfero australe, da dove la cometa si sarebbe vista meglio. Tutte queste iniziative, anche se positive, furono senz'altro sproporzionate, e il pubblico, deluso per aver visto poco o niente, passò immediatamente a un atteggiamento di scetticismo anche nei confronti delle ricerche scientifiche. Queste, invece, avevano dato e continuano a dare risultati importantissimi.”²¹¹

L'articolo prosegue con i risultati scientifici della missione Giotto e degli altri sforzi compiuti, che hanno permesso di collegare le osservazioni terrestri e spaziali, associando ciò che avviene vicino al nucleo cometario ai fenomeni osservati da terra. Dopo un cenno ai progetti spaziali futuri,

²¹¹ Paolo Maffei (1991, gennaio 10), “Nella testa della cometa”. *La Stampa*, 16. http://www.archiviolaStampa.it/component/option.com_lastampa/task.search/mod.libera/action.viewer/Itemid.3/page.16/articleid.0854_01_1991_0007_0016_11910322/. Ultimo accesso: 2 agosto 2022.

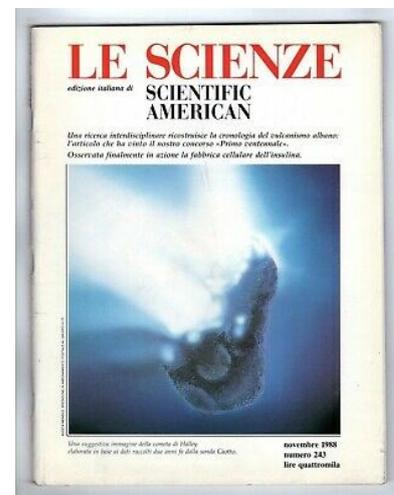
l'autore nota anche i progressi della strumentazione terrestre, che permette di osservare la cometa di Halley molto più a lungo che in passato:

“Nel ritorno del 1910, dopo il passaggio al perielio, la cometa di Halley fu osservata ancora per un anno e 56 giorni. Nei mesi di aprile e maggio del 1988, quando erano già passati 2 anni e 3 mesi dal passaggio al perielio e si trovava a una distanza intorno a un miliardo e 250 milioni di chilometri, fu ottenuta una sua immagine [...] La cometa mostrò di avere ancora una chioma abbastanza estesa. L'osservazione è stata ripetuta con lo stesso telescopio [...] nelle notti dal 21 al 24 febbraio 1990. Quelle notti la cometa era distante dal Sole un miliardo 870 milioni di chilometri, appariva di magnitudine 24,4, quasi 100 milioni di volte più debole della più debole stella visibile a occhio nudo, e ridotta ormai a un punto. L'attività era cessata. Ora la cometa continua ad allontanarsi come un corpo inerte, solido e freddo, verso l'afelio. Rimarrà così fino a quando, superato questo punto, tornerà ad avvicinarsi al Sole e a splendere poi nel nostro cielo, intorno al passaggio al perielio del 28 luglio 2061.”²¹²

Le Scienze

Si è scelto di guardare a una rivista di divulgazione scientifica non specializzata in astronomia, per sondare la situazione su una rivista di più ampio respiro e con la possibile presenza di scienziati tra i collaboratori, come era per *La Scienza per Tutti* nel 1910.

Tra le riviste citate in precedenza, si è deciso di guardare il mensile *Le Scienze*, la versione italiana della rivista statunitense *Scientific American*, edito tuttora. In passato la maggioranza dei contenuti della rivista consisteva nella traduzione degli articoli pubblicati nella rivista americana; questo era ancora vero negli anni Ottanta, mentre oggi vi sono molti contributi e rubriche curati da scienziati e divulgatori italiani.



Copertina della rivista *Le Scienze*.

²¹² Paolo Maffei, *op. cit.* (nota 211), 16. Contrariamente alla chiusa dell'articolo, dai telescopi dell'*European Southern Observatory* (Eso), nel febbraio 1991, la cometa di Halley fu osservata aumentare improvvisamente di luminosità mentre si trovava tra Saturno e Urano.

Forse anche a causa dell'approccio editoriale, non vi furono tanti articoli a tema comete negli anni 1985 e 1986. Solo uno per anno²¹³. A questi si è aggiunto un articolo pubblicato nel 1988, nel quale si faceva il punto sulle conoscenze ottenute grazie alle sonde della *Halley Armada*.

Il primo articolo²¹⁴, firmato da due astrofisici italiani, racconta lo studio della dinamica delle comete, partendo dal problema degli N corpi di cui traccia la storia a partire dal problema dei due corpi, studiato da Keplero (le tre leggi del moto dei pianeti intorno al Sole). Introdotti gli approcci analitico e numerico, esalta soprattutto i risultati di quest'ultimo grazie all'utilizzo dei computer, poi passa all'applicazione del calcolo delle orbite in astronomia, in particolare al caso delle comete. Questo caso è complicato dalle perturbazioni, ma “lo studio della loro dinamica ci può portare, tracciando a ritroso il loro cammino, al «dove» si sono formate e, forse, anche al «come» e al «quando»”²¹⁵. Specificano poi che “non è in pratica possibile ricostruire il cammino che una certa cometa ha realmente percorso nel passato, se non per archi di tempo piccolissimi in confronto all'età del sistema solare; piuttosto, lo studio della dinamica delle comete serve a dedurre che cosa può e che cosa non può essere accaduto [...] all'intera popolazione”²¹⁶. Discutono poi le principali perturbazioni gravitazionali che possono modificare l'orbita delle comete, con vari esempi osservati.

Il secondo articolo²¹⁷ spiega le conoscenze sulle code delle comete, accennando alla pressione di radiazione che agisce sulle code di polvere per poi dedicare molto spazio alle interazioni tra il vento solare e gli ioni delle code di gas – accennando alle teorie e ai meccanismi della fisica dei plasmi. L'inizio e la fine dell'articolo appaiono esaltare il periodo in corso e le prospettive future (si accenna alla fine a un'idea di missione prevista per gli anni Novanta, ma successivamente cancellata a favore della missione *Cassini-Huygens* verso il sistema di Saturno).

In particolare, l'articolo inizia affermando che: “Un giorno gli anni 1985 e 1986 saranno considerati un'epoca d'oro per l'astronomia cometaria. Se avessimo avuto la possibilità di scegliere

²¹³ Cercando articoli sulle comete nella rivista, dalla sua fondazione nel 1968 fino al 1988, si trovano solamente sette articoli. Il primo, del maggio 1974, traduce la spiegazione divulgativa del modello del nucleo *a palla di neve sporca* ed è firmato dallo stesso Fred Lawrence Whipple che lo aveva proposto nel 1950.

²¹⁴ Andrea Carusi, Giovanni Battista Valsecchi, “Lo studio della dinamica delle comete”, in *Le Scienze*, 202 (giugno 1985), 52-58.

²¹⁵ Andrea Carusi, Giovanni Battista Valsecchi, *op. cit.* (nota 214), 54.

²¹⁶ Andrea Carusi, Giovanni Battista Valsecchi, *op. cit.* (nota 214), 54.

²¹⁷ John C. Brandt, Malcolm B. Niedner Jr., “La struttura delle comete”, in *Le Scienze*, 210 (febbraio 1986), 54-62.

due anni nei quali essere cometologi attivi la scelta sarebbe caduta chiaramente su questi due”²¹⁸. Racconta degli sforzi osservativi internazionali da terra e dallo spazio e delle missioni alle comete 21P/Giacobini-Zinner e 1P/Halley, concludendo che per l’*Halley Armada*: “Le missioni avranno l’appoggio di reti di osservazione con base a terra; altre osservazioni coordinate verranno compiute dall’equipaggio della missione Astro 1 della NASA sulla navetta spaziale. [L’articolo è stato pubblicato nell’edizione originale prima del disastro del *Challenger*]”²¹⁹.

L’ultimo articolo²²⁰ riporta i primi risultati ottenuti dai *flyby* delle sonde che si sono avvicinate alla cometa di Halley, con particolare focus sulla europea Giotto. Oltre agli studi sulle code e l’ambiente intorno alla cometa, si nota come “i recenti risultati hanno felicemente confermato i caratteri essenziali del modello corrente dei nuclei cometari: quello della «palla di neve sporca»”²²¹ e, dopo averne descritto i punti principali, si riportano le novità inattese: essenzialmente le dimensioni, l’albedo e la forma irregolare del nucleo, che “ricorda quella di un’arachide o di una patata”²²²; la piccola porzione di superficie attiva (che emette i getti) e la sua composizione: “i dati chimici ottenuti dalle sonde *Giotto*, *Vega-1* e *Vega-2* dimostrano che il nucleo contiene in realtà tre componenti: i ghiacci, il materiale litico e una frazione leggera resistente al calore che probabilmente contiene composti organici polimerizzati”²²³.

Da un confronto con l’articolo originale²²⁴, si nota come la traduzione, pur non sempre letterale, mantenga il senso corretto anche nelle frasi più alterate, al contrario di quanto avveniva – soprattutto nel dare importanza alla ricerca nazionale – nelle traduzioni dal bollettino di Flammarion in *La Scienza per Tutti* all’inizio del Novecento.

L’uso della storia della scienza, di una retorica *celebrativa*, inframmezzata con grafici – e spiegazioni matematiche, nel primo articolo – e l’utilizzo di affermazioni certe, ma esplicite (*tipo 4 della scala di Latour e Woolgar*), caratterizzano tutti gli articoli considerati.

²¹⁸ John C. Brandt, Malcolm B. Niedner Jr., *op. cit.* (nota 217), 55.

²¹⁹ John C. Brandt, Malcolm B. Niedner Jr., *op. cit.* (nota 217), 55. Le parentesi quadre sono nell’originale.

²²⁰ Hans Balsiger, Hugo Fechtig, Johannes Geiss, “Uno sguardo ravvicinato alla cometa di Halley”, in *Le Scienze*, 243 (novembre 1988), 74-84.

²²¹ Hans Balsiger, Hugo Fechtig, Johannes Geiss *op. cit.* (nota 220), 80.

²²² Hans Balsiger, Hugo Fechtig, Johannes Geiss *op. cit.* (nota 220), 82.

²²³ Hans Balsiger, Hugo Fechtig, Johannes Geiss *op. cit.* (nota 220), 82.

²²⁴ Hans Balsiger, Hugo Fechtig, Johannes Geiss, “A Close Look at Halley’s Comet”, in *Scientific American*, 259(3) (september 1988), 96-103.

Conclusioni

La contestualizzazione storica delle conoscenze cometarie, della divulgazione e della situazione italiana permette di delineare le circostanze in cui la divulgazione avviene, stando attenti a non effettuare analisi vincolate a visioni del mondo e regionalismi appartenenti non già al periodo analizzato, ma a quello in cui l'analisi viene svolta. Per quanto riguarda l'Italia del primo Novecento, risulta così che la popolazione italiana raggiungibile dalla comunicazione scientifica non fosse elevata come gli scienziati postunitari speravano, ma una frazione minima, che secondo alcune stime²²⁵ era inferiore al dieci per cento della popolazione complessiva e corrispondeva in larga parte alla ristretta élite culturale e benestante. Ciò, d'altra parte, garantiva un pubblico sufficientemente istruito da consentire a scienziati e divulgatori l'uso di qualche tecnicismo nelle loro conferenze e opere, comprese quelle di *scienza per tutti*.

Dai quotidiani, comunque, non appare una popolazione particolarmente spaventata o superstiziosa nei confronti di questi astri: le eventuali perplessità erano legate alle conoscenze scientifiche disponibili sulle comete che arrivavano al pubblico con toni esagerati, ai quali gli astronomi e altri scienziati provarono a rispondere rassicuranti.

Una peculiarità emersa durante le ricerche per il presente lavoro riguarda la figura di Augusto Righi. Nonostante la caratura del personaggio, abbiamo sue notizie e informazioni solo attraverso corrispondenze con altri scienziati e politici, inerenti le attività di cui si stava occupando, o tramite le numerose celebrazioni, in vita e in memoria, che altre personalità fecero di lui. Non abbiamo molte notizie della persona, quante del professore e del politico.

Per quanto i punti focali delle conferenze di Righi e Millosevich fossero differenti, in virtù dei rispettivi interessi per l'oggetto astronomico, entrambe affrontano le novità che la fisica recente aveva portato nello studio delle comete, mostrando come la meccanica celeste prima e l'astrofisica successivamente avessero contribuito non solo a una miglior comprensione delle comete, ma a renderle un laboratorio per nuove idee ed esperimenti.

I criteri di analisi individuati per la visione generale sono buoni, anche se non perfetti, poiché rimangono parzialmente soggettivi, richiedendo a chi li applica di cogliere sottili differenze nei

²²⁵ Paola Govoni, *op. cit.* ([nota](#) 8), 73-74.

termini, nelle frasi e nei ragionamenti in una maniera che potrebbe ricordare agli astronomi la classificazione morfologica delle galassie nel passato, quando a fare la differenza erano l'esperienza nel produrre e analizzare le lastre fotografiche.

Ciò nonostante, i criteri proposti da Fahnestock aiutano ad individuare rapidamente la retorica e il tipo di affermazioni coinvolte nella divulgazione di vario tipo (conferenze, articoli di quotidiani e periodici), consentendo di rilevarne gli intenti più celebrativi o esplicativi dell'indagine scientifica. Tale capacità dei criteri esposti in *Accommodating Science* è probabilmente dovuta al fatto che si tratta di criteri presi dalla retorica classica e dalle tecniche di *close reading*, adeguate all'analisi del discorso indipendentemente dal genere. Fahnestock stessa, nell'articolo, le applica contemporaneamente a riviste scientifiche e di divulgazione scientifica, ma anche a periodici e quotidiani generalisti (in particolare confronta articoli scientifici apparsi su *Science* e su riviste di divulgazione scientifica dello stesso editore).

Nell'analisi effettuata in queste pagine è stata esclusa la teoria della stasi presentata da Fahnestock poiché i testi analizzati non seguivano la sequenza di domande che la caratterizza, una sequenza che ricorda invece le domande classiche del giornalismo ("Chi? Cosa? Dove? Come? Quando? Perché?"); come queste, la stasi identifica la ricerca di una serie di informazioni date in un particolare ordine, che potrebbe essere osservata e studiata negli articoli dei quotidiani discussi nei capitoli precedenti.

I criteri particolari e più dettagliati individuati negli altri articoli di ricerca discussi, invece, per quanto utili a rifinire le tecniche utilizzate più o meno consapevolmente dagli autori dei testi qui analizzati, sembrano dover essere di volta in volta ricalibrati e quasi ridefiniti per ciascun testo considerato.

Così, la conferenza di Millosevich appare alternare momenti celebrativi e forensi, con affermazioni certe solo negli aspetti consolidati e più apertamente discutibili nelle conoscenze ancora in costruzione, come gli aspetti chimico-fisici delle comete. Ma quando si guardano le tecniche più al dettaglio, appare difficile applicare l'approccio di Turney, derivato dalla costruzione delle lezioni scolastiche, mentre solo alcune delle tecniche proposte da Kapon si riscontrano nel testo, in particolare la storia della scienza come narrativa e l'estensione di categoria, mentre altre – come il rivolgersi al pubblico – sono piuttosto sottintese.

Nella conferenza di Righi si identificano altrettanto bene i momenti celebrativi e forensi e il grado di certezza delle affermazioni, ma anche qui il passaggio ai criteri più dettagliati crea difficoltà. L'approccio di Turney appare maggiormente rispettato, sebbene non sempre in modo completo e

chiaro in tutte le parti in cui è suddiviso il testo, mentre delle tecniche proposte da Kapon solo alcune sono effettivamente utilizzate, in particolare l'uso del conflitto cognitivo, degli esperimenti e delle domande di senso comune (sebbene spesso sottintese).

Questa difficoltà di applicazione dei criteri di analisi dei testi individuati da Kapon e Turney potrebbe derivare da uno o più degli aspetti seguenti: i criteri individuati dagli autori sono troppo specifici, confezionati su misura per i testi che hanno analizzato (articolo divulgativo di Albert Einstein per Kapon e libro di divulgazione scientifica di Brian Greene per Turney); i criteri di analisi pensati per un testo di una certa epoca non risultano compatibili con l'analisi di testi di epoche differenti, quindi i criteri risulterebbero essere specifici per testi del 1946 e del 2000, risultando inadeguati per opere del 1910 a causa di differenti approcci alla costruzione del discorso; i criteri pensati per analizzare un articolo o un libro risultano inadeguati quando si analizza la trascrizione di una conferenza poiché la natura del testo è differente, essendo diverso il pubblico a cui è originariamente destinata. Infatti, laddove un articolo può concentrarsi solo su uno o pochi concetti alla volta, a causa del poco spazio a disposizione, un libro può dedicare anche decine di pagine a un singolo tema e approfondirne diversi per accompagnare il lettore a una graduale e lenta comprensione dell'argomento discusso, mentre per una conferenza cambia completamente il metro di misura: esso diventa il tempo a disposizione (decine di minuti o poche ore) in cui l'oratore esporrà l'argomento, eventualmente aiutato da oggetti, gesti e altri elementi del linguaggio non verbale che difficilmente possono essere trasmessi nella trascrizione della conferenza stessa, nonostante essa sia rivista per la pubblicazione in un volumetto – come nel caso di *Comete ed elettroni* di Righi – con note bibliografiche e altre cure.

Nonostante la difficile applicazione di una parte dei criteri di analisi utilizzati, essi hanno permesso di individuare alcune differenze di stile e approccio tra le due opere: laddove l'astronomo Elia Millosevich espone un riassunto delle conoscenze abbastanza consolidate e accenna solo a quelle ancora dubbie, concentrando il proprio intervento su aspetti storici e matematici, il fisico Augusto Righi imposta il suo discorso soprattutto intorno alle conoscenze da verificare, pur non risparmiandosi nelle spiegazioni di concetti e teorie note o nel raccontare la loro evoluzione nei secoli, mostrando così contemporaneamente le strade già percorse tramite un'indagine fisica delle comete e di altri corpi celesti e un ragionamento con numerose supposizioni che possono stimolare quella parte di pubblico che già conosce – almeno parzialmente – il tema, nell'intento di coinvolgere il pubblico (ascoltatore o lettore) a interrogarsi in merito alle novità.

Infine, i cenni alla comunicazione scientifica avvenuta al ritorno della cometa di Halley a fine Novecento indicano un possibile tema da approfondire in ulteriori studi. Questi dovrebbero tener conto di articoli su quotidiani e riviste, eventuali conferenze e libri usciti per l'occasione, ma dovranno anche comprendere i nuovi media non disponibili nel 1910, in particolare la televisione. Ciò richiede anche ulteriori strumenti di analisi adeguati ai diversi mezzi di comunicazione.

Dagli spunti qui presentati si può notare che, rispetto alla celebrazione delle conoscenze scientifiche ancora eredi del Positivismo che appaiono in alcune pubblicazioni di inizio secolo, nel materiale considerato per il 1986 si assiste maggiormente a una celebrazione della tecnologia (con annesse questioni di potere politico) e a un uso più commerciale che scientifico dell'evento, come criticato nell'articolo riportato di Paolo Maffei. L'*epoca scientifica* di Feynman si accompagna a questioni sociali e all'intrattenimento nella divulgazione scientifica.

Ringraziamenti

Questo elaborato è frutto di mesi di domande e ricerca, confronti e condivisione con diverse persone. Ma è anche il frutto di un percorso iniziato da anni. Fortunatamente, in famiglia mi hanno sopportato per tutto il tempo. Grazie.

Ringrazio il prof. Eugenio Bertozzi per avermi proposto l'idea da cui è scaturita questa tesi, indirizzandomi nel lavoro, ma assecondando anche certe mie derive tematiche.

Un ringraziamento va alla prof.ssa Paola Govoni e alle ricercatrici Ileana Chinnici e Manuela Coniglio, per le utili dritte storiche iniziali; altri ringraziamenti sono per il prof. Fabrizio Bònoli e il dott. Sandro Bardelli, per le preziose indicazioni ed i suggerimenti ad ogni mia piccola richiesta.

Una menzione particolare va a Chiara Pellegrini, per i continui confronti su Righi e l'età liberale di questi mesi, e a Massimiliano Matteuzzi, per i confronti costanti sulla vita, l'Universo e tutto quanto degli ultimi anni. Grazie.

Un grazie va anche allo staff del Planetario di Modena e ai membri del Gruppo Astrofili G.B. Amici (Gagba) per il supporto, e in particolare a Roberto Bini, Andrea Salati e Roberto Bagnoli per la disponibilità a raccontare dei tempi passati; nonché a chi ha risposto ai miei quesiti.

La mia gratitudine per l'anno passato insieme e le occasioni successive ai ricercatori e giornalisti dell'Inaf (ovviamente in ordine alfabetico): Daria Guidetti, Marco Malaspina, Luciano Nicastro, Eliana Palazzi, Stefano Parisini, Sara Ricciardi, Maura Sandri, Stefania Varano, Fabrizio Villa.

Altri ringraziamenti vanno a una certa combriccola di attori e attrici (in ordine rigorosamente casuale): Riccardo Gabriele Ferrari, Francesco Paoli, Tania Prampolini, Annalisa Celli, Giorgia Gaetaniello, Marcello Massarini, Irene Costi, Rafael Raggioli, Giulia Ragazzi, Alice Montanari, Matteo Castellari, Kevin Lodesani e alla nostra insegnante Alice Melloni.

A Sara e Giulia Castellini, Lara Valenti, che mi spronano sempre al meglio.

A Francesca Zanetti, Chiara Maria De Franchis, Emanuela Venturelli e a tutti coloro che, non nominati, sanno di aver fatto parte del mio percorso negli ultimi anni. È anche grazie a voi se sono arrivato fin qui. Che sia un bene o un male, rimane a voi deciderlo. Grazie.

Bibliografia

Introduzione

- [1]. Montgomery, Scott L. (2003). *The Chicago guide to communicating science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- [2]. Ciardi, Marco (2014). *Galileo & Harry Potter. La magia può aiutare la scienza?*. Roma: Carocci.
- [3]. Govoni, Paola (2012). La scienza e il suo pubblico, in Umberto Eco (Ed.), *L'Ottocento: l'età del Romanticismo. Filosofia, scienze e tecniche* (L'età moderna e contemporanea, vol.11, pp. 801-815). Roma: Gruppo editoriale L'Espresso.
- [4]. Bensaude-Vincent, Bernadette (2001). A genealogy of the increasing gap between science and the public. *Public Understanding of Science*, 10(1), 99-113.
- [5]. The Royal Society (1985). The public understanding of science. Report of a Royal Society ad hoc Group endorsed by the Council of the Royal Society.
https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/publications/1985/10700.pdf.
Ultimo accesso: 20 giugno 2022.
- [6]. Holden, Constance (2002, Ottobre 4). From PUS to PEST. *Science*, vol. 298(5591), 49.
<https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.298.5591.49b>. Ultimo accesso: 20 giugno 2022.
- [7]. Bevilacqua, Giuliana (2014). La comunicazione scientifica: il delicato rapporto tra scienza, media e pubblico, in AA.VV., *Testo, Contesto ed Evento. Geomorfologia, una nuova frontiera delle Scienze della Terra* (Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, vol. XCVI, pp.387-390). Roma: Ispra.
- [8]. Turbil, Cristiano (2017). Paolo Mantegazza and the dream of 'making' science popular circa 1860-1900. *Public Understanding of Science*, 26(5), 627-631.
- [9]. Govoni, Paola (2011). Professionalizzazione dello scienziato e ingresso delle donne nella scienza accademica. I casi inglese e italiano a confronto, in Silvano Montaldo (Ed.), *Cesare Lombroso. Gli scienziati e la nuova Italia* (pp. 95-122). Bologna: il Mulino.
- [10]. Govoni, Paola (2007). The rise and fall of science communication in late nineteenth century Italy, in Martin W. Bauer, Massimiano Bucchi (Ed.), *Journalism, Science and Society. Science Communication between News and Public Relations* (pp. 21-32). New York: Taylor & Francis Group.
- [11]. Govoni, Paola (2011). Dalla scienza popolare alla divulgazione. Scienziati e pubblico in età liberale, in Francesco Cassata, Claudio Pogliano (Ed.), *Storia d'Italia. Annali 26. Scienza e cultura dell'Italia unita* (pp. 65-81). Torino: Einaudi.
- [12]. Mazzotti, Massimo (2006). I significati della precisione. Per una storia socioculturale dell'astrofisica italiana, in Paola Govoni (Ed.), *Storia, Scienza e Società. Ricerche sulla scienza in Italia nell'età moderna e contemporanea* (Bologna Studies in History of Science, vol.11, pp. 143-173). Bologna: CIS-Dipartimento di Filosofia.
- [13]. Govoni, Paola (2002). *Un pubblico per la scienza. La divulgazione scientifica nell'Italia in formazione*. Roma: Carocci.
- [14]. Govoni, Paola (2013). The Power of Weak Competitors: Women Scholars, "Popular Science," and the Building of a Scientific Community in Italy, 1860s-1930s. *Science in Context*, 26(3), 405-436.
- [15]. Govoni, Paola (2011). Scienza ed editoria dall'Unità alla rete, in Francesco Cassata, Claudio Pogliano (Ed.), *Storia d'Italia. Annali 26. Scienza e cultura dell'Italia unita* (pp. 833-865). Torino: Einaudi.
- [16]. Govoni, Paola (2011). Popularizing science in Italy: a historical perspective. An interview with Paola Govoni. *Journal of Science Communication*, 10(01) C04, 1-4.
- [17]. Istat (2012). L'Italia in 150 anni. Sommario di statistiche storiche 1861-2010.
<https://www.istat.it/it/archivio/228440>. Ultimo accesso: 20 Giugno 2022.
- [18]. Istat (2020). Il Censimento permanente della popolazione e delle abitazioni. Prima diffusione dei dati definitivi 2018 e 2019. https://www.istat.it/it/files/2020/12/REPORT_CENSIPOP_2020.pdf.
Ultimo accesso: 20 Giugno 2022.
- [19]. Bucchi, Massimiano, Mazzolini, Renato G. (2003). Big science, little news: science coverage in the Italian daily press, 1946-1997. *Public Understanding of Science*, 12(1), 7-24.

- [20]. Istat (2022). Lieve flessione della produzione libraria, in aumento il numero di lettori, in *statistiche. report - Produzione e lettura di libri in Italia | Anno 2020*.
https://www.istat.it/it/files/2022/02/REPORT_PRODUZIONE_E_LETTURA_LIBRI_2020.pdf.
 Ultimo accesso: 20 Giugno 2022.
- [21]. Donnelly, Kevin (2014). On the boredom of science: positional astronomy in the nineteenth century. *The British Journal for the History of Science*, 47(3), 479-503.
- [22]. Benvenuti, Silvia, Natalini, Roberto (2017). Comunicare la matematica: chi, come, dove, quando e, soprattutto, perché?!. *Matematica, Cultura e Società. Rivista dell'Unione Matematica Italiana, Serie I, Vol. 2*, 175-193.
- [23]. Donati, Giovanni Battista (1862). Intorno alle striae degli spettri stellari. *Il Nuovo Cimento (1855-1868)* 15, 292-304, 366-376.
- [24]. Donati, Giovanni Battista (1864). Schreiben des Herrn Professors Donati, Directors der Sternwarte in Florenz, an den Herausgeber. *Astronomische Nachrichten*, 62(1488), 375-378.
- [25]. Chinnici, Ileana (2020). Thus was established the Italian Astronomical Society. *Il Nuovo Saggiatore*, 36(3-4), 65-76.
- [26]. Jansky, Karl G. (1933). Radio Waves from Outside the Solar System. *Nature*, 132, 66.
- [27]. Reber, Grote (1940). Notes: Cosmic Static. *The Astrophysical Journal*, 91, 621-624.
- [28]. Hoyle, Fred, Fowler, William A., Burbidge, Geoffrey R., Burbidge, Eleanor Margaret (1956). Origin of the Elements in Stars. *Science*, 124(3223), 611-614.
- [29]. Govoni, Paola (2009). The Historiography of Science Popularization: Reflections Inspired by the Italian Case, in Faidra Papanelopoulou, Agustí Nieto-Galan, Enrique Perdiguero (Ed.), *Popularizing Science and Technology in the European Periphery, 1800-2000* (pp. 21-42). Farnham: Ashgate.
- [30]. Cooter, Roger, Pumfrey, Stephen (1994). Separate spheres and public places: reflections on the history of science popularization and science in popular culture. *History of Science*, 32, 237-267.
- [31]. Hilgartner, Stephen (1990). The Dominant View of Popularization: Conceptual Problems, Political Uses. *Social Studies of Science*, 20(3), 519-539.
- [32]. Beer, Gillian (1990). Translation or Transformation? The Relations of Literature and Science. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 44(1), 81-99.
- [33]. Myers, Greg (2003). Discourse studies of scientific popularization: questioning the boundaries. *Discourse Studies*, 5(2), 265-279.
- [34]. Paul, Danette (2004). Spreading Chaos. The Role of Popularizations in the Diffusion of Scientific Ideas. *Written Communication*, 21(1), 32-68.
- [35]. Secord, James A. (2004). Knowledge in Transit. *Isis*, 95(4), 654-672.
- [36]. Bucchi, Massimiano (2013). Style in science communication. *Public Understanding of Science*, 22(8), 904-915.

I criteri di analisi

- [37]. Kapon, Shulamit (2014). Bridging the knowledge gap: An analysis of Albert Einstein's popularized presentation of the equivalence of mass and energy. *Public Understanding of Science*, 23(8), 1013-1024.
- [38]. Turney, Jon (2004). Accounting for explanation in popular science texts—an analysis of popularized accounts of superstring theory. *Public Understanding of Science*, 13(4), 331-346.
- [39]. Fahnestock, Jeanne (1986). Accommodating Science. The Rhetorical Life of Scientific Facts. *Written Communication*, 3(3), 275-296.
- [40]. Turney, Jon (2004). Passing it on: redescribing scientific explanation, in John Cornwell (Ed.), *Explanations. Styles of Explanation in Science* (pp. 213-228). Oxford: Oxford University Press.
- [41]. Fahnestock, Jeanne (1993). Accommodating Science. The Rhetorical Life of Scientific Facts, in W. McRae (Ed.), *The Literature of Science – Perspectives on Popular Scientific Writing* (pp. 17-36). Athens, GA: University of Georgia Press.
- [42]. Fahnestock, Jeanne (1998). Accommodating Science. The Rhetorical Life of Scientific Facts. *Written Communication*, 15(3), 330-350.
- [43]. Einstein, Albert (1946). $E = mc^2$: The most urgent problem of our time. *Science Illustrated*, 1(1), 16-17.
<https://taimur.wordpress.com/2005/11/25/einstein/>. Ultimo accesso: 20 Giugno 2022.
- [44]. Einstein, Albert (1905). Does the inertia of a body depend upon its energy-content? (traduzione inglese dell'articolo: Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?. *Annalen der Physik*, 18, 639-641). https://www.fourmilab.ch/etexts/einstein/E_mc2/e_mc2.pdf. Ultimo accesso: 20 Giugno 2022

Le comete nella storia

- [45]. Chinnici, Ileana (2015). Nineteenth-Century Comets: Studies and Observations in Sicily. *Journal for the History of Astronomy*, 46(2), 130-158.
- [46]. Pannekoek, Anton (2004). *L'evoluzione della nostra concezione del mondo. Una storia dell'astronomia*. Edizione inglese: Pannekoek, Anton (1961). *A History of Astronomy*. (trad: studenti del corso di Storia dell'Astronomia del Corso di Laurea in Astronomia dell'Università degli Studi di Bologna. Revisione a cura del titolare del corso: Fabrizio Bònoli). London: G. Allen & Unwin Ltd.
- [47]. Shakespeare, William (1978). Giulio Cesare (trad: Perosa, Sergio; testo inglese a fronte da edizione del 1623), in Giorgio Melchiori (Ed.), *I Drammi Classici*. (Teatro Completo di William Shakespeare. Volume V). Milano: Arnoldo Mondadori.
- [48]. Ciardi, Marco (2021). *Breve storia delle pseudoscienze*. Milano: Hoepli.
- [49]. Tempesti, Piero (1984). *I segreti delle comete* (Biblioteca di Astronomia). Roma: Armando Curcio.
- [50]. Alighieri, Dante (2003). *Divina Commedia. Edizione integrale*. Stefano Jacomuzzi, Attilio Dughera, Giovanna Ioli, Vincenzo Jacomuzzi (Ed.). Torino: Società Editrice Internazionale.
- [51]. Unione Astrofili Italiani (2018). Astrocultura UAI.
<http://astrocultura.uai.it/astroarte/astroletteratura/cognizioni/convivio.htm#comete>.
Ultimo accesso: 9 luglio 2022.
- [52]. Maffei, Paolo (1984). *La cometa di Halley*. Milano: Arnoldo Mondadori.
- [53]. Galilei, Galileo (2008). *Il Saggiatore* (Universale Economica. I Classici). Milano: Feltrinelli.
- [54]. Shapley, Harlow, Howarth, Helen E. (1929). *A Source Book in Astronomy* (Gregory D. Walcott (Ed.), Source Books in the History of the Sciences). New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- [55]. Tempesti, Piero (1973). *Parliamo di comete* (Quaderni di Didattica della Scienza N.1). Teramo: Edigrafital.
- [56]. Babinet, Jacques (1858). *Études et Lectures sur les Sciences d'Observation et leurs Applications Pratiques. Cinquième Volume*. Paris: Mallet-Bachelier.
- [57]. Bredichin, Theodor (1880). The Tails of Comets. *The Observatory*, 3, 454-455.
- [58]. Schiaparelli, Giovanni Virginio (1860). Sulla direzione iniziale della coda delle comete. *Il Nuovo Cimento*, 12(1), 380-393.
- [59]. Donati, Giovanni Battista (1862). Sulle apparenze fisiche della cometa V, del 1858. *Il Nuovo Cimento*, 15(1), 389-392.
- [60]. Schiaparelli, Giovanni Virginio (1866). *Intorno al corso ed all'origine probabile delle stelle meteoriche. Lettere di G. V. Schiaparelli al P. A. Secchi*. Roma: Tipografia delle scienze matematiche e fisiche.
- [61]. Secchi, Angelo, Schiaparelli, Giovanni Virginio (1867). Intorno al corso ed all'origine probabile delle stelle meteoriche. *Il Nuovo Cimento*, 26(1), 386-403.
- [62]. Schiaparelli, Giovanni Virginio (1867). *Note e riflessioni intorno alla teoria astronomica delle stelle cadenti*. Firenze: Stamperia Reale.
<http://www.uai.it/archeostronomia/wp-content/uploads/2019/01/1867-Schiaparelli-teoria-astronomica-stelle-cadenti.pdf>. Ultimo accesso: 28 luglio 2022.
- [63]. Secchi, Angelo (1861). *Continuazione e fine delle Osservazioni e ricerche astronomiche sulla grande cometa del 6 Giugno 1861*. *Il Nuovo Cimento*, 14(1), 289-331.
- [64]. Secchi, Angelo (1867). Studi spettrali sulle comete. *Il Nuovo Cimento*, 28(1), 136-142.
- [65]. Riccò, Annibale (1909). Osservazioni astrofisiche della cometa "Morehouse,, eseguite nel R. Osservatorio di Catania. *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, 38, 41.
- [66]. Denning, William Frederick (1908). The meteors of Halley's comet. *Nature*, 77(2009), 619.
- [67]. Lowell, Percival (1910). Motion of molecules in the tail of Halley's comet 1910. *Lowell Observatory Bulletin*, 1, 256-257.
- [68]. Lang, Kenneth R., Gingerich, Owen (1979). *A Source Book in Astronomy and Astrophysics* (Edward H. Madden (Ed.), Source Books in the History of the Sciences). Cambridge: Harvard University Press.
- [69]. Keller, H. U. (1994). Results of the space missions to comet Halley. *Current Science*, 66 (7-8), 603-611.
- [70]. Jones, Geraint H., Fitzsimmons, Alan, Knight, Matthew M., Taylor, Matt G. G. (Ed.) (2017). *Cometary science after Rosetta. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 375(2097). London: The Royal Society Publishing.

Il passaggio della cometa di Halley del 1910

- [71]. *Conferenze e Prolusioni. Anno II* (1909). Roma: Società Editrice Laziale.
- [72]. *Conferenze e Prolusioni. Anno III* (1910). Roma: Società Editrice Laziale.
- [73]. La Stampa – Archivio Storico dal 1867 (2021). <http://www.archiviolaStampa.it/>.

Ultimo accesso: 22 Giugno 2022.

- [74]. Bencivelli, Silvia, de Ceglia, Francesco Paolo (2013). *Comunicare la scienza*. Roma: Carocci.
- [75]. Biblioteca Digitale (2019). Biblioteca Nazionale Centrale di Roma.
<http://digitale.bnc.roma.sbn.it/tecadigitale/1/Home>. Ultimo accesso: 23 giugno 2022.
- [76]. Gallica (2015). Bibliothèque nationale de France.
<https://gallica.bnf.fr/accueil/it/content/accueil-it?mode=desktop>. Ultimo accesso: 25 giugno 2022.
- [77]. Randazzo, Donatella (2022). Astronomi in Italia dall'Unità ai nostri giorni.
<http://www.astropa.inaf.it/archivio-storico/astronomi/>. Ultimo accesso: 25 giugno 2022.

Augusto Righi

- [78]. Archivio Storico del Senato della Repubblica (2022). *I senatori d'Italia*.
<http://notes9.senato.it/web/senregno.nsf/Senatori?OpenPage>. Ultimo accesso: 29 giugno 2022.
- [79]. Rostagni, Antonio (1972). *Augusto Righi e la sua opera a mezzo secolo dalla scomparsa. 11 dicembre 1971*. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.
- [80]. Cardani, Pietro (1921). In Memoria di Augusto Righi. *Il Nuovo Cimento*, 21, 52-157.
- [81]. *Le feste giubilari di Augusto Righi per la inaugurazione del nuovo Istituto di Fisica (XII aprile MCMVII)*(1907). Bologna: Zanichelli. <https://archive.org/details/lefestegiubilar00righgoog/mode/2up>.
Ultimo accesso: 5 luglio 2022.
- [82]. Dragoni, Giorgio (2017). Augusto Righi: Fisico e Matematico – una rilettura biografica. *Quaderni di Storia della Fisica*, 19(1), 47-71.
- [83]. Leone, Matteo, Robotti, Nadia (2020). Augusto Righi. *Giornale di Fisica*, 61(3), 337-358.
- [84]. Bertozzi, Eugenio (2020). Augusto Righi and the intuition of the experiment. A scientific portrait of one of the leading Italian physicists across the end of the 19th and the beginning of the 20th century. *Il Nuovo Saggiatore*, 36(5-6), 51-60.
- [85]. Bertozzi, Eugenio (2021). “And nothing else exists to constitute the Universe”: Augusto Righi and the ultimate physical reality at the dawn of the 20th Century. *Il Nuovo Cimento C*, 44(4-5), 1-4.
- [86]. Nobel Prize Outreach AB (2022). The Nobel Prize. Nobel Foundation. <https://www.nobelprize.org/>.
Ultimo accesso: 5 luglio 2022.

Le conferenze di Millosevich e Righi

- [87]. La conferenza Millosevich sulle comete (1910, febbraio 27). Recentissime. *La Nazione*, p.5.
- [88]. Reale Accademia delle Scienze di Bologna (1910). Memorie della R. Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Supplemento.
- [89]. Righi, Augusto (1911). *Comete ed elettroni* (Attualità Scientifiche, n. 13). Bologna: Zanichelli.
- [90]. Cerulli, Vincenzo (1919). Elia Millosevich. *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, 2(8), 99-103.
- [91]. Millosevich, Elia, Bianchi, Emilio, Zappa, Giovanni (1909). Beobachtungen des Halley'schen Kometen 1909 c. *Astronomische Nachrichten*, 183(4373), 79-80.

Il passaggio della cometa di Halley del 1986

- [92]. Fossati, Marco, Luppi, Giorgio, Zanette, Emilio (2006). *Passato presente. 3: Il Novecento e il mondo contemporaneo*. Genova: Paravia Bruno Mondadori.
- [93]. Nirenstein, Susanna (1986, marzo 13). Canzoni, film e una diretta tv. Così lo spazio diventa spettacolo. *La Repubblica*.
<https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/1986/03/13/canzoni-film-una-diretta-tv-cosio.html>. Ultimo accesso: 13 luglio 2022.
- [94]. Carusi, Andrea, Valsecchi, Giovanni Battista (1985). Lo studio della dinamica delle comete. *Le Scienze*, 202, 52-58.
- [95]. Brandt, John C., Niedner, Malcolm B. Jr. (1986). La struttura delle code delle comete. *Le Scienze*, 210, 54-62.
- [96]. Balsiger, Hans, Fechtig, Hugo, Geiss, Johannes (1988). Uno sguardo ravvicinato alla cometa di Halley. *Le Scienze*, 243, 74-84
- [97]. Balsiger, Hans, Fechtig, Hugo, Geiss, Johannes (1988). A Close Look at Halley's Comet. *Scientific American*, 259(3), 96-103.

Conclusioni

[98]. Feynman, Richard P. (1999). *Il senso delle cose*. Milano: Adelphi.

Appendici

[99]. Plessi, Giuseppe (1954). *Le Insignia degli Anziani del Comune dal 1530 al 1796. Catalogo-Inventario* (Ministero dell'Interno. Pubblicazioni degli Archivi di Stato XVI. Archivio di Stato di Bologna). Roma.

Alla cometa di Halley

[100]. Giovanni Pascoli nello specchio delle sue carte (2014). Soprintendenza Archivistica e Bibliografica della Toscana. <http://www.pascoli.archivi.beniculturali.it/index.php?id=2>. Ultimo accesso: 22 Giugno 2022.

[101]. Pascoli, Giovanni (1953). *Odi e inni*. Bologna: Zanichelli.

Cenni biografici di alcuni astronomi italiani

[102]. Enciclopedia Treccani (2022). Istituto della Enciclopedia Italiana. <https://www.treccani.it/enciclopedia/>. Ultimo accesso: 25 giugno 2022.

[103]. General Notes (1920). *Popular Astronomy*, 28, 133.

[104]. Bianchi, Emilio. (1919). Elia Millosevich. *Astronomische Nachrichten*, 210, 229-232.

Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley

[105]. Karttunen, Hannu, Kröger, Pekka, Oja, Heikki, Poutanen, Markku, Donner, Karl Johan (2017). *Fundamental Astronomy. Sixth Edition*. Berlin: Springer.

Riferimenti per le immagini usate nel testo

[106]. Cometa di Halley fotografata il 6 giugno 1910 allo Yerkes Observatory. Pubblico dominio. https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full_width/public/thumbnails/image/halleys_comet_5_halleys_comet_1910_appearance_library_of_congress.jpg?itok=5LUKT7xG. Ultimo accesso: 6 agosto 2022.

[107]. Cometa di Halley fotografa l'8 marzo 1986. W. Liller, Easter Island, part of the International Halley Watch (IHW) Large Scale Phenomena Network. https://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo_gallery/photogallery-comets.html. Ultimo accesso: 6 agosto 2022.

[108]. Cometa di Halley nel 1066. Dettaglio dall'arazzo di Bayeux. Pubblico dominio. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bayeux_Tapestry_scene32_Halley_comet.jpg. Ultimo accesso: 6 agosto 2022.

[109]. Adorazione dei Magi di Giotto, Cappella degli Scrovegni, Padova. Dettaglio. Pubblico dominio. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Giotto_di_Bondone_-_No._18_Scenes_from_the_Life_of_Christ_-_2._Adoration_of_the_Magi_-_WGA09195.jpg. Ultimo accesso: 6 agosto 2022.

[110]. Alcuni esempi di apparizioni cometary di Maria Clara Eimmart. Museo della Specola di Bologna. <https://museospecola.difa.unibo.it/images/67i.html>. Ultimo accesso: 6 agosto 2022.

[111]. Ritratto di Edmond Halley di Richard Phillips. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Isaac-Newton#/media/1/252812/11349>. Ultimo accesso: 6 agosto 2022.

[112]. Primo spettro di una cometa. Da *Astronomische Nachrichten* 62, Nr. 1488 (1864). Da Chinnici, Ileana (2015). Nineteenth-Century Comets: Studies and Observations in Sicily. *Journal for the History of Astronomy*, 46(2), 141, Figure 4.

[113]. Foto e spettri della cometa di Halley ottenuti all'Osservatorio di Madrid nel Maggio 1910. Observations of Halley's Comet. *Nature*, 83 (1910, May 26), 384. <https://www.nature.com/articles/083384a0>. Ultimo accesso: 6 agosto 2022.

[114]. Rappresentazione delle missioni cometarie dal 1985 ad oggi. Da Jones, Geraint H., Fitzsimmons, Alan, Knight, Matthew M., Taylor, Matt G. G. (Ed.) (2017). Introduction. *Cometary science after Rosetta. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 375(2097). London: The Royal Society Publishing, 3, Figure 1.

[115]. Mosaico dei nuclei cometari visitati da sonde spaziali. Composizione dell'autore a partire dalle seguenti immagini:

1P/Halley, dettaglio:

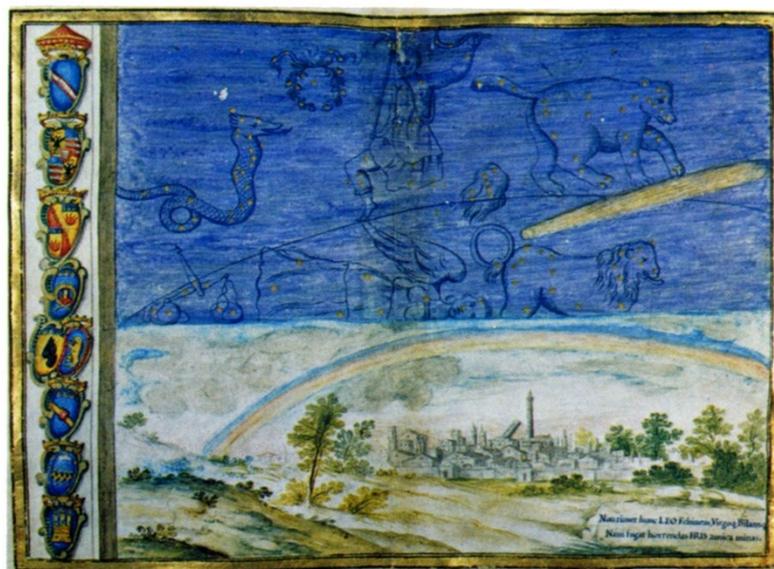
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2016/03/Giotto_approaching_Comet_Halley.

Ultimo accesso: 5 agosto 2022.

19P/Borrelly:

- <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia03500-highest-resolution-comet-picture-ever-reveals-rugged-terrain-deep-space-1>. Ultimo accesso: 5 agosto 2022.
- 81P/Wild 2: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia06285-wild-2-close-look>. Ultimo accesso: 5 agosto 2022.
- 9P/Tempel 1: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia02142-tempel-1-composite-map>.
Ultimo accesso: 5 agosto 2022.
- 103P/Hartley 2: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia13570-introducing-comet-hartley-2>.
Ultimo accesso: 5 agosto 2022.
- 67P/Churyumov-Gerasimenko, dettaglio:
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2016/02/Comet_67P_Churyumov-Gerasimenko.
Ultimo accesso: 5 agosto 2022.
- Informazioni da Meech, K. J. (2017). Setting the scene: what did we know before Rosetta?. In Jones, Geraint H., Fitzsimmons, Alan, Knight, Matthew M., Taylor, Matt G. G. (Ed.). *Cometary science after Rosetta. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 375(2097). London: The Royal Society Publishing, 9, Figure 7.
- [116]. Esempi di pubblicità apparse nel Maggio 1910.
Il Corriere della Sera (1910, maggio 17). Da Hack, Margherita, Dominici, Viviano (2010). *Notte di Stelle*. Milano: Sperling & Kupfer, 280, Figura 71.
La Stampa (1910, maggio18), 5.
http://www.archiviolaStampa.it/component/option,com_lastampa/task,search/mod,libera/action,viewer/Itemid,3/page,4/articleid,1199_01_1910_0136_0004_17865256/anews,true/. Ultimo accesso: 5 agosto 2022.
- [117]. Copertina della rivista *La Scienza per Tutti*. Dalla Biblioteca digitale della Biblioteca Nazionale Centrale di Roma. <http://digitale.bnc.roma.sbn.it/tecadigitale/giornale/TO00194960/1910/unico#>.
Ultimo accesso: 13 maggio 2022.
- [118]. Augusto Righi. Da Rostagni, Antonio (1972). *Augusto Righi e la sua opera a mezzo secolo dalla scomparsa. 11 dicembre 1971*. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.
- [119]. Frontespizio del fascicolo di *Conferenze e Prolusioni* del 1-15 maggio 1910, in cui è riportata la conferenza di Millosevich. Foto dell'autore al documento conservato presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze.
- [120]. Copertina del volume *Comete ed elettroni*. Foto dell'autore al volume.
- [121]. Copertina della rivista *Le Scienze*. Risultato ricerca per immagini della copertina del numero di novembre 1988.
- [122]. La cometa di Halley su Bologna nel 1682. Dettaglio dall'Insignia degli Anziani Consoli del quinto bimestre 1682. Cortesia del prof. Fabrizio Bònoli.
- [123]. Giovanni Boccardi. Da *Torinoscienza*. <https://www.torinoscienza.it/personaggi/giovanni-boccardi>.
Ultimo accesso: 6 agosto 2022.
- [124]. Giovanni Celoria. Pubblico dominio. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Giovanni_Celoria.png.
Ultimo accesso: 6 agosto 2022.
- [125]. Pio Emanuelli. Pubblico dominio. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pio_Emanuelli.jpg.
Ultimo accesso: 6 agosto 2022.
- [126]. Elia Millosevich. Da Cerulli, Vincenzo (1919). Elia Millosevich. *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, 2(8), 99-103.
- [127]. Elementi orbitali. Da Maffei, Paolo (1984). *La cometa di Halley*. Milano: Arnoldo Mondadori, 49, Fig.2.5. Modificata dall'autore.

Appendici



La cometa di Halley su Bologna nel 1682. Dettaglio dall'Insignia degli Anziani Consoli del quinto bimestre 1682. Cortesia del prof. Fabrizio Bònoli.

Le *Insignia degli Anziani Consoli* sono documenti su pergamena in grande formato che dal 1530 al 1796 furono commissionati ogni due mesi, per celebrare i magistrati al potere del Comune di Bologna e mantenere così l'interesse del popolo verso le istituzioni locali, il cui potere era fortemente calato a seguito dell'assoggettamento di Bologna alla Chiesa nel 1506. Dalla fine del Cinquecento, oltre a nomi e stemmi dei magistrati al potere veniva raffigurato un evento significativo avvenuto durante il periodo in carica. Il dettaglio è in un angolo della pergamena del bimestre settembre-ottobre 1682, quando in cielo si trovò la cometa osservata da Halley e, tra gli altri che ne scrissero, a Padova da Geminiano Montanari (1633-1687)²²⁶. Le *Insignia* sono oggi conservate in sedici volumi nell'Archivio di Stato di Bologna²²⁷.

²²⁶ Geminiano Montanari, *Copia di lettera scritta all'Illustrissimo Antonio Magliabechi intorno alla nuova cometa apparsa quest'anno 1682 sotto i piedi dell'Orsa Maggiore* (Bologna: Manolessi Stampatori Camerali, 1682). Si vedano, a esempio:

http://www.brera.mi.astro.it/sormano/full_ancientcomet.html#Comet_of_1682;

<http://www.atlascoelestis.com/Montanari%201682%20base.htm>;

<http://www.atlascoelestis.com/Cometa%201682%20Halley%20base.htm>. Ultimo accesso: 6 agosto 2022.

²²⁷ La pergamena considerata è nel volume X, c. 11-12. Si rimanda a Giuseppe Plessi (Ed.), *Le Insignia degli Anziani del Comune dal 1530 al 1796. Catalogo-Inventario* [Ministero dell'Interno. Pubblicazioni degli Archivi di Stato XVI. Archivio di Stato di Bologna] (Roma, 1954), 166.

Pagina lasciata intenzionalmente vuota.

Alla cometa di Halley

In occasione del passaggio della cometa di Halley, il poeta Giovanni Pascoli pubblicò sulla rivista letteraria *Il Marzocco* del 9 gennaio 1910, con dedica “a R. Davidsohn che ispirò anzi dittò”, una ode alla cometa nella quale si incontrano due figure, la cometa stessa e il poeta Dante Alighieri, resi simboli universali - del cosmo infinito ed eterno la prima, della poesia e dell’Uomo il secondo. Il testo è pieno di metafore e richiami ad altre opere letterarie, ma mostra anche la conoscenza del poeta dei libri di divulgazione astronomica di Camille Flammarion – la prima edizione italiana de *L’Astronomia popolare* è del 1885 – e delle tematiche astronomiche discusse in quei decenni. Si noti, ad esempio, il richiamo ai canali di Marte scoperti dall’astronomo Giovanni Virginio Schiaparelli nel 1877 e la cui esistenza sarà smentita definitivamente intorno al 1909, pur rimanendo a lungo nell’immaginario popolare dei decenni successivi.

L’ode *Alla cometa di Halley* fu poi inserita, postuma, prima nel volume *Poesie Varie* (1912) curato dalla sorella Maria e poi nel volume *Odi e inni*, a partire dalla terza edizione (1913)²²⁸. Viene qui riportata come si trova nell’edizione del 1953 di *Odi e inni*²²⁹.

²²⁸ Per il materiale sull’ode alla cometa si veda l’Archivio Pascoli digitalizzato dalla Soprintendenza Archivistica per la Toscana, alla pagina: <http://www.pascoli.archivi.beniculturali.it/index.php?id=45&objId=13011>.

²²⁹ Giovanni Pascoli, *Odi e inni* (Bologna: Zanichelli, 1953), 76-80.

ALLA COMETA DI HALLEY

I

O tu, stella randagia, astro disperso,
che forse cerchi, nel tuo folle andare,
la porta onde fuggir dall'universo!

Le stelle, quando la tua face appare,
impallidiscono; ansa nei pianeti
l'intimo fuoco, alto s'impenna il mare.

Escono le sibille dai segreti
antri d'Uràno. In riva dei canali
di Marte, in pianto, passano i profeti.

Pieno di pianto è il cielo de' mortali
figli del Sole; e sangue rosso piove
nella penombra, a man a man che sali,
degli astri attorno al semispento Giove.

II

O tu, ricordi questa terra nera?
Volgono appena otto anni tuoi, da quando
tu lo vedesti, in una cupa sera,

un della Terra. Andava solo, errando,
senza speranza, col bordone in mano,
ma senza meta, dalla patria in bando

e da sé stesso: e nel cammin suo vano
ei s'arrestava, mentre l'ombra queta
calava, udendo un mesto suon lontano.

E dagli abissi uscita allor, Cometa,
tu fiammeggiavi lunga all'orizzonte.
Udiva il suon lontano di compieta,

che par che pianga. E lo toccasti in fronte.

III

Le stelle impallidirono. Non v'era
altro che te nel cupo cielo esangue
che tu sferzavi con la tua criniera.

Tu tra i pianeti e i Soli, eri com'angue
che uccide e passa. A questa nera Terra
dicevi il tristo ribollir del sangue,

l'ombre vaganti, i gridi da sotterra,
tutti gli affanni, tutte le sventure,
tutti i delitti: incendi, stragi, guerra.

All'uomo, dietro le montagne oscure
e gl'irti rocchi, tu mostravi un luogo:
la sua città. Razzavi come scure

e fumigavi lenta come un rogo.

IV

Egli guardò. Non vide che una selva
oscura, e sopra il sonno delle genti
del mondo reo senti latrar la belva.

Vide l'abisso con racchiusi i venti,
le fiamme e il gelo, e la perpetua romba
delle grandi acque, e lo stridor dei denti.

Udì l'alto silenzio che rimbomba
eternamente; e il lume del sentiero
scorse, ch'è tra le stelle e la gran tomba.

Egli era il peregrino del Mistero.
E tu la morte gli accennasti, ed esso
la vide, e l'abbracciò col suo pensiero,
e sì l'uccise nel potente amplesso.

V

Ma tu sdegnosa ti spargevi avanti,
torva Cometa, in un diluvio rosso
le miche accese d'altri mondi infranti.

Dante era l'uomo. E tu dicevi: – Io posso
spezzarti, o Terra. E niuno saprà mai
che v'era un globo, ora da me percosso,

nei freddi cieli. Ti disperderai
come una grigia nuvola d'incenso,
o nera Terra! E tu, Ombra, che stai? –

Stava. Egli solo nello spazio immenso
stava a te contro, a guardia degli umani,
astro di morte. – Io mi son un che penso –

egli diceva – e sempre è il mio domani. –

VI

Tu gli solcasti della tua minaccia
la dura fronte; e il pensator terreno
le mani aperse ed allargò le braccia.

E immobilmente ascese tra il baleno
delle tue scheggie, ascese senza fine,
come in un plenilunio sereno.

Gli si frangean, col croscio di ruine,
bolidi intorno; in polvere lucente
ridotto il cosmo gli piovea sul crine.

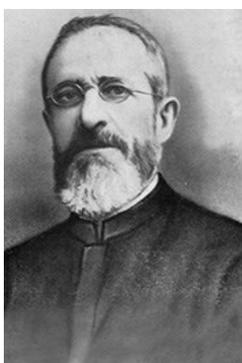
Negli occhi aperti, accese appena e spente,
morian le stelle. E Dante fu nessuno.
Terra non più, Cielo non più, ma il Niente.

Il Niente o il Tutto: un raggio, un punto,
l'Uno.

Cenni biografici di alcuni astronomi italiani

Si riportano di seguito alcune note biografiche di astronomi italiani attivi nel 1910, citati nel presente lavoro.

Padre Giovanni Boccardi



Giovanni Boccardi.

Nato²³⁰ a Castelmauro (Campobasso) il 20 giugno 1859, studiò Matematica a Napoli e fu ordinato sacerdote nel 1884. Insegnò nei collegi del suo ordine in diversi luoghi dell'Europa dell'Est e del Medio Oriente, fino ad essere richiamato a Roma nel 1892. Dopo un periodo all'Osservatorio di Collurania (Teramo) tra il 1889 e il 1890, dal 1896 iniziò ad occuparsi di astronomia presso l'Osservatorio del Collegio Romano e la Specola Vaticana, dove fu nominato astronomo dal biennio 1899-1900. Si spostò in questo periodo a Teramo, poi a Parigi e Berlino per seguire corsi di perfezionamento in Astronomia e, al rientro in Italia, fu mandato all'Osservatorio e all'università di Catania. Qui rimase fino al 1903, quando divenne professore di Astronomia all'università di Torino e direttore dell'Osservatorio astronomico torinese, ruolo che mantenne fino al collocamento a riposo nel 1923. Nel 1912 ottenne lo spostamento dell'Osservatorio di Torino dalla sede di Palazzo Madama a quella di Pino Torinese. Dopo il 1923 visse per un periodo in Francia, poi a Napoli e infine a Savona, dove morì il 24 ottobre 1936.

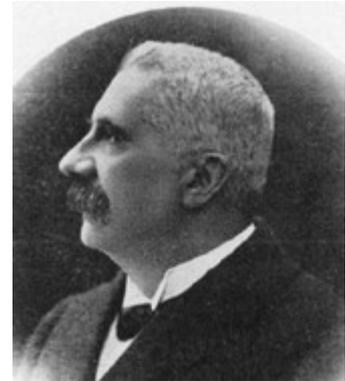
Si occupò di astronomia posizionale, calcoli delle orbite (per i quali pubblicò anche lavori sul calcolo numerico), cataloghi stellari e determinazioni e variazioni di latitudine.

Si impegnò nella divulgazione dell'astronomia, scrivendo articoli divulgativi, tenendo conferenze e fondando a Torino nel 1906 una Società Astronomica Italiana di cui curò la rivista per alcuni anni. Fu membro di alcune Accademie e ottenne riconoscimenti in Francia per i suoi lavori.

²³⁰ Informazioni tratte da: Donatella Randazzo, "BOCCARDI GIOVANNI", in *Astronomi in Italia dall'Unità ai nostri giorni*, 21 febbraio 2017. <http://www.astropa.inaf.it/astronomer/boccardi-giovanni/>. Consultato in data 25 giugno 2022; Enrico Ferri, "BOCCARDI, Giovanni", in *Dizionario Biografico degli Italiani*, 11 (1969). [https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-boccardi_\(Dizionario-Biografico\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-boccardi_(Dizionario-Biografico)). Consultato in data: 25 giugno 2022.

Giovanni Celoria

Giovanni Gaetano Maria Celoria nacque²³¹ a Casale Monferrato (Alessandria) il 29 gennaio 1842, si laureò in Ingegneria a Torino nel 1863 e iniziò subito a lavorare presso l'Osservatorio di Brera (Milano), sotto la direzione di Giovanni Virginio Schiaparelli. Ad eccezione di un anno in Germania (dal 1864), lavorò sempre all'Osservatorio di Brera, di cui divenne direttore nel 1900, succedendo nel ruolo a Schiaparelli. Mantenne l'incarico fino al 1917, quando andò fuori ruolo per limiti di età.



Giovanni Celoria.

Si interessò inizialmente ad alcuni studi meteorologici, ma molto del suo lavoro riguardò le osservazioni e i calcoli di effemeridi e orbitali di pianeti, asteroidi, comete e stelle doppie, oltre al calcolo dei parametri di alcune eclissi e osservazioni storiche di comete.

Si occupò anche di geodesia, come docente e come membro – e presidente dal 1902 – della Commissione Geodetica Italiana, che studiò il problema della variazione delle latitudini insieme ad altri enti internazionali.

Socio di numerose Accademie e Associazioni italiane ed estere, si impegnò nella politica cittadina prima, e come Senatore del Regno dal 1909 alla morte.

Si dedicò anche alla divulgazione scientifica, collaborando con articoli per giornali e monografie. Morì a Milano il 17 agosto 1920.

²³¹ Informazioni tratte da: Donatella Randazzo, “CELORIA GIOVANNI”, in *Astronomi in Italia dall'Unità ai nostri giorni*, 21 febbraio 2017. <http://www.astropa.inaf.it/astronomer/celoria-giovanni/>. Consultato in data 25 giugno 2022; Nicoletta Janiro, “CELORIA, Giovanni”, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, 23 (1979). [https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-celoria_\(Dizionario-Biografico\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-celoria_(Dizionario-Biografico)/). Consultato in data: 25 giugno 2022; Archivio Storico del Senato della Repubblica, “CELORIA Giovanni”, in *I senatori d'Italia*, 2022. <http://notes9.senato.it/web/senregno.nsf/8c58c55c1230e7f8c125703d002fe257/c7eb3d57f7e385094125646f005a042a?OpenDocument>. Consultato in data 25 giugno 2022.

Pio Emanuelli

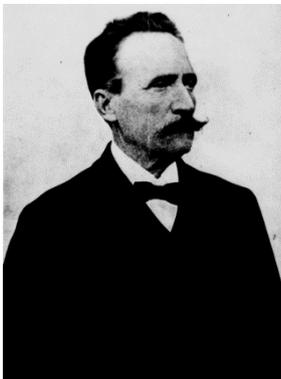


Pio Emanuelli.

Nato²³² a Roma il 3 novembre 1889, già da ragazzo iniziò a frequentare l'Osservatorio del Collegio Romano, diretto da Elia Millosevich. Si laureò in Fisica a Roma nel 1910 e iniziò subito a lavorare alla Specola Vaticana, dove collaborò al Catalogo Astrografico. Dal 1922 divenne docente di Astronomia all'università di Roma e dal 1938 anche di Storia dell'Astronomia.

Si occupò principalmente di meccanica celeste e dell'osservazione di eclissi solari, prendendo parte anche a spedizioni dedicate alla conferma delle teorie di Albert Einstein tra il 1922 e il 1923. Fu segretario della Società Astronomica Italiana dal 1924 al 1928 e membro di diverse Accademie. Sin dai primi anni di attività fu molto impegnato come divulgatore, sia con conferenze che con libri e articoli per riviste e giornali – anche durante il servizio militare nei due conflitti mondiali, tra cui una rubrica su *Coelum* e una per *Il Corriere della Sera* (dal 1930), nonché ai microfoni della EIAR (la radio controllata dal regime fascista). Morì a Roma il 2 luglio 1946.

Elia Millosevich



Elia Millosevich.

Elia Filippo Francesco Giuseppe Maria Millosevich nacque²³³ a Venezia il 5 settembre 1848. Interrotti gli studi liceali per problemi familiari, dal 1866 lavorò all'ufficio postale della città, proseguendo gli studi da autodidatta. Nel 1872, vincendo un concorso pubblico dell'università di Padova, divenne docente di astronomia nautica presso il R. Istituto di Marina Mercantile di Venezia, nel quale riuscì a costruire un piccolo osservatorio astronomico nel 1876. Nel 1879 fu chiamato a Roma dall'astronomo Pietro Tacchini come vicedirettore dell'Ufficio centrale di

²³² Informazioni tratte da: Donatella Randazzo, "EMANUELLI PIO", in *Astronomi in Italia dall'Unità ai nostri giorni*, 21 febbraio 2017. <http://www.astropa.inaf.it/astromer/emanuelli-pio/>. Consultato in data 25 giugno 2022; Giuseppe Monaco, "EMANUELLI, Pio", in *Dizionario Biografico degli Italiani*, 42 (1993).

[https://www.treccani.it/enciclopedia/pio-emanuelli_\(Dizionario-Biografico\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/pio-emanuelli_(Dizionario-Biografico)/). Consultato in data: 25 giugno 2022.

²³³ Informazioni tratte da: Donatella Randazzo, "MILLOSEVICH ELIA FILIPPO FRANCESCO GIUSEPPE MARIA", in *Astronomi in Italia dall'Unità ai nostri giorni*, 21 febbraio 2017.

<http://www.astropa.inaf.it/astromer/millosevich-elia-filippo-francesco-giuseppe-maria/>. Consultato in data 25 giugno 2022; Giuseppe Gullino, "MILLOSEVICH, Elia", in *Dizionario Biografico degli Italiani*, 74 (2010).

[https://www.treccani.it/enciclopedia/elia-millosevich_\(Dizionario-Biografico\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/elia-millosevich_(Dizionario-Biografico)/). Consultato in data: 25 giugno 2022; "General Notes", in *Popular Astronomy*, 28 (1920), 133; Emilio Bianchi, "Elia Millosevich.", in *Astronomische Nachrichten*, 210 (1919), 229-232; Vincenzo Cerulli, *op. cit.* (nota 187).

meteorologia dell'Osservatorio del Collegio Romano. Nel 1891 la Specola fu divisa dall'Ufficio centrale di meteorologia e Millosevich ne divenne il vicedirettore prima e direttore dal 1902, succedendo a Tacchini. Ottenne riconoscimenti per diversi suoi lavori e fu membro di numerose Accademie e Associazioni italiane ed estere. Tra queste, dal 1910 fu Consigliere di presidenza della Società degli Spettroscopisti Italiani, che stava riorganizzando²³⁴ quando il 5 dicembre 1919 morì a Roma.

Si occupò di meccanica celeste, soprattutto osservazione e calcoli orbitali di comete e asteroidi (ne scoprì due nel 1891: 303 Josephina e 306 Unitas), ma anche calcoli di latitudini e posizioni geografiche, passaggi sul disco solare ed eclissi (verificò posizioni ed eventi di due eclissi antiche). Contribuì alla stesura di tre cataloghi stellari e, calcolando con grande precisione l'orbita dell'asteroide 433 Eros per sfruttare al meglio una grande opposizione prevista per il 1900, alla determinazione dell'unità astronomica (la distanza media Terra-Sole).

Nei primi anni romani compì importanti studi di meteorologia, ma dal 1885 si dedicò esclusivamente ai lavori astronomici o all'uso dell'astronomia per risolvere dubbi in altre discipline, come i problemi di cronologia storica (ad esempio, ricavare l'anno da cui contare le Olimpiadi, determinare alcuni fenomeni astronomici utili agli studi biblici, creare una paleocronologia egizia e misurare la concordanza tra computo gregoriano, giuliano, maomettano, giudaico, abissino e copto). Si occupò di comunicazione scientifica soprattutto come conferenziere.

²³⁴ La sua morte, e quella di Annibale Riccò poco prima, portarono a un periodo particolare della Società, che rinacque come Società Astronomica Italiana. Si veda Ileana Chinnici, *op. cit.* ([nota 25](#)).

Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley

Si riporta per comodità di consultazione il testo della conferenza di Elia Millosevich analizzata, così come appare in *Conferenze e Prolusioni*, volume III, numero 9, del 1-15 maggio 1910.

Accenniamo qui alla definizione di alcuni termini che si trovano nel testo:

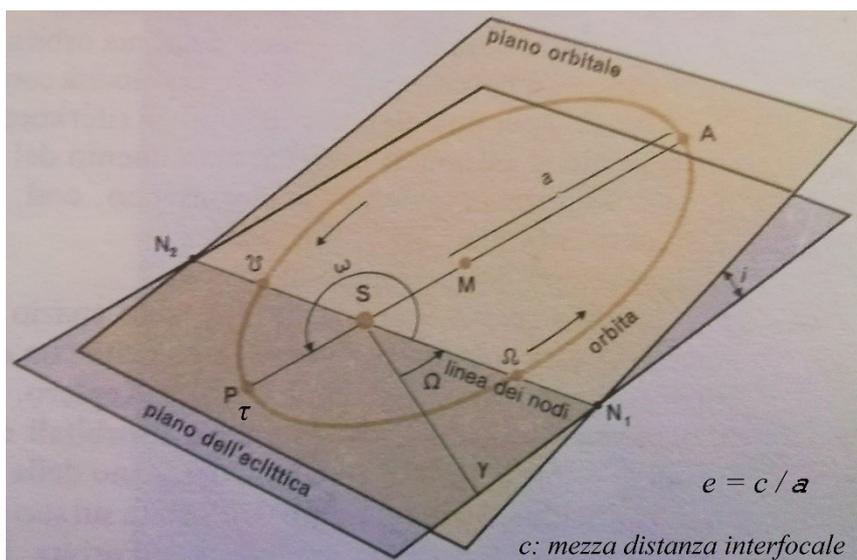
Raggio vettore. È il vettore con direzione la retta passante per i punti che indicano la posizione del Sole e della cometa (o altro corpo del sistema solare), col verso che punta alla cometa e modulo la distanza tra i due corpi; esso viene richiamato, ad esempio, nella seconda legge di Keplero.

Congiunzione. Avviene quando due astri, come il Sole e la cometa, hanno la stessa longitudine o ascensione retta se visti dal centro della Terra. È **inferiore** quando, trovandosi la cometa più vicina al Sole rispetto alla Terra, la cometa si trova nella stessa direzione della Terra rispetto al Sole, quindi alla minima distanza dalla Terra stessa.

Nodo discendente. È il punto in cui l'orbita della cometa interseca il piano dell'eclittica e la cometa, attraversandolo, passa dall'emisfero settentrionale a quello meridionale del piano eclittico.

La formula riportata da Millosevich per il calcolo del semiasse maggiore dell'orbita deriva da considerazioni fatte tra la legge di gravitazione universale di Newton, per cui $\mu = G(M_{\odot} + m_{\phi})$, e l'energia totale – cinetica e gravitazionale – della cometa, applicate alle coniche.

I sei elementi orbitali richiesti per la definizione dell'orbita sono: il semiasse maggiore a ; l'eccentricità dell'orbita e , che è 1 per la parabola, permettendo un conto iniziale semplificato; l'inclinazione i del piano orbitale rispetto a quello dell'eclittica; la longitudine del nodo ascendente Ω , che è



Elementi orbitali.

l'opposto del nodo discendente; l'argomento del perielio ω , che dà la direzione del perielio misurata dal nodo ascendente nella direzione del moto; il tempo del perielio τ ²³⁵.

Nella rivista segue una nota del redattore che riporta le indicazioni di visibilità della cometa di Halley per il mese di maggio 1910, come indicate da Millosevich al giornale *La Tribuna*.

²³⁵ Si rimanda per i dettagli a Hannu Karttunen, Pekka Kröger et al, "Celestial Mechanics", in *Fundamental Astronomy. Sixth Edition* (Berlin: Springer, 2017), 123-140.

I.- LE COMETE.

Due parole di storia.

L'antichità e tutto il medio evo nulla seppero della fisica delle comete, l'apparizione delle quali non suscitò che spavento, non creò che pregiudizi e non servì che a mistificazioni. È giocoforza pervenire, pur ricordando qualche veduta di Seneca, al secolo decimosesto, per scorgere qualche lume di scienza in tanto tenebrore. Appiano e Fracastoro s'accorgono che le code delle comete sono nel prolungamento, come diciamo oggi, del raggio vettore, e Tycho Brahe le toglie dal dominio della nostra atmosfera per collocarle almeno al di là della luna. Qualche indizio che l'orbita delle comete sia una parabola intorno al sole precede il tempo nel quale Isacco Newton (1687) c'insegna nel suo libro immortale a calcolare quell'orbita per mezzo di tre osservazioni fatte dalla terra a tre tempi distinti.

Le orbite cometarie.

Nel problema dei due corpi l'orbita parabolica è la conica più improbabile per eccellenza, perché suppone nell'astro, che obbedisce all'attrazione solare, la così detta *velocità critica* nell'orbita, cioè un valore unico corrispondente al raggio vettore.

Si dimostra in astronomia teoretica che il mezzo asse maggiore dell'orbita d'un astro, che s'avvolge intorno al sole, è dato dall'espressione:

$$a = \frac{\mu r}{[2] \mu - rv^2}$$

Adottando²³⁶ per unità di distanza la media distanza dalla terra al sole, e per velocità lineare il chilometro in un secondo, la formola precedente diventa

$$a = \frac{875 r}{1750 - rv^2}$$

Se il denominatore si pone a *zero* (parabola) si ha

$$v^2 = \frac{1750}{r}$$

mentre un numero illimitato di valori di v tali che sia $1750 > rv^2$ dà per a un valore positivo (ellisse), e un numero illimitato di valori di v tali che sia $1750 < rv^2$ dà per a un valore negativo (iperbole). Ordinariamente per le comete si calcola un'orbita parabolica, perché l'arco, che cade sotto le osservazioni dell'uomo, generalmente intorno al perielio, anche se realmente appartiene ad un'altra conica, si confonde con un arco parabolico. Fra i metodi indicati dai matematici e dagli astronomi per calcolare un'orbita parabolica, il più adatto in quasi tutti i casi è quello insegnato da Olbers, perfezionato poi da Encke, e da Oppolzer. Poiché nella parabola l'eccentricità è *uno*, cinque elementi occorrono per fissare l'orbita d'una cometa nello spazio, mentre sei ne occorrono quando l'orbita è ellittica.

D'onde vengono le comete?

Sono in verità tutte ellittiche le orbite delle comete? Se così fosse, senza risalire alla genesi del sistema solare, noi dovremmo ritenerle come affiliate al sistema. Se si potesse provare che esiste una sola orbita assolutamente iperbolica, considerando ben inteso soltanto il sole e una cometa, un grande problema sarebbe risolto, quello cioè che le comete tutte provennero o provengono dallo spazio dove stanno le stelle.

Pur troppo nessuna delle orbite, che pur apparvero iperboliche, ha una eccentricità maggiore di *uno* tale che non possano le osservazioni, sempre affette da errori, essere rappresentate da una parabola ed anche da un'ellisse di eccentricità grandissima.

²³⁶ Nel volume di *Conferenze e Prolusioni* manca il coefficiente numerico a denominatore della formola, qui posto tra parentesi quadre, ma si tratta quasi sicuramente di un errore tipografico, dato anche il passaggio successivo.

Noi dobbiamo concludere allo stato presente della scienza che il problema così altamente filosofico non è risolto.

Le comete possono subire profonde alterazioni nelle loro orbite per le perturbazioni che ad esse infliggono i grossi pianeti, quando ad essi si accostino. Di tutti i pianeti, Giove, in causa della grande sua massa, è il perturbante per eccellenza. Una cometa descrivente un'orbita assai somigliante ad una parabola può completamente convertire quella in un'ellisse anche poco eccentrica per la sola azione di Giove, e così divenire un membro stabile del nostro sistema solare. Tale processo dinamico dicesi « cattura d'una cometa »: esso è stato messo in luce la prima volta da Laplace. Vi sono numerose comete che hanno il loro afelio intorno all'orbita di Giove; sono perciò tutte periodiche, benché soltanto di poche sia stato osservato almeno due volte il passaggio al perielio; devesi concludere che tutte queste comete furono, in un tempo che per alcune può essere determinato e lo fu, catturate. Può naturalmente avvenire anche il processo dinamico inverso, quello cioè che una cometa descrivente un'ellisse di piccola eccentricità, sia per opera d'un grosso pianeta, messa su un'orbita aperta o su un'ellisse di grande eccentricità.

Un po' di statistica.

La storia dell'astronomia registra fino ad oggi circa 800 comete osservate; intorno a 400 si videro ad occhio nudo dalla remota civiltà cinese fino all'anno della scoperta del canocchiale e 400 s'aggiunsero di poi in gran parte telescopiche. Furono fatti conteggi orbitali su circa 415, e ben 300 rappresentano le osservazioni con un'orbita parabolica per la ragione detta in principio; fra 90 e 95 l'arco orbitale osservato si rivelò ellittico, e appena 10 accennarono ad asse maggiore negativo (iperbole) ma coll'incertezza un momento fa ricordata. Benché le orbite ellittiche assicurate siano abbastanza numerose, pure 18 sole comete passarono, senza sfuggire

all'osservazione dell'uomo, almeno due volte al perielio; 14 di esse hanno un periodo fra 5^a.3 e 7^a.3: una di esse, la cometa di Encke, compie il suo giro in 3^a.3; la cometa di Tuttle in 13^a.7; la Pons-Broocks in 71^a.6; la Olbers in 72^a.6: tutte queste con moto da ovest ad est; solo la cometa di Halley ha moto retrogrado e gira in 76^a.1 in media.

È appena necessario soggiungere che le perturbazioni periodiche modificano gravemente i sopra detti periodi fra limiti anche larghissimi.

L'azione disgregante del sole.

Quale si sia la materia di cui sono composti la testa e il nucleo d'una cometa, fatti indiscutibili dimostrano che il sole può determinare in esse un disgregamento con un'azione consimile ad un'azione di marea, e così si hanno *gruppi* di comete, le cui orbite rivelano che in un tempo ignoto ciascuno di essi nacque da un'unica cometa: si può citare il gruppo delle comete del 1668, 1843, 1882 e 1887. Del resto, la scomparsa cometa di Biela nel 1846 si divise in due parti, che si rividero per l'ultima volta nel 1852; a questo proposito devesi ricordare il collegamento accertato fra qualche sciame di stelle cadenti e comete, e la sicura identificazione d'almeno tre sciami con tre comete, e la sospettata di altri con altre. Si pensi a questo punto alle classiche ricerche di Schiaparelli.

Costituzione delle comete.

Se dalla meccanica si passa alla fisica delle comete, le nostre cognizioni assumono un carattere d'incertezza, che in molti punti la scienza attuale non ha rimosso. È parte essenziale d'una cometa « la testa » con una concentrazione più luminosa, che può assumere carattere anche stellare (nucleo): in tal caso si hanno « chioma e nucleo ». È il caso normale delle comete telescopiche. Lo sviluppo della *coda* è un'eccezione, ma non rara nemmeno nelle comete telescopiche; il

fatto avviene avvicinandosi la cometa al perielio, e la giacitura della coda è nel prolungamento del raggio vettore in via normale e considerata la cosa grossolanamente.

Hanno le comete certamente luce propria, che serbano anche a grande distanza dal perielio, ma in vicinanza di questo rivelano luce riflessa dal sole.

I volumi delle comete sono o possono essere enormi anche solo considerando la testa; se poi si considera anche la coda, lo spazio che possono occupare è sbalorditivo, ma la materia di cui sono composte la testa e la coda è così tenue, che né si indebolisce lo splendore delle stelle viste attraverso di essa, né si rivela alcuna rifrazione calcolabile. La grande cometa del 1811 presentava una *testa* valutata circa due milioni di chilometri di diametro; si ebbero *nuclei* di 7 od 8 mila chilometri e *code* che sorpassarono i 300 milioni, qualche cosa di più della distanza fra il sole e Marte.

L'azione perturbante delle comete su corpi del sistema solare, ai quali esse siano enormemente accostate, è evanescente, così che si può ben dire che in media occorrerebbero ben 100,000 comete di carattere appariscente per formare una *massa* che ancora non eguaglierebbe quella della terra; la *densità* quindi delle comete è in media appena $\frac{1}{6000}$ della densità dell'atmosfera alla superficie terrestre.

La direzione normale delle code nel prolungamento del raggio vettore è assunta previa una emissione di materia dal nucleo (getti) verso il sole da esso poi ricacciata indietro e obbligata a diffondersi nello spazio, rimanendo generalmente indietro in rapporto al moto del nucleo e incurvandosi colla convessità nel senso del movimento dell'astro. Così la figura della coda non è simmetrica rapporto e intorno al prolungamento del raggio vettore e non è neppure generalmente continua, ma suddivisa in parti (code multiple) e può subire, anche in poche ore, variazioni enormi; e ciò che rileva

la fotografia non è sempre d'accordo con ciò che è indicato dall'osservazione visuale.

L'analisi spettrale, applicata generalmente al nucleo, rivela uno spettro continuo, o ritenuto tale, in quelle comete lucentissime, che, al perielio, assai si accostano al sole; anzi in tali condizioni sullo spettro continuo appare qualche riga lucida, spesso quella del sodio. Quando lo spettro continuo s'indebolisce o è debole, si scorgono bande lucenti tre di preferenza, spettanti agli idrocarburi; talvolta si hanno le bande del cianogeno; inoltre lo spettro fotografico accenna all'esistenza di altre bande nell'ultravioletto non tutte identificate nella rispettiva lunghezza d'onda.

Questi sono i fatti fondamentali della fisica delle comete. Far dipendere tutti questi fatti e tanti altri taciuti dalle teorie o dalle ipotesi della fisica moderna è cosa ardua e si può dire inferiore alle forze della scienza presente.

Cenni di teorie fisiche.

Si deve riconoscere che dal sole emana una energia ripulsiva che ha sulla materia cometaria un'azione contraria all'attrazione Newtoniana. Se a questa azione si attribuisce l'intensità nell'inverso dei quadrati delle distanze, le particelle che compongono la coda, le quali obbediscono ad un tempo e all'attrazione solare e all'azione ripulsiva, finiscono col descrivere ciascuna per suo conto delle orbite iperboliche sottraendosi dall'azione centrale e probabilmente disperdendosi nello spazio. L'argomento dei diversi tipi di code e dei diversi rapporti numerici fra le due azioni (attrattiva e ripulsiva) venne matematicamente studiato da T. Bredichin e da altri sui disegni e le fotografie delle code delle comete e in relazione coi diversi spettri cometari.

D'onde viene il riscaldamento della materia cometaria e la sua luce propria? Si può mai ammettere che la semplice energia termica del sole sia capace di giustificare anche a grandissime distanze dal sole gli spettri degli idrocarburi?

È probabile che avvengano scariche elettriche fra le particelle solide enormemente piccole attraverso i gas che le involuppano, scariche dovute all'azione induttiva del sole sulle nubi cometiche che si trovano in regioni dello spazio dove il potenziale elettrico è presumibilmente differente da quello del sole, da ciò e involuppi e getti e luce e calore. Una teoria elettrica potrebbe forse bastare a spiegare i fenomeni che dipendono dall'azione ripulsiva solare e a rendere conto dei tipi di Bredichin.

Negli ultimi tempi, come conseguenza della teoria elettro-magnetica della luce e del calore, eminenti fisici misero in evidenza l'azione diretta delle onde di radiazione solare sopra particelle minime di materia (pressione della luce), e specialmente il grande chimico-fisico Svante Arrhenius cercò di rendersi conto dei fenomeni delle code cometarie per mezzo della pressione della luce. Forse tanto la teoria elettrica quanto quella della pressione della luce potrebbero coesistere, poiché quest'ultima è dovuta ad una reazione elettro-magnetica, e non è improbabile che le minutissime particelle di materia abbiano cariche elettriche.

Se non che le fotografie delle comete, e specialmente delle code di esse, presentano tali anomalie, tali continue e svariate modificazioni di figura e di luce, che devesi concludere essere in gran parte impotente la nostra fisica teorico-sperimentale a dare spiegazioni che possano acquietare lo spirito.

II. – LA COMETA DI HALLEY.

Halley e i calcoli sulla cometa.

Edmondo Halley, l'amico di Isacco Newton, nacque a Londra nel 1656 e morì a Greenwich nel 1742. Ad Halley devesi in modo speciale se Newton pubblicò nel luglio 1687 il memorando libro « *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ». Fu successore di Flamsteed nella direzione dell'Osservatorio di Greenwich. Una delle glorie maggiori di Halley è la identificazione di tre comete

apparse nel 1531, nel 1607 e nel 1682. Aveva imparato da Newton a calcolare un'orbita parabolica, e gli elementi ottenuti per le tre comete sopra dette lo convinsero trattarsi d'un unico astro, d'onde la predizione da lui fatta che un quarto passaggio al perielio sarebbe occorso nel 1758, e inoltre la giusta osservazione che la apparizione cometaria del 1456 doveva essere un altro passaggio del medesimo astro.

Alessio Claudio Clairaut, coll'aiuto di Gerolamo Lalande e di Madama Ortensia Lepaute, calcolò l'effetto che i pianeti Giove e Saturno producevano sugli elementi orbitali della cometa fra il 1607 e il 1758, e fece la predizione che l'astro sarebbe passato al perielio il 13 aprile 1759, e vi passò di fatto soltanto un mese e un giorno prima del tempo designato dal grande matematico francese. Damoiseau e Pontécoulant impresero i conteggi gravissimi (per effetto delle perturbazioni) al fine di assegnare il nuovo passaggio al perielio, che in verità occorse nel 1835, il 16 novembre, verso le 11 ½ am. di Roma. Devesi anche a Pontécoulant un ingente lavoro per fissare il tempo dell'attuale passaggio al perielio che definì alla data: 1910 maggio 24, verso le 11 pm. di Roma.

In verità il presente passaggio al perielio avrà luogo il 20 aprile, alle 4 ½ circa am. del tempo di Roma. Né deve destare meraviglia tale differenza perché è strettamente legata (con enorme amplificazione) al valore del moto medio diurno dell'astro, che il materiale delle osservazioni del 1835 non poteva fornire al centesimo di secondo d'arco, come sarebbe stato necessario per una predizione con effetto rigoroso; aggiungi a ciò che i calcoli delle perturbazioni domandano la conoscenza esatta delle masse perturbanti che Pontécoulant non poteva al suo tempo bene utilizzare e che la possibilità di errori in un'impresa numerica così grandiosa è assai temibile.

Una revisione del lavoro di Pontécoulant un accertamento dei remoti passaggi al perielio della cometa di Halley fecero due astronomi inglesi ben noti, Cowell e Crommelin, in un

loro ammirabile studio. Già ricerche storico-astronomiche di Hind avevano assicurata la conoscenza di molti passaggi al perielio della cometa, di che approfittarono gli astronomi inglesi nelle loro ricerche.

Ben ventotto passaggi al perielio si contano dal 240 a. C. al 1835 d. C.; essi sono bene individuati e di quasi tutti si hanno almeno indizi storici.

Il passaggio al perielio di quest'anno.

Limitandoci a parlare del prossimo passaggio al perielio ricordiamo che il primo risultato a cui pervennero Cowell e Crommelin fu che il passaggio al perielio avesse luogo l'8 aprile; un'effemeride di ricerca degli stessi astronomi è basata sopra l'epoca di aprile 16.6 del tempo di Greenwich. Ritrovata fotograficamente la cometa, successive correzioni vennero applicate al tempo del passaggio al perielio, che devesi ora ritenere ben fissato alla data: 20 aprile, alle 4 ½ circa am. del tempo di Roma; l'incertezza oggidì deve essere minima.

Accade questa volta ciò che non è mai occorso nei 28 passaggi precedenti, cioè quasi al momento che la cometa è in congiunzione inferiore passa anche per il nodo discendente (237°16', 1910.0). Il nucleo della cometa è distante dalla terra 24 milioni di chilometri ma il raggio vettore prolungato incontra la terra alla data 19 maggio, alle 4 ½ circa am. del tempo di Roma mentre poi la minima distanza dalla terra ha luogo il 20 maggio, a circa 1 ora pm. di Roma, col valore di circa 22 milioni e mezzo di chilometri. Una piccolissima variazione nel tempo del passaggio al perielio sopra detto può modificare lievemente i risultati appena indicati; essi perciò debbono essere ritenuti soltanto come un'alta approssimazione.

Il primo fatto che deriva da questa eccezionalissima coincidenza è che per le regioni che hanno il sole sull'orizzonte (Australia-Asia) il nucleo della cometa si

proietta sul disco del sole. Il fenomeno dovrebbe aver la durata d'un'ora circa, fra le 3 e le 4 am. di Roma, del 19 maggio, descrivendo il nucleo da ovest ad est una corda solare assai prossima a un diametro.

Il secondo fatto è che le particelle cosmiche che compongono la coda potrebbero investire la nostra atmosfera e la terra, qualora la lunghezza della coda eccedesse 24 milioni di chilometri e fosse comparabile a un solido geometrico simmetrico rispetto al raggio vettore prolungato.

Questo secondo fatto è incerto in tutte le sue parti, e qualora si verificasse, l'inconcepibile tenuità della coda, di cui neppur ben sappiamo la sua natura e costituzione (specialmente nelle parti remotissime del nucleo), può dar luogo soltanto a qualche tenue fenomeno luminoso e forse a qualche innocua azione elettro-magnetica di ben difficile previsione, e forse anche a nulla di tutto ciò.

Impressioni umane.

La cometa di Halley fu nel medio evo un astro splendido e terrorizzante. A questo proposito, fra gli altri ricordi storici, si rammenti il passaggio al perielio del 1066 in coincidenza colla conquista d'Inghilterra fatta da Guglielmo, e si pensi all'arazzo conservato a Bayeux (*Isti mirantur stellam*). « Un giorno, non molto remoto da noi, la paura, la superstizione e l'ignoranza opprimevano lo spirito umano all'apparire d'insolita cometa; oggi noi possiamo tranquillamente, nelle prime ore della notte del 19 maggio, al chiarore della luna volgente al tramonto, leggere una bella pagina di Edgar Poe, l'autore d'oltre Oceano delle *Storie Straordinarie*, nelle quali Eiros narra a Charmione le circostanze dell'avvenimento che distrusse la terra divorata dalla fiamma intensa nata dall'urto della cometa. La tranquillità dello spirito e il godimento letterario di quel momento si debbono ad una cosa sola, alla scienza ».

La Bibliografia di Comete ed elettroni

La conferenza di Righi è accompagnata, sia nelle *Memorie* che nel volume a sé stante, da una nutrita bibliografia, scritta nella caratteristica forma abbreviata dell'epoca, qui di seguito riportata. Si indica successivamente tale bibliografia in forma odierna, evidenziando eventuali problemi riscontrati nel reperire alcune delle fonti indicate. Nell'Introduzione non sono presenti riferimenti bibliografici.

- (1) KEPLER – *Principia mathematica*. I, 3, prop. 41.
- DE MAIRAN – *Traité physique de l'Aurore boreale*, Paris, 1754.
- (2) ISAAC NEWTON – *Opera ecc.*, Londinium, 1782.
- (3) BENNET – *Phil. Trans.*, 1792.
- (4) EULER – *Mem. de l'Acad. roy. de Berlin*, 1746.
- (5) FRESNEL – *Ann. de Ch. et Phys.*, t.29, 1825.
- (6) CROOKES – *Phil. Trans.*, 1873.
- (7) ZÖLLNER – *Pogg. Ann.*, t. 160, 1877.
- (8) MAXWELL – *A Treatise on Elec. and Magn.*, t. 2. p. 391.
- (9) A. BARTOLI – *Sui movimenti prodotti dalla luce*, Firenze, 1876. – *Il N. Cimento*, t. 15, 1884.
- (10) LEBEDEV – *Ann. d. Phys.*, t. 6, 1901.
- (11) NICHOLS and HULL – *Ann. d. Phys.*, t. 12, 1903.
- (12) POYNTING – *Phil. Mag.*, t. 9, 1905.
- (13) BOLTZMANN – *Wied. Ann.*, t. 22, 1884.
- (14) WIEN – *Rapports du Congrès de Physique*, 1900, t. II p. 23.
- (15) GALITZINE – *Wied. Ann.*, t. 45, 1892.
- (16) GUILLAUME – *Arch. de Genève*, t. 31, 1894.
- (17) POYNTING – *Proc. of the Roy. Soc.*, A. t. 83, p.534, 1910.
- (18) BREDICHIN – *Révision des valeurs ecc.*, Leipzig, 1885.
- (19) ARRHENIUS – *Phys. Zeitschr.*, t. 2, 1900.
- (20) ARRHENIUS – l. c.
- (21) SCHWARZSCHILD – *Fortschr. d. Phys.*, 1901, t. II, p. 4.
- (22) FITZGERALD – *Proc. Roy. Dublin Soc.*, 1883, p. 344
- (23) NICHOLS and HULL – *Astroph. Journ.*, 1903, p. 353.
- (24) DVORÁK – *Pogg. Ann.*, t. 157, 1876; *Ber. d. Wien. Akad.*, 1882, p. 740.
- (25) LEBEDEV – *Wied. Ann.*, t. 62, 1897.
- (26) LEBEDEV – *Wied. Ann.*, t. 52, 1894.
- (27) LEBEDEV – *Wied. Ann.*, t. 59, 1896.
- (28) LEBEDEV – *Wied. Ann.*, t. 45, 1892.
- (29) LEBEDEV – *Wied. Ann.*, t. 32, p. 411, 1910.
- (30) STONEY – *Astroph. Journ.* January 1898; May, June 1900.
- (31) RIGHI – *Rend. della R. Acc. dei Lincei*, 4 marzo 1888, p. 186.
- (32) J. J. THOMSON – *Phil. Mag.* August 1902, p. 256.
- (33) J. J. THOMSON – l. c.
- (34) GOLDSTEIN – *Wied. Ann.*, t. 12, p. 266, 1881.
- (35) HASSELBERG – *Mém. de l'Acc. de S.^t Petersbourg*, 1881.
- (36) VOGEL – *Astr. Nachr.*, 1881.
- (37) CHREE – *Nature*, Mai 26, 1910.
- (38) MARCHAND – *Comp. Rend.*, 30 mai 1910.
- (39) GUILLAUME – *Bull. de la Soc. Astr. de France*, avril 1910.
- (40) CLAUDE – *Nature*, June 2, 1910.
- (41) CIRERA et URACH – *Comp. Rend.*, 6 juin 1910.
- (42) DUIES – *Nature*, June 9, 1910.
- (43) PRING – *Nature*, June 9, 1910.
- (44) MARCHAND – *Comp. Rend.*, 3 juin 1910.

II. – La pressione di radiazione.

- [1]. De Mairan, Jean-Jacques Dortous (1754). *Traité physique et historique de l'aurore boréale, par M. de Mairan. Suite des Mémoires de l'Académie royale des sciences, année MDCCXXXI. Seconde édition*. Paris: Imprimerie Royale. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3586v/fl.item.texteImage>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
Non è chiaro se il primo si riferisca a un'opera di Keplero o a un punto dei Principia di Newton.
- [2]. Newton, Isaac (1782). *Opera quæ exstant omnia*. Londinium.
L'opera omnia di Newton risulta pubblicata in cinque volumi tra il 1779 e il 1785; terzo e quarto nel 1782.
- [3]. Bennet, Abraham (1792). V. A new suspension of the magnetic needle, intended for the discovery of minute quantities of magnetic attraction: also an air vane of great sensibility; with new experiments on the magnetism of iron filings and brass. *Philosophical Transactions*, 82, 81-98.
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1792.0008>;
<https://www.jstor.org/stable/106777?refreqid=excelsior%3A560e5587bbfa5a23be07b0cc0b497aa1&seq=1>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [4]. Euler, Leonhard (1746). *Histoire de l'Académie Royale des Sciences et des Belles-Lettres de Berlin*. Berlin: Haude. **Non è chiaro a quale articolo specifico si riferisca.**
- [5]. Fresnel, Augustin-Jean (1825). *Annales de Chimie et de Physique*, 29. Paris: Imprimerie de Feugueray. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6570660p/fl.item.langFR.zoom>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
Non è chiaro a quale articolo specifico si riferisca.
- [6]. Crookes, William (1873). XV. On Attraction and Repulsion resulting from Radiation. *Philosophical Transactions*, 164, 501-527. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1874.0015>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [7]. Zöllner, Johann Karl Friedrich (1877). Untersuchungen über die Bewegungen strahlender und bestrahlter Körper. *Annalen der Physik*, 236(3), 459-466.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/andp.18772360310>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [8]. Maxwell, James Clerk (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism. Volume 2*. Oxford: Oxford University Press. <https://www.aproged.pt/biblioteca/MaxwellIII.pdf>. [Edizione New York: Dover, 1954].
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [9]. Bartoli, Adolfo (1876). *Sopra i movimenti prodotti dalla luce e dal calore e sopra il radiometro di Crookes*. Firenze: Le Monnier. <https://books.google.it/books?id=FFW4AAAAIAAJ&hl=it>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
Bartoli, Adolfo (1884). Il calorico raggianti e il secondo principio di termodinamica. *Il Nuovo Cimento*, 15, 193-202. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF02737234.pdf>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [10]. Lebedev, Pëtr Nikolaevič (1901). Untersuchungen über die Druckkräfte des Lichtes. *Annalen der Physik*, 6 [online: vol. 311(11)], 433-458. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19013111102>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [11]. Nichols, Ernest Fox, Hull, Gordon Ferrie (1903). Über Strahlungsdruck. *Annalen der Physik*, 12 [online: vol. 317(10)], 225-263. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19033171002>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [12]. Poynting, John Henry (1905). XVI. Note on the tangential stress due to light incident obliquely on an absorbing. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, Series 6*, 9(49), 169-171. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786440509463267>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
Potrebbe però trattarsi di questo articolo:
Poynting, John Henry (1905). XXXIX. Radiation pressure. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, Series 6*, 9(52), 393-406.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786440509463293>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [13]. Boltzmann, Ludwig (1884). Ueber eine von Hrn. Bartoli entdeckte Beziehung der Wärmestrahlung zum zweiten Hauptsatze. *Annalen der Physik*, 22 [online: vol. 258(5)], 31-39.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18842580503>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.

- [14]. Wien, Wilhelm (1900). Les lois théoriques du rayonnement. *Exposition universelle. 1900. Paris. Rapports présentés au congrès international de physique réuni à Paris en 1900 sous les auspices de la Société française de physique, rassemblés et publiés par Ch.-Éd. Guillaume et L. Poincaré, secrétaires généraux du congrès, 2. Optique. Électricité. Magnétisme*, 23-40. <http://cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?8XAE489.2/27/100/574/0/0>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [15]. Galitzine, Boris Borisovich (1892). Ueber strahlende Energie. *Annalen der Physik*, 45 [online: vol. 283(11)], 479-495. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18922831109>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [16]. Guillaume, Charles Edouard (1894). *Archives Des Sciences, Périodique de la Société de Physique et d'Histore Naturelle de Genève, 31. Articolo e rivista non trovati.*
- [17]. Poynting, John Henry, Barlow, Guy (1910). Bakerian Lecture. The Pressure of Light against the Source: The Recoil from Light. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 83(566), 534-546.
https://www.jstor.org/stable/92924?item_view=read_online. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.

III. – Costituzione delle code cometarie.

- [18]. Bredichin, Fëdor Aleksandrovič (1885). *Revision des valeurs numériques de la force répulsive*. Moscou.
- [19]. Arrhenius, Svante August (1900). *Physikalische Zeitschrift*, 2. **Articolo non trovato.**

IV. – La pressione di radiazione sui gas.

- [20]. Arrhenius, Svante August (1900). *op. cit.* [19].
- [21]. Schwarzschild, Karl (1901). *Fortschritte der Physik*, II, 4. **Articolo non trovato.**
- [22]. Fitzgerald, George Francis (1883). XXXII.-On Comets' Tails. *The Scientific proceedings of the Royal Dublin Society*, 344-346. <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/44062>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [23]. Nichols, Ernest Fox, Hull, Gordon Ferrie (1903). The Application of Radiation Pressure to Cometary Theory. *Astrophysical Journal*, 17, 352-360. <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1903ApJ....17..352N>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.

Nello stesso numero della rivista è presente anche:

- Nichols, Ernest Fox, Hull, Gordon Ferrie (1903). The Pressure due to Radiation. *Astrophysical Journal*, 17, 315-351. <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1903ApJ....17..315N>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [24]. Dvorák, V. (1876). Ueber die akustische Anziehung und Abstossung. *Annalen der Physik*, 157 [online: vol. 233(1)], 42-73. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18762330103>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.

Non identificata la rivista *Ber. d. Wien. Akad.*, 1882, p. 740 citata come altro articolo.

- [25]. Lebedev, Pëtr Nikolaevič (1897). Ueber die ponderomotorische Wirkung der Wellen auf ruhende Resonatoren. III. Akustische Hohlresonatoren. *Annalen der Physik*, 62 [online: vol. 298(9)], 158-173.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18972980911>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [26]. Lebedev, Pëtr Nikolaevič (1894). Ueber die mechanische Wirkung der Wellen auf ruhende Resonatoren. I. Electromagnetische Wellen. *Annalen der Physik*, 52 [online: vol. 288(8)], 621-640.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18942880803>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [27]. Lebedev, Pëtr Nikolaevič (1896). Ueber die ponderomotorische Wirkung der Wellen auf ruhende Resonatoren. II. Hydrodynamische Oscillationsresonatoren. *Annalen der Physik*, 59 [online: vol. 295(9)], 116-133. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18962950908>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [28]. Lebedev, Pëtr Nikolaevič (1892). Ueber die abstossende Kraft strahlender Körper. *Annalen der Physik*, 45 [online: vol. 281(2)], 292-297. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18922810207>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [29]. Lebedev, Pëtr Nikolaevič (1910). Die Druckkräfte des Lichtes auf Gase. *Annalen der Physik*, 32 [online: vol. 337(7)], 411-437. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19103370707>.
Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [30]. Stoney, George Johnstone (1898, January). Of Atmospheres upon Planets and Satellites. *The Astrophysical Journal*, 7, 25-55. <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1898ApJ.....7...25S>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- Stoney, George Johnstone (1900, May). On the Escape of Gases from Planetary Atmospheres According to the Kinetic Theory. I. *The Astrophysical Journal*, 11, 251-258.
<https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1900ApJ....11..251S>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- Stoney, George Johnstone (1900, June). On the Escape of Gases from Planetary Atmospheres According to the Kinetic Theory. II. *The Astrophysical Journal*, 11, 357-372.
<https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1900ApJ....11..357S>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.

V. – Fenomeni elettrici nelle comete.

- [31]. Righi, Augusto (1888, marzo 4). Di alcuni nuovi fenomeni elettrici, provocati dalle radiazioni. *Atti della Reale Accademia dei Lincei. Rendiconti (1884-1891). Anno 285, serie 4, 4, 1. semestre 1888*, 185-187. <https://www.beic.it/it/articoli/accademia-dei-lincei>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
Nello stesso volume, l'intervento è suddiviso e riportato nelle pagine: 498, 578-580, 691-694.
- [32]. Thomson, Joseph John (1902). XXVIII. On some of the Consequences of the Emission of Negatively Electrified Corpuscles by Hot Bodies. *The London, Edinburgh and Dublin philosophical magazine and journal of science (serie 6th, Vol. 4, July-Dec 1902)*, 253-262. <https://archive.org/details/londonedinburgh641902lond/page/252/mode/2up>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [33]. Thomson, Joseph John (1902). *op. cit.* [32].
- [34]. Goldstein, Eugen (1881). Ueber die Entladung der Electricität in verdünnten Gasen. *Annalen der Physik*, 12 [online: vol. 248(2)], 249-279. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18812480205>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [35]. Hasselberg, Clas Bernhard (1881). *Mém. de l'Acc. de S.^t Petersbourg*.
Non trovato l'articolo originale, ma se ne ha questa traduzione:
Hasselberg, Clas Bernhard, Chistoni, Ciro (1881). Sugli spettri delle comete e loro rapporto con quelli di certe combinazioni del carbonio. *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, 10, 13-20. <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1881MmSSI..10...13H>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [36]. Vogel, Hermann Carl (1881). Über die Spectra der Cometen b und c 1881. *Astronomische Nachrichten*, 100(19), 301-304. <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1881AN....100..301V>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.

VI. – Il supposto incontro del 19 maggio.

- [37]. Chree, Charles (1910, May 26). Halley's Comet and Magnetic and Electrical Phenomena. *Nature*, 83, 367-368. <https://www.nature.com/articles/083367d0>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [38]. Marchand, Émile (1910, Mai 30). Phénomènes observés au Pic du Midi du 18 au 19 mai (passage de la comète de Halley sur le Soleil). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6294301v>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [39]. Guillaume, Ch.-Ed. (1910, Mars 2). A propos de la comète de Halley-Peut-on capter les gaz de la comète?. *Bulletin de la Société astronomique de France (L'Astronomie) Séance du 2 Mars 1910*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9671976r>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [40]. Claude, M. Georges (1910, June 2). Observations of Halley's Comet. *Nature*, 83, 409-410. <https://www.nature.com/articles/083409b0>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [41]. Cirera, Ubach (1910, Juin 6). Observations sur le passage de la comète de Halley, à l'Observatoire de l'Ébre (Espagne). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k62943028/fl.image>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [42]. Dines, William Henry (1910, June 9). Meteorological Observations during the Passage of the Earth through the Tail of Halley's Comet. *Nature*, 83, 427. <https://www.nature.com/articles/083427a0>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [43]. Pring, J. N. (1910, June 9). Meteorological Observations during the Passage of the Earth through the Tail of Halley's Comet. *Nature*, 83, 427. <https://www.nature.com/articles/083427b0>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.
- [44]. Marchand, Émile (1910, Juin 13). Nouvelles observations concernant les effets du passage de la Terre dans la queue de la comète de Halley. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6294303p/fl.image>. Ultimo accesso: 30 giugno 2022.