

Prefazione al volume 9 di Gerbertus in Transitu Mercurii

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza Università di Roma and IIS F. Caffè)

Abstract

The papers published in this volume deal with historical and contemporary themes of physics and astronomy, always with the focus in didactics, as in the style of Gerbert of Aurillac, “rogatus a pluribus” (required by several students to write down the basics of new sciences).

1. Christopher Columbus in the voyage to America of 1492 discovered the deviation of the Magnetic North from the Celestial North; his measurements could have been done with the technology available to Gerbert, here we present the astronomical aspects of them. 2. On the meridian line of Santa Maria degli Angeli (1702) we repeated the experiences of Cassini in characterizing the refraction of the atmosphere by the difference between observed and calculated positions of the center of the Sun. 3. The collection of astronomical instruments in the Vatican Museums gives the opportunity to present the role of Astronomy in Catholic Church, starting from the calculation of Easter, present in the Chair of Hyppolitus. 4. The Eucharistic Miracle in Lanciano is dated VIII century AD, and the recognition of 1574 found the miracle of weights, where the five drops weighed like one only. A discussion on that result is made on the light of sensibility of the scales of that time, which does not depart from the one of Gerbert's time. 5. The climate of X century allowed crossing the Alps: Luigi Mariani presents parallel evidences. 6. A list of 44 questions answered by Paolo Rossi on modern physics/astrophysics is presented as a wish list of the level of culture of a secondary student. Three decades ago these topics were achievable only to University students: now are part of the public opinion, and a new framework has to be set by the teachers. 7. The dynamics of a micro-probe sent to alpha Centauri in 20 years is studied numerically. 8. The azimuth of the Pyramid Cestia and 9. the height of the Vatican obelisk are studied exploiting solar ephemerides. 10. The phases of pollen production of Cypress for 2016 are observed in phase with new Moon. 11. The penumbral phase of the lunar eclipse of 28/9/2015 and 12. 2015 four PHEMU are observed visually and digitally. The transit of Mercury on the Sun could have been predicted or/and observed at the time of Gerbert? The 13th roman congress on Gerbert is celebrated the day of 2016 transit: their 13. algebra, 14. physics (solar) and 15. optical astronomy are discussed in detail. 16. The measurement of the solar diameter with the eclipse of 9 march 2016 is obtained, using public domain data. 17. The Carme figuratum of Gerbert was dedicated to the Emperor Otto II: Flavio Nuvolone enlighten this aspect of early middle age literature of court poets, with chryptographical schemes.

Sommario del volume 9

Il volume 9 raccoglie contributi di Costantino Sigismondi e Flavio Nuvolone presentati il 9 maggio 2016 al congresso di Roma dedicato a Gerberto d'Aurillac, nel giorno del transito di Mercurio sul Sole. Nel 2003 in occasione del millenario della morte di Gerberto celebriamo il congresso in Laterano proprio il 12 maggio, dopo 5 giorni dal transito di Mercurio, mentre quest'anno lo spostamento di 2 giorni in avanti della data del transito dovuta al bisestile e alla rotazione della linea dei nodi ci ha suggerito di far coincidere i due eventi, dato il grande richiamo di pubblico che quel fenomeno astrale porta con sé. Gerberto come astronomo è stato presentato già in altre occasioni, ma qui ci soffermiamo su aspetti tecnici che avrebbero potuto essere sfruttati già mille anni orsono, spostando indietro di 600 anni l'invenzione del telescopio.

È l'occasione di riflettere sulle innovazioni di Gerberto. Tre articoli sono dedicati al Transito di Mercurio: l'algebra, la misura del diametro solare e l'uso di una lente di 21 m di focale per osservarlo, uno alla misura del diametro solare con l'eclissi del 9 marzo scorso. Flavio Nuvolone descrive le tecniche di criptazione usate nei Carme Figurato dedicato ad Ottone II e gli esempi precedenti. L'altezza dell'Obelisco Vaticano e l'azimut della Piramide Cestia sono stati misurati con tecniche fotogrammetriche ed astronomiche basate sulle effemeridi del Sole, con interessanti risultati, tra i quali la misura della deformazione a cuscinetto dell'obiettivo delle lenti fotografiche. Una lista di 44 quesiti di fisica moderna cerca di interpretare le esigenze di adeguare un programma di studi secondari a quanto si trova nell'opinione pubblica quanto a conoscenze di fisica, superando il livello di mero "sentito dire". Nel Miracolo Eucaristico di Lanciano la ricognizione del 1574 dell'arcivescovo Rodriguez mostrava che

i cinque frammenti di sangue raggrumato pesavano tutti quanto uno solo. Si discute questo risultato in termini di sensibilità e portata degli strumenti allora a disposizione, non diversi da quelli nell'anno mille e, addirittura, disponibili ad una civiltà paleolitica. Tra i cimeli scientifici dei Musei Vaticani troviamo vari strumenti astronomici e la Cattedra di Ippolito che ci mostra i calcoli della data della Pasqua per 112 anni, come erano fatti nel III secolo. La caratterizzazione della rifrazione atmosferica è stata fatta usando le misure di posizione del centro del Sole sulla Meridiana Clementina del 1702 nella basilica di S. Maria degli Angeli. Si risolve il problema di Cassini (1655) con due sistemi di due equazioni e due incognite per ottenere i due termini dello sviluppo in serie di tangenti dell'angolo zenitale. Infir la misura della deviazione dell'ago magnetico dal Nord Celeste fatta da Cristoforo Colombo nel 1492 è descritta nel primo articolo.

Introduzione: Ardentibus Stellis

Il congresso del 9 maggio 2016 rivisita Gerberto docente con una serie di articoli dedicati alla didattica della fisica e dell'astronomia. Si cerca di mantenere il fuoco sul legame tra i dati osservativi e di laboratorio e le teorie che costituiscono il migliore modello interpretativo dei dati. Se a uno studente si vuole mostrare cosa sia una teoria scientifica forse gli si deve dire che la teoria è rappresentata da una formula e questa formula descrive molto bene l'insieme dei dati con i loro errori sperimentali. Nel momento in cui i dati osservativi diventano tanto precisi che le loro misure si discostano sensibilmente dalle previsioni teoriche è ora di cambiare e aggiornare la teoria. Tuttavia questo processo che è alla base dell'evoluzione della fisica e dell'astronomia da Talete ai nostri giorni, continua ad essere male inteso, per mancanza di dimestichezza con misure, trattamento dati e formule.

Teoria, formule e dati sperimentali attraverso i secoli

Nel mondo greco alessandrino, quando Tolomeo fissò l'Almagesto, la teoria per descrivere i fenomeni veniva rappresentata in forma geometrica e mediante tabelle. Come eredità di questo periodo abbiamo in Fisica lo studio del moto circolare uniforme, necessario a preparare le tabelle sul moto di Sole, Luna e pianeti. Lo sviluppo in serie di epicicli del moto orbitale di un pianeta attorno alla Terra non è così strano come sembra a chi oggi crede che gli antichi non potessero capire la semplicità del moto dei pianeti attorno al Sole, e presenta Aristotele come antiquato. I moderni programmi di simulazione al computer del moto dei corpi celesti nella soluzione delle equazioni trascendenti o trigonometriche sono basati su analoghi principi. Aristarco di Samo aveva già proposto il modello eliocentrico e Archimede lo accettava come ipotesi altrettanto valida del geocentrico; Apollonio dimostrava l'equivalenza tra epicicli ed eccentrici, facendo sì che nel III secolo a. C. la scienza già ragionasse come noi moderni. Il "Salvare i fenomeni" di Tolomeo (II secolo d. C.) era già piena modernità: un modello, una teoria (che qui consideriamo sinonimi *de facto*) funzionano se ben rappresentano (salvano) i fenomeni che si misurano e osservano. Possiamo dire che nel mondo antico le osservazioni e le misure hanno preceduto i modelli, mentre oggi nel III millennio siamo abituati da una cinquantina di anni a questa parte ad una abbondanza di modelli "in attesa" di dati sperimentali che li confermino.

La rivelazione diretta delle onde gravitazionali pubblicata proprio nel febbraio 2016 è uno di questi casi: la teoria della Relatività Generale di Einstein ha subito previsto le onde gravitazionali, ma la loro osservazione ha richiesto 100 anni di lavori. Vi sono casi ancora più complessi: ad esempio la teoria

del phase mixing dei neutrini, o quella della libertà asintotica dei quark. Queste sono nate durante gli anni '60 del novecento, da un contesto inizialmente matematico. La matrice di Cabibbo, Kobayashi e Maskawa (1963) descriveva una combinazione di stati di tre tipi di neutrini elettronico, muonico e tauonico chiamata “oscillazione dei neutrini” tra uno stato e l'altro. Nel 2010, eccetto a Nicola Cabibbo,¹ ai due giapponesi hanno assegnato il premio Nobel per la Fisica poiché hanno aperto la via della conoscenza delle tre famiglie di leptoni, che stanno in analogia con le tre famiglie di quark.

I	II	III	
2,4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1,27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171,2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 γ fotone
4,8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4,2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluone
<2,2 eV 0 ν_e $\frac{1}{2}$ neutrino elettronico	<0,17 MeV 0 ν_μ $\frac{1}{2}$ neutrino muonico	<15,5 MeV 0 ν_τ $\frac{1}{2}$ neutrino tauonico	91,2 GeV 0 Z^0 1 forza debole
0,511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e elettrone	105,7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muone	1,777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tauone	80,4 GeV ± 1 1 $W^\pm$ forza debole

1 Perché era presidente dell'Accademia Pontificia delle Scienze...

Dei Quark e della loro libertà asintotica si è dibattuto ancor prima della loro scoperta sperimentale. Il quark top è stato l'ultimo ad essere stato individuato al Fermilab nel 1995, mentre la teoria di Gellmann lo prevedeva già dal 1960.

La libertà asintotica è la proprietà secondo cui i quark sono liberi sono ad altissime energie, ma come costituenti delle particelle elementari essi non possono essere separati l'uno dall'altro. La teoria dei campi chiamata $\lambda\phi^4$ riesce a descrivere questo fenomeno, come quello del Bosone di Higgs che “dà massa” alle altre particelle; ma è chiaro che in Meccanica Quantistica, Teoria dei Campi e Relatività Generale non si riesce ancora a trovare abbastanza sovrapposibilità per arrivare ad avere una soddisfacente teoria del tutto.

In fisica classica abbiamo altrettanti esempi di questo: la legge di Hooke sull'elasticità -ad esempio- ha una validità limitata, oltre una certa tensione la molla si “sgarra” in modo permanente o si spezza, dunque la legge lineare dovuta al fisico inglese del 1666 è un ottimo modello per i moti armonici, oscillatori, e quindi anche orbitali, ma non per tutte le intensità di forze. In elettromagnetismo la legge di Hooke applicata agli elettroni spiega bene molti dei fenomeni ottici, come il cielo azzurro e la diffusione Thomson, ma non quella Compton per cui le energie in gioco sono maggiori di 0.511 MeV, che è la massa a riposo dell'elettrone, come si vede dalla riga superiore di ogni casella della tabella precedente, il Modello Standard di QCD (Quanto Cromo Dinamica) per le particelle elementari con le tre famiglie e i bosoni intermedi delle forze elettromagnetica (fotone) forte (gluone) e quelli della forza debole scoperti da Carlo Rubbia nel 1984 al CERN e predetti nella teoria Quanto Elettro Dinamica QED da Weinberg, Glashow e Salam nel 1972.

I due aspetti teorico e sperimentale si complementano: una

teoria può aprire spazi di conoscenza impensabili, ma altrettanto e forse di più lo fanno ottimi dati, per i quali sempre più sono necessarie enormi collaborazioni internazionali. Come diceva Harlow Shapley che fu un pioniere dello studio della dinamica della nostra Galassia, ad Harvard, “le teorie vanno e vengono, una buona osservazione resta per sempre”.² La “buona osservazione” di Shapley sono quei “fenomeni” che la teoria deve “salvare”, ovvero descrivere, ed eventualmente dedurne di nuovi dal suo seno.

Gravitazione e azione a distanza

La teoria della Relatività di Einstein aveva rivoluzionato il modo di pensare nella fisica, mostrando la forza di gravità come una conseguenza della deformazione dello spazio-tempo dovuta alla presenza di masse. Ogni massa curva lo spazio attorno a sé e la luce può così gravitare anche se i fotoni hanno massa nulla. Siccome lo spazio è curvo anche essi devono curvare, proprio come se si comportassero come una particella con massa nel campo di gravità, una balistica dei fotoni. Per Newton (1687) il campo di forza gravitazionale agiva senza intermediazioni materiali; azione a distanza. Keplero nel 1609 aveva dimostrato che era possibile avere orbite ellittiche, quindi senza un unico centro, ma due fuochi, ed in uno di loro non esserci nulla e nell'altro il Sole. Per Galileo le orbite invece sono sempre state circolari, come quelle dei satelliti di Giove, che lui aveva osservato per tanti anni dal 1610. L'orbita circolare aveva un centro, era rappresentabile con un modello meccanico semplice, e al centro stava il corpo che garantiva il moto circolare mediante una opportuna tensione vincolare. La legge delle aree di Keplero permetteva di visualizzare in

² Dorrit Hoffleit (1907-2007) che lavorò con Shapley mi riferì, in Inglese, questa frase nel 2002.

qualche modo la *vis* (forza) attrattiva, non come una forza inversamente proporzionale alla distanza, o al quadrato come trovò poi Newton, ma all'area spazzata dal raggio vettore, qualcosa comunque legato al corpo in posizione centrale, sia pure in assenza di un vero e proprio centro trattandosi di ellissi. Keplero era in contrasto con Galileo perché l'uno aveva i dati di Tycho Brahe sull'orbita di Marte e l'altro i suoi sui satelliti di Giove. Marte effettivamente ha un'orbita ellittica, mentre le maree di Giove hanno “circolarizzato” l'orbita dei suoi satelliti maggiori. Oggi, ancora con strumenti modesti, è possibile realizzare osservazioni utili per capire la complessa meccanica dei satelliti galileiani, osservandone le eclissi mutue ogni 6 anni.³ Nel mondo dell'infinitamente piccolo l'azione delle forze è mediata da bosoni e le forze non sono più quella gravitazionale, ma la forte, la debole e l'elettromagnetica.

Quella gravitazionale c'è ancora, ma è 10^{30} volte più debole delle altre, e viene trascurata finché non si debbano considerare temperature e densità tali da ottenere la Grande Unificazione delle forze GUT (con T che sta per Teoria).

Proprio in queste separazioni di campi d'azione sta la difficoltà di trovare una visione unificata di tutti i fenomeni e poter utilizzare oggi la Relatività Speciale (valida per lo spazio piatto, quindi senza massa) nella Meccanica Quantistica, ma non la Generale.

Mercurio secondo Tolomeo, Dante , Copernico ed Einstein

Le sfere cristalline o di etere (la quintessenza aristotelica, di cui si parlò ancora nel famoso esperimento di Michelson e Morley per provare o no la composizione vettoriale della velocità della luce con il moto orbitale della Terra) prevedevano per Mercurio e Venere una posizione esterna all'orbita del Sole

3 C. Sigismondi, *Journal of Occultation Astronomy*, 2016, e qui pp.95-102

attorno alla Terra e quindi l'impossibilità dei transiti sul disco solare del pianeta. Dante, citando San Paolo,⁴ parla del rapimento al terzo cielo "Io non Paulo, non Enea sono⁵" che sarebbe il cielo del Sole, dopo quello della Luna, in accordo con la teoria platonica. Ma secondo Tolomeo⁶ e Aristotele subito dopo il cielo della Luna, c'è quello di Mercurio, poi Venere e poi il Sole.⁷ Copernico spostando il Sole presso il centro del suo sistema (non è al centro se no i conti non tornano con le orbite circolari che lui ammette, come del resto farà poi Galileo) gli mette Mercurio attorno e poi Venere e la Terra, anche lui ammettendo come possibili i transiti planetari. Un monaco di S. Eparchio di Angoulême riportò il 17 marzo 807⁸ l'osservazione di un transito di Mercurio, tra i prodigi che preparavano alla morte di Carlo Magno, ma si trattava di una grossa macchia solare, visibile sotto opportuna velatura anche ad occhio nudo. Infatti il transito sarebbe durato 8 giorni, cioè un decimo del suo reale periodo orbitale, dato non compatibile con le dimensioni angolari del Sole e le elongazioni di Mercurio a Est ed ad Ovest. Il primo transito di Mercurio fu osservato da Pierre Gassendi a Parigi il 7 novembre 1631, usando le *Tabulae Rudolphinae* di Keplero del 1627, le migliori effemeridi dell'epoca. Mercurio fu visto molto piccolo

4 S. Paolo, 2 Corinzi 12, 2

5 Dante, *Inferno* II, 32

6 Nella *Theorica Planetarum* e nell'*Almagesto* libro IX.1 Tolomeo afferma che un corpo di piccola taglia (come un pianeta) stesse occultando un corpo di tanto grande dimensione e con tanta luce (come il Sole), sarebbe necessariamente impercettibile, per la piccolezza del corpo occultante e lo stato delle parti del corpo del Sole che rimangono scoperte. Cfr. G. J. Toomre, *Ptolemy's Almagest*; Princeton, 1998, 419.

7 T. S. Jacobsen, *Planetary Systems from Ancient Greeks to Kepler*, The University of Washington Press, 1999, p. 20.

8 G. Galilei, C. Scheirner, E. Reeves, A. van Helden, *On Sunspots*, Un. Chicago Press, 2010. p. 13

rispetto a quanto ci si sarebbe aspettato; dopo di lui fu Hevelius a vederlo a Danzica il 3 maggio 1661.⁹

Urbain Joseph Le Verrier studiando i dati raccolti negli anni su Mercurio si accorse di una precessione anomala del suo perielio, non spiegabile da alcuna interazione gravitazionale, anche dalle perturbazioni che gli altri pianeti davano alla sua orbita in aggiunta alla forza gravitazionale principale del Sole. La precessione anomala ammontava a 43 secondi d'arco per secolo, circa 4 volte il diametro angolare di Mercurio ogni secolo, che a sua volta è un duecentesimo del diametro solare. Dunque la precessione, o anticipo, della posizione del perielio di Mercurio era di un cinquantesimo di diametro solare per secolo, una quantità appena al di sotto della sensibilità dell'occhio nudo, che è di un trentesimo di diametro solare.

Anche Simon Newcomb aveva studiato il problema e raccolto dati su Mercurio senza trovare una soluzione soddisfacente.

Questo problema era apparentemente piccolo, eppure Albert Einstein arrivò alla Relatività Generale proprio per spiegare questo fenomeno che sfuggiva alla teoria Newtoniana. In realtà ci poteva essere un'altra spiegazione che non avrebbe scomodato il padre della Gravitazione Universale, ed era l'azione di un quadrupolo all'interno dell'orbita di Mercurio.

Una sfera, dimostrò Gauss, si comporta come se tutta la sua massa fosse nel suo centro ed è matematicamente un "monopolo". Se ho una sfera schiacciata ai poli il suo potenziale visto al suo esterno non è esattamente radiale, monopolare, ma deformato proporzionalmente allo schiacciamento. Si parla pertanto di potenziale quadrupolare.¹⁰

Questo potenziale genera una forza inversamente

9 Pierre Gassendi, *Mercurius in Sole visus, et Venus invisus Parisiis*, anno 1631, 1632, Parigi (1632). *Johannis Hevelii Mercurius in Sole visus Gedani*, Danzica (1661).

10 Ohanian e Ruffini, *Gravitazione e Spazio-Tempo*, Zanichelli, 1999 p. 18.

proporzionale alla quarta potenza della distanza dal centro di massa $F \sim 1/r^4$ che produce una precessione dell'orbita.

Ci sono due modi per avere un quadrupolo, oltre alla sfera schiacciata (e si cercò l'oblateness del Sole, ancora oggi con strumenti sempre più sofisticati e da satellite) c'è l'aggiunta di una cintura attorno all'equatore della sfera che funge da spanciamiento. Questa cintura o era fatta da piccoli asteroidi, o era percorsa velocemente da un pianeta interno a Mercurio, per il cui nome fu scelto Vulcano. Ci furono persino degli avvistamenti durante le eclissi solari della fine dell'ottocento e inizio novecento. Einstein con la sua teoria venne a capo di quei 43" rendendo inutile la ricerca di Vulcano, tuttavia ancora oggi si misura la oblateness del Sole perché se fosse grande occorrerebbe modificare la Relatività, giacché quei 43" avrebbero già la loro causa spiegata con l'oblateness solare.

Conclusioni e prospettive

Il transito di Mercurio sul Sole del 9 maggio 2016 è un evento astronomico carico di storia, che pure ha le sue prospettive scientifiche che vanno oltre la ripetizione di un'osservazione e di misure storiche.¹¹ La misura del diametro solare è una di queste, e viene sottolineata in questo volume.

Gerberto è accostato all'evento astronomico per la data, prossima al 12 maggio, anniversario della sua morte; per il contenuto, di astronomia e cosmografia, di cui egli si è occupato durante il suo periodo di scolastico a Reims quando costruiva astrolabi e sfere per spiegarlo agli studenti; e per queste notizie di osservazioni solari prima del telescopio, che anche egli compiva, certamente per valutare la durata dell'anno tropico con la Sfera fatta per Costantino di Fleury.¹²

11 Copernico non vide mai Mercurio: De Revolutionibus, libro V cap.XXX

12 C. Sigismondi, La Sfera da Gerberto al Sacrobosco, APRA, Roma 2008.

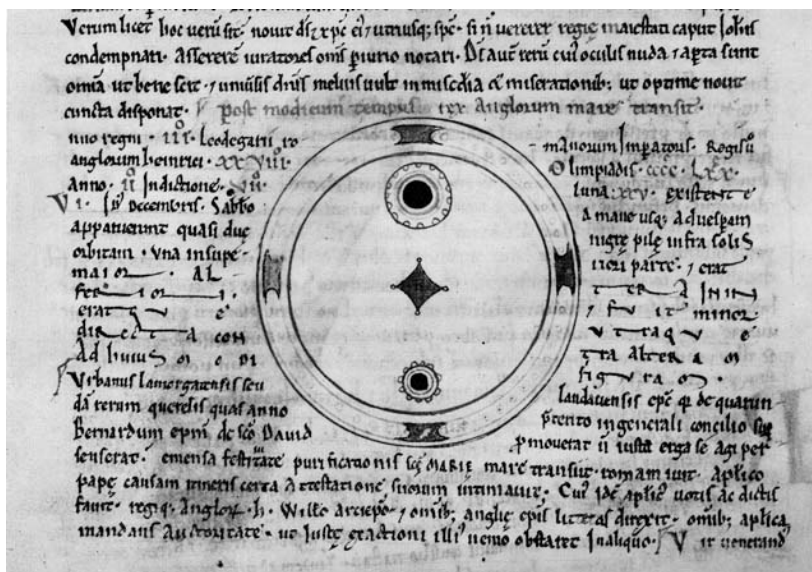


Fig. 2 Immagine di due macchie solari con tanto di penombra,¹³ fatta da John of Worcester dell'8 dicembre 1128.

Referenze

- T. S. Jacobsen, Planetary Systems from Ancient Greeks to Kepler, The University of Washington Press, 1999, p. 20.
- G. Galilei, C. Scheirner, E. Reeves, A. van Helden, On Sunspots, Un. Chicago Press, 2010. p. 13
- P. Gassendi, Mercurius in Sole visus, et Venus inuisa Parisiis, anno 1631, 1632, Parigi (1632).
- H. C. Ohanian e R. Ruffini, Gravitazione e Spazio-Tempo, Zanichelli, 1999 p. 18.
- G. J. Toomre, Ptolemy's Almagest, Princeton University Press 1998 p. 419.

¹³ Segno che queste macchie dovevano essere molto grandi per poter distinguere la penombra senza telescopio. Cfr. Sito dell'High Altitude Observatory <https://www2.hao.ucar.edu/Education/solar-physics-historical-timeline-0-1599>