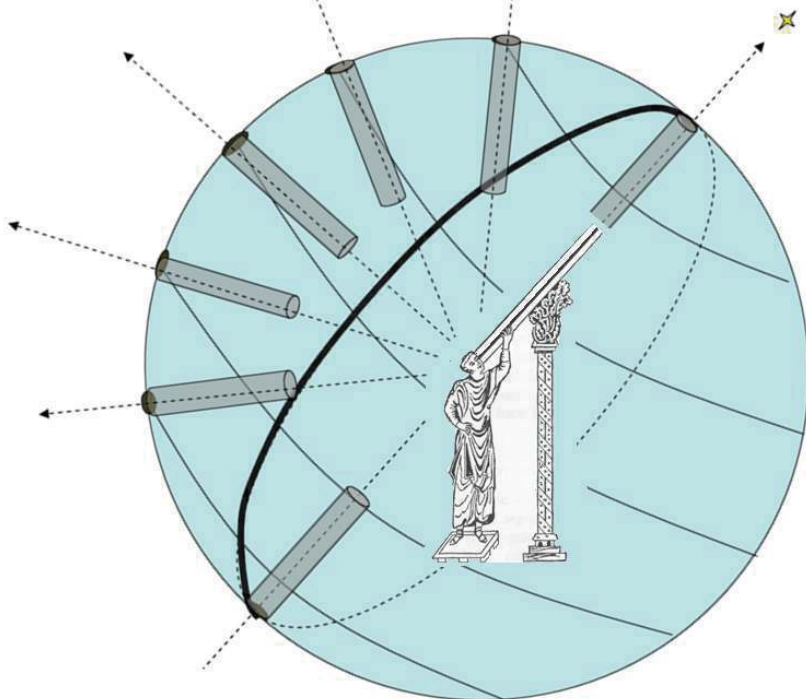


GERBERTVS



<http://www.icra.it/gerbertus>

**International academic online publication
on History of Medieval Science
vol. 9/2016**

GERBERTVS

International academic online publication on History of Medieval Science

url: <http://www.icra.it/gerbertus>

Editorial Board:

**Prof. Flavio G. Nuvolone (Université de Fribourg-CH),
Prof. Paolo Rossi (Università di Pisa),
Dr. Marek Otisk (Accademia Ceca delle Scienze, Praga e
Università di Ostrawa, Istituto di Filosofia)
Dr.ssa Irene Sigismondi (LUISS e Sapienza Università di Roma)**

**Publisher: Prof. Costantino Sigismondi
(ICRANet, Ateneo Pontificio Regina Apostolorum e IIS
F. Caffè, Roma)
Via Riccardo Grazioli Lante 15/A 00195 Roma, Italia**

Copertina: First day cover delle Poste Francesi con annullo speciale e francobollo dedicato a Gerbert d'Aurillac il 30/5/1964

ISSN 2038-3657 (versione stampata)
ISSN 2038-355X (versione online)
ISSN 2038-3630 (CD-ROM)

Vol. 9 – 2016

Finito di stampare nel maggio 2016

Con il contributo di
 **UniCredit**

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 Z^0 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 $W^\pm$ ± 1 1 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.

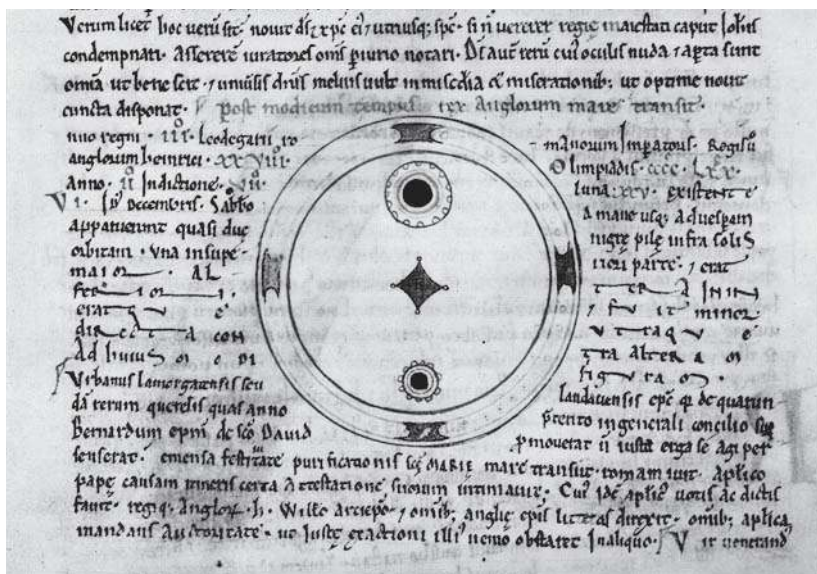


Fig. 2 Immagine di due macchie solari con tanto di penombra,¹³ fatta da John of Worcester dell'8 dicembre 1128.

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 invisâ 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>

Declinazione magnetica: storia delle prime misure e misura con l'azimut del Sole

Costantino Sigismondi

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

Abstract

The magnetic declination is the compass deviation from astronomical North. Georg Hartmann in 1510 in Rome firstly measured it as 6° East. Using accurate solar ephemerides and a UTC synchronized watch, the shadow of a vertical pole is astronomically referenced. The angles of a 10m size triangle including the direction of this shadow, the solar azimuth, and the magnetic North give the magnetic declination with an accuracy of 2 arcmin.

Introduzione

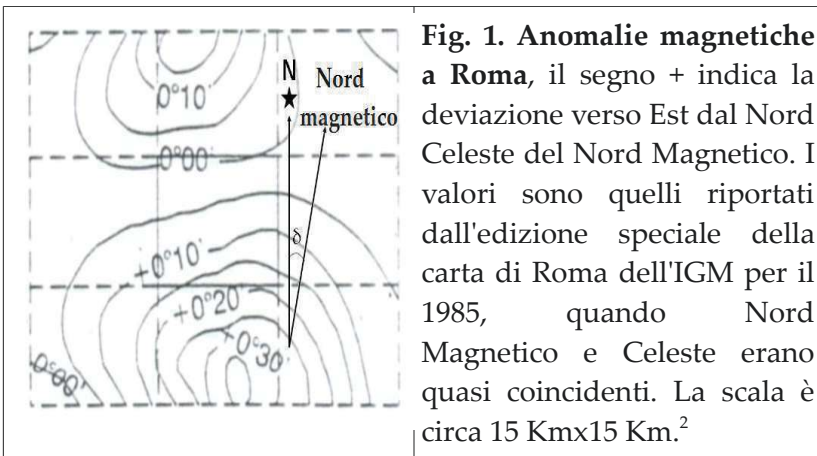
La bussola non indica il Nord celeste, astronomico, ma quello magnetico, che cambia con la posizione geografica, ed è individuato al netto dei campi magnetici locali (fili elettrici, telefoni, elettrodomestici) come una media territoriale.

Usando l'ombra di un palo verticale, una rotella metrica ed un orologio sincronizzato al secondo col tempo campione, si misura la deviazione dal Nord celeste della direzione dell'ago magnetizzato, con precisione operativa nominale di 2' d'arco, se le direzioni sono materializzate da segmenti di almeno 10 m, calcolando l'azimut del Sole ad un dato istante e per il luogo dove la direzione dell'ombra lo individua a terra. Così possiamo anche tracciare in pochi minuti il meridiano locale.

Declinazione Magnetica, carte IGM e modelli WMM e IGRF

La bussola indica il Nord magnetico, e a causa della differenza tra esso ed il Nord geografico, nonché della presenza di anomalie magnetiche locali, non consente una determinazione esatta del Nord geografico, anche detto astronomico o celeste. La declinazione magnetica δ a Roma, al 1/1/1985 è riportata

nella legenda della carta IGM¹ Istituto Geografico Militare.



Si vedono le anomalie magnetiche territoriali, entro i 30' su tutto il comprensorio romano. Il modello WMM Word Magnetic Model è valido dal 2014 al 2019 mentre quello IGRF International Geomagnetic Reference Field si estende dal 1590 al 2019: entrambi danno valori aggiornati del campo magnetico locale e della sua variazione annua.

La tabella 1 è compilata dal sito del NOAA³ per Roma, lat. N 41°52'45" long. E 12°27'06.84" sul meridiano di Monte Mario, quello fondamentale per il sistema geodetico ROMA40.²

Sommando alla figura 1 (1985) i dati NOAA attuali si ha un'idea delle medie territoriali del campo e della declinazione magnetica a Roma Centro: nel 2015.5 $\delta = 2^\circ 45'$ verso Est.⁴

- 1 La variazione di δ indicata sulla carta è di + 6' 30" all'anno, differente dai modelli WMM e IGRF, riportati nei siti ufficiali degli aeroporti, cf. <http://www.enav.it/enavWebPortalStatic/AIP/AD/AD2/ADPRA1-1.pdf>.
- 2 Si ritrova nella carta 1:25000 F374III serie 25DB Roma sud-ovest, 2000, cf. A. Cantile, *Cartografia Ufficiale dell'Istituto Geografico Militare*.
- 3 National Oceanographic and Atmospheric Administration. www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm
- 4 Agli equinozi il Sole raggiunge questo azimuth circa 9 min 20 s dopo il

Tab. 1 δ a Roma ⁷	Declinazione magnetica	Variazione annua
Anno 1985.0	0°02'11" Est	4'33" E
2007.0	1°51'27" Est	5'51" E
2015.5	2°45'50" Est	6'20" E

Nelle grotte⁵ dove il GPS né gli astri funzionano, la conoscenza dell'anomalia magnetica permette di orientarsi⁶ bene.

Determinazione del Nord magnetico: Colombo e Hartmann

Prima di individuare la direzione del Nord Magnetico occorre sincerarsi che non vi siano campi magnetici locali che perturbano l'ago magnetico della bussola.⁷ Collocando in diversi luoghi la bussola si verifica se varia la direzione di equilibrio dell'ago in dipendenza della posizione della bussola nell'ambiente dove si effettua la misura.⁸ Una zona dove il campo magnetico sia uniforme, di origine solo terrestre, è proprio la condizione più difficile da ottenere.⁹

mezzogiorno locale, al solstizio d'estate circa 4 min 54 s dopo, mentre al solstizio invernale dopo quasi 14 minuti; le misure perciò vengono meglio nel semestre a cavallo del solstizio d'Inverno quando il Sole meridiano cambia azimut più lentamente.

- 5 <http://www.boegan.it/legislazione-e-tecnica/la-declinazione-magnetica/>
- 6 *Nortear* è la parola portoghese per *orientarsi*, cercare il Nord. In questo articolo si approfondisce la ricerca del Nord Celeste con la bussola.
- 7 All'ITIS Ferraris (Roma, via Fonteiana) sia nelle aule che all'esterno la deviazione statistica delle misure di campo magnetico arriva a $\pm 5^\circ$ per una stessa direzione, campionata ogni 50 cm (lab. fisica 2CT 2015).
- 8 Lungo i 50 metri della linea meridiana della Basilica di Santa Maria degli Angeli e dei Martiri a Roma, ho rivelato fluttuazioni del campo magnetico locale di $\pm 10^\circ$, cf. C. Sigismondi, *Misura della Declinazione Magnetica a Roma usando l'azimut del Sole*, in *Meridiani e Longitudini a Roma*, Semestrale di Studi e Ricerche di Geografia, Sapienza Università di Roma, 2006 (2), p. 164.
- 9 Lo confermano al Dipartimento di Rilevamento del Politecnico di Milano cf. G. Bezoari, C. Monti, A. Selvini, *Topografia Generale con*

Il primo a misurare la declinazione magnetica sulla terra ferma fu il prete di Norimberga Georg Hartmann (1489-1564) scienziato e costruttore di strumenti, durante un viaggio a Roma nel 1510, dove misurò una declinazione orientale di 6°. ¹⁰ Hartmann costruiva quadranti solari muniti di ago magnetizzato, con i quali poteva confrontare direttamente la deviazione dalla linea meridiana della bussola. A Norimberga nel cinquecento fioriva l'industria della bussola (*Kompass*). Hartmann si chiese se la deviazione osservata a Roma e poi anche a Norimberga fosse causata da proprietà intrinseche all'ago magnetizzato, ma capì che era una proprietà del campo magnetico terrestre, come scrisse nella lettera al duca Alberto di Prussia del 1544 ¹¹ Nel 1590 le misure in mare della declinazione magnetica avevano raggiunto 30' di precisione. ¹² Cristoforo Colombo aveva annotato nel diario del 13 settembre 1492 che l'ago magnetico non segnava il Nord celeste. Le note scritte il 17 settembre 1492 ci chiariscono il metodo che usava Colombo: confrontava la posizione della Polare (in meridiano) con la direzione dell'ago magnetico. ¹³ Colombo nella sua

elementi di Geodesia, UTET, Torino 2002, e le nostre misure a Roma al Liceo Morgagni e alla Villa dei Quintili (cf. Sigismondi, *op. cit.*, 2006).

10 <http://catalogo.museogalileo.it/approfondimento/DeclinazioneMagnetica.html>

11 Si veda la traduzione in francese dell'articolo in tedesco di G. Hellmann, *Les premières observations magnetiques (I)*, Bulletin de la Société Belge d'Astronomie, vol. 2, pp.246-253 (1896), che contiene le lettera del 4 marzo 1544 dove si racconta della prima misura fatta a Roma (p. 250).

12 Jonkers, A. R. T. et al., *Four Centuries of Geomagnetic Data, from Historical Records*, Reviews of Geophysics **41**,2 (2003); Bloxham, J. and D. Gubbins, *L'evoluzione del campo magnetico terrestre*, Le Scienze, Feb 1990.

13 G. Hellmann, *Les premières observations magnetiques (II)*, Bulletin de la Société Belge d'Astronomie, vol. 2, pp.284-290 (1896). È chiaro che compiendo a quell'epoca la Polare un'orbita di 7° di diametro attorno al Polo Nord Celeste, Colombo doveva conoscere gli istanti di culminazione superiore e inferiore della stella Polare, cioè quando si trovava esattamente al Nord celeste, che per il 17/9/1492 erano

navigazione non si sarebbe basato solo su dati astronomici.¹⁴ Per i navigatori portoghesi Pedro Nunes (latinizzato in Pietro Nonio) nel 1537¹⁵ formalizzò i metodi per misurare la declinazione magnetica in mare.¹⁶

La seconda misura di Hartmann viene collocata nel 1544,¹⁷ tuttavia un suo manoscritto MS RAR 434 della Bayerische Staatsbibliothek 80328 di Monaco, mostra che Hartmann indicava nei disegni degli orologi già la declinazione magnetica di Norimberga nel 1539.¹⁸ Chapman¹⁹ aggiunge che Hartmann misurò per primo anche l'inclinazione del campo magnetico, fenomeno verificabile per tutte le località non

coincidenti con il mezzogiorno e la mezzanotte locale (12 ore dopo, cf. Software Stellarium 0.12.4). Tanto il passaggio al meridiano del Sole quanto la misura delle dodici ore successive per arrivare alla mezzanotte erano misure standard per quell'epoca. Non è un caso che la misura della declinazione magnetica sia stata fatta il 17 settembre: la Polare e il Sole erano in meridiano contemporaneamente: questo valeva in tutto il Mondo. È una “regola del pollice” ben nota a chi usava notturnabi da almeno 500 anni (cf. Bertola e Sigismondi, Gerbertus 5, 99, 2015, *Gerberto, i tubi astronomici e la via Lactea*).

- 14 P. Ranfagni, et al., *Colombo e la navigazione oceanica per punti stimati*, mostrano che Colombo usava la bussola per la direzione e la stima delle velocità istantanee della nave per il tempo per conoscere lo spazio percorso. Un galleggiante lasciato a prua veniva cronometrato con la recita di una filastrocca. La sillaba della filastrocca in cui il galleggiante superava il traguardo fissato a poppa dava la velocità. www.arcetri.astro.it/~ranfagni/CD/CD_TESTI/COL_A_1.HTM 1998
- 15 Pedro Nunes, *Tratado da Sphera com a Teorica do Sol e da Lua[...]*, Lisboa, German Galharde, 1537. Fol.
- 16 G. Hellmann, *op. cit.* p. 287-288.
- 17 Così Hellmann (*op. cit.* 1896), e gli autori successivi; cf. la nota 10.
- 18 Nicola Severino, *Georg Hartmann, Il primo grande gnomonista della Rinascenza*, Dicembre 2008 www.nicolaseverino.it; la sua figura a p. 7 qui è riprodotta in fig. 2 per datare quella misura di δ . La parte inferiore con la bussola per l'orientamento e $\delta=10^\circ$ Est è stata qui spostata a destra.
- 19 A. Chapman, nell'*Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism* David Gubbins, Emilio Herrero-Bervera ed., p. 397-398 Springer 2007.

equatoriali: a Roma nel 2015 $i=58^\circ$ entrante,²⁰ la punta dell'ago che indica il Nord, si abbassa di 58° rispetto all'orizzontale, se l'ago può oscillare su un piano perpendicolare all'orizzonte.

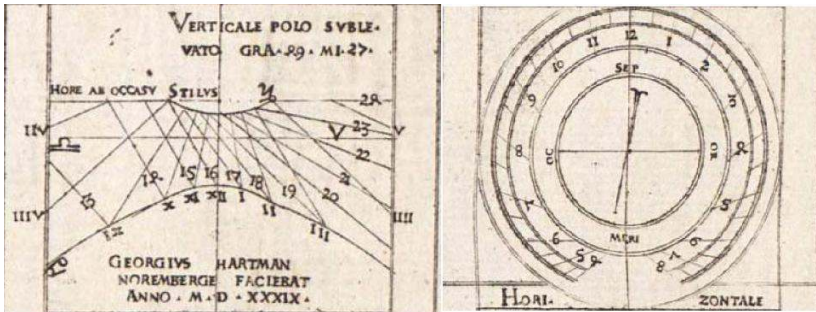


Fig. 2 Disegno di orologio dittico di Georg Hartmann (1539).

Misurare la declinazione magnetica: l'azimut magnetico

Scelta la posizione dove misurare δ occorre individuare e prolungare la direzione di equilibrio dell'ago magnetico con la massima precisione. Posizionandosi sulla verticale dell'asse dell'ago si confronta la direzione dell'ago con quella di una linea retta disegnata su un foglio A3 sottostante alla bussola e ruotabile a piacere. Quando l'allineamento è perfetto si fissa il foglio e con esso la direzione. Con la bussola misuriamo l'azimut magnetico di una direzione georeferenziata col Sole.

Georeferenziazione col Sole, teorema del coseno, tan e arctan

All'istante del transito del Sole al meridiano l'ombra punta esattamente al Nord celeste; con le effemeridi²¹ per ogni istante

20 Dati NOAA <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm> in accordo con la misura di 55° nel laboratorio di fisica dell'ITIS Ferraris a Roma (2CT 2015), con un ago magnetico montato su un asse girevole.

21 Effemeridi del Sole si possono ottenere online al sito www.calsky.org. La precisione di un minuto e di un secondo di tempo danno $15'$ e $15''$ in azimut. Si deve poi sommare il raggio solare ($16'$) all'azimut del centro del Sole nell'istante in cui la luce del Sole è radente alla parete che si vuole georeferenziare astronomicamente (Ferraris 1e2BT 2015 nota 24).

si calcola l'azimut del Sole in quel momento e si ha una direzione astronomicamente referenziata. Una differenza grande tra azimut del Sole e Nord magnetico permette di risolvere meglio il triangolo col teorema del coseno.²² L'ombra di uno stilo in posizione verticale fornisce la direzione (azimut) astronomicamente referenziata. La linea retta che parte dalla base del palo (dal suo centro A) incrocia un'altra retta che individua la direzione dell'ago magnetizzato BC. Tracciando anche una terza retta AB si individua un triangolo ABC come in figura 3.

Il bordo dell'ombra del palo si muove verso Est e ad un tempo t_1 tocca il punto C, e lo lascia all'istante t_2 . La media tra t_1 e t_2 è l'istante in cui l'ombra è orientata esattamente secondo la retta AC. Questo istante medio si inserisce, insieme con la longitudine e la latitudine del luogo, per ottenere dalle effemeridi l'azimut α del Sole quando l'ombra del palo copre la retta AC. Dalla misura dei lati AB AC e CB si ricavano i tre angoli del triangolo con un'accuratezza di 2' (con lati di 10m), e la conoscenza di α consente di orientare esattamente nello spazio questo triangolo e la retta CB in particolare.

Sincronizzazione degli orologi e geolocalizzazione

Tutte queste misure sono attendibili a patto di avere gli istanti di tempo t_1 e t_2 sincronizzati con il tempo universale coordinato UTC.²³ Le coordinate geografiche del luogo si ricavano da Google maps o da GPS entro 1 m di precisione.

22 Si possono “risolvere” due triangoli rettangoli adiacenti di cui sono noti i cateti; le ipotenuse sono rispettivamente l'ombra e la direzione dell'ago magnetico, così basta conoscere solo la definizione di tangente e arctan.

23 Gli orologi, se non lo sono già in automatico, devono essere sincronizzati col tempo campione Italiano; è possibile farlo al sito http://www.inrim.it/ntp/webclock_i.shtml gestito dall'INRIM.

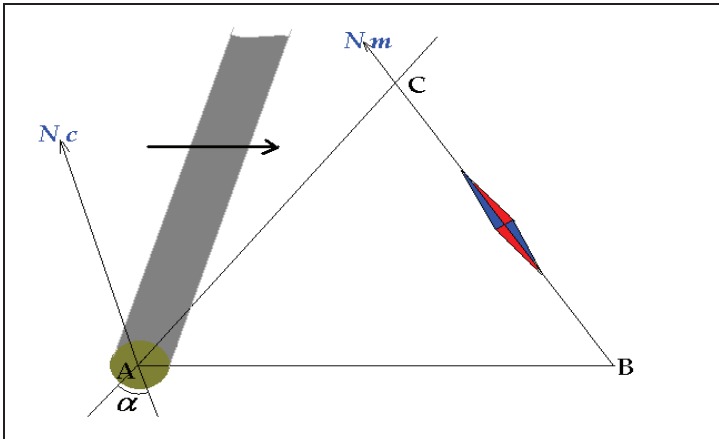


Figura 3. Geometria dell'esperimento per misurare la declinazione magnetica. Si traccia il segmento AC prima che l'ombra lo ricopra; si determina l'istante di copertura accuratamente. L'angolo ACB consente di legare la declinazione magnetica δ all'azimut del Sole in quel momento.

Conclusioni

Hartmann misurò $\delta=6^\circ$ a Roma nel 1510, mentre Colombo fu il primo a segnalarla il 13 e 17 settembre 1492, a metà del primo viaggio in America. Per misurare δ entro $\pm 2'$, servono triangoli con lati di 10 m, evitando l'inquinamento di campi magnetici locali. Si sfrutta la verticalità di un palo o una parete²⁴ per l'allineamento astronomico usando l'azimut del Sole. L'errore del metodo sta tutto nella determinazione dell'azimut magnetico, entro $\pm 15'$ con bussole inferiori a 15 cm di diametro.

²⁴ All'ITIS Ferraris l'allineamento di una parete, ragionevolmente verticale, col Sole è stato determinato con 10s di precisione, ossia $2'30''$ in angolo. L'azimut astronomico 278° e quello magnetico $360^\circ - 85.5^\circ = 274.5^\circ$ sono stati misurati così in due tempi diversi, raggiungendo una precisione migliore: $\delta = 278^\circ - 274.5^\circ = 3^\circ 30'$ Est, cioè il Nord magnetico è a Est di quello astronomico. Per Roma NOAA dà $2^\circ 45'$ Est (tab. 1), che è una media territoriale con gradiente spaziale di $7'$ per Km, come dalla fig. 1. Ringrazio il prof. Mauro Climaco e Roberto Bacci per l'assistenza tecnica.

Misure di massa nel 1574 del Sangue del Miracolo Eucaristico di Lanciano

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza IIS Caffè Roma)¹

Abstract

The measurement of the five coagulated drops of Blood of the Eucharistic Miracle in Lanciano was made in 1574. We discuss the accuracy of this measurement, in lack of original documentation, repeating experiments with a rod half suspended at the border of a table, a sample mass (coin) and another test mass of 2.3 g. Using the leverage principle to balance the masses the test mass is measured within 0.04 g, with a technology available and understandable in 1574.

Introduzione

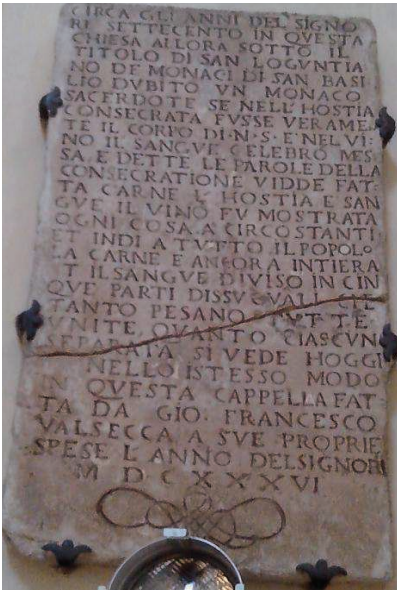
Il Miracolo Eucaristico di Lanciano è avvenuto attorno al 730-750 d.C. durante una Santa Messa celebrata da un monaco Basiliano nella chiesa di San Legonziano a Lanciano: l'Ostia grande si trasformò in Carne ed il Vino in Sangue poi coagulato in cinque grumi disuguali, ed ora conservati in un reliquiario d'argento dal 1722. Il monaco dubitava della presenza reale di Cristo nell'Eucaristia, e il Miracolo ne confermò la fede. La datazione è compatibile con la fuga in Occidente dei cristiani iconoduli, durante le persecuzioni iconoclaste a Costantinopoli durate dal 717 all'813. Non esistono più cronache coeve, e resoconti documentali di ricognizioni fino al seicento quando gli storici Fella e Antinori ne riportano; la soppressione napoleonica dei primi dell'ottocento contribuì alla perdita di ulteriore documentazione. Resta una lapide del 1636, sulla ricognizione dell'arcivescovo mons. Gaspare Rodriguez del 17.2.1574² dove

1 Grazie a Francesco Tati e prof. Luigi Alessio IIS Caffè per l'esperimento

2 Silvio Di Giancroce, Il Miracolo Eucaristico di Lanciano Storia Fede e Scienza, SMEL, Lanciano (2011) p. 13, con citazioni di Giacomo Fella (Chronologia Urbis Anxani, ms. XVII sec.) e di Anton Ludovico Antinori (1704-1778) che riporta il Fella *“Trovò che l'Ostia si vedeva*

è riportato “Il sangue diviso in cinque parti dissuguali che tanto pesano tutte unite, quanto ciascuna separata.”

Il miracolo dei pesi



Sulla lapide, realizzata da Gio. Francesco Valsecca, si afferma che tutte insieme le parti pesano quanto una sola. Il Fella riporta anche la notizia del 1620 che sessant'anni prima era stato trafugato da due monaci basiliani il codice greco con la narrazione coeva al Miracolo stesso. La lapide e G. Fella sono due dunque fonti di poco posteriori al Rodriguez.

Fella dice che le cinque parti benché diverse tra loro avevano uguali masse. Valsecca che tutte insieme pesavano quanto una

alla volta. Le due affermazioni non contrastano, se un miracolo rese $A=B=C=D=E= A+B+C+D+E$. Fella specifica che il Rodriguez fece egli stesso le misure davanti a tutto il popolo, che verificò il miracolo. In formule più rispondenti alle parole si potrebbe sostituire il segno di $=$ con quello di $\approx$ somigliantissimi, senza cambiare la sostanza del fatto.

Altre ricognizioni sono state fatte nel 1637, 1770, 1886 e 1970.³

Il 18/11/1970 alle ore 10:15 furono aperti i sigilli di Mons. Francesco Petrarca (1886) e “si notò che la teca contenente la carne

cangiata in Carne, il vino in Sangue congelato, diviso in cinque grumi i quali pesati da lui alla presenza di molto popolo, furono trovati, benché tra loro ineguali, somigliantissimi di peso, come dal popolo stesso fu notato.”

3 S. Di Giancroce, *op. cit.*, pp. 14-15.

non era chiusa ermeticamente e questo spiegava la presenza all'interno di essa di muffa e di altri corpi estranei, come risultò al microscopio. [...] Prima si volle controllare il peso dei cinque grumi di sangue. Il peso complessivo come già nella ricognizione del 1886, fu di grammi 15 e 505 milligrammi. Il fenomeno della identità di peso tra un grumo e i rimanenti quattro, affermato da mons. Rodriguez nella ricognizione del 1574 e riportato dalla lapide marmorea del 1636 sita a lato dell'altare del miracolo nella chiesa di San Francesco, non si verificò, come già nella ricognizione del 1886. Terminato il prelievo dei campioni, si sigillò la teca e il calice con il sigillo di mons. Pacifico Perantoni, arcivescovo. In fede da Lanciano 18 novembre 1970 + fr. Pacifico M. Perantoni ofm Arcivescovo e Vescovo; p. Luigi Mariano ofm conv. Segretario e stesore degli atti; Castiglione can. Giuseppe Cancelliere arcivescovile."

Dunque in questo ultimo documento arcivescovile si riferisce che nel 1886 il miracolo dei pesi non era stato verificato e l'uguaglianza viene posta tra un frammento e i rimanenti quattro $A=B+C+D+E$, leggermente diverso dalla versione di Valsecca $A=A+B+C+D+E$ e da quella di Fella $A \approx B \approx C \approx D \approx E$.

Considerazioni fisiche sull'accuratezza di misura di masse

La dicitura di Valsecca e quella del 1970 sono simili, quella del 1970 evita di dover confrontare tutti e cinque i grumi insieme con un peso campione che li equivalga e poi lasciarne uno solo e vedere che lo stesso peso campione lo equivale: è sufficiente usare una bilancia a due piatti dove da una parte ci sono 4 grumi e dall'altra il grumo rimanente. In pratica scambiando un grumo dei quattro con quello nell'altro piatto il risultato non sarebbe dovuto cambiare. Nella dicitura del 1970 si potrebbe vedere sottinteso l'uso di una classica bilancia a due piatti, senza la necessità di avere dei pesi campione a causa dell'equivalenza di uno con gli altri quattro grumi. La versione 1636 invece suggerisce la possibilità di uso di una bilancia ad

un solo piatto,⁴ basata sul principio della leva, con il peso di riferimento che scorre sul braccio libero. Le domande a cui si deve rispondere per analizzare l'esperimento condotto alla presenza del popolo dal mons. Rodriguez sono:

- 1) è possibile che sia stata usata la bilancia per misurare oggetti di massa inferiore alla sua sensibilità?
- 2) quale poteva essere la sensibilità di una bilancia (di precisione) dell'epoca?

Metrologia medievale

Carlo Magno aveva introdotto la libbra carolingia,⁵ da cui venivano conati 240 denari d'argento la cui massa doveva essere di $1.69 \pm 0.01\text{g}$, un peso campione adeguato per i grumi di Sangue del Miracolo di Lanciano. Lanciano, inoltre, era sede di fiere, le *Nundinae Mercatus*, già dal tempo dei romani, e nel medioevo produceva aghi, ricordato dalla via degli Agorai. Dunque la possibilità di pesare con precisione l'oro doveva essere un fatto acquisito per l'Arcivescovo e per la cittadinanza mercantile, che assisteva alla misura dei grumi.

Un bilancia ad un piatto semplicissima

Per replicare la misura con una bilancia ad un piatto è sufficiente prendere una riga ed alcune monete, che servono da masse campione.⁶

La riga viene collocata in modo che sporga per metà dal bordo dritto di un tavolo (che è il fulcro); si mettono in equilibrio la massa campione C nella parte sospesa a distanza f dal fulcro e l'oggetto di cui si vuole misurare la massa nella parte della riga sopra il tavolo.

La massa Mx dell'oggetto a distanza d dal fulcro è data dall'equazione delle leve $Mx \cdot d = f \cdot C$. $Mx = f \cdot C / d$.

4 <http://museo.liceofoscarini.it/virtuale/bilancia54.shtml>

5 https://it.wikipedia.org/wiki/Libbra_carolingia

6 https://it.wikipedia.org/wiki/Monete_in_euro
<http://euro.raddos.de/italiano/monete.php>

La posizione della moneta-massa campione è quella del centro della moneta, così quella dell'oggetto da misurare è quella del suo baricentro. Ad esempio usando come campione 10 eurocent da 4.1 g voglio pesare un eurocent e valutare la sensibilità. I dati sono: tavolo con piano di vetro; $C=4.1$ g; $f=(20.3-15.25)=5.05$ cm; $d=(15.25-6.1)=9.15$ cm da cui $M_x=2.26$ g.

La precisione σ_M di questa bilancia si valuta confrontando il risultato ottenuto con il valore vero $\sigma_M=|2.3-2.26|=0.04$ g.

Ripetendo l'esperimento con altre masse $C=3.06$ g (2 eurocent); $f=(20.15-15.25)=4.9$ cm; $d=(15.25-8.70)=6.55$ cm da cui $M_x=2.29$ g.

La differenza tra la misura M_x e la massa nominale dell'eurocent di 2.30g è risultata di 0.01 g, compatibile con la spinta di Archimede ricevuta dall'aria in cui è immersa la riga.

Conclusioni

I cinque grumi di Sangue del Miracolo Eucaristico hanno un peso medio di circa 3 g. La semplice bilancia fatta da un righello sospeso per metà ha una sensibilità migliore di 0.05 g, ossia una parte su 60 della massa media di un grumo di quel Sangue. Questa sensibilità è sufficiente per dare una misura accurata della massa dei singoli grumi, quantificando la dizione "similissimi" usata dal Fella in "uguali entro 0.05 g" che userebbe un fisico oggi. Lo stesso discorso si può applicare al resoconto lapideo del Valsecca del 1636: entro 0.05 g "tanto pesano tutte unite quanto ciascuna separata".

Nel resoconto Fella il miracolo starebbe nell'uguaglianza tra parti visibilmente disuguali (disuguaglianza confermata nella lapide del Valsecca); nel resoconto Valsecca il miracolo starebbe nell'uguaglianza della parte con il tutto.

In entrambi i casi la precisione accessibile ad uno strumento e ad un sperimentatore della fine del cinquecento⁷ era

⁷ Galileo Galilei nel 1586 sviluppava la sua bilancetta idrostatica.
« Per fabricar dunque la bilancia, piglisi un regolo lungo almeno due

senz'altro migliore di 0.05 g, tale da permettere un'esecuzione adeguata di queste misure.

I significati teologici ed eucaristici delle due versioni del resoconto del miracolo dei pesi sono evidenti: in ogni frammento è ugualmente presente Cristo nel suo Corpo, Sangue, Anima e Divinità, come ribadiva il Concilio di Trento (1545-1563) per la Transustanziazione⁸ così come ogni frammento è equivalente al tutto.

Nella ricognizione del 1886, di cui si hanno i documenti e i sigilli, questo miracolo non si è più verificato. Nel 1970-1981 i lavori del prof. Linoli⁹ sui campioni estratti nel 1970 hanno dimostrato che Carne e Sangue appartengono al gruppo AB, la Carne è una sezione del cuore, impossibili da realizzarsi nell'ottavo secolo. Una relazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità del 1976 conferma che non può trattarsi di un falso e che i risultati trovati da Linoli non sono spiegabili dalla scienza, né attuale né futura.

Nel 1574 la fisiologia umana era ai primordi, la microscopia non esisteva, mentre la barometria (misura dei pesi) era già ben sviluppata. Sembra proprio che alla ricognizione dell'Arcivescovo Rodriguez la Provvidenza abbia proposto un miracolo accessibile alla scienza dell'epoca, riservando per l'attuale i risultati istologici e immunologici del Linoli.

braccia, e quanto più sarà lungo più sarà esatto l'istrumento; e dividasi nel mezzo, dove si ponga il perpendicolo [il fulcro]; poi si aggiustino le braccia che stiano nell'equilibrio, con l'assottigliare quello che pesasse di più; e sopra l'uno delle braccia si notino i termini [dove ritor]nano i contrapesi de i metalli semplici quando saranno pesati nell'acqua, avvertendo di pesare i metalli più puri che si trovino. »

https://it.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei#La_bilancia_idrostatica

⁸ <http://www.treccani.it/enciclopedia/transustanziazione/>

⁹ Odoardo Linoli, *Ricerche Istologiche, Immunologiche e Biochimiche sulla Carne e sul Sangue del Miracolo Eucaristico di Lanciano*, SMEL Lanciano, 1993.

Fotogrammetria dell'Obelisco Vaticano con il Sole

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza e IIS F. Caffè, Roma)

Abstract

The Vatican Obelisk has been moved to St Peter's square by Domenico Fontana in 1586. The measurement of its height using the shadow on the floor is compared with Fontana's original data and with digital photo, corrected by perspective. A pincushion deformation is found in the camera.

Riassunto

L'Obelisco Vaticano è stato collocato da Domenico Fontana nel 1586. La sua altezza viene misurata con la lunghezza dell'ombra al suolo e comparata con i dati pubblicati dal Fontana e quelli ottenuti da foto digitali corrette per effetti di prospettiva. La deformazione a cuscinetto è presente nella camera.

Introduzione

Domenico Fontana riportò dettagliatamente le misure dell'Obelisco Vaticano inaugurato con una messa votiva della S. Croce il 14 settembre 1586 e una processione: *“La croce di bronzo dorata è alta con i suoi finimenti sopra la punta della guglia (il monolito) palmi 26, la croce senza finimenti è alta palmi 10 [...]. La guglia con tutti li suoi finimenti è alta palmi 150 $\frac{3}{4}$ e [...] si viene ad innalzare dal piano della piazza fino alla sommità della detta croce, palmi 180 $\frac{1}{4}$.¹ Sisto V concesse in perpetuo un'indulgenza di 10 anni e 10 quarantene (quaresime) a chi passando contrito e confessato, dirà un Pater nostro e un'Avemaria, & inchinandosi alla Santa Croce posta nella cima della Guglia, pregherà Dio per il Felice stato di santa Chiesa, e per il Pontefice Romano.”* Traducendo i dati da palmi romani a metri, l'elevazione totale risulta pari a 40.135 m, il monolito 33.566 m.

Foto e correzioni prospettiche

Schematizzando l'obelisco a 32.3 metri di distanza ci si accorge che il campo di vista CdV occupato da un metro alla sua base

1 https://archive.org/stream/gri_33125008662708#page/n77/mode/2up

è $1/29$ di quello di tutto l'obelisco, perché aumentando la distanza tra obiettivo e punto ad altezza h sull'obelisco, il CdV di 1 metro si riduce progressivamente $CdV = \arctg[1/\sqrt{(h^2 + 32^2)}]$.



Fig. 1 L'obelisco, in diagonale, è alto 40.135 m e da 32.3 m occupa un campo di vista $CdV = 51.2^\circ = \arctg(40.135/32.3)$.

Nella foto misuriamo le lunghezze in pixel, ma ogni pixel sull'obelisco è a diversa altezza h e distanza d dall'obbiettivo; inoltre i campi di vista angolari sono sottoposti alle deformazioni ottiche delle lenti. L'asse ottico dell'obbiettivo della fotocamera SANYO CG9 è assunto al centro delle diagonali della foto. In tabella la deformazione ottica a cuscino emerge dal rapporto tra dimensioni angolari calcolate e misurate in pixel agli estremi della diagonale (base e croce)

elemento	Dim. [°]	Lung. [px]	Fraz °calc./px oss	Rapporto Oss./Calc.
Obelisco	51.17°	1438	angoli/pixel(oss)	val. medio 1,13±0,01
1.4m base	1.77°	79.3	0,0485/0,0551	1,1180
5m79crux	4.03°	126.6	0,0787/0,0880	1,1275

La deformazione a cuscinetto su un reticolato dà un ingrandimento maggiore con la distanza dall'asse ottico, come nel caso nostro. Di questa deformazione bisogna tenere conto in applicazioni fotogrammetriche, come la presente.

Foto dell'obelisco da 466 m (via S. Pio X) e da 1235 m (Metro Ottaviano) consentono una migliore valutazione dei rapporti tra le parti dell'obelisco, perché è vicino all'asse ottico e meno influenzato dalla prospettiva. La cuspidale piramidale è alta 1m.



Fig. 2 Da 466 m 1.4 m=26 px, l'obelisco è 763 px fino al top, e la proporzione da 41,11 m, il 2.3% in più dei dati del Fontana.

Misura dell'altezza con la gnomonica

Anche la misurazione dell'ombra dell'obelisco è stata fatta il 4 giugno 2015 alle 13:44 dopo il transito meridiano, con gli

studenti di 5BL. Ricostruendo la posizione dell'ombra dello spigolo del monolito a 10.8 m dallo spigolo della base e l'altezza del Sole 69.15° al momento della misurazione, lo spigolo superiore del monolito risultava a 32.03 m dal suolo della piazza. Il monolito termina con una cuspide piramidale, sormontata dalla croce con il suo ancoraggio. L'altezza di questo spigolo, base della cuspide, non è presente in nessun dato in letteratura e in internet, perciò questi rilievi.

L'ombra estiva nasconde anche la croce e la cuspide e si è tenuto conto del rientro di 1.4 m della proiezione di questa cuspide rispetto alla base dove parte l'ombra al suolo. Dalla foto 2 a 466 m 1.4 m=26 px, lo spigolo dell'obelisco è a 624 px, e la proporzione dà 33,61 m, il 4.7% in più del calcolo con il Sole, Fontana 32.56 m, l'1.6% in più. Una misura fatta il 26/3/2007 con la lunghezza 28.5 m dell'ombra col Sole al meridiano ha dato $h=34.3$ m col Sole a $50^\circ 16'$ di altezza, anche qui senza croce e finimenti, ma con la cuspide piramidale. Fontana dà 33.56 m, ma la distanza della cuspide del monolito dalla sua ombra era di 44 m, e a quella distanza si forma una penombra di 44 cm. Con l'altezza di Fontana l'ombra dovrebbe essere lunga 27.9 m, aggiungendo la penombra (è il diametro solare di 1/100 di radiante che la produce) si ottiene 28.4 m compatibili con l'osservazione fatta a suo tempo (ref. 1). Nella misura del 4/6/2015 l'ombra si formava a circa 33 metri dallo spigolo, con una penombra di 33 cm, sottraendo 15 cm all'ombra abbiamo corretto di -45 cm l'altezza dello spigolo che l'ha formata. Il limite del metodo gnomonico sta proprio nella precisione con cui si riesce a valutare la penombra, con un contrasto molto basso, a causa della luce ambientale: questa inficia il risultato tanto più alto è il Sole (come a giugno).

Referenze C. Sigismondi, Effemeridi, APRA, Roma (2008) p.54
D. Fontana, Della Trasportatione dell'Obelisco Vaticano, 1590

Misura dell'azimut della Piramide Cestia col Sole

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza e IIS F. Caffè, Roma)

Abstract

The Pyramid of Caius Cestius in Rome has been built in 330 days in 12 b.C. The instants when the Sun rays are grazing to the East face of the Pyramid have been observed in different days, writing a table of solar azimuth and altitudes. Extrapolating for zero altitude, the azimuth $201.8^{\circ} \pm 1.4^{\circ}$ of the Pyramid is obtained; it corresponds to the azimuth 204.27° of the Sun when the shadow of the lightning rod divides in two equal parts the North face.

Riassunto

La Piramide Cestia è stata costruita in 330 giorni nel 12 a. C. per volontà di Caio Cestio. Si misurano gli istanti in cui i raggi del Sole sono radenti al lato Est della Piramide e si trovano i corrispondenti azimut del Sole a varie altezze. Estrapolando ad altezza nulla l'azimut si trova $201.8^{\circ} \pm 1.4^{\circ}$, quello del lato della Piramide, compatibile con 204.27° quando l'ombra del parafulmine sulla punta della Piramide biseca esattamente la faccia Nord.

Introduzione

La Piramide Cestia è stata costruita in pieno periodo Augusteo, a pianta quadrata con base di 100 piedi e altezza 125, ispirata alle piramidi egizie, ma con peculiarità ingegneristiche tutte romane. L'angolo di inclinazione delle facce è 68.2° , molto più ripido di quelle di Giza, e simili a quelle di Meroe. I blocchi di marmo lunense, infatti, sono solo sulle facce esterne della Piramide, mentre l'interno è in opus caementitium (calcestruzzo). Nel restauro concluso il 21/4/2015 e finanziato da Yuzo Yagi sono state ripulite le facce dalle piante (principalmente cespugli di capperi) e fatti alcuni interventi conservativi, come gli stop di acciaio lunghi fino a sette metri che contengono le deformazioni del rivestimento dovute a terremoti e assestamenti, già presenti nel restauro di Alessandro VII del 1659.¹ Le visite del 21 e 29 novembre 2015

1 <https://www.youtube.com/watch?v=kiGBo3eYfzE> cfr. Ref. 1 p. 55-56.

dentro il monumento e le misure del Sole in radenza prese dall'esterno durante il 2015 e il 2016 hanno consentito l'interessante misura dell'azimut dell'edificio col Sole.

Dati utilizzati ed azimut della Piramide estrapolato

La seguente tabella contiene orari, azimut e altezze del Sole radente in giorni differenti, ed il valore estrapolato graficamente ad $h=0^\circ$ con le rette di massima e min. pendenza.



Fig. 1 La Piramide (faccia Est) al tramonto, il 28 maggio 2015 alle 19:56, col Sole radente alla faccia Nord ad $h=5.8^\circ$ e $az=294^\circ$.

Data e ora	Altezza Sole	Azimut Sole
6 Apr 2016 h 15:20	44.94°	227.82°
9 Nov 2015 h 14:06	23.86°	214.53°
29 Nov 2015 h 14:15	19.25°	213.61°
17 Dic 2015 h 14:17	18.13°	211.51°
28 Mag 2015 h 19:56	5.80°	$293.93^\circ - 90^\circ$ (parete Nord)

Estrapolando: $h=0^\circ$ $az=201.5^\circ\pm1.4^\circ$ +il raggio solare $0.27^\circ=201.8^\circ\pm1.4^\circ$. Da satellite gli spigoli base danno $204.21\pm0.06^\circ$, l'ombra del parafulmine biseca la faccia N con $az=204.27^\circ$ e altezza 68.07° ed il lembo superiore del Sole è a $68.34^\circ>68.2^\circ$.

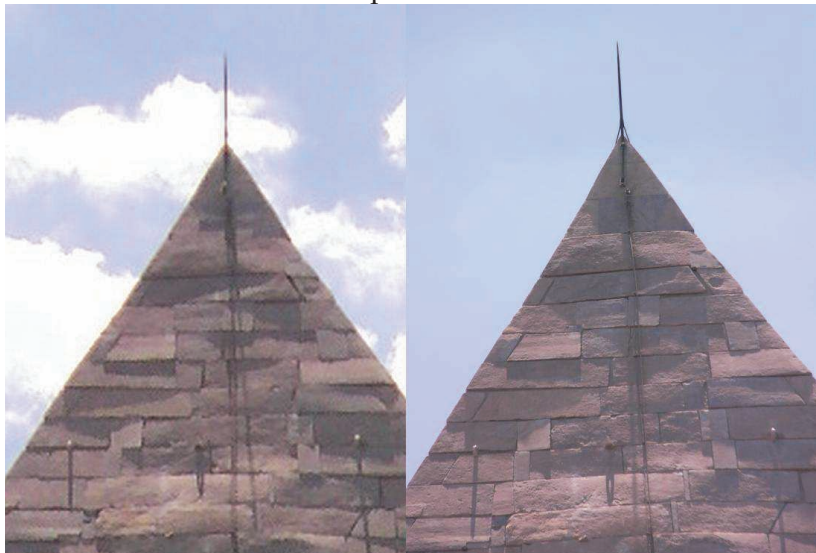


Fig. 2 Il pinnacolo della Piramide fotografato da Nord prima e dopo la bisezione dell'ombra avvenuta il 28 maggio 2015 alle 13:45:17: il centro del Sole aveva $az=204.27^\circ$ e altezza 68.07° .

(foto di Francesco Di Vita)

Metodi a confronto e irregolarità superficiali

Le differenze tra i vari metodi risentono 1. delle irregolarità delle facce (spanciamenti), 2. della risoluzione di circa 1m/pixel da satellite 3. della verticalità del parafulmine.

Le misure visuali riportate in tabella riportano l'istante di tempo in cui la maggior parte della parete Est è in ombra. Come si vede dalla figura 2, relativa alla parete Nord della Piramide, i blocchi sono dislocati in modo da risultare alcuni in ombra e alcuni in luce, ombreggiandosi reciprocamente in vari modi. Un assestamento plastico della mole di calcestruzzo

interna deve avere determinato queste configurazioni. Per avere tutta la parete in luce occorre che il Sole si trovi ad un'altezza superiore ai 68.2° teorici, e ancora ci sarebbero ombre reciproche poiché la condizione di quasi-radanza le determina anche per blocchi disposti parallelamente, ma dislocati tra loro pochi millimetri.

L'azimut 201.5° che aveva il lembo orientale del Sole la cui luce lambiva la parete Est della Piramide è tale che i blocchi si facciano già ombra reciproca su quasi tutta la faccia 2.8° prima di quando la faccia sarebbe in ombra teorica, se fosse idealmente liscia, cioè ad azimut 204.3° . Questi 2.8° sono indicativi dello spanciamento strutturale della Piramide sulla faccia Est, una deformazione per cui sono stati posti degli stop di acciaio a forma di X sulle pareti Nord e Ovest, più critiche.

Il 29 Novembre 2015 alle 12:54:40 c'era la situazione di tangenza del Sole con la faccia Ovest ad $az=194.53^\circ$ e $h=25.36^\circ$.

Assumendo l'inclinazione della faccia di $\alpha=68.2^\circ$, l'azimut ad $h=0^\circ$ vale $194.53+25.36/\tan(\alpha)=204.57^\circ$, a cui sottraggo il raggio solare $r=0.27^\circ$, ottenendo $az=204.3^\circ$ in ottimo accordo con Fig. 2

Applicando l'equazione $az(h=0^\circ)=az(h)\pm h/\tan(\alpha)$ ad ognuno dei dati in tabella per la sola parete Est, si effettua analiticamente la media: $az=206.25^\circ\pm 2.49^\circ$ aggiungendo 0.27° (raggio del Sole) si ha $206.52^\circ\pm 2.49^\circ$, con un peggioramento dell'errore rispetto al metodo grafico, ed un aumento dell'azimut stimato. Considerando $\tan(\alpha)$ come parametro libero per ottenere $az=204.27^\circ$ risulta $\alpha=64.14^\circ$ e l'errore sull'azimut ritorna a $\pm 1.52^\circ$ come nel metodo grafico. Per altezze del Sole comprese tra 18° e 45° la Piramide è meno inclinata di circa 4° , segno di uno spanciamento centrale.

Referenze C. Sigismondi, Effemeridi, APRA, Roma (2008) p.56
<http://archeorama.beniculturali.it/siti-archeologici/piramide-caio-cestio>

Dinamica numerica di microsonde verso Alfa Centauri con impulsi LASER su vele spaziali

Costantino Sigismondi

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

Abstract

Starshot project aims to reach alpha Centauri at 4.4 light years in 24 years, by accelerating to velocity 0.2 c with collimated LASER light pressure for 1000s several grams-scale microprobes with space sails. The energetics and dynamical equations are solved numerically on a worksheet and discussed.

Introduzione Il progetto Starshot è stato presentato il 12 aprile 2016 dal suo sponsor Yuri Milner, 55 anni dopo l'impresa di Yuri Gagarin, da cui il miliardario russo, prese il nome. Con lui erano Freeman Dyson, che già lavorò al progetto Orion¹ di navigazione interstellare basato sull'azione-reazione generata da esplosioni nucleari (considerate da Carl Sagan un ottimo metodo per impiegare gli arsenali nucleari accumulati durante la guerra fredda²); Stephen Hawking e Avi Loeb.³ Dai video di presentazione ho preso i dati per i calcoli numerici con excel.

Bilanciamento tra pressione di radiazione e gravità solare

La pressione di radiazione $P=W_{\odot}/c$ ha le dimensioni della densità di energia per area e tempo (che è la costante solare $W_{\odot}=1370 \text{ W/m}^2$ alla distanza Terra-Sole) diviso la velocità.

La pressione $P=F/A=m \cdot a/A$ genera un'accelerazione che a distanza d dal Sole si bilancia con la gravità solare quando $W_{\odot} \cdot A(d_{\odot}/d)^2 / (m \cdot c) = GM_{\odot}/d^2$, con $d_{\odot}=1\text{UA}=149,6 \cdot 10^9 \text{ m}$; $M_{\odot}=2 \cdot 10^{30} \text{ Kg}$, $G=6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N/m}^2\text{Kg}^2$, la costante di gravitazione universale; $m=7.7 \text{ g}$ massa della sonda ed $A=10 \text{ m}^2$ la vela;⁴ la pressione del vento solare darebbe una velocità $v=100\text{UA}/\text{anno}$

1 <http://www.astronautix.com/articles/probirth.htm>

2 [https://en.wikipedia.org/wiki/Project_Orion_\(nuclear_propulsion\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Project_Orion_(nuclear_propulsion)) n.18

3 <https://youtu.be/RoCm6vZDDiQ> amplius
<https://youtu.be/c7VPHGjT8A4>

4 <http://www.lunarsail.com/solar-sails/progettocubesat> che va sulla Luna

Impulsi LASER La microsonda parte già con velocità orbitale $v=7\text{km/s}$ e riceve una spinta dalla densità di potenza LASER $W_L=13.7\text{GW/m}^2$ che assumiamo perfettamente ripartita sulla vela di 10 m^2 . Ogni fascio LASER che esce da un'apertura larga D ha un allargamento quantistico $\theta=1.22\cdot\lambda/D$. Con $\lambda=1000\text{ nm}$ (IR, per cui l'atmosfera è trasparente) a distanza da Terra $r=0.2\text{UA}$, dove l'accelerazione avrà portato la sonda a $v=0.18\text{ c}$, il fascio si allarga solo di $12.2\text{ m}=\theta\cdot r$, cioè resta quasi collimato, se $D=300\text{ m}$. La potenza totale dei LASER inviata da Terra dovrebbe essere $W=W_L\cdot\pi\cdot 150^2/10=10^5\text{ GW}$. Per farsi un'idea di questo apparato: nel fuoco del Radiotelescopio di Arecibo centomila laser (100 per gli autori) con la potenza nominale della centrale Superphénix⁵ punterebbero sulla superficie dello specchio parabolico (senza ionizzarlo all'istante con l'aria) che rinvia il fascio collimato nello spazio per 1000 s fino a $r=0.2\text{UA}$. Oggi si producono impulsi laser per $150\cdot 10^{-15}\text{ s}$ di $2\text{ PetaWatt}=2\cdot 10^{15}\text{ W}$,⁶ Apollon darà 10PW per frazioni di secondo,⁷ e per la fusione nucleare si pensa già agli ExaWatt⁸.

Risultati La simulazione su foglio elettronico è al sito <https://drive.google.com/file/d/0BzHjNDloaOsKcTFfclZTUWY5bnc/> La sonda accelerata per 1000 s a 0.18 c arriva in 24 anni ad alfa Cen, o per 30 s a $v=1\text{UA/di}$ per missioni planetarie *flash*. Vele a vento solare (idea già di Keplero, 1619), combinate con propulsione ionica, in un secolo sarebbero ad α Cen (Barbieri).

References C. Barbieri, Treccani.it voce sistema-solare (2000)
J. Kepler, De Cometis Libelli Tres, A. Aperger, Augsburg (1619)
H. Shapley, Le stelle e l'uomo, Mondadori (1961) p. 183

5 <https://fr.wikipedia.org/wiki/Superph%C3%A9nix>

6 <http://phys.org/news/2015-08-world-largest-petawatt-laser-trillion-watts.html> e anche [https://it.wikipedia.org/wiki/BELLA_\(laser\)](https://it.wikipedia.org/wiki/BELLA_(laser))

7 <http://www.lefigaro.fr/sciences/2015/01/26/01008-20150126ARTFIG00387-apollon-le-laser-le-plus-puissant-au-monde.php>

8 <http://phys.org/news/2009-10-laser-fusion-exawatt-lasers.html>

The crossing of the Alps of Gerbert of Aurillac during the 984 AD: climatic implications

Luigi Mariani

*(Lombard Museum of Agricultural History
and Università degli studi di Milano, Disaa)*

Riassunto

Una lettera di Gerberto di Aurillac al vescovo di Girona Mirò Bonfill scritta nel 984 dC pone un'interessante questione di climatologia storica. L'utilità di tale fonte è qui discussa nel contesto più generale delle fonti documentali relative agli attraversamenti delle Alpi. Il principale elemento di interesse della lettera risiede nella coscienza di un ridotto rischio climatico connesso all'attraversamento fra fine autunno e inizio inverno del passo del Gran San Bernardo, il che depone a favore della mitezza del periodo medioevale.

Introduction

In a letter to Miró Bonfill (Bishop of Girona) sent in march-april 984, Gerbert d'Aurillac wrote that "if you want to write something to us, please address your correspondence to Reims until the first of November or to Rome from December 25". This envisages a journey from Reims to Rome in the period 1th November - 25 December (Sigismondi, 2009).

In those times the road normally used to reach Rome from Reims was the Via Francigena which crosses the Alps at the Great St Bernard pass. This pass is a privileged transit point through the Alps since ancient times as stated by the old name "Col de Mons Joux" that remembers the Jupiter's Pennino temple built along the old Roman road. The crossing point is at 2437 m asl, which from autumn to spring gives a significant risk of crossing failures due to snowfalls.

The trip of Gerbert of Aurillac leads us to the general topic of the documentary sources of the crossings of the Alpine passes. These sources are in great number and the oldest ones are probably referred to the crossing of the Alps by Hannibal and

his army in the fall of 218 BC, described by Silenus, Polybius, Varro and Livy while alpine passes are crossed by man since prehistoric times (Kean et al., 2013; Fedele, 1999).

Climate variability after the last ice age

Indisputably the periodic climate changes of the Holocene strongly affected the Alpine region, starting with the very hot phase from 8500 to 5000 BP (the Holocene Climatic Optimum) during which the Alps were almost completely free of glaciers. After the end of this long hot period, a gradual deterioration of the climate took place and culminated with the Little Ice Age (1250-1850 AD) (Marcott et al., 2013). Such deterioration was, however, interrupted by warm phases named the Mycenaean optimum (3300-2850 BP), the Roman Optimum (2300 BP - 1600 BP), the medieval optimum (1100 BP – 700 BP or 900-1300 AD, including Gerbert's life) and the current warm phase (after 1850 AD). The relevance of these warm phases is extensively documented by the studies on the position of fronts of the alpine glaciers. For instance Hormes et al. (2001) stated that in the Central Alps the glaciers would have been more backward than today for eight times after the end of the last ice age. Furthermore Goehring et al. (2011), by applying to exposed rock a dating method based on ^{14}C / ^{10}Be stated that the Rhone Glacier after the end of the last ice age was less extended than today for 6500 +/- 2000 years and more extended for 4500 +/- 2000 years.

Air circulation and snowfall

These findings can be rightly interpreted only in the light of the strong variability that affects the alpine meteorology. More specifically the advection of polar maritime, polar continental and arctic air masses from relatively close source regions gives

a significant risk of snowfall even at relatively low altitudes (1500-2000 m) from autumn to spring, making not passable the Alpine passes. Vice-versa the long persistence of anticyclonic conditions can give high passes free of snow also during winter. This meteorological variability should be approached in terms of risk and risk perception. So we can state that (i) the risk of failure of the Alps crossings is higher in cold climatic phases and (ii) the risk perception by people that cross the Alps is strongly influenced by the state of roads, means of transport, clothing and so on, much less suitable in the past than today.

Conclusions

In conclusion, the risk perception detectable from written sources and the success rates are the main information that can be obtained from the documentary sources of crossings of the Alps carried out in different epochs. By this point of view the trust of Gerbert of Aurillac in the respect of the predefined travel time testifies a low perception of the risk of the transit of the Great St Bernard. This reinforces the evidence of an unusual mildness of Medieval period in Europe coming from many other documentary sources.

References

- Sigismondi C., 2009. Gerberto e gli indizi dell'optimum climatico medievale, in *Doctissima virgo, la Sapienza di Gerberto, scienziato e Papa*, Ateneo Pontificio Regina Apostolorum, 121-140.
- Goehring B.M., Schaefer J.M., Schluechter C., Lifton N.A., Finkel R.C., Timothy Jull A.J., Akçar N., Alley R.B., 2011. The Rhone Glacier was smaller than today for most of the Holocene, *Geology*, July 2011, v. 39, n. 7, 679–682.

Hormes A., Müller B.U., Schlüchter C., 2001. The Alps with little ice - evidence for eight Holocene phases of reduced glacier extent in the Central Swiss Alps, *The Holocene* 11,3, 255–265.

Mariani, L. <https://youtu.be/SA2utj81Pkc> (2016).

Marcott S.A., Shakun J.D., Clark P.U., Mix A.C., 2013. A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years, *Science*, 8 March 2013, vol. 339, 1198-1201.

Mc Intosh, D.H. & Thom A.S., 1972. *Essentials of meteorology*. Wikeham Publications Ltd., London, 239 pp.

Ortemberg, V., *Archbishop Sigeric's Journey to Rome in 990, Anglo Saxon England* 19, 197-146 (1990).



Fig. 1 Path Rome-Canterbury described by Sigeric, after receiving the pallium of archbishop in Rome in 990 AD. The step LXX of this journey is Reims (Ortemberg, 1990).

Fasi fenologiche di *Cupressus Sempervirens* all'IIS Caffè, a Roma durante l'inverno 2016

Costantino Sigismondi, Lorenzo Ricciardi

(ICRA/Sapienza e IIS F. Caffè, Roma)

Abstract

The phenology of 10 trees of *Cupressus Sempervirens* has been monitored weekly during the winter 2016. In the month of February 2016 all pollinations occurred for our sample trees near new Moon and last quarter.

Riassunto

Le fasi di fioritura e pollinazione di 10 Cipressi *Sempervirens* sono state monitorate durante l'inverno 2016. Ogni albero è stato attivo in produzione di pollini per circa una settimana, due o tre giorni in caso di vento forte. Nel Febbraio 2016 si sono aperti i coni dei nostri alberi, in fase di Luna nuova o ultimo quarto: i cipressi più esposti al calore pomeridiano sono stati i primi.

Introduzione

L'albero di cipresso è da sempre simbolo di eternità, in Osea 14, 9 Dio stesso dice *“io sono come un cipresso sempre verde, grazie a me si trova frutto.”* S. Giovanni da Capestrano piantò dei cipressi quando fondò il convento di S. Angelo della Pace a Lanciano nel 1430 e questi oggi hanno superato pure le bombe della seconda guerra mondiale. Leone XIII lo ha nello stemma.



Abbiamo aderito al progetto Citizen Science guidato da Alessandro Travaglini [3] dell'Università di Tor Vergata, volto a monitorare le fasi di fioritura maschile dei cipressi nel comprensorio romano, al fine di mettere in luce le variabilità locali, evidenti anche sui nostri 10 cipressi. Fig. 1 Stemma di Leone XIII Gioacchino Pecci, tarsie di marmo, pavimento della Galleria dei Candelabri nei Musei Vaticani.



Fig. 2 Cipressi di san Giovanni da Capestrano a Lanciano, con la luna piena del 21 febbraio 2016. L'età degli alberi è 586 anni.

Tra gli alberi il cipresso è uno dei primi a emettere pollini, già a fine gennaio, a seconda delle latitudini e della stagione.

Il monitoraggio delle fasi della fioritura a Roma di 10 cipressi sempervirens è stato affiancato da quello dei sintomi allergici, per verificare l'origine locale o meno dei pollini allergizzanti.

Monitoraggio e fasi fenologiche

Il metodo seguito è quello dell'ispezione visuale dei rami più bassi dei cipressi che sono attorno al campo di calcetto della sede di via Fonteiana 111 dell'Istituto F. Caffè. I coni polliniferi sono stati anche misurati con un righello, per seguirne lo sviluppo in modo più quantitativo. Le misure venivano fatte solitamente nelle mattinate dei mercoledì, tra il 13 novembre 2015 ed il 10 marzo 2016. Le fioriture vengono indicate con

codici BBCH [1] 61 inizio, 65 intensa e 67 finale, durante le fasi 55 e 59 i coni sono cresciuti da 3.5 a 5.8 mm e nella 61 hanno raggiunto i 7 mm, quando si aprono. BBCH<55 erano assenti.



Fig. 3 Cono pollinifero aperto 1.2 mm più lungo che da chiuso*

La durata della pollinazione è variabile da un albero all'altro. In crescendo dal #1 al #10 gli alberi ricevono più calore solare.

Albero	BBCH 61 (durata e inizio)	BBCH 65	BBCH 67
#1 L.N.	0 settimane	1 sett.-11 febbraio	2 sett.
#2 U.Q.	0 settimane	1 sett.-2 marzo	0 sett.
#3 U.Q.	0 settimane	1 sett.-2 marzo	0 sett.
#4 L.N.	1 sett. inizia l'11 febbraio	1 sett.	1 sett.
#5 L.N.	1 sett. inizia l'11 febbraio	2 sett.	0 sett.
#6 U.Q.	1 sett. inizia il 3 febbraio	0 sett.	3 sett.
#7 U.Q.	1 sett. inizia il 3 febbraio	1 sett.	2 sett.
#8 U.Q.	2 sett. inizia il 3 febbraio	2 sett.	1 sett.
#9 U.Q.	2 sett. inizia il 3 febbraio	2 sett.	1 sett.
#10U.Q.	1 sett. inizia il 3 febbraio	0 sett.	4 sett.

Tab. 1 Fenologia delle fasi di fioritura maschile per l'anno 2016
I coni si sono aperti con la Luna Nuova o Ultimo Quarto. Si va da una pollinazione di settimana in tutto #2,#3, a 5 settimane #10, #9 e #8, ma i singoli coni restano pieni di polline per pochi giorni: [<https://youtu.be/dQyrV3zUTz0> del 6/2] il vento li svuota rapidamente, ed è difficile trovare coni ottimali come il 6/2.



Fig. 4 Coni maschili ancora chiusi e pigna, *Lanciano, S. Croce.

Sintomatologia allergica e fasi fenologiche

Cominciata il 1/2 è in buon accordo con le osservazioni fenologiche e con la diagnosi di allergia alle cupressacee. I sintomi sono terminati il 27/4: se nel nostro campo i cipressi fioriscono entro un mese, altrove, es. Lanciano, S. Croce, la stagione è stata 2 settimane in ritardo rispetto a Roma; a Rocca San Giovanni i coni erano ancora pieni a Pasqua (27/3). I pollini volano migliaia di Km, e noi li riceviamo se sottovento.

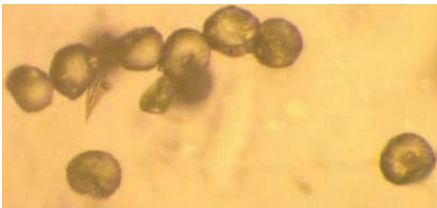


Fig. 5 Pollini di cipresso di 30µm a 400x, microscopio
Foto: Camilla Trenta ed Elisa Nardini. Pollini a secco su piano di vetro concavo; cfr. ref. [2]

Referenze

- [1] <http://iphen.entecra.it/cma/iphen/mappe.php?spe=cupressus>
- [2] C. A. Accorsi <http://www.pollenflora.it/> (2013)
- [3] A. Travaglini, <http://polline.uniroma2.it/> progetto Citizen Science (2015)

44 domande e risposte su fisica e astrofisica moderne

Paolo Rossi

(Università di Pisa)

Abstract

44 answers to selected questions in modern physics and astrophysics is aimed to simplify the approach of the young students to such topics.

1. Che cosa è un'onda gravitazionale e come è inquadrata nella teoria della Relatività di Einstein

La teoria della relatività prevede che nessun segnale possa propagarsi a una velocità superiore a quella della luce. Sappiamo che le modificazioni del campo elettrico dovute al moto delle cariche viaggiano alla velocità della luce e si comportano come onde (elettromagnetiche). Analogamente nella teoria di Einstein le modificazioni del campo gravitazionale dovute al moto delle masse viaggiano alla velocità della luce e si comportano come onde (gravitazionali).

2. La forza gravitazionale è una conseguenza dello spaziotempo deformato dalla massa (gravitostatica); accenna a problematiche di gravitodinamica

La teoria della relatività generale interpreta il campo gravitazionale come una vera e propria deformazione dello spazio (e del tempo) dovuta alla presenza delle masse, per cui quelli che a noi appaiono come percorsi curvilinei (orbite) sono in realtà i percorsi più brevi possibili (geodetiche) attraverso lo spaziotempo deformato dalle masse gravitazionali. Riprendendo l'analogia con l'elettromagnetismo, così come cariche ferme producono campi statici (elettrostatica) mentre cariche in movimento producono campi variabili e onde (elettrodinamica), in relatività generale masse ferme producono campi statici (gravitostatica) mentre masse in movimento producono campi gravitazionali variabili (con effetti analoghi all'effetto Faraday) e onde gravitazionali (gravitodinamica).

3. La luce non dovrebbe gravitare, perché i fotoni hanno massa nulla: quali le prove sperimentali?

La teoria della relatività ristretta prevede una stretta equivalenza tra massa ed energia $E = m c^2$, e poiché i fotoni sono dotati di energia essi posseggono anche una massa (relativistica) pari alla loro energia divisa per il quadrato della velocità della luce. La massa a riposo invece è nulla, coerentemente con il fatto che i fotoni non possono essere a riposo, perché viaggiano sempre alla velocità della luce. Ci sono molte evidenze sperimentali del fatto che la luce subisce gli effetti della gravità, tra cui l'effetto lente (quando la luce di stelle lontane passa in prossimità di stelle più vicine a noi) e il cambio di frequenza (e quindi di energia, per la relazione di Einstein $E = h \nu$) della luce che "cade" nel campo gravitazionale terrestre (esperimento di Pound e Rebka)

4. La Relatività Generale prevede fotoni gravitanti: descrivere l'eclissi di Eddington del 1919.

Come spiegato al punto precedente, la luce è deviata dalle grandi masse, quindi nel corso delle eclissi, quando è possibile vedere stelle che si trovano in direzioni prossime a quella del Sole, le loro posizioni dovrebbero apparire lievemente spostate rispetto a quella in cui si vedrebbero ordinariamente. Questo fenomeno fu osservato per la prima volta da Eddington nel corso dell'eclissi solare del 1919, e fu la prima evidenza della correttezza della teoria di Einstein della gravitazione.

5. La luce si comporta come onda, elettromagnetica. Quali fenomeni lo evidenziavano già dal '600?

Le prime evidenze della natura ondulatoria della luce risalgono all'osservazione dei fenomeni di diffrazione e di interferenza (registrati per la prima volta da Grimaldi nel 1665), che sono agevolmente spiegati dal modello ondulatorio mentre non sono spiegabili con un modello puramente corpuscolare.

6. La rifrazione della luce veniva spiegata sia come onda che come corpuscolo, come e da chi?

Il fenomeno della rifrazione può essere spiegato sia dalla teoria ondulatoria (Huygens) sia dalla teoria corpuscolare della luce (Newton). In entrambi i casi la spiegazione si riconduce a una variazione della componente della velocità perpendicolare alla superficie di separazione tra due mezzi, mentre la componente parallela alla superficie resta immutata, ma nel caso corpuscolare, contrariamente a ciò che accade nel caso ondulatorio, la luce dovrebbe viaggiare più velocemente passando dal vuoto a un mezzo solido, contro ogni intuizione (e contro la relatività).

7. Il neutrino non ha massa nulla, quindi non viaggia alla velocità della luce: descrivi un modello della sua velocità in funzione della massa, e fenomeni per verificarlo.

La teoria della relatività ristretta prevede una relazione precisa tra energia, massa a riposo e velocità: $E = m^0 c^2 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$, dalla quale consegue che se $v=c$ per mantenere finita l'energia la massa a riposo deve essere nulla, mentre è tanto più facile, a parità di energia, raggiungere velocità prossime a quella della luce quanto minore è la massa a riposo. Quindi i neutrini, che hanno energia finita e massa piccolissima, possono viaggiare a velocità molto prossime a quella della luce: $v/c = \sqrt{1 - m^2/c^2}$

8. Perché l'etere di Michelson e Morley doveva essere estremamente rigido?

Perché in un qualunque modello meccanico compatibile con l'esistenza di vibrazioni trasversali (come le onde elettromagnetiche previste da Maxwell e osservate da Hertz) la maggior velocità di propagazione è legata alla maggior rigidità del mezzo, e per arrivare alla velocità della luce occorrerebbe una rigidità elevatissima.

9. Le onde gravitazionali come sono state scoperte, e quale tipo di segnale hanno portato?

Le onde gravitazionali sono state scoperte utilizzando grandi interferometri per confrontare le distanze percorse dalla luce lungo due cammini tra loro perpendicolari. Il passaggio di un'onda gravitazionale ha la proprietà di accorciare il cammino in una direzione mentre lo allunga in quella perpendicolare. Di conseguenza si ha un fenomeno d'interferenza che può essere amplificato facendo percorrere alla luce lo stesso cammino molte volte. Se questa interferenza è osservata allo stesso momento da due interferometri molto lontani tra loro possiamo escludere effetti locali (sismici o meccanici) e l'unica spiegazione possibile è il passaggio di un'onda gravitazionale. Questo è ciò che è accaduto nei due interferometri di LIGO, posti a oltre 3.000 Km di distanza l'uno dall'altro, e la forma del segnale osservato era compatibile con quanto previsto dalla relatività generale per un particolare fenomeno cosmico (collasso gravitazionale di due grandi buchi neri) avvenuto più di un miliardo di anni fa.

10. La dilatazione dei tempi permette ai muoni cosmici di attraversare l'atmosfera terrestre, nonostante la loro vita media a riposo sia di 10^{-8} s, a che velocità viaggiano, quale il loro γ ?

Per attraversare 100 Km alla velocità della luce occorrono $3 \cdot 10^{-4}$ secondi quindi poiché la vita media del muone è di $2 \cdot 10^{-6}$ s il fattore γ deve essere almeno uguale a 100, e la velocità del muone può differire dalla velocità della luce non più di una parte su 10^4 .

11. Cosa descrivono la meccanica quantistica e quella classica?

La meccanica quantistica descrive accuratamente il comportamento microscopico di atomi, nuclei e particelle elementari, quando i "numeri quantici" sono piccoli e non si possono trascurare gli effetti del principio d'indeterminazione. Quando i numeri quantici sono abbastanza grandi e gli oggetti esaminati hanno dimensioni macroscopiche la meccanica classica, che è un'approssimazione della meccanica quantistica, è del tutto sufficiente per una buona descrizione dei fenomeni osservati.

12. Descrivere l'equazione di Heisemberg $\Delta E \Delta t = h$ e le sue conseguenze in ottica.

La relazione d'indeterminazione tra tempo ed energia comporta l'impossibilità di osservare in un tempo finito stati con energia perfettamente definita (e quindi è impossibile produrre onde perfettamente monocromatiche, ma ogni onda comprenderà un intervallo di frequenze compatibile con la sua durata nel tempo.

13. La diffrazione della luce e il principio di indeterminazione, punti di incontro.

La diffrazione della luce è dovuta alla sua natura ondulatoria, per cui il concetto di traiettoria di un raggio di luce, che sta alla base dell'ottica geometrica, è soltanto un'approssimazione, mentre in realtà ogni fascio di luce può percorrere simultaneamente differenti cammini ottici, la cui interferenza produce le figure di diffrazione, dovute al fatto che a seconda della fase con cui giungono nello stesso punto le ampiezze delle onde possono sommarsi o sottrarsi. Questa proprietà delle onde può essere formulata come un principio di indeterminazione, in quanto la larghezza Δx della distribuzione spaziale dell'onda e la larghezza Δk della distribuzione dei vettori d'onda (legati alla frequenza e alla direzione dell'onda) sono legate dalla relazione $\Delta x \Delta k > \frac{1}{2}$

14. Le particelle virtuali, l'intervallo temporale Δt della loro esistenza ed il loro raggio d'azione.

I processi d'interazione tra le particelle elementari possono essere descritti come scambio di altre particelle. Ad esempio le interazioni elettromagnetiche possono essere viste come scambio di fotoni tra particelle cariche. Altre particelle "portatrici" dell'interazione sono i mesoni vettoriali W e Z, mediatori delle interazioni deboli, e i gluoni, mediatori delle interazioni forti. Tutte queste particelle non sono però di solito osservabili nel corso dell'interazione (particelle virtuali) in quanto le loro energie non sono compatibili con la relazione massa-energia fissata dalla relatività ristretta. Questo è possibile in quanto la "durata" Δt dell'interazione è talmente breve da risultare compatibile con la

relazione d'indeterminazione tra energia e tempo $\Delta E \Delta t = \hbar$. Di conseguenza quanto maggiore è l'energia trasferita tanto minore è il tempo di "vita" della particella virtuale e quindi anche lo spazio percorso, che non può essere maggiore di $c\Delta t$. Ciò significa che le interazioni ad altissima energia sono anche interazioni a piccolissima distanza.

15. Descrivere i bosoni delle forze elettrodeboli W e Z, le loro masse e vite medie.

I bosoni vettoriali W (carichi) e Z (neutro) sono le particelle che (insieme al fotone) trasmettono l'interazione elettrodebole, responsabile dei processi di decadimento radioattivo. Le masse dei bosoni W e Z sono rispettivamente pari a 80 e 91 GeV, ovvero un centinaio di volte la massa del protone. Le loro vite medie sono brevissime, circa 3×10^{-25} s.

16. I gluoni, i quark e la forza forte: descrivere la libertà asintotica.

I gluoni sono le particelle che trasmettono l'interazione forte tra i quark, che a loro volta sono i costituenti dei protoni e dei neutroni. L'intensità dell'interazione forte è talmente elevata che non è possibile osservare quark liberi, ma soltanto combinazioni di tre quark, tenute insieme dai gluoni. Tuttavia l'interazione tra i quark è forte soltanto quando essi cercano di allontanarsi l'uno dall'altro, mentre decresce man mano che si avvicinano, e a piccolissime distanze l'uno dall'altro i quark si comportano come se fossero quasi liberi (libertà asintotica).

17. Descrivere le costanti di accoppiamento forte ed elettrodebole.

La forza di un'interazione è esprimibile, a livello fondamentale, mediante un numero che non dipende dalle unità di misura utilizzate (numero puro). Ad esempio per l'interazione elettromagnetica questo numero ($\alpha = e^2/\hbar c$, dove e è la carica dell'elettrone) vale circa $1/137$. Le costanti d'accoppiamento elettrodeboli g e g' sono legate a e dalle relazioni $e = g \sin \theta = g' \cos \theta$, dove θ è l'angolo di Weinberg e il suo coseno è uguale al

rapporto tra le masse di W e Z. Se definiamo per le interazioni deboli e forti quantità analoghe ad $\alpha = 0,008$, i loro rispettivi valori sono 0,03 per le interazioni deboli e 0,2 per le interazioni forti.

18. Descrivere il potenziale di Yukawa

Il potenziale di Yukawa fu introdotto per rappresentare fenomenologicamente le interazioni forti quando si pensava che i mediatori dell'interazione fossero i pioni, scambiati tra protoni e neutroni. Matematicamente corrisponde al potenziale generato dallo scambio di una particella dotata di massa, e l'intensità della forza decresce esponenzialmente con la distanza, su una scala inversamente proporzionale alla massa della particella mediatrice. Nel limite in cui la massa è nulla il potenziale si riduce alla funzione $1/r$ (potenziale coulombiano, o newtoniano) come ci si aspetta per una teoria mediata da fotoni (o gravitoni)

18b. Descrivere il contributo di Carlo Rubbia alla Fisica.

Il principale contributo di Carlo Rubbia alla Fisica è stato la progettazione e la realizzazione dell'apparato sperimentale che gli ha consentito nel 1983 la prima osservazione delle particelle W e Z mediatrici delle interazioni elettrodeboli, la cui esistenza era stata fino a quel momento soltanto ipotizzata sulla base del modello di Weinberg e Salam. Ricevette il premio Nobel nel 1984.

19. Descrivere la disintegrazione beta e la nascita del concetto di forza debole

La disintegrazione beta è il fenomeno responsabile del decadimento del neutrone, che quando è libero (ossia non è legato all'interno di un nucleo o di una stella a neutroni) ha una vita media di circa 900 secondi. Il decadimento beta consiste nella scomparsa del neutrone con la creazione di tre particelle: un protone, un elettrone e un neutrino. Nel processo si conservano la carica elettrica, l'energia, la quantità di moto e il momento angolare, ma poiché la somma delle masse delle tre particelle è minore della massa del neutrone si rende disponibile molta energia cinetica e quindi le particelle prodotte si muovono

velocemente anche se il neutrone era fermo. La prima teoria del decadimento beta fu formulata da Fermi nella forma di un'interazione tra correnti (la corrente neutrone-protone e la corrente elettrone-neutrino) che costituì il primo modello per le interazioni deboli. In seguito tale modello fu ricondotto a una teoria di campo introducendo le particelle W e Z come mediatori dell'interazione tra le correnti "deboli".

20. Descrivere la fusione nucleare, ed i rates di fusione p-p secondo Alpher Bethe e Gamow.

La fusione nucleare è il processo fisico per il quale nuclei di atomi leggeri possono unirsi formando il nucleo di un atomo più pesante, quando la massa del nucleo pesante è minore della somma delle masse dei nuclei leggeri per cui il processo può avvenire con liberazione di energia. La più semplice reazione di fusione è quella per cui due protoni si uniscono a formare un nucleo di deuterio (un protone più un neutrone) con l'emissione di un positrone e di un neutrino che assicurano la conservazione della carica e del momento angolare. Nel Sole e nelle stelle questo processo è seguito dalla reazione in cui il deuterio si fonde con un altro protone producendo un nucleo di Elio3. Due nuclei di Elio3 possono poi fondersi producendo un nucleo di Elio4 (stabile) con la liberazione di due protoni. L'intero processo è esoenergetico, ovvero avviene con produzione di energia. La teoria di Alpher, Bethe e Gamow rende conto dell'abbondanza relativa di Idrogeno ed Elio nell'universo sulla base di un modello della nucleosintesi primordiale (immediatamente dopo il Big Bang).

21. Descrivere la fissione nucleare e la reazione a catena, con il concetto di massa critica.

La fissione nucleare è il processo fisico per il quale un nucleo pesante si spacca in due nuclei più leggeri liberando energia. La fissione può avvenire spontaneamente o per effetto del bombardamento del nucleo mediante neutroni. Poiché la fissione usualmente libera neutroni può quindi instaurarsi una reazione a catena, nella quale a partire da una fissione indotta da una causa

esterna avvengono numerose altre fissioni per effetto della collisione dei neutroni liberati con gli altri nuclei di materiale fissile presenti. Perché la reazione possa continuare occorre che il numero di neutroni che danno luogo a nuove fissioni sia mediamente maggiore di uno, e perché questo avvenga occorre una concentrazione di atomi di materiale fissile superiore alla cosiddetta “massa critica”, che corrisponde al caso in cui il numero di neutroni attivi prodotti in media è esattamente uno.

22. I livelli energetici di un nucleo atomico sono separati di MeV, cosa significa?

Una proprietà fondamentale degli stati fisici microscopici spiegata dalla meccanica quantistica è la discontinuità dei livelli energetici negli stati legati (quantizzazione), che si verifica ad esempio per gli stati degli elettroni negli atomi, ma anche per i nuclei atomici. La differenza di energia tra due differenti livelli è legata al valore delle masse in gioco e alla forza delle interazioni, e per questo motivo è molto più elevata nei nuclei (che sono stati legati di protoni e neutroni tenuti insieme da interazioni forti) che negli atomi (in cui gli elettroni sono trattenuti da forze elettromagnetiche). Un MeV è pari a 10^6 eV, l' eV ($1,6 \times 10^{-19}$ J) è la scala tipica dei livelli atomici. Per questo motivo quando tra due livelli nucleari avviene una transizione di tipo elettromagnetico la radiazione emessa (raggi X) ha una frequenza molto più elevata che per le transizioni ottiche negli atomi.

23. La massa a riposo di un protone è 1 GeV e quella dell'elettrone 511 MeV; cosa significa?

La massa di riposo del protone (circa 1 GeV = 1000 MeV) è circa 2000 volte maggiore di quella dell'elettrone, che vale soltanto 0,5 MeV, ovvero 500 mila eV.

24. Quale energia rilascerebbe l'esplosione di 16 Kg di Uranio 235? e in quanto tempo?

L'esplosione di 16 Kg di Uranio 235 coinvolgerebbe $16000:235 = 68$ moli di Uranio, e poiché una mole corrisponde a 6×10^{23} atomi si tratterebbe di circa 4×10^{25} atomi. L'energia liberata da ogni

singola fissione è di circa 200 MeV, e di conseguenza l'esplosione libererebbe circa 8×10^{33} eV, che corrispondono a circa 10^{15} J. Per confronto, il fabbisogno energetico mondiale giornaliero è pari a circa 10^{18} Joule e quello italiano è pari a 2×10^{16} Joule.

25. La bomba all'idrogeno sfrutta la fusione nucleare: dove sta la reazione esplosiva?

La reazione che avviene in una bomba all'idrogeno deriva dalla fusione termonucleare tra i nuclei di isotopi diversi dell'idrogeno. In particolare la fusione tra deuterio (H_2) e trizio (H_3) produce un nucleo di elio (He_4) liberando un neutrone che avvia la reazione a catena. Il trizio, inizialmente assente, viene prodotto dalla reazione dei neutroni con nuclei di deuterio e di litio (Li_6); nel secondo caso oltre al trizio è prodotto elio (He_4). Non è necessaria una massa critica, ma per avviare il processo occorrono temperatura e pressione elevatissime, innescate da una bomba a fissione.

26. Perché la fusione nucleare nel Sole non porta ad una esplosione della nostra stella?

Il processo di fusione nucleare che avviene nel Sole non è di tipo esplosivo a causa della lentezza con cui avvengono le reazioni all'interno del nucleo solare: la fusione di due protoni avviene in media ogni 1000 anni e il singolo processo si conclude con la produzione di Elio in un milione di anni. Il Sole resta "acceso" soltanto a causa dell'elevatissimo numero di protoni presenti.

27. Cosa determinerà le fasi evolutive del Sole dal bruciamento dell'idrogeno all'elio? L'evoluzione solare prevede una lunghissima permanenza (dell'ordine di dieci miliardi di anni) nella cosiddetta sequenza principale, dominata dal lento processo di trasformazione dell'idrogeno in elio già descritto nelle risposte precedenti. Quando tutto l'idrogeno fosse convertito in elio il nucleo del Sole dovrebbe subire un processo di collasso gravitazionale perché la temperatura e la densità crescano e possa "bruciare" l'elio mentre gli strati esterni dovrebbero espandersi e raffreddarsi fino a trasformare la stella in una gigante rossa.

28. Perché la reazione di fusione del Ferro è endotermica, e cosa ciò determina nelle stelle?

Le reazioni di fusione sono esoenergetiche soltanto nel caso dei nuclei più leggeri, perché l'energia di legame per nucleone è crescente soltanto fino al numero atomico del ferro, poi diventa decrescente, per cui solo i processi di fissione sono esoenergetici. Il ferro (numero atomico 26) e il nichel (numero atomico 28) sono gli elementi chimici più pesanti che possono essere normalmente prodotti nella nucleosintesi stellare. Il Ferro 56 è uno degli isotopi più stabili dell'Universo. Elementi più pesanti possono essere prodotti solo nelle supernovae.

29. Descrivere l'andamento dell'energia per nucleone in funzione del numero atomico, e come il gruppo di Fermi contribuì a queste conoscenze.

L'energia di legame per nucleone cresce, prima rapidamente poi più lentamente, fino al peso atomico 56 (picco del Ferro), quando vale poco meno di 9 MeV per nucleone. In seguito decresce lentamente e nel caso dell'Uranio vale circa 7,5 MeV per nucleone. La formula semiempirica di Weizsacker per le masse dei nuclei, che descrive l'andamento dell'energia di legame, è basata sul modello di Fermi dei nuclei, che tratta i nucleoni come un "gas" di particelle ("fermioni") che occupano una buca di potenziale rispettando il principio di esclusione di Pauli per cui due fermioni non possono mai avere gli stessi "numeri quantici".

30. L'acceleratore del CERN è passato da collisioni e+e- (LEP, anni '80-'90) a collisioni p+p-(LHC, '10) in 20 anni; di quanto l'energia delle collisioni è aumentata?

Quando il LEP entrò in funzione l'energia totale nel centro di massa era di circa 90 GeV, poi l'energia fu aumentata fino a raggiungere un massimo di poco superiore a 200 GeV. Il LHC, accelerando particelle di massa molto maggiore, è ora prossimo al limite teorico di 14 TeV nel centro di massa. Si tratta quindi di energie circa cento volte maggiori di quelle realizzate nel LEP.

31. Come si riesce a tenere le particelle cariche in orbita in un acceleratore?

Le particelle cariche possono essere mantenute in orbita grazie ai potenti campi magnetici generati dai magneti superconduttori disposti lungo il percorso. Infatti il campo magnetico ha la proprietà di curvare la traiettoria di una carica elettrica in movimento per effetto della forza di Lorentz, e per un opportuno valore del campo è possibile ottenere la traiettoria desiderata.

32. Nell'urto tra p^+ e p^- si è visto il bosone di Higgs a 125 GeV; che significa?

Nella collisione di una particella con un'antiparticella, quando le velocità sono uguali e opposte, tutta l'energia posseduta dalle particelle può essere convertita nella massa di una particella neutra più pesante quando il valore dell'energia totale (nel centro di massa) coincide con quella associata alla massa a riposo della particella pesante dalla relazione $E = mc^2$. Nel caso del bosone di Higgs la massa corrisponde appunto a un'energia totale di 125 GeV, che significa che protone e antiprotone posseggono entrambi un'energia di 62,5 GeV.

33. L'equazione di Boltzmann $E=3/2KT$ lega l'energia cinetica alla temperatura nell'ipotesi collisionale. Quale era la temperatura nell'Universo primordiale per la creazione-annichilazione del bosone di Higgs? E quale quella di equilibrio tra neutroni e protoni?

Bisogna ricordare che grazie all'equazione $E = 3/2 kT$ possiamo convertire le energie in temperature, e in particolare $1 \text{ eV} = 12.000 \text{ gradi Kelvin}$. Risulta pertanto che 125 GeV corrispondono a circa 10^{15} Kelvin. La differenza di massa tra protone e neutrone vale circa 1,3 MeV e quindi corrisponde a circa 10^{10} Kelvin. A quella temperatura protoni e neutroni sono in equilibrio perché le fluttuazioni termiche possono compensare la differenza di massa.

34. La matrice di Cabibbo Kobayashi Maskawa (1963) ha aperto la strada alla scoperta delle famiglie di neutrini tauonici, muonici ed elettronici: in che cosa consiste?

La matrice di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) è una matrice 3x3 che applicata al "vettore" degli stati dei quark genera le combinazioni lineari di tali stati che compaiono nei processi tipici delle interazioni deboli. Per effetto di questo mescolamento degli stati di quark, nei decadimenti deboli degli adroni quark appartenenti a differenti "famiglie" si accoppiano alla stessa corrente leptonica (costituita da un leptone e dal corrispondente neutrino) e quindi in uno stesso processo (che sarà una generalizzazione del decadimento beta) possono essere prodotti leptoni e neutrini delle diverse famiglie (processi "flavorchanging").

35. Perché è stato introdotto il neutrino nella teoria della disintegrazione beta?

Nei primi esperimenti di disintegrazione beta si potevano osservare soltanto le particelle cariche (elettroni e protoni), ma presto si riconobbe che apparentemente in questi processi non si conservavano energia, quantità di moto e momento angolare. Pauli ipotizzò che le leggi di conservazione continuassero a valere, e che le quantità mancanti fossero associate a una nuova particella, necessariamente neutra e dotata di spin $\frac{1}{2}$, presumibilmente priva di massa o comunque molto leggera.

36. Perché è stato introdotto il neutrone nella teoria nucleare, e perché il modello di satellite neutro e-p+ di Rutherford non funzionava, mentre quello di Majorana era giusto?

Il neutrone fu inizialmente ipotizzato da Rutherford nel 1920, supponendo che i nuclei fossero formati da protoni ed elettroni ma che all'interno dei nuclei un certo numero di coppie protone-elettrone formasse stati legati abbastanza stabili. Questo modello non poteva sopravvivere a un'analisi basata sulla meccanica quantistica in quanto il principio di indeterminazione non consentiva a una particella leggera come l'elettrone di restare

confinata all'interno di un nucleo. Inoltre un qualunque stato legato di protone ed elettrone avrebbe dovuto avere uno spin (momento angolare intrinseco) intero, e quindi un nucleo con carica dispari avrebbe dovuto avere spin semiintero, mentre c'era evidenza di nuclei, come N14, con carica dispari e spin intero (paradosso di Klein). Dopo l'osservazione del neutrone da parte di Chadwick nel 1932 fu Majorana a elaborare la teoria delle forze di scambio tra neutroni e protoni all'interno del nucleo.

37. Descrivere l'esperimento di Michelson e Morley del 1887, ed il panorama della fisica all'epoca.

L'esperimento di Michelson e Morley consiste nel far viaggiare uno stesso raggio di luce lungo due percorsi differenti, tra loro perpendicolari, grazie a un sistema di specchi semiriflettenti (per dividere il raggio) e riflettenti (per riportarlo nello stesso punto). Quando il raggio si ricongiunge la differente lunghezza dei cammini e l'eventuale differente velocità della luce nelle due direzioni producono fenomeni di interferenza. Se, come prediceva la teoria dell'etere, a causa del moto della Terra la luce avesse viaggiato con velocità diverse in direzioni tra loro ortogonali, ruotando l'apparato di 90 gradi si sarebbe visto un cambiamento nelle figure d'interferenza. Poiché questo non avveniva, non volendo postulare che la Terra stesse ferma rispetto all'etere si dovette ammettere che la velocità della luce in un riferimento inerziale fosse comunque la stessa in tutte le direzioni, indipendentemente dal moto relativo tra i riferimenti stessi. Questo principio fu poi posto da Einstein alla base della teoria della relatività ristretta.

38. Descrivere la precessione del perielio di Mercurio e le soluzioni proposte da Le Verrier e Newcomb e infine Einstein.

Nella forma più semplice dell'interazione tra un pianeta e il Sole il perielio dovrebbe restare sempre nella stessa direzione (conservazione del vettore di Lenz). Tenendo però conto delle perturbazioni era possibile determinare un effetto di precessione, ma il valore sperimentale differiva da quello teorico per una

piccola quantità, 43" per secolo, che però la teoria della Relatività Generale di Einstein permise di calcolare con precisione. Le Verrier e Newcomb avevano ricercato un pianeta interno a Mercurio, Vulcano, che avrebbe determinato quella precessione.

39. Distinguere la Relatività Speciale da quella Generale, e dire quale si può applicare alla meccanica quantistica e perché.

Nella Relatività Ristretta (RR) si postula l'equivalenza di tutti i riferimenti inerziali per la descrizione delle leggi fisiche e la costanza della velocità della luce in tutti i riferimenti inerziali. Nella Relatività Generale (RG) le leggi della fisica ammettono una formulazione che vale in tutti i sistemi di riferimento (covarianza generale) e che si riduce alle formule della RR nel caso particolare dei sistemi di riferimento inerziali, che per il principio di equivalenza (tra massa inerziale e massa gravitazionale) sono i riferimenti liberamente gravitanti. Le equazioni della RG mettono quindi in relazione la metrica dello spaziotempo con la distribuzione delle masse nell'Universo, per cui lo spaziotempo si "incurva" in presenza di massa e le "orbite" dei sistemi liberamente gravitanti non sono altro che le geodetiche (vvero i percorsi più "brevi" nello spaziotempo curvo, così come gli archi di cerchio massimo (che non sono rette) rappresentano i cammini più brevi sulla superficie curva di una sfera. La RR è del tutto compatibile con la meccanica quantistica (meccanica quantistica relativistica = teoria quantistica dei campi), mentre per la RG il problema è più complicato, e non esiste ancora una teoria del tutto convincente che unifichi RG e meccanica quantistica, anche se l'esistenza dei "gravitoni" (particelle a massa nulla associate alla quantizzazione del campo gravitazionale, così come i fotoni sono associati al campo elettromagnetico quantistico. Riconciliare RG e meccanica quantistica significa anche ammettere l'esistenza di una scala minima delle lunghezze e dei tempi (scala di Planck).

40. Perché aumentando l'energia negli urti tra particelle si sonda a distanze sempre minori la materia

Per il principio di indeterminazione esiste un vincolo tra la

precisione con cui può essere nota la posizione di una particella e quella con cui è nota la sua quantità di moto $\Delta x \Delta p > \frac{1}{2}\hbar$. Di conseguenza per esplorare distanze sempre più piccole all'interno di un sistema microscopico è necessario variare la sua quantità di moto in misura sempre più grande, e ciò si ottiene bersagliando il sistema con "proiettili" (che sono altre particelle) dotati di energia sempre maggiore e quindi in grado di scambiare grandi quantità di moto con il sistema che si vuole esaminare.

41. dopo il bosone di Higgs aspettiamo il gravitone: quali sono le opinioni attualizzate nella comunità scientifica?

Pur ammettendo in genere l'esistenza dei gravitoni, i fisici sono consapevoli dell'enorme difficoltà di osservarli, in quanto la costante d'accoppiamento dei campi gravitazionali con la materia è piccolissima. E soltanto l'enorme quantità di materia esistente nell'Universo rende osservabili i fenomeni gravitazionali, mentre a livello microscopico (che è il livello nel quale i fenomeni quantistici diventano osservabili) l'effetto della gravità è oscurato da tutte le altre e ben più potenti interazioni.

42. la Teoria Lambda-Phi⁴ alla quarta cosa riesce a spiegare?

La teoria Lambda-Phi⁴ è una teoria di campo quantistica che è stata introdotta nel Modello Standard per rendere dinamicamente possibile il fenomeno della rottura spontanea della simmetria, che sta alla base del meccanismo di Higgs grazie al quale l'esistenza del bosone di Higgs (campo quantistico associato alla teoria Phi⁴) rende possibile la generazione di massa per tutte le altre particelle che altrimenti per motivi teorici senza rottura di simmetria resterebbero a massa nulla, come il fotone.

43. La Teoria delle stringhe cosa spiega e quali prove avrebbe?

La Teoria delle Stringhe vorrebbe spiegare tutto (grazie all'unificazione formale della RG con le teorie di campo quantistiche) e purtroppo non spiega nulla perché non sembra possibile passare dal modello astratto a una teoria concreta capace di produrre predizioni quantitative definite e confrontabili con i risultati delle misure sperimentali.

I grafici dei poemi per Eude e Teotrada e quello del Carme Figurato di Gerberto per Ottone II e Teofano

Flavio G. Nuvolone (*Università di Friburgo, CH*)

Petro Richer, magistri summo,
patrono eximio,
karissimo amico, L.L. dicaui

Abstract

There remains some confusion about the stylistic influences or borrowings from Gerbert of Aurillac, as if on one hand it limited its originality, the other of these facts, once again, reinforcing the image of a profiteer. And admittedly: *Carmen figuratum*, identified with difficulty, provided too many elements to be easily accepted by our 'experts' or 'scholars'. Here are some thoughts that, although partly already known, far from being original, could clarify the situation.

Résumé

Il subsiste une certaine confusion sur les influences stylistiques ou les emprunts de Gerbert d'Aurillac, comme si d'un côté cela limitait son originalité, de l'autre ces faits, une fois de plus, renforçaient l'image d'un profiteur. Et il faut le reconnaître: le *Carmen figuratum*, identifié avec beaucoup de peine, fournissait beaucoup trop d'éléments pour être facilement acceptés par nos 'experts' voire 'érudits'. Voici donc quelques réflexions qui, bien qu'en partie déjà connues, et loin d'être originales, pourraient clarifier la situation.

Nelle nostre pubblicazioni, non abbiamo mai delineato con precisione il soggetto, supponendolo come già accettato e risolto¹. Vale per questo la pena di elucidarlo anche di fronte

1 Ci sia permesso di ringraziare, anche a titolo postumo, diverse persone che ci hanno aiutato in modo essenziale, che si trattasse di amicizia, simpatia, condivisione o intervento ed informazioni rilevanti: Enzo Acampora, Pasquale Arfè, Giacomo Barabino, Francesco Bellocchio, Danilo Biancospino, Bruna Boccaccia, Clyde Brockett, Valentina Calzolari, Jean-Pierre Callu, Paolo Colona, Chiara Dabusti, Patrick Demouy, Hugo S. Eymann, Raffaele Farina, Mirella Ferrari, Menso Folkers, Daniela Gentili, Adelhard Gerke, Karl Werner Gümpel, Barbara Hagg, Hartmut Hoffmann, Michel Huglo, Renzo Iacobelli, Rainer Kahsnitz, Pascal Ladner, Guido Liguori, Uta Lindgren, Heinrich

all'ermeticità² cronica di Gerberto negli affari politici.

La situazione storico-cronachistica

Per quanto ce ne racconta Richero, per le relazioni con Lotario e Lodovico da un lato, e Ugo Capeto dall'altro, tale procedere era ampiamente motivato. Infatti Adalberone condizionava profondamente il suo segretario - maestro della scuola di Reims e, facendosi aiutare in modo essenziale, lo immetteva in frangenti assai pericolosi³. D'altra parte Gerberto, con aria assai sbarazzina — il che non è sinonimo di facilità o faciloneria — ne condivideva le posizioni, argomentandole e razionalizzandole. Cosa che gli è riuscita fin che Ottone II era in vita, ma che poi si è complicata notevolmente col decesso del discepolo, l'avvicinarsi del piccolo Ottone III e l'intervenire di illustri potentati. Fin che solo la sparizione degli oppositori gli era parsa di lasciarlo respirare, ed anche allora in modo solo relativo.

Ora la composizione lo ritrova a Bobbio, dove è pervenuto nel maggio 981⁴, ha intrapreso una riforma interna e organizzato, in base alla biblioteca, una scuola, la cui fama raggiunge anche

Marti, Claudia Molteni Ryan, Luciano Monari, Valeria Natalizia, Enrico Norelli, Katiuscia Nuvolone, Mario Nuvolone, Veronica Nuvolone, Franca Oberti, Massimo Oldoni, Laura Paladino, Mario Pampanin, Pier Luigi Pizzamiglio, Mario Poggi, Paul Poupard, Gérard Poupon, Jacques Prudhon, Pierre Racine, Gianfranco Ravasi, Pierre Riché, Paolo Rossi, Klaus Jürgen Sachs, Erminia Maria Santi, Costantino Sigismondi, Irene Sigismondi, Michel Sot, Jean-Yves Tilliette, Michele Tosi, Ernst Tremp, Augusto Vasina, Daniela Velestino, Sever Voicu, Gregor Wurst, Sylvia Wurst, Harald Zimmermann, Marco Zuccato.

2 Si veda il titolo scelto per la nostra biografia gerbertiana presso l'Editore Pontegobbo di Bobbio: F.G. Nuvolone, *Da Gerberto a Silvestro II : ermeticità di nome, numeri e Croce nell'anno Mille*, Bobbio 2013.

3 Cf. il nostro F. G. NUVOLONE, «Adalberone di Reims ispiratore di Gerberto d'Aurillac?», *GERBERTVS* 1, 2010, p. 79-105.

4 Cf. F. G. NUVOLONE, *Il numero e la Croce : L'homo novus da Aurillac, Prospettive da scritti gerbertiani*, Napoli 2012, p. 187-190.

Treviri⁵. Dei fatti positivi, ma che gli hanno frantumato le solidarietà e d'altra parte il *Carme* gli allontana le simpatie⁶.

Ma torniamo al punto di partenza, che c'era a suo tempo parso lapalissiano. La ripresa del disegno dei poemi celebranti l'inizio dei Robertiadi o Capetingi da un lato e dall'altro l'affermazione del *Carme* c'erano infatti sembrate eloquenti.

La ripresa dei due grafici poetici Robertiadi

Gerberto era stato colpito dalle reazioni carolingie nei confronti della Casa di Sassonia già nel 978, con l'attacco di Lotario fino ad Aquisgrana, e che ha il proprio punto di partenza nel "caso Lorena". Infatti in tale anno il re di Francia Lotario volendo recuperare la Lotaringia, patria dei suoi antenati Carolingi, ma che era dal 921 parte del regno di Germania, imbastì una puntata fino ad Aquisgrana obbligando Ottone II e Teofano alla fuga. Ottone II replicò con un'azione fino a Parigi e poi si ritirò aiutato dai propri vassalli, tra i quali Adalberone di Reims. Questi, benché cancelliere reale dei Carolingi, era Lotaringio e fedele dell'imperatore, e l'aveva pure accolto durante questa "trasferta".

Un secondo caso mise a confronto il re Lotario e Adalberone e la famiglia di questi: ruotò attorno al vescovado di Cambrai, parte della provincia arcivescovile di Reims, che si trovò al centro di tensioni belliche, così da obbligare il re Lotario ad aggirare il tutto in un incontro diretto con Ottone II nel luglio 980.

Una situazione che venne certamente discussa nell'incontro a Roma per la Pasqua 981 di Ottone II, Adalberone, Gerberto e Ugo Capeto⁷. Quest'ultimo ricercando delle relazioni

5 Cf. F.G. NUVOLONE, *ibid.* 2012, p. 190-195.

6 Cf. F.G. NUVOLONE, *ibid.* 2012, p. 262-274.

7 Cf. R. LATOUCHE (ed.), RICHER. *Histoire de France (898-995) (Classiques de l'Histoire de France au Moyen Age)*, Paris 1964-67, II, p. 106-109 (III, 84-85);

privilegiate con l'Impero ed evitando quindi d'essere negletto in favore del re carolingio Lotario. Tanto più che da parte della "famiglia" carolingia ci si peritava ad indebolire l'autonomia, il potere ed in genere la posizione del Duca⁸, ad ostacolarne i contatti con l'impero, fino a renderne rocambolesco e pericoloso il rientro nei propri domini attraverso le Alpi e la Borgogna⁹.

Salta all'occhio la citazione dei due, di Eude (Odo) Conte di Parigi, e quello della sua sposa Theotrada, incoronati nell'888: si tratta dei primi re Robertiadi, detti pure capostipiti dei Capetingi. Transitando da Eude / Odo a Otto e da Theotrada a Theophano, indica nei primi la prefigurazione dei secondi, ciò che viene affermato altrimenti nel testo per noi ora criptato, mentre all'origine doveva essere esplicito, traendo un testo dall'altro secondo il metodo dell'anagramma¹⁰. Così che nella

H. HOFFMANN (ed.), RICHER VON SAINT-REMI, *Historiae (Monumenta Germaniae Historica, Scriptores 38)*, Hannover 2000, p. 216-217; P. ROSSI, RICHER DI SAINT REMI, *I quattro libri delle Storie (888-998), Introduzione, traduzione e note. Con un excursus di A. CACCIARI, "Lo scrittoio di Richer" (Fonti per la Storia dell'Alto Medioevo 2)*, Pisa 2008, p. 144-145.

8 Cf. L. THEIS, *3 Juillet 987: L'avènement d'Hugues Capet*, Paris 1984, p. 132-134 e Y. SASSIER, *Hugues Capet : Naissance d'une dynastie*, Paris 1987, p. 139-155 indicare nelle vicissitudini che definiscono l'accesso al potere di Ugo Capeto e nelle relative autonomie dei suoi grandi vassalli i prodromi della coscienza d'un reale disagio tra il Duca ed il Re Lotario, carolingio.

9 Cf. LATOUCHE, op. cit., 1964-67, II, p. 108-115 (III, 86-89); HOFFMANN, op. cit., 2000, p. 217-219; ROSSI, op. cit., p. 145-146.

10 È tale metodo, unito a quello delle abbreviazioni epigrafiche e manoscritte, ma ben nello stile dell'ermeticità di Gerberto, che conduce ad aumentare il testo. Se ne meraviglia un'incresciosa recensione uscita su *Aevum* e di mano di Roberto Bellini, esimio Assistente della Università Cattolica di Milano. L'A. relativizza in primis la scoperta del *Carmen* rifacendosi all'edizione nei *Monumenta Germaniae Historica*, per mano di Bischoff e Silagi, e rinviando poi a C. Brockett. Se avesse consultato e verificato la prima edizione e poi la seconda su *Manuscripta* con la nostra si sarebbe accorto che i primi editori hanno sconvolto l'ordine delle strofe e che il secondo ha offerto sì un ordine diverso e la chiave dei calligrammi, ma che noi l'abbiamo corretto su diversi punti, dando un testo del cosiddetto epigramma che è completo e rispetta la metrica della poesia

seconda unità “criptata”¹¹ del *Carme figurato* viene affermato, anche se pure stavolta ermeticamente:

«Eia! Norem e Ode te tuo arcano?».

Si tratta del secondo elemento di un distico elegiaco, ma, come abbiamo segnalato *in loco*, irregolare sull'ultimo piede, ciò che s'è prodotto frequentemente nei secoli IX-X¹². Ed in questo Gerberto, a parte esprimere la propria ideologia con un'immagine che gli corrispondeva e comportava il termine ultimo «arcano», al quale non voleva rinunciare, apparteneva pure al suo tempo.

Ignoriamo con precisione cosa implicasse con la parola ultima: abbiamo supposto fosse un rinvio al concetto di prefigurazione implicato in quello di destino segreto e misterioso, «arc(h)anum». Stante il rinvio al ruolo di Odo nella storia franca¹³, e nella sua lotta vittoriosa contro i Vikingi,

quantitativa, ciò che ci è valso il rimprovero di E. Poulle d'aver razionalizzato la soluzione. Analogamente per la rilettura dei versi seguendo il tracciato di 4 "K", e la spiegazione del "disordine" creato. Tutti punti assenti in colui che ci ha preceduti. Per poi nulla dire del seguito delle unità tratte l'una dall'altra. Ci meraviglia una tale fretteiosità che sfrutta le nostre citazioni senza verificarne direttamente il tenore corrispondente. Una stroncatura pura e semplice, dettata da altri...? Non ci pare corretta e la cosa nella sua leggerezza scientifica ci irrita e addolora parecchio, perché a noi quest'analisi è costata parecchio e non meritava d'essere trattata in tal modo.

11 Cf. F.G. NUVOLONE, *Il numero e la Croce: l'Homo novus da Aurillac. Prospettive da scritti gerbertiani* (Nuovo Medioevo 87), Napoli 2012, p. 219-223.

12 Cf. F. G. NUVOLONE, *ibid.*, 2012, p. 403, nota 50.

13 Cf. E. FAVRE, *Eudes, Comte de Paris et Roi de France, (882-898)*, (*Annales de l'Histoire de France à l'époque Carolingienne* 2), Paris 1893 (= Genève 2003); K. F. WERNER, *Les Origines avant l'an mil, Histoire de France sous la direction de Jean Favier*, vol. 1, Paris, 1984; M. SOT, « Hérédité royale et pouvoir sacré avant 987 », in: *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 43, n° 3, 1988, p. 705-733; C. SETTIPANI, *La Préhistoire des Capétiens (481-987). Première partie : Mérovingiens, Carolingiens et Robertiens, Nouvelle histoire généalogique de l'auguste maison de France*, vol. 1, Villeneuve d'Ascq, 1993; K. F. WERNER, « Les premiers Robertiens et les premiers Anjou (IX^e-début X^e) ».

crediamo che il fatto che non fosse apparentemente né Merovingio né Carolingio, venisse adottato dal nostro come garanzia segreta per l'evoluzione dinastica dei Franchi iscritta nella sua natura stessa.

Infatti, figlio maggiore di Roberto il Forte, marchese di Neustria, alla morte del padre nell'866 eredita il titolo ed il territorio di marchese della Neustria. In contrasto col re Carlo II il Calvo, questi attribuisce il titolo ed il territorio ad Ugo l'Abate. Nell'882/883 Ugo ne sostiene l'accesso al titolo di conte di Parigi ed in tale veste difende Parigi contro i Vikingi (885/86) ed accede poi al marchesato della Neustria alla morte del titolare. L'imperatore dei Franchi Occidentali, Carlo III il Grosso, gli attribuisce diverse contee come Tours e Angers. E lo stesso sovrano imperiale poi decade dalla funzione dopo aver tardato a reagire contro i popoli Normanni e muore nell'888. Odo viene scelto allora a succedergli quale riconoscimento del proprio successo alla difesa di Parigi e non tenendo conto della propria ascendenza non più Carolingia (viene scartato Carlo III il Semplice, assai giovane). È incoronato Re dei Franchi Occidentali a Compiègne il 29 febbraio 888 e di fronte alle contestazioni viene nuovamente incoronato a Reims il 13 novembre 888. Si ingaggia nelle lotte contro i popoli del Nord, a Monfaucon delle Argonne, nel giugno dello stesso anno; e più tardi nell'892 a Montpensier. Altri contrasti non sono sempre vittoriosi e talvolta vengono ottenuti col versamento d'un tributo. Il potere sovrano non è

siècle)», in: O. GUILLOT e R. FAVREAU (ed.), *Pays de Loire et Aquitaine de Robert le Fort aux premiers Capétiens. Actes du colloque scientifique international tenu à Angers en septembre 1987*, Poitiers, 1997 (*Mémoires de la Société des antiquaires de l'Ouest et des musées de Poitiers*, 5^e série, IV), p. 9-67; J.-P. BRUNTERC'H, «Naissance et affirmation des principautés au temps du roi Eudes : l'exemple de l'Aquitaine », *ibid.*, p. 69-116. H. NOIZET, «L'ascension du lignage robertien : du val de Loire à la Francie », in: *Annuaire-Bulletin de la société de l'histoire de France*, 2006, p. 19-35.

riconosciuto da tutti e viene contestato opponendogli Carlo III il Semplice, carolingio, che Odo riconoscerà infine come suo successore. Una situazione che s'apparenta profondamente a quella di Ugo Capeto confrontato ai Carolingi, e che ruota pure attorno a Reims.

A queste constatazioni si affianca per l'appunto anche l'anno dell'incoronazione di Eude/Odo e Teotrada, l'888, che ha particolarmente colpito Gerberto, in quanto significativo per l'immagine della dinastia Ottoniana adombrata nell'esito assicurato dai Capetingi e che abbiamo riscontrato diverse volte. Notare come l'888 è pure il punto di partenza della storia dei Franchi di Richero su domanda di Gerberto.

Infine, vista la prospettiva sacrale di Gerberto, radicata nei numeri e nel valore intimo del loro legame con i concetti espressi in termini verbali, era ben cosciente che 888 era la gematria di «IHSOYS» scritto in greco ($10+8+200+70+400+200 = 888$)¹⁴. E che quindi la divinità si portava garante dell'interpretazione da lui effettuata della «rugiada delle realtà»¹⁵, donde l'attribuzione di titoli sacri alla dinastia ottoniana e nelle proprie relazioni con la stessa. Quindi con un salto notevole rispetto all'analogo uso di «gematria» nell'unità XI, dove viene esplicitato il rapporto tra Theophano (800) ed Ottone II nel quadro dello svelamento dei numeri grazie ai calligrammi, e ciò era già evidenziato dalla totalità delle lettere (800) della Ode iniziale esplicita (le quattro prime strofe) consacrata ad Ottone II¹⁶.

14 Cf. H. MEYER - R. SUNTRUP, *Lexikon der mittelalterlichen Zahlenbedeutungen* (Münstersche Mittelalter-Schriften 56), München 1987, c. 846.

15 Cf. F.G. NUVOLONE, *Il numero e la Croce*, op. cit., p. 236-240.

16 Cf. F.G. NUVOLONE, *Ibid.*, p. 240-245. Il rapporto in questo caso è soprattutto matematico e traduce l'idea che Teophano nobilita al centuplo la casa di Sassonia nel suo ruolo imperiale romano d'Occidente. La quantità è voluta esplicitamente da Gerberto, che ha introdotto una *e* caudata, per raggiungere il totale voluto, eliminando quindi una lettera in un dittongo.

D'altra parte, come abbiamo già avanzato, tra le opere uscite dall'accademia di Kairouan, dalla quale era giunto il *Libro sulla moltiplicazione e la divisione dei numeri*, sussiste anche il commento al Sepher Yeṣirāh, frutto del lavoro di versione e redazione dello stesso autore del trattato *Sulla moltiplicazione e divisione dei numeri*, che non è escluso sia pervenuto anche nelle mani di Gerberto¹⁷. Ciò spiegherebbe l'accento posto dal nostro sulla creazione di Dio e le relative implicazioni nella concezione globale di Gerberto. Infatti questi ci pare possedere un concetto assai completo e complesso di «arcanum» / «mysterion», scaturito dal suo approccio polivalente e estremamente curioso della realtà vista come un tutto, dall'inizio alla fine. Infatti, come la rilegatura di Echternach ce l'ha mostrato, il progetto di Gerberto evidenzia nel Cristo sulla Croce, la fonte della fecondità della salvezza che investe potentemente l'assieme della storia umana dall'inizio alla fine e nuovamente all'inizio, in un perpetuo movimento¹⁸. Ciò che riassume i diversi aspetti del «mistero» biblico, partecipe dell'energia divina e dell'opera nella creazione, frutto della Sapienza, chiamato ad essere riscoperto e del quale si deve tener conto nella storia e nei suoi protagonisti essenziali.

L'effettivo utilizzo dei due grafici, le «O» e le «T»

Considerando la ripresa dei due grafici in quello del *Carme figurato*, ecco quanto notiamo. Quello di Eude/Odo a base di «O», tutte le 8 + 1 occorrenze sono riprese. Ricordiamoci che Gerberto sapeva da Rabano come la lettera O, che qui indicava la presenza imperiale, assicurasse la solidità della costruzione come la Croce stessa¹⁹. Ma qui delimita grazie ai raggi otto

17 Cf. F.G. NUVOLONE, *Ibid.*, p. 17, 302.

18 Cf. F.G. NUVOLONE, *Ibid.*, p. 333-359 e fig. 47-49.

19 Cf. F.G. NUVOLONE, *Ibid.*, p. 131-135.

direzioni, a qualificare non solo la dinastia ma anche il suo corrispondere al Cristo e alla sua redenzione sovrana universale per volontà dell'Uno centrale. Quello che lo stesso Gerberto consiglia a Ottone II di togliere dal totale 9 un'unità, perché l'imperatore ritrovi se stesso, e cioè 8, e nel contempo il Cristo Signore. Come nello stesso *Carme figurato* si ha alla fine nella XII^a unità il raffronto tra la venuta dell'Imperatore a Roma e quella del Cristo, Lui propriamente «il Re d'ogni età», «l'Alfa e l'Omega», «il Fonditore della musica» al quale va relativizzata ogni autorità²⁰.

Il poema di Theotrada, ha il grafico su base «T» (x13) che appare collocato centralmente, per essere trasformato in quello per Theophano (x12) come madre di Ottone III (che Le è assimilato avendo solo tre anni, ma essendo stato associato al padre a Verona e figura nel *Carme* nella serie delle tre «T»); con la preminenza culturale della corte «greca» d'Oriente, diventata ora «Ottona»²¹ «per l'Impero». Vedere al riguardo quanto Gerberto dice nella prefazione al libello *De rationali et ratione uti*.²² Nel testo del *Carme* appare tutt'un assieme di rinvii ad Enea, ai Troiani, a Rhea, ad Ennio che rafforzano sia un'ideologia troiana delle origini di Roma e del casato ottoniano, sia una rilettura del ruolo di Theophano e del figlio. Ciò che corrisponde in modo assai più esplicito al pensiero della Lettera gerbertiana 187 del 997, indirizzata ad Ottone III²³: «Non è tuttavia silenziosa la sottigliezza di un animo ben conscio di sé quando mostraste con arte oratoria le sue facoltà oratorie, per così dire, che sgorgano da sé e dalla fonte dei Greci. Dove si esprime non so che di divino, quando un uomo

20 Cf. F.G. NUVOLONE, *Ibid.*, p. 245-254.

21 Cf. F.G. NUVOLONE, *Ibid.*, p. 240-245,

22 Cf. F. SIGISMONDI, *Gerberto d'Aurillac, il trattato de Rationali et Ratione Uti e la logica del X secolo*, Roma 2007.

23 Trad. di Paolo ROSSI, *op. cit.*, p. 138-139.

di nascita Greco, ma Romano per l'impero, quasi per diritto ereditario riprende per sé i tesori della sapienza Greca e Romana»²⁴.

Il *De Rationali* sempre gerbertiano è d'un anno circa più tardi ma l'autore vi si esprime nella prefazione in modo assai analogo²⁵: «descrive brevemente queste cose che riguardo tale questione ho concepito, affinché l'Italia non creda che il sacro palazzo si sia addormentato e affinché la Grecia non pensi che lei sola si sia protesa dentro la filosofia imperiale e la potenza romana. Nostro, nostro è l'Impero romano. L'Italia ferace di frutti, la Gallia e la Germania feconde di guerrieri danno le forze, né ci mancano I fortissimi regni della Scizia. Nostro sei Cesare, imperatore dei Romani ed Augusto, che nato dal sommo sangue dei Greci, superi nel comando i Greci, comandi i Romani per diritto ereditario, esopravanzi entrambi per ingegno ed eloquenza». Quest'ultimo passo ricorda quanto nel *Carme IX* viene detto, pregando Dio per il figlio Ottone III che sia «re del mondo»²⁶.

Altri elementi fondamentali

Nel *Carme figurato* appaiono altri elementi che restano fondamentali. Qui brevemente. Nella decima unità, fatto

24 «Non tamen animi bene sibi conscii tacita est subtilitas, cum eius, ut ita dicam, oratoriam facultatem, et a se et a Graecorum fonte profluentem, oratorie docuistis. Ubi nescio quid divinum exprimitur, cum homo genere Graecus, imperio Romanus, quasi hereditario iure thesauros sibi Graeciae, ac Romanae repetit sapientiae».

25 «(...) quae de hac quaestione concepi, breviter describo, ne sacrum palatium torpuisse putet Italia, et ne se solam iactet Graecia in imperiali philosophia et romana potentia. Nostrum, nostrum est Romanum imperium; dant vires ferax frugum Italia, ferax militum Gallia et Germania, nec Scythae nobis desunt fortissima regna. Noster es Caesar, Romanorum imperator et Auguste, qui summo Graecorum sanguine ortus, Graecos imperio superas, Romanis haereditario iure imperas, utrosque ingenio et eloquentia praevenis» (F. SIGISMONDI, *op. cit.*, p. 72).

26 NUVOLONE, *op. cit.*, 2012, p. 233.

significativo, viene svelata la serie dei numeri indici, compreso il sipos, lo zero.²⁷ Notare come ciò è il frutto d'una ridistribuzione dei versi riletti nel disegno di base seguendo il cammino di 4 K. Come è stato detto nel nostro commento originale ciò significa un riferimento globale all'Impero cristiano, con Konstantinus Magnus, Karolus Magnus, Kaesar I e Kaesar II. Come Gerberto ha operato rispetto alle origini Capetingie per riferirle quale prefigurazione di quelle Ottoniane, regolando nel frattempo il cambiamento dinastico tra i Franchi, così procede qui. Dal disordine creato fa uscire un insegnamento matematico sul ruolo dei numeri indici, frutto della sapienza, e chiamati a farsi strumento d'una riscrittura delle realtà. Analogamente insiste sul ruolo della famiglia imperiale chiamata da un lato ad assicurare la stabilità delle realtà dell'universo, dall'altro ad innestarsi in una prospettiva messianica divina, applicandovi l'assieme del terzetto ottoniano.²⁸

Gerberto ha toccato qui il ruolo di un impegno sottoscritto davanti alla Trinità, sorta di giuramento. Non dimentichiamo che era stato Ottone II a dargli l'incarico di Bobbio e ciò legava il proprio maestro ad un impegno che si iscriveva nella riforma monastica cluniacense e nei doveri di vassallaggio. Gerberto da buon ecclesiastico pare connettervi ancora una citazione evangelica sulla unione e la preghiera di Matteo 18, 19-20: «[19] In verità vi dico ancora: se due di voi sopra la terra si accorderanno per domandare qualunque cosa, il Padre mio che è nei cieli ve la concederà. [20] Perché dove sono due o tre riuniti nel mio nome, io sono in mezzo a loro».

Uomo del suo tempo, imitatore di Rabano Mauro, ha influenzato i suoi discepoli, anche nell'ambito di Fleury, quali

27 Cf. F.G. NUVOLONE, *Il numero e la Croce*, op. cit., p. 236-240 e fig. 25.

28 Cf. F.G. NUVOLONE, *Il numero e la Croce*, op. cit., fig. 31.

Costantino, col quale aveva degli scambi, come attesta Brytferth della scuola di Abbone²⁹.

Conclusioni

1. Rifarsi ai Robertiadi Eude e Theotrada, per Gerberto significava dar seguito alle pressioni affettive e epistolari di Adalberone, arcivescovo di Reims e *patronus* del nostro *libertus*.

2. Inviando un *Carme figurato* a Ottone II e Theophano, Gerberto voleva far un colpo grosso, trasmettendo la numerazione indica ed un organo idraulico a corte, ma riservava all'incontro a Mantova le questioni politiche Franche, contrariamente alle proprie scuse per l'*auxilium* feudale mancato, che condizionavano invece sia l'insegnamento, che i doni.

3. Sorprende che intercali già nel grafico i prestiti ai *Carmi* dell'888. Infatti Gerberto ci pare disporre di prospettive assai incrociate e anticipatrici, talora autonome pur in un ordine fondamentale. Ciò si spiega col fatto che il testo del *Carme figurato* sia dedicato all'assetto dinastico Sassone, e che non possa interessare direttamente le questioni capetingie Franche. Ma le questioni vengono preannunciate e grazie al loro «arcano»: chiavi interpretative ne sono i loro nomi, come già ad Elna per «MILO» e «GERBERTVS», e in seguito per Federico e per Adalberto nei rispettivi epitaffi.

4. Odo / Eude e Theo-trada rinviano a Otto e Theo-phano nel pensiero di Gerberto che deve essere stato colpito dall'inizio Theo-, analogo e greco, questo indipendentemente da una eventuale e possibile etimologia germanica.³⁰ La «manifestazione di Dio» ottoniana risponde alla «trasmissione

29 Cf. F.G. NUVOLONE, *Il numero e la Croce*, op. cit., fig. 39.

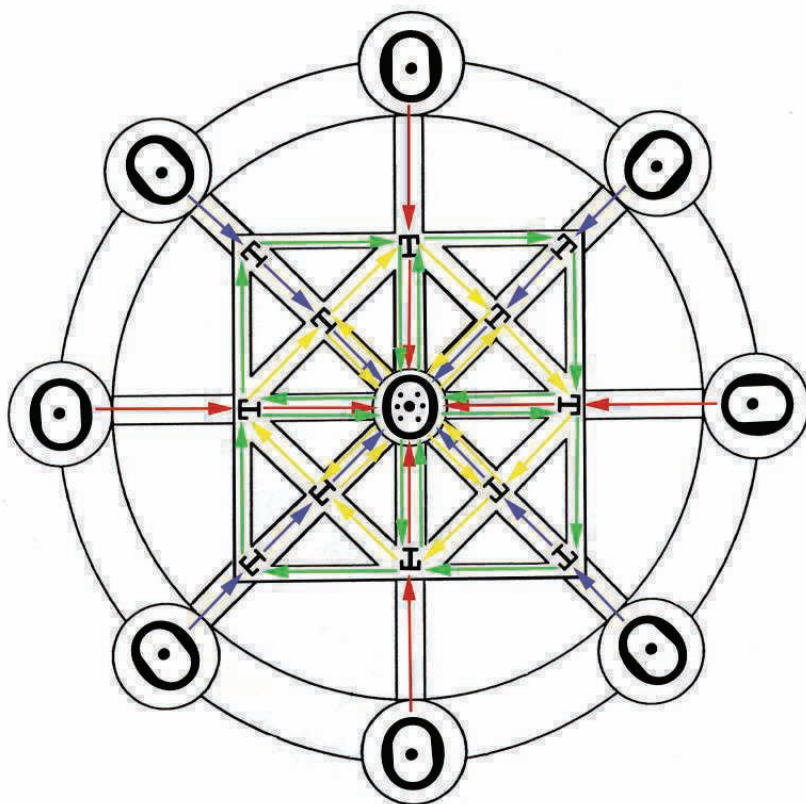
30 Cf. S. GUTENBRUNNER, «De nomine Regine Theotrade», *Beiträge zur Geschichte der Deutschen Sprache und Literatur*, 83, 1961, p. 278-280.

di Dio» propria delle origini robertiadi.

5. Gerberto riponeva delle attese messianiche in Ottone III, ci pare indubbio. Di fatto all'annuncio finale del *Carme*, rispose poi il collasso ultimo del giovane, e la principessa Zoè ritornò a Costantinopoli. Silvestro II non resse più a lungo di fronte alle delusioni radicali di attese nate dalla sua analisi della volontà del Creatore. Si trovava di fronte ad un nuovo inizio, e la musica del Cristo lo sorprese, lo ispirò e in definitiva lo accolse.

6. Dalle prospettive e dal metodo di Gerberto, dalla analisi dell'«arcano» di realtà diverse, nomi e figure, è nata la leggenda che lo ha accompagnato per secoli, grazie all'ignoranza crassa di contemporanei e all'invidia d'ulteriori illustri «sapienti», ispirati da mire distruttive assai mondane e curiose.

7. Resta che il *Carmen*, lasciando da parte superflue gelosie ed inutili menzogne di partenza, andrebbe preso sul serio come miniera di molteplici riflessioni per capire il loro autore, i suoi sentimenti, le sue visuali politiche e religiose; ciò tornerebbe tutto a vantaggio dei Lettori oltre che della comprensione di Gerberto - Silvestro II. Chi non legge e non verifica dovrebbe almeno avere la prudenza di rimanere silente. E gliene ne saremmo grati. Mentre invitiamo ognuno a porre dei quesiti tesi ad approfondire la questione. Ciò che risulterebbe ad onore suo e pure dell'ermeticità di Gerberto.



- **OTO = OTTONE I (X 4)**
- **OTTO = OTTONE II (X 4)**
- **OTTTO = OTTONE III (X 8)**

Fig. 1 I 3 Ottoni: Ottone I, il patriarca sulla Croce, Ottone II, l'Unto in funzione o *Cristo dei Romani*, sulla X, Ottone III bambino, sui quadrati centrali assieme a Theophano, la madre; risultato finale: un *Chrismon* dinastico familiare.

L'algebra dei transiti planetari sul Sole

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza e IIS F. Caffè, Roma)

Abstract

The periodicity of Mercury and Venus' transits is regulated by the resonances of the orbital periods of these planets with the Earth's one. A simple algebraic approach is presented for explaining the resonance of 243 years of Venus and the one of 46 years for Mercury and the transits in May and November for Mercury and June and December for Venus.

Riassunto

La periodicità dei transiti di Mercurio e di Venere è regolata dalla risonanza tra i loro periodi orbitali e quello della Terra. Un semplice modello algebrico, basato sul moto circolare uniforme aiuta a capire le risonanze di 243 anni per Venere e 46 anni per Mercurio, così come le date dei transiti di Mercurio in Maggio e Novembre e di Venere in Giugno e Dicembre.

Introduzione

I periodi orbitali (siderali) di Venere e della Terra stanno in rapporto tra loro approssimativamente come 8:13. Questo significa che le due orbite sono risonanti. Per la precisione $PT=365.25636$ giorni è il periodo siderale della Terra, mentre $PV=224.701$ giorni è quello di Venere.

Ciò significa che la Terra percorre i suoi 360° di orbita in poco più di 365 giorni e Venere in quasi 225. Le velocità angolari dei due pianeti visti dal Sole sono $\omega_T=360^\circ/365.25636d$ e $\omega_V=360^\circ/224.701d$. La velocità angolare con cui Venere supera la Terra è data dalla differenza $\Delta\omega=\omega_V-\omega_T=360^\circ(1/PV-1/PT)=0.61652^\circ/d$. Se l'orbita di Venere e quella della Terra giacessero sullo stesso piano, i due pianeti tornerebbero ad allinearsi ogni periodo sinodico PS (dal greco syn odos = stesso percorso) cioè ogni qual volta $\Delta\omega \cdot PS=360^\circ$. Questa equazione ci dà $PS=1/(1/PV-1/PT)\sim 583.92$ giorni. Sul periodo sinodico di Venere era basato il calendario dei Maya.

Poiché i piani dell'orbita dei Terra e Venere sono diversi, pur

avendo il Sole in uno dei fuochi, dopo ogni periodo sinodico è la proiezione di Venere sul piano dell'eclittica (il piano dell'orbita terrestre) che ritorna in allineamento con la Terra. In questo caso si determina solo una congiunzione inferiore. Questa diventa un transito quando Venere si trova in prossimità di uno dei due nodi dell'orbita. Si chiamano nodi gli estremi della linea generata dall'intersezione del piano dell'orbita di Venere con il piano dell'eclittica.

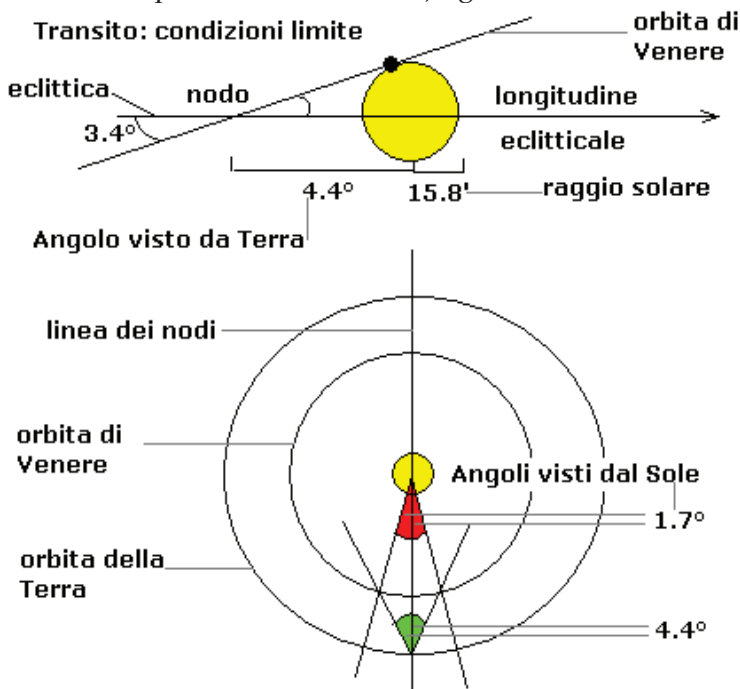
Quanto Venere deve essere prossima ai nodi dell'orbita? Dato che la sua orbita è inclinata di $i=3^{\circ}.394$ sul piano dell'eclittica, Venere può distare al massimo (sia a Est che a Ovest dal nodo) di un angolo di longitudine $\hat{J}$ tale che $\hat{J} \cdot \tan(i) \leq 15'.77$.

Il raggio solare angolare all'afelio visto da Terra ha un valore minimo di $15'.77$. L'equazione precedente ha come soluzione $\hat{J} \leq 4^{\circ}.432$, angolo visto da Terra. Siccome Venere quando è in congiunzione inferiore si trova a circa $\frac{1}{4}$ di U.A. (0.277 U.A.) dalla Terra, e a $\frac{3}{4}$ dal Sole (0.723 U.A.), sulla sua orbita quell'angolo $\hat{J}$ visto da Terra corrisponde ad un angolo $\sim \hat{J}/3$ ($0.38 \cdot \hat{J}$) visto dal Sole. Questo corrisponde a $\sim \hat{J}/(3 \cdot 360^{\circ}) \leq 0.00472$ cioè lo 0.472% del periodo siderale di Venere.

Per Mercurio vale l'equazione $\hat{J} \leq 15'.77 / \tan(7^{\circ}.004) = 2^{\circ}.139$ visti da Terra, ed essendo Mercurio più vicino al Sole che alla Terra in congiunzione inferiore, dal Sole questo angolo è 1.58 volte maggiore, cioè $\hat{J}$ corrisponde allo 0.941% della sua orbita ($PM=87.969$ d).

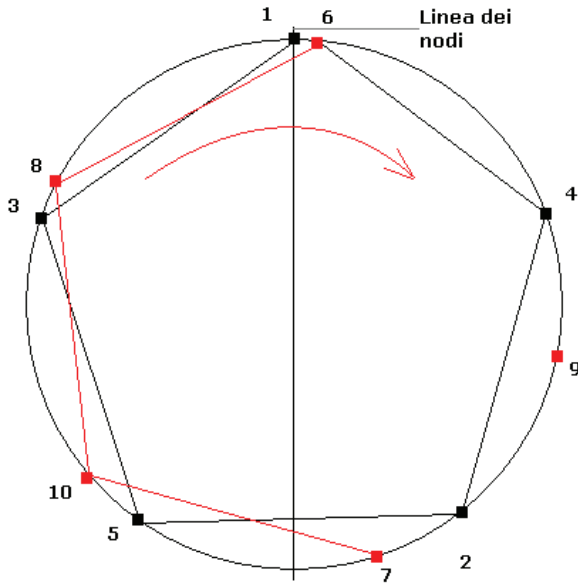
La ragione per cui i transiti di Venere sono così rari sta proprio nel fatto che il rapporto PV/PT non è esattamente uguale ad $8:13$, ma quasi. Questo "quasi" permette anche la possibilità di avere transiti anche all'altro nodo dell'orbita, facendo sì che la periodicità non sia ogni 243 anni, ma ci sia un intervallo di 121.5 anni in mezzo. Infatti se il suddetto rapporto fosse esattamente pari a $8:13$, avremmo 5 transiti (ovvero 5

congiunzioni inferiori, di cui una col transito, se teniamo conto della non complanarità delle orbite) ogni 8 anni esatti.



Già i Caldei si erano accorti che Venere mostrava un ciclo di otto anni, in capo al quale le congiunzioni inferiori tornavano a verificarsi più o meno nello stessa stagione dell'anno. Proprio grazie a questo ciclo è stato possibile datare con precisione una delle cadute di Babilonia, quella del 1499 a. C., a partire dalla quale si è ricostruita tutta la cronologia babilonese (cfr. V. G. Gurzadyan, *Sky and Telescope*, 100, 40, 2000).

Rappresentando su un disegno le configurazioni in cui ogni 1.6 anni ($1.6 = 8 / (13 - 8) = 8 / 5 = 584.41$ d) si ripete la congiunzione abbiamo che esse sarebbero disposte ai vertici di un pentagono regolare inscritto in un cerchio.



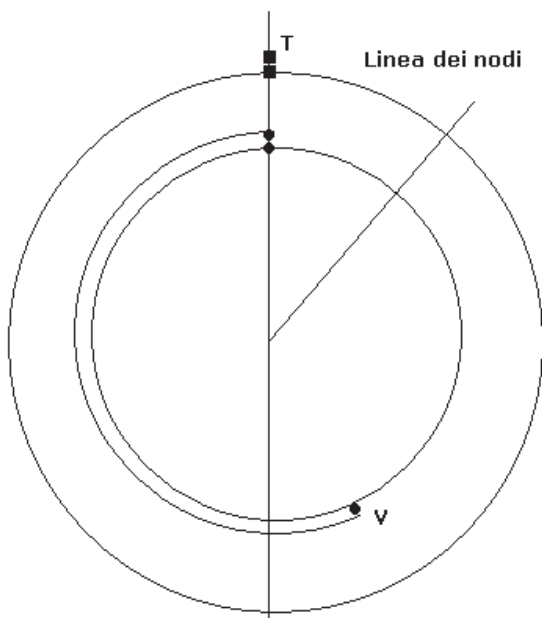
Longitudini delle congiunzioni inferiori di Venere

Il valore esatto di 1.59866 anni (583.92 d) fa sì che il pentagono non sia proprio regolare, ed il sesto punto non coincida con il primo, ma se ne discosti un poco. Così di 8 anni in 8 anni il pentagono ruota ed il vertice che coincideva con la linea dei nodi perde man mano l'allineamento, finché un altro vertice vada a finire vicino alla linea entro l'angolo di tolleranza richiesto. Questo accade dopo 121.5 anni all'altro nodo-se l'allineamento di partenza era perfetto-, mentre l'allineamento al primo nodo torna dopo 235 anni dall'ultimo allineamento. Infatti dopo 8 anni se l'allineamento di partenza era perfetto ci si trova ancora entro l'angolo di tolleranza per un transit, ma poi occorre attendere altri 235 anni per riaverlo allo stesso nodo. Questo fa sì che si consideri stabile solo il periodo di 243 anni. Lo stesso dicasi per i transiti all'altro nodo. Deduciamo ora le formule che generano questa sequenza.

Equazioni dei transiti

Dopo un anno Venere ha compiuto più di un giro della sua orbita, precisamente 1.6255217 giri ($365.25636/224.701$).

Perché si abbia di nuovo un allineamento allo stesso nodo, bisogna che passi un numero intero n di anni, e che, parimenti, anche Venere abbia percorso un numero intero di orbite.



Dopo un giro completo della Terra, Venere ne ha compiuti 1.625

Deve valere l'equazione $\text{frac}(1.6255217 \cdot n_1) \leq 0.00472$,
dove con frac si intende la parte decimale del numero, es.
 $\text{frac}(10.332) = 0.332$.

Questa equazione ci garantisce che i numeri interi n che la soddisfano sono gli anni in cui Venere si trova nei pressi del nodo della sua orbita abbastanza vicino da determinare un transito sul disco solare.

Se cerchiamo l'allineamento con il nodo opposto, che la Terra raggiunge dopo metà anno, abbiamo che Venere in metà anno ha già percorso 0.3127608 giri in più rispetto a metà giro. Dopo un anno e mezzo avrà fatto altri 1.6255217 giri e così via. L'equazione per l'altro nodo è $\text{frac}(1.6255217 \cdot n_2 + 0.3127608) \leq 0.00472$. Ad n_2 bisogna ricordarsi di aggiungere metà anno, e ciò fa sì che i transiti avvengano a coppie, separate da 121.5, 113.5 e anche 105.5 anni l'8 giugno e l'8 dicembre.

Analogamente per Mercurio abbiamo le equazioni

$$\text{frac}(4.1521031 \cdot n_1) \leq 0.00941$$

$$\text{frac}(4.1521031 \cdot n_2 + 2.0760516) \leq 0.00941$$

Anche le equazioni $1 - \text{frac}(r) \leq \%PS$ del periodo siderale contemplano i casi in cui Venere e Mercurio debbano ancora arrivare al nodo, ma ne distano abbastanza poco da poter dar luogo ad un transito.

Queste equazioni, va notato, forniscono una sequenza di transiti che inizia con un transito esattamente centrale. Possono variare alcuni intervalli se il primo transito avviene senza l'allineamento perfetto.

Il tabulato seguente mostra quali interi n soddisfano queste equazioni, e la serie dei transiti così ottenuta (n_2 dà i numeri semi interi). Chiaramente in questi calcoli sono state assunte le approssimazioni che le orbite siano circolari e percorse a velocità angolare uniforme e che la linea dei nodi sia fissa. Si noti che per Mercurio le condizioni che la linea dei nodi sia fissa e che l'orbita sia circolare sono maggiormente violate rispetto a Venere. Per Venere abbiamo che la Terra interseca il suo nodo nelle stesse date, che vanno aumentando uniformemente di un giorno ogni 111 anni. Per Mercurio l'effetto è maggiore, un giorno ogni 82 anni. Mercurio, infine, poiché ruota molto velocemente attorno al Sole ha più

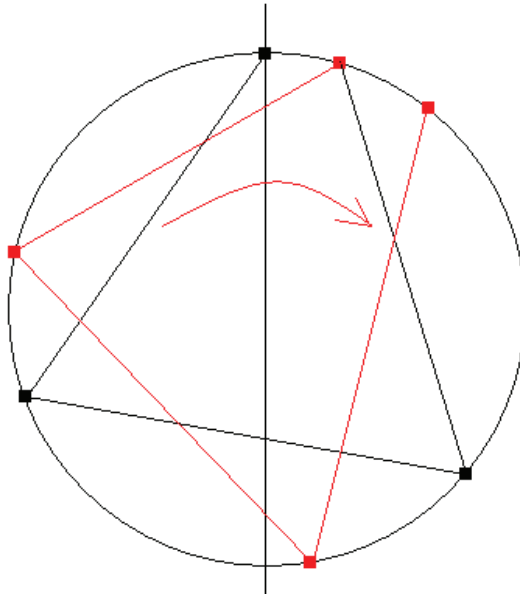
occasioni di avere congiunzioni inferiori, in media ogni 115.88 giorni.

In ogni anno ne fa perciò 3.152, disegnando un triangolo quasi equilatero inscritto nel cerchio. Il quarto vertice non si sovrappone al primo, facendo ruotare il triangolo dell'anno successivo nella direzione della progressione delle longitudini delle congiunzioni, finché non si ha il riallineamento dalla longitudine della congiunzione con i nodi.

Venere	Mercurio	599.5	309
8	39.5	607.5	348.5
113.5	46	713	355
121.5	85.5	721	394.5
235	92	834.5	401
243	131.5	842.5	440.5
356.5	177.5	956	486.5
364.5	217	964	526
478	223.5	1069.5	532.5
486	263	1077.5	572
591.5	269.5	1085.5	578.5

Periodicità dei transiti di Venere (I,III) e di Mercurio (II,IV col.) con calcoli basati sull'algoritmo algebrico nel testo.

I transiti di Mercurio sono più numerosi: questo algoritmo non trova tutti gli eventi, ma soltanto quelli in cui uno dei vertici del triangolo va in allineamento con i nodi. Considerando anche gli altri due vertici, i transiti sul Sole sono 3 volte più frequenti (12-13 per secolo). I nodi corrispondono alla posizione della Terra il 9 Novembre ed il 7 Maggio; nel 2016 la data del 9 Maggio, risente di 4 anni bisestili e relativi 29/2 dal 2003, ma la rotazione dei nodi di Mercurio porterà il transito di Maggio al 10/5 nel 2062, al 12/5 nel 2108 e al 13/5 nel 2154.



Longitudini delle congiunzioni inferiori di Mercurio

Quando Mercurio è al suo perielio (a Novembre) è molto più vicino al Sole rispetto a Maggio ed è più probabile l'allineamento con la Terra. Perciò abbiamo 3 transiti a Novembre contro 2 a Maggio.

Le sequenze dei transiti di Novembre sono ogni 7, 13, 46 anni, mentre per Maggio ogni 13 e 46 anni. 46 anni è pari a ad un numero intero di rivoluzioni di Mercurio (191) con solo 0.34 giorni di scarto, e corrisponde al Saros di Mercurio. Questa asimmetria dei transiti di Novembre e Maggio non può essere riprodotta dal nostro algoritmo, poiché qui consideriamo le orbite circolari uniformi.

Referenze

C. Sigismondi, SAROS Transiti Eclissi ed Occultazioni tra la Minerva e il Collegio Romano, Biblioteca Casantenese, 2004

The opportunity of the 2016 transit of Mercury for measuring the solar diameter

Costantino Sigismondi

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

F. Castiglioni, D. Cicogna, L. F. Cardoso

(Sapienza Università di Roma, Solar Physics Lab A. Cacciani)

Abstract

The transit of Mercury occurred two times in this century: 2003, May 7 and 2006, November 8. In 2016 there is another opportunity to observe this phenomenon and measure the solar diameter with the method of comparing the ephemerides with the observations. This method has been presented by I. I. Shapiro in 1980, the data of the observed transits (since 1631) have been re-analyzed by Sveshnikov (2002) and an improvement on the observed data, to avoid the confusion given by the black-drop effect, has been presented by C. Sigismondi and collaborators since 2005 by exploiting the idea of measuring the chord drawn by the solar limb with the disk of the transiting planet presented by G. Di Giovanni (2005) on the transit of Venus: the improvement is obtained by extrapolating to zero the analytic chord fitting the observations without the black drop, but in the ingress/egress phases. For the transit of 2006 K. Reardon with IBIS (California) and J. Pasachoff with Mauna Kea (Hawaii) telescopes were ready to get useful data but the weather's conditions were not good, and only the SOHO data (M. Emilio, 2012) contributed to the solar diameter monitoring. A network of European observers (IOTA/ES) and observatories (coronagraph of Bialkow, PL 56 cm; IRSOL, Locarno CH - 45 cm Gregorian telescope; carte du ciel, Paris, FR 30 cm, Torre Solare di Monte Mario, Rome 26 cm) are active for the 2016 transit.

Introduction

On May 9, 2016 there is the fifth planetary transit of this century: 3 of Mercury (2003, 2006 [8] and 2016) and 2 of Venus (June 8, 2004 and June 6, 2012). For measuring the solar diameter Venus offered a unique opportunity with long lasting ingress and egress phases of almost 20 minutes, while for Mercury such phases last about 4 minutes; the grazing

transit of 1999 was longer and gave the opportunity to study the black drop, similar to the shadow's attractions [4,10].

The comparison between the ephemerides and the observed timings of the ingress/egress allows us to compute the diameter of the Sun, in the hypothesis of spherical Sun [1,2,5]. This hypothesis is well confirmed within the errorbars of our measurements (RHESSI data, 2008 and SDS data show the Sun circular with an oblateness of 8 parts in 10^6 [6]).

Dicke (1960s) searched for a solar oblateness to find room for his scalar-tensorial theory of gravitation alternative to Einstein's one. Now the interest in the solar figure is mainly for its subsurface activity and for the variations of the diameter with eventually consequences on Earth's climate [7].

Method and data useful for measuring the solar diameter

It is important to stress that the absolute timing of the four contacts is important, but it is more important to have several images (>50) with their absolute timings taken during the ingress (this is visible in all Europe). From the images, as in the case of planetary images, we can select them with good local seeing, or temporary calm (being the seeing a statistical measurement of the optical turbulence of the atmosphere).

50 of such images sampling the 191 s of the ingress will allow to fit the chord planet-solar limb and to find the times when it is zero (t_1 and t_2 of the ingress). These two (absolute) times t_1 external contact, t_2 internal contact, will be compared with the ephemerides. The location (address and city) of the observer has to be known to compute precise ephemerides.

Summary: **1.** A sequence of UTC timed photos (or frames from a video) is recorded during the ingress phase (egress when available); **2.** the best photos of each stage are selected for avoiding seeing confusion; **3.** the analytic function of the chord

$c(t)$ [3] is fitted to the data to find $c(t_1, t_2)=0$. 4. the comparison with the ephemerides of such t_1, t_2 allows us to calculate the variations of the solar radius with respect to the standard one of 959.63'' in visible light. Note that in case of H α filters the value of the solar radius is different, so a note on the filters used during the transit for recording the photo is important.

As "best choice" method we select about 50 images like in fig. 1 during the ingress from 13:12:10 to 13:15:21 TMEC.

During the preparation to this event is crucial to verify how to focus perfectly the solar spots visible, and the maximum resolution obtainable with the "best choice" method.

5. In alternative to 3.: the distance $d(t)$ of the entering Mercury limb to the solar limb is a linear function of time, when it exceeds the angular diameter $\pm\Delta D$ of Mercury, $t_2\pm\Delta t_2$ is found.

References

- [1] I. I. Shapiro. Science, Vol. 208, 51 - 53 (1980).
- [2] Sveshnikov, M. L., Astronomy Letters, 28,115-120 (2002).
- [3] Di Giovanni, G. Astronomia UAI, 2, p. 15 - 19 (2005)
- [4] Pasachoff, J. M, et al.(2005) (source for figure 1)
http://web.williams.edu/Astronomy/eclipse/transits/IAU_UK_pasachoff_final.pdf
- [5] Sigismondi C., et al.
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2015mgm..conf.2369S> (2015)
- [6] Fivian, M. D. et al.,
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2015TESS....120325F> (2015)
- [7] Sofia, et al., MNRAS 436, 2151 (2013)
- [8] Emilio, M., ApJ 750, 135 (2012), Mercury transits in 2003-6
- [9] TRACE Satellite orbital parameters
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftOrbit.do?id=1998-020A>
Periapsis 520 km Apoapsis 547.2 km Period 95.48 minutes
Inclination 97.84° Eccentricity 0.00098
- [10] C. Sigismondi, <https://youtu.be/c5o69RmrqGM>



Fig. 1 Fasi dell'ingresso di Mercurio sul Sole osservato da TRACE, Transition Region and Coronal Explorer, satellite della NASA, il 15 Novembre 1999 [4,9]: transito radente che ha permesso di studiare l'origine ottica del black drop. Su immagini così si applicano l'algoritmo delle corde e della distanza.

The solar diameter on 9 March 2016, from the total eclipse in Micronesia: at its standard value

Costantino Sigismondi

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

F. Castiglioni, D. Cicogna, L. F. Cardoso

(Sapienza Università di Roma, Solar Physics Lab A. Cacciani)

Abstract

The total eclipse of 9 March 2016 has been observed in Woleai atoll (Micronesia) by the Exploratorium team and posted in youtube. Exploiting the ghost images of that video we overcome the overexposition problems when dealing with the transition photosphere/chromosphere, dealing with Baily's beads around totality comparable with the intensity of the corona.

A correction to the standard value of the solar radius $R=959.63''$ of $\Delta R=+0.01''\pm 0.02''$ has been found, contrarily to the recent values near $960.0''$ with the last eclipses and transit of Venus. Perspectives for the measures to be done during the forthcoming transit of Mercury are drafted.

Introduction

The eclipse's timing of Halley (1715, who collected data from the Royal Society fellows who observed that eclipse in England) has been used to determine the solar diameter at that time (Fiala, et al. 1994). Since 1979 several eclipses have been observed with the purpose of monitoring the variations of the solar diameter exploiting the Baily's beads method (Sigismondi, 2009). The match between the lunar profile (Kaguya team, 2009) and the photospheric beads allows to compare directly the predictions with Occult 4.2 ephemeris software (Herald, 2016) with the observations.

We used the video of the 9 march 2016 total solar eclipse posted in youtube at 25 fps by the NASA/Exploratorium team, of which we determined the relative duration of the totality (no photospheric beads) to $\sqrt{2}$ frames of accuracy, i.e. 0.06 s.

Data collection and eclipse simulation

The youtube video has been downloaded and examined with

a software able to run it frame by frame: [4K Download](#).

The presence of ghost images before and after the totality allowed us to time accurately the disparition of the last Baily's bead before the totality and the apparition of the first one after the totality. Usually a camera with 8 or 16 bits of sensitivity, without appropriate filters, does not distinguish photosphere from chromosphere and inner corona because of saturation, with the impossibility to time appropriately beads' appearance.



Fig. 1 The eclipse starts at Position Angle $PA=76.8^\circ$ (left) ends at 270° . The ghost images of the Sun crescents are opposite to their bright saturated homologous in the coronal background. Totality onset is with the ghosts equal to coronal luminosity.

The measured duration of the totality phase was 242.23 ± 0.06 s, the calculated duration of the totality was calculated by including the effects of lunar limb features and is 242.2 ± 0.05 s

The topocentric lunar diameter $0^\circ 33' 40.20''$ exceeded the solar one $32' 12.84''$ at the center of the eclipse of $87.36''$, covered in 250.1 s (circular lunar profile) at a velocity $\omega=0.3493''/\text{s}$.

The extra duration of the eclipse, with respect to the standard solar diameter's ephemerides, is $\Delta t=0.03 \pm 0.10$ s, corresponding to a correction $2\Delta R=\omega \cdot \Delta t$, so $\Delta R=0.01 \pm 0.02''$

Discussions of the data

This $\Delta R=0.01 \pm 0.02''$ measurement has been possible because the video was continuous and not assembled. The high quality of the images and the time resolution allowed to exploit the

visibility of the unsaturated ghost images with which we timed the totality of the eclipse. The Occult 4.2 software allowed us to recover the features of the lunar limb which determined the last beads around totality. The relative velocity of the Moon over the Sun $\omega=0.3493''/\text{s}$ has been calculated not including the lunar limb features, but using the duration of 250.1 s calculated by calsky.com for circular lunar and solar profiles, from $\text{PA}=237.1^\circ$ to $\text{PA}=64.2^\circ$, with $\Delta\text{PA}=172.9^\circ$ (near centerline). A different absolute timing between calsky.com and Occult 4.2. is due to the lunar profile features, namely a great large depression of $-2.5''$ (7.5 s) at $\text{PA}=270^\circ$. The location of Falealop is used as coordinates input for Occult4.2: it is the main island of the Woleai atoll, with the airplane track and routes and buildings.



Fig. 2 Folealop island is 0.7x 1 Km, in Woleai atoll, Micronesia.

If the observing position, generically declared as Woleai atoll, was different from the marked one by ± 10 Km, perpendicularly to the eclipse's centerline, the calculated totality duration changes ± 0.1 s, leaving our results valid. A displacement along the eclipse centerline does not change the totality duration within ± 100 Km by significant amounts.

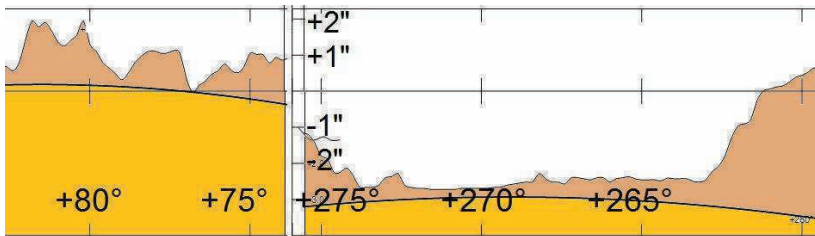


Fig. 3 The onset (left) of totality and the end (right), the Sun is below the lunar profile and it would shift left-right when the observer moves perpendicularly to the centerline. Horizontal scale $1^\circ = 17.62'' = 31,16 \text{ Km}$, vertical scale (enlarged) $1'' = 1,77 \text{ Km}$.

The agreement between this observation and the simulations with Kaguya lunar profile means that, within our errorbars, no variation of the solar diameter occurred: $R_\odot = 959.64'' \pm 0.01''$. More observations of this eclipse would improve this result.

Perspectives for the next transit of Mercury

The solar diameter measured with Mercury (Emilio, et al. 2012) will exploits the 2016 ingress of this transit, lasting 191.0 s and a spherical Sun. The ephemerides of the Sun and of Mercury are more accurate than the lunar ones. Due to solar parallax of $8.8''$ (the Earth's diameter seen from the Sun) a displacement of a few Km on the Earth does not change the duration of the ingress, but only a solar ΔR affects it. Mercury is a $12.06''$ disk, the velocity $\omega = 0.063''/\text{s}$ allows an accuracy of $\pm 0.06''$ with $\pm 1\text{s}$ in time, obtainable by extrapolating the length of the chord Sun-Mercury to zero to find internal and external contacts timings, avoiding the black drop effect, due to instrumental optics coping with solar limb darkening.

References

- Fiala, A.D., et al., Sol. Phys. 152, 97 (1994), on 1715-1979 eclipses
 Sigismondi, C., Science in China G52, 1771 (2009), on BB method
 Araki, H., et al., Science 323, 897 (2009), on Kaguya LALT data
 Emilio, M., ApJ 750, 135 (2012), on Mercury transits in 2003-6
 Soma, M., Pub Korean Astron. Soc. 30, 753 (2015) on 2012 eclipse

Osservazioni dell'eclissi penombrale di Luna

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza Università di Roma and ITIS G. Ferraris)

Abstract

The penumbral lunar eclipses equilibrate the probability of occurrence of solar and lunar eclipses over several years, but they are often neglected in the media and in the observations because of the difficulty of their identification due to the high luminosity of the full Moon. Three methods are presented to reduce this luminosity and to detect the penumbral phase of the lunar eclipse: the reflection on glass and water, the double polarizer and the short exposure photographs with 400 and 800 ISO and 1/500s of pose.

Introduzione

L'eclissi di Luna è solitamente osservata dal grande pubblico solo nella fase ombrale, da parziale a totale, e, data la durata del fenomeno, spesso si considera il fenomeno completo così. Durante la fase di *penombra* la Luna è illuminata dal Sole parzialmente occultato dalla Terra.¹ La zona dell'*ombra* progredisce con l'eclissi di Luna nella sua fase parziale e poi copre tutta la Luna nella fase totale, durante la quale si può stimare la luminosità dell'*ombra* seguendo il metodo di Danjon, che ha mostrato una correlazione tra questa e l'attività solare: massimo di luminosità durante l'*ombra* al massimo dell'attività solare.² Siccome la *penombra* è poco contrastata poiché la Luna piena è già abbagliante, l'invasione da parte della *penombra* è discreta. Si migliora la sua visione attenuando la brillantezza della Luna.³ Ad occhio nudo e con un cannocchiale è possibile distinguere la fase penombrale quando la Luna è vicino all'orizzonte, ma con la Luna alta sull'orizzonte bisogna attenuare la sua luce.

1 <https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=4157>

2 Paul Couderc, *Les Eclipses*, Presses Universitaires de France, Paris, 1971, p. 99.

3 P. Couderc, op. cit. p. 24.

Attenuazione con due polarizzatori

Un sistema di due filtri polarizzatori consente di sfruttare la legge di Malus per ridurre fino al 100% l'intensità trasmessa. Si riduce la luce lunare gradualmente fino a tagliare la zona meno illuminata ad un livello del 10%, 20%... della Luna piena.

Attenuazione all'angolo di Brewster

Guardando la Luna riflessa da una superficie di acqua, con un altro filtro (meglio un polarizzatore, ma va bene anche un paio di occhiali da Sole) la sua luce è molto attenuata. Se l'angolo d'incidenza con la superficie è pari a quello di Brewster per l'acqua, cioè 57° , la luce riflessa è quasi completamente polarizzata orizzontalmente, quindi un solo filtro polarizzatore equivale l'effetto della coppia di filtri. La riflettanza della luce per l'acqua è dell'8% in verticale,⁴ mentre supera il 90% in incidenza radente per le leggi di Fresnel.⁵

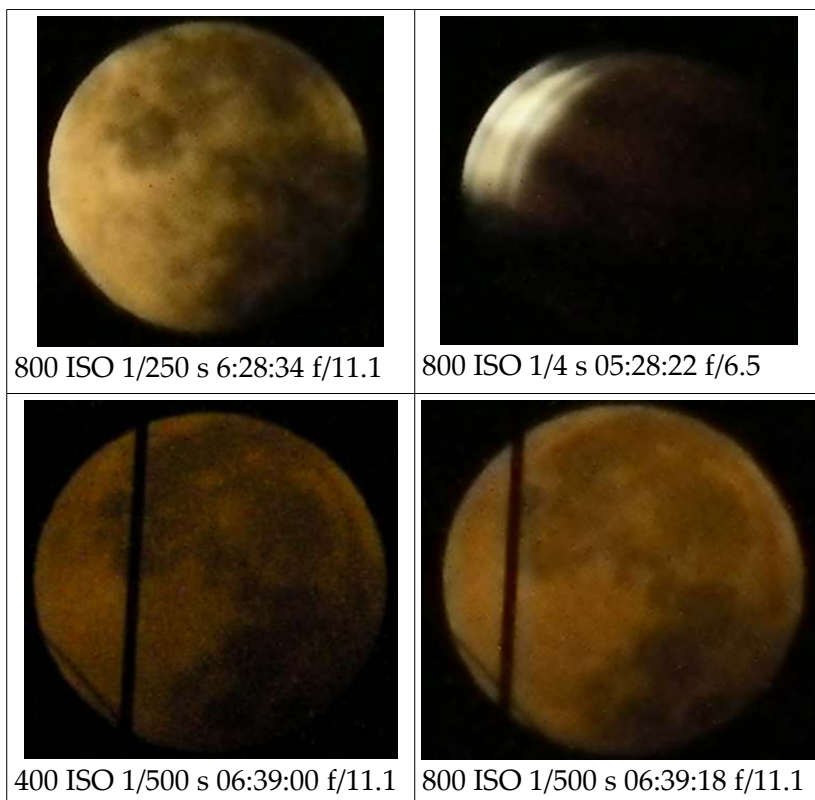
Attenuazione con il tempo di apertura dell'otturatore

Con la camera Sanyo HD1010 del laboratorio di fisica solare A. Cacciani della Sapienza ho eseguito foto della Luna con diversi valori ISO, tempi di esposizione e diaframmi fissati: $f/6.8$ $t=1/500s$ e ISO=800; 400; 200; 100 e 50, ottenendo che la Luna mostra bene la sua fase penombrale di eclissi a 200 ISO, molto poco a 100 e 50 ISO per la debolezza dell'immagine complessiva; la penombra si percepisce anche a 400 e a 800 ISO, nonostante la luce raccolta sia già molta. La Luna fotografata nella fase uscente di penombra alle 6:39 del 28/9/2015 a Roma, 12 minuti dopo il termine della fase parziale.⁶ Già ormai al tramonto, il disco lunare appare leggermente oblato per la rifrazione differenziale di 6' su 33'.

4 <http://nature.berkeley.edu/~penggong/textbook/chapter2/html/sect25.htm>

5 <http://www.itislanciano.it/web/lavori/ottica/Appendice5.html#b1>

6 <http://www.timeanddate.com/eclipse/lunar/2015-september-28>



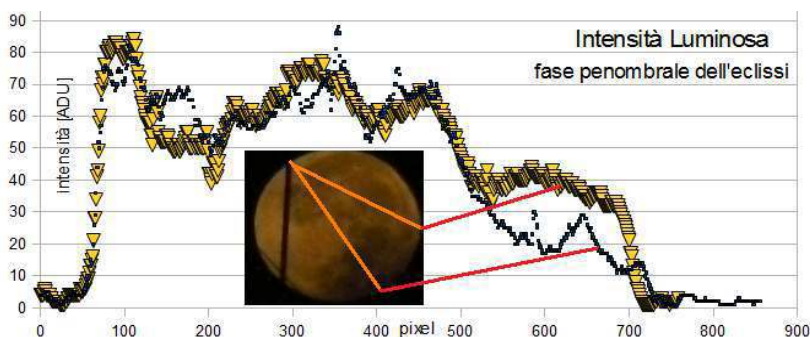
Analisi quantitativa: misurare la penombra

La sola osservazione della penombra non soddisfa pienamente l'esigenza di misurare quantitativamente il fenomeno, per confrontarlo, ad esempio, con le predizioni delle effemeridi. Per la loro elusività, le eclissi penombrali sono ignorate dai media, ma esse pareggiano quasi il conto tra eclissi solari e lunari⁷ Con IRIS⁸ ho misurato l'eclissi alle 6:39:18. In y le ADU Analog-Digital Units dell'immagine originale in x i pixel. I due istogrammi di luminosità sono ottenuti lungo 2 linee rosse, partendo dall'Oceanus Procellarum fino al Mare Fecunditatis

7 P. Zanna e C. Sigismondi, <http://arxiv.org/abs/1211.3687> p.37 fig.1

8 <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm> software di fotometria

(bassa riflettività) e fino al polo Nord lunare (area più chiara).



Se la Luna fosse un disco uniforme in penombra, la sua brillantezza superficiale diminuirebbe secondo una linea retta. All'estremità sinistra dove convergono la linea nera (un'antenna) e le due rosse la Luna ha la sua piena luminosità. Lungo il diametro si passa da 80 ADU a 15 ADU, mentre lungo la corda da 80 a 30; riscaldando 80 ADU al 100% della brillantezza della Luna piena, l'eclissi penombrale ai due punti inferiori del disco lunare risultava rispettivamente al 37.5% e al 18.75%. La durata della fase penombrale era pari a 55.5 minuti, iniziava alle 6:27:05 ed alle 6:39:18 ne erano trascorsi già il 22%, cioè 12.2 minuti. Quindi il bordo più scuro della Luna era illuminato al 22%, come confermato dai dati, e il 78% del disco era in penombra. L'inizio della penombra è in foto 1, la totalità è appena finita in foto 2, la parte illuminata è penombra al 15%, la foto è a posa lunga, $\frac{1}{4}$ s, perciò mossa.

Conclusioni: L'eclissi di Luna penombrale può misurarsi bene con foto da 1/500s e 400-800 ISO, ed opportuna post-analisi. Così le effemeridi della penombra diventano ben verificabili dalle foto. Le eclissi solo penombrali⁹ sono più frequenti delle totali, per l'area del cono di penombra maggiore dell'ombra.

⁹ <http://www.skyandtelescope.com/astronomy-news/observing-news/october-18ths-penumbral-lunar-eclipse/>

Disual timinigs of four 2015 mutual eclipses of Galileian satellites compared with the ephemerides

Costantino Sigismondi

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

presented at ASTROMETRY-PHEMU-GAIA International

Workshop Paris 14-18 october 2015

Abstract

The nodes of the orbits of the satellites of Jupiter each 6 years are aligned with the axis Sun-Jupiter and mutual eclipses and occultations (PHEMU) occur in series, and their observations help to improve the ephemerides, influenced -on the long period- by many bodies interactions, relativistic corrections and internal mass distributions. The visual observations made in Rome of Ganymedes eclipsed on 20 and 27 Feb and Europa eclipsed on 26 February and 8 May 2015 are compared with the ephemerides. They have 10s accuracy in time, and 0.1 magnitudes in photometry, with a luminosity scale “brighter than”, “equal to”, “dimmer than” relative to uneclipsed satellites. The paper is structured in 1. Introduction to the mutual phenomena as geometrical consequence of orbital momentum conservations. 2. Visual observations with 3" telescopes and lack of scotopic vision under city lights. 3. The results of 20, 26 and 27 Feb and 8 May eclipses with relative photometry 4. Accuracy on timing and magnitude of the center of the eclipse; comparison with four ephemerides: IMCCE, BAA (computed by Jean Meeus), Belgian Observatory ephemerides, and Occult 4; 5. Conclusions. Significant departures from the ephemerides have been found either in time, 1min, and magnitudes, 0.5mag.

Introduction: the mutual eclipses of Jupiter's satellites

When the line of sight Sun-Jupiter includes the nodes of the equatorial plane of Jupiter and of the orbits of its satellites, the mutual phenomena occur: it happens each 6 years and their observations contribute to the definition of orbital parameters (the theory of the grand satellites of Jupiter, the internal distribution of their masses [1]), and to the physical

parameters of the satellites, like the albedo and the transient atmosphere (e.g. The ejecta from the volcanoes of Io) when present [2, 3]. The eclipses between satellites are better observable than the superpositions (occultations) between them; the angular resolution of the telescope does not allow a significant accuracy in the determination of the superposition, while an eclipse with Jupiter not in opposition is well visible even with small telescopes as it is shown in the following.

2. Visual observations with small telescopes under city lights

A tabletop telescope of 3" is larger than the first galileian telescope [4] used in the discovery of the Jupiter's satellites. But the conditions of the urban skies are nowadays much worse than in 1610 and the scotopic vision of our eyes cannot often take place. This reduces the limiting magnitude for visual observations at these telescopes at $mv=7\div7.5$, not only because the sky is bright, but also because the eye uses only the cones as detectors. So a mutual eclipse between the satellites of Jupiter can easily be a temporary disparition of the eclipsed one if observed with a small telescope. The eclipsed satellite can experience a magnitude drop from 0.1 mag to some magnitudes (about 1 in the case of Europa's eclipse of 8 May 2015). For the smaller magnitude drops the method of Argelander can take advantage of the uneclipsed satellites: their visual magnitudes when Jupiter is at mean opposition are **I**, Io, 4.8; **II**, Europa, 5.2; **III**, Ganymedes, 4.5; and **IV**, Callisto, 5.5 [5]. For larger magnitude drops the arbitrary scale $A>B$, $A=B$ and $A<B$ is better than trying to evaluate the drop, due to the rapidity of the phenomenon (usually about 5 minutes) and the difficulty to find opportune reference stars.

3. Observations from Rome

The events and their ephemerides were furnished by IOTA/ES [6] section and BAA [7] through the Planoccult mailing list. The observation of superpositions and eclipses in 2015 has been made with 3 different telescopes: a refractor of 3" at 30x, a Newton of 3" at 20x – 58x and a Schmidt-Cassegrain of 8" at 81x, all without tracking motor. The superpositions have been observed: they do not issue a sharp timing. Only with the larger telescope of 8" the difference in magnitude between the satellites was evident, either because of the larger limiting magnitude, either due to the longer focal length which determines a large separation between the satellites and Jupiter.

The eclipses observed have been on 20, 26, 27 february 2015 and 8 may 2015: two of Ganymedes, the brightest satellite, and two of Europa, the third one in order of luminosity.

On 20 February Ganymedes was closer to Jupiter than Io and its brightness changed as in the table, because it was eclipsed by Io: G>I stands for Ganymedes is brighter than Io etc.

Observations 20 February 2015	IMCCE ephemerides	BAA ephemerides	Occult 4
00:34:55 UT G>I	Begin	Begin	Begin
00:36:35 UT G=I	00h 34min 55s UT	00h 36 min 45 s	00h34min55s UT
00:38:00 UT G<I	End	End	End
00:39:00 UT G<I	00h 43min 25s UT	00h 41 min 43 s	00h43min07s UT
00:40:00 UT G<I	center of the eclipse	center of the eclipse	center of the eclipse
00:41:54 UT G=I	00h 38 min 10 s	00h 39 min 14 s	00h 39 min 01 s
00:42:30 UT G>I	Duration: 8 min 30 s	Duration: 4 m 58 s	Duration: 8 m 12 s
00:43:00 UT G>I	Delta mag =	Duration of annular	
00:43:25 UT G>I	0.835 mag	phase: 2 m 44 s	
Data as orange lozenges in fig.1.		Delta mag = 0.62 mag	Delta mag = 0.6 mag

Ganymedes went dimmer than Io for 2 minutes, and the center of the eclipse estimated is around 00:39:05 UT+/-10s (fig. 1), in better agreement with BAA ephemerides and Occult4, as well

as the duration of the phase from G<I to G=I was 2 min 54 s.

On 26 of February the first satellite next to Jupiter was Europa and it was eclipsed by Callisto; observed with the Schmidt-Cassegrain 8". Ganymedes shined the brightest and external. Callisto appeared equal to Io.

Observations 26 February 2015	IMCCE ephemerides	BAA ephemerides	Occult 4
22:46:50 UT E starts to dim 22:48:19 UT E is dim 22:49:50 UT E is dimmest 22:51:57 UT E is recovering 22:52:21 UT E as the beginning	Begin: 22h43min54sUT End: 22h52min 47s UT center of the eclipse 22h 48 min 20 s UT Duration: 8 min 53 s Delta mag = 0.947 mag	Not computed because only the penumbra of Callisto passed over Europa. From Belgian Almanac maximum at 22:48 Delta mag= 0.8 mag	Begin: 22h43min59s UT End: 22h52min33s UT maximum eclipse 22h 48 min 16 s Duration: 8 min 34 s Delta mag = 0.6 mag

The eclipse at maximum was perceived around 22:49:50 UT, a time after than IMCCE, BAA and Occult4 ephemerides.

On 27 of February Io eclipses Ganymedes: observations with Refractor 3" at 30x.

Observations 27 February 2015	IMCCE ephemerides	BAA ephemerides	Occult 4
03:32:58 UT G not the brightest 03:34:00-10 UT G<I 03:34:40 UT G>=C 03:34:56 UT G almost = Io 03:34:15 UT G= Io; G > Callisto 03:35:20-30 UT G<Io; G= Callisto 03:36:20-45 UT G<Io; G=C 03:37:20 UT G>C; G<I 03:38:00-48 UT G=I 03:39:45-55 UT G>Io start brighter 03:40:10 UT G>Io more bright	Begin [UT] 03h 31min 11s End [UT] 03h 40min 40s center of the eclipse [UT] 00h 35 min 50 s Duration: 8 min 29 s Delta mag= 0.968mag	Begin [UT] 03h 33 min 06 s End [UT] 03h 38 min 54 s center of the eclipse [UT] 03h 36 min 00 s Duration: 5 min 48s Duration of the annular phase: 3 m 14 s Delta mag= 0.69 mag	Begin [UT] 03h 31m 13 s End [UT] 03h 40m 22 s Max [UT] 03 h 35 m 47s UT Delta mag= 0.7 mag

The eclipse was shallower than 20 February's one, the center was observed around 03:36:00+/-10s. Europa appeared to be the fainter object, but it was closer to Jupiter. The luminosities of Io and Ganymedes were correctly evaluated brighter than Europa and Callisto with the 3" telescopes.

The magnitude drop predicted by Jean Meeus (BAA ephemerides) and his timing is closer to the observations.

On May 8 Europa was eclipsed by Io and observed from indoor with a Newton 3" f=350 mm at 58x.

Observations 8 May 2015	IMCCE ephemerides	BAA ephemerides	Occult 4
21:21:20 UT E is fainter	Begin 21h 21min 26s UT	Begin 21h 22min35s UT	Begin 21:21:29UT
21:22:11 UT E is more faint	End 21h 26min 53s UT	End 21h 25 min 39sUT	End 21:26:49UT
21:23:14 UT E is much more faint	center of the eclipse 21h 24 min 10 s UT	center of the eclipse 21h 24 min 09 s UT	Max 21:24:09UT
21:23:45 UT E almost disappeared	Duration: 5 min 27 s	Duration:3min04 s	
21:24:24 UT E at deepest	Delta mag = 0.57	Duration of the annular phase: 0m 56s	Delta mag = 1.0 mag
21:24:40 UT E starts to recover	mag	Delta mag = 0.88 mag	
21:25:48 UT E brightening			
21:26:18 UT E brightness restored			

Europa already appeared as the faintest satellite, but in the maximum eclipse it almost disappeared at 21:24:20 UT +/-10s a timing in agreement with all ephemerides. A larger Delta Mag than the ephemerides is estimated by the observations because Europa disappeared at the center eclipse [8].

4. Accuracy of timing and photometry; comparison with the ephemerides

The timing has been taken using UTC synchronized audio-records [8], the same method used for occultations [9] or solar

eclipses. The phrases are timed to the nearest second, but since the records do not contain sharp events the general accuracy is within $\pm 15 \div 20$ s. The average between symmetrical events (like the first G=I and the second G=I) help to find the center of the eclipse; with two independent determinations of the center of the eclipse we have estimated the error on its determination of ± 10 s.

The photometry of the satellites of Jupiter is within ± 0.1 magnitudes, since the difference in luminosity between Ganymedes, Io, Europa and Callisto has been always noticed, even when their order is not known before. The data in the tables have not been converted into magnitudes, because in the case of deep eclipses the complete disappearance of the eclipsed satellite made impossible the estimate. The method of Argelander can be used only with large magnification $>50\times$ and large opening $>3''$ for eclipses of Ganymedes, which experience gradual dimmings down to the luminosity of Callisto. For Europa at the minimum of the 8 may eclipse its luminosity was much fainter than the others, making unaccurate the estimate. For the eclipses of the satellite Io the Argelander method could work too, since other two satellites are dimmer than it.

A clear result of these four observations is that for 8 may the flux drop of Europa was >1 mag, and the more accurate ephemerides was Occult 4.

The eclipse of February 27 observed with a Schmidt-Cassegrain 8" telescope was noticed shallower than Feb 20 (though observed with a smaller instrument), so the predicted flux drop of IMCCE ephemerides seems too large and all others ephemerides predict similar flux drops for both eclipses, contrarily to my observations.

Finally the timing of the eclipse of 26 february shows the

beginning and the maximum eclipse almost two minutes later than ephemerides.

The calculated timing accuracy is consistent to the accuracy in the magnitudes estimate: as an example in the case of 20 February is predicted a magnitude drop of 0.6-0.83 magnitudes in 4 min 15 s; this corresponds with an average drop of 0.14-0.2 magnitudes per minute, in 10 seconds from 0.02 to 0.03 magnitudes: this figure is at the limit of visual observations possibilities [12].

Acknowledgments

To Jean Meeus and Alex Pratt for their calculations and precious informations.

5. Discussion and conclusions

Among the mutual events between Galileian satellites, with small telescopes, no tracking and urban city lights, the eclipses give the possibility to determine visually the center of the eclipse within ± 10 seconds and to check the predicted amount of Delta Magnitudes within 0.1 mag.

The ephemerides published by IOTA/ES (IMCCE) and BAA have been used as comparison to our observations: in the 8 May eclipse of Europa the Delta Magnitude seem to be larger than IMCCE and BAA, as well as the center of the 20 February eclipse of Ganymede was more in agreement with BAA ephemerides, within the errorbars evaluated. A video of such events (see figure 1 of Alex Pratt) would allow accuracies down to ± 0.1 s, but our visual observations can be successfully repeated with simple instruments by young students as introductory experiences with UTC synchronized audio-records [8] of astrometry in the solar system, for the next 2020 PHEMU series.

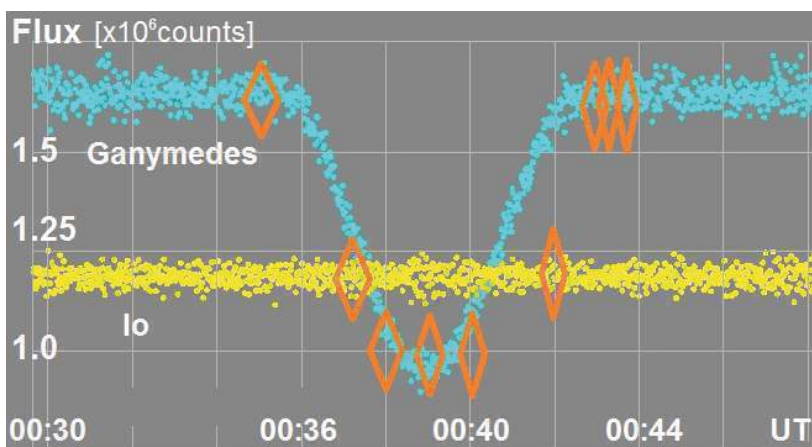


Fig. 1 The light curve of the mutual phenomenon of Ganymede (blue) eclipsed by Io (yellow) on 20 February 2015. Measurements made by Alex Pratt (York); the orange lozenges are the visual observations presented in this paper, in good agreement with the CCD data either in time and magnitude.

References

- [1] J.-E. Arlot, <ftp://ftp.imcce.fr/pub/colloquia/PHEMU15-WETO/arlot1-sat-nat-et-phemu-eng-WETO-mars2014.pdf> (2014)
- [2] K. Aksnes and F. A. Franklin, *Astronomical Journal* **81**, 464-486 (1976)
- [3] B. Morando and P. Descamps, in *Galactic and Solar System Optical Astrometry*, L.V. Morrison G. F. Gilmore ed., Cambridge, p. 329-334 (1994)
- [4] <http://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/indice.html>
- [5] D. Dutton, *Sky & Tel*, December 1976, p. 482-4 http://denisdutton.com/jupiter_moons.htm
- [6] http://www.iota-es.de/phemu_actual.html and www.imcce.fr/phemu
- [7] http://britastro.org/computing/handbooks_jec12015.html
- [8] C. Sigismondi, <https://www.youtube.com/watch?v=Z80jQjFlXc> (2015)
- [9] H. R. Povenmire, *Graze Observer's Handbook* JSB Enterprises, Indian Harbour Beach (1979)
- [10] IMCCE http://www.imcce.fr/en/observateur/campagnes_obs/phemu15/all-phemu15.txt
- [11] Belgian Observatory Almanac and Jean Meeus, private communication
- [12] C. Sigismondi, *Observational Accuracy of Variable Stars* [arXiv:1506.03770](https://arxiv.org/abs/1506.03770) (2015)

I termini di Cassini e Laplace della rifrazione atmosferica misurati alla Meridiana Clementina

Costantino Sigismondi

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

Abstract

The measures of the atmospheric refraction terms of Cassini and Laplace are made at the Clementine Meridian Line of S. Maria degli Angeli in Rome by comparing the observed positions of the center of the Sun with the ones calculated without atmosphere. Three linear systems with the data of 21 Dec 2015; 18 Jan and 6 Feb 2016 give the refraction terms of $\tan(z)$ and $\tan^3(z)$.

Introduzione

A causa della presenza dell'atmosfera l'altezza dei corpi celesti risulta spostata verso lo zenit di una quantità che aumenta sia con lo strato di atmosfera sovrastante, sia con l'angolo zenitale. Giandomenico Cassini nel 1655 quantificò la correzione alla posizione calcolata delle altezze del Sole al meridiano; Pierre Simon de Laplace nel 1824 perfezionò la formula.¹

Termini della serie e derivazione dai dati osservativi

L'angolo zenitale vero z del centro del Sole si ottiene da z_0 , in assenza di atmosfera, dalla formula $z=z_0-\alpha\tan(z_0)+\beta\tan^3(z_0)$ (1) I valori di z_0 sono calcolati usando il web service dell'IMCCE;² quelli di z sono misurati alla Meridiana Clementina del 1702.

Data / T(°C)	100tan z_0	100tan z [oss]	α [arcsec, “]	β [arcsec, “]
21 XII 2015/12°C	217.77	217.5 (.45)	81.14 (52.11)	7.71 (-0.156)
18 I 2016/ 6°C	192.13	191.90	63.90 (52.39)	3.04 (-0.078)
6 II 2016/ 12°C	157.65	157.5 (.51)	69.30 (52.30)	5.21 (-0.114)

Nella tabella i valori di α e β risolvono (con la regola di Cramer su foglio elettronico) i tre sistemi ottenuti con l'equazione (1) a cui sono

1 http://www.astro.auth.gr/~seeing-gr/seeing_gr_files/theory/node4.html

2 http://vo.imcce.fr/webservices/miriade/rtts_query.php?-ep=2015-12-21&-body=11&-nbd=10&-long=-12.4961167&-lat=41.9024223&-tz=1&-from=Cassini&-mime=text&-extrap=4

attribuiti i parametri della prima e seconda riga, seconda e terza e terza e prima rispettivamente. I valori di α e β sono calcolati in arcsecondi ["]. Le tre osservazioni, accurate al primo decimale, sono state fatte in giorni soleggiati con temperature tra 6 e 12°C alla Meridiana Clementina, dove si legge direttamente la posizione del centro del Sole sulla scala in unità di centesimi di tangente di z da 33 a 220. Nella terza, quarta e quinta colonna, tra parentesi, sono riportati dati e relativi coefficienti variati di poco (no il 18/1), che danno soluzioni più omogenee ai tre sistemi $\alpha=52.26''\pm0.15''$ e $\beta=-0.12''\pm0.04''$. Il termine di Cassini, chiamato *correzione cassiniana* dal Bianchini,³ viene approssimato ad $\alpha=60$ arcsec; con il termine di Laplace in $\tan^3(z_0)$ di coefficiente teorico⁴ $\beta=-0.067$ arcsec, $\alpha=58.16$ arcsec.⁵

Discussione: variabilità dei coefficienti con la temperatura

Il 18/1/2016 l'osservazione con la 3BL del Caffè è stata accuratissima perché finalizzata a questa misura specifica: il centro del Sole era presso una tacca originale ancora leggibile sul bronzo (la 192) della Linea Clementina.⁶ Le condizioni atmosferiche cambiano i valori istantanei dei due coefficienti; a Pulkowo per $z=45^\circ$ i valori medi di Agosto danno $\alpha=54.8''$ e quelli di Gennaio $\alpha=60''$,⁷ assumendo per i dati di Pulkowo un'escursione termica ambientale $\Delta T=25^\circ\text{C}$ tra Gennaio e Agosto, $\Delta\alpha=5''/^\circ\text{C}$. Per $\Delta T=-6^\circ\text{C}$ tra Dicembre e Gennaio, ci possiamo aspettare $\Delta\alpha=1''$, e il sistema dà $\Delta\alpha=+0.3''$.

Conclusioni sui risultati ottenuti

Alla Meridiana Clementina otteniamo in accordo con la letteratura i coefficienti α e β della equazione (1) dal confronto con i valori in assenza di atmosfera dalle effemeridi IMCCE.

3 F. Bianchini, De Nummo et Gnomone Clementino, Roma (1703)

4 C. Barbieri, Lezioni di Astronomia, Zanichelli (1999), p. 158; e p. 385-7

5 P. Duffet-Smith, Astronomia Pratica, Sansoni (1983), pag. 46

6 C. Sigismondi, Lo Gnomone Clementino (2009), p. 14

7 M. Fukaya, M. Yoshizawa, Pub. Astron. Soc. Japan 37, 756 (1985)

Mercury transit at the rotonda of Santa Maria degli Angeli on May 9th 2016

Salvador Cuevas Cardona

(Istituto de Astronomia, UNAM, Città del Messico)

Costantino Sigismondi *(ICRA/Sapienza/IIScaffè)*

Abstract

Image quality simulations were made for a Mercury image on the solar disc for the sun position on the sky respect the Summer lens of the “Divinità in Luce” glasswork at Santa Maria degli Angeli in Rome. It is shown the image quality of the lens will be enough to show the Mercury shadow on the solar disc but only for the first 30 minutes from the transit's first contact.

Introduction

The coordinates of Rome are: $41^{\circ}54' \text{ N}$; $12^{\circ}30' \text{ E}$. (41.9°)

The Sun declination (May 9th at local noon): $17^{\circ}32'12.2''$ (17.5367°). Sun transits at 13:06:30 (Daylight Saving Time).

At the summer solstice the Sun position is such that the image produced by the summer lens is at the center of the rotonda. Deviation is 18.4°

Solstice Sun position $23^{\circ} 27'$, (23.45°)

Mercury Transit Sun declination: 17.5367°

$23.45 - 17.53 = 5.92^{\circ}$

Summer lens and position of the solar image

The lens parameters are

EFL= 23240 mm; BFL= 23124 mm; the Back Focal length BFL is the distance from the lens prism to the lens focal plane.

The distance from the back of the lens to the Church's floor is the required BFL for summer lens: 23344 mm: this distance has been measured on site, at Santa Maria deli Angeli.

The prism length is 178.620 mm (only for information). The floor image is defocused (extrafocal) of $23344 - 23124 = 220$ mm

Position respect to the rotonda center

At the meridian passage the image is located $23.344 \cdot \sin(5.92) = 2407$ mm (to the North)

At intervals of 15 minutes the positions change according to the angle of the Sun relative to the summer lens:

- a) 11:12 UTC (13:12 local) (0.1° , 5.92°) (0.04 m, 2.41 m)
- b) 11:27 UTC (13:27 local) (3.85° , 5.92°) (1.57 m, 2.41 m)
- c) 11:42 UTC (13:42 local) (7.6° , 5.92°) (3.09 m, 2.41 m)
- d) 11:57 UTC (13:57 local) (11.26° , 5.92°) (4.56 m, 2.41 m)
- e) 12:12 UTC (14:12 local) (11.51° , 5.92°) (4.66 m, 2.41 m)

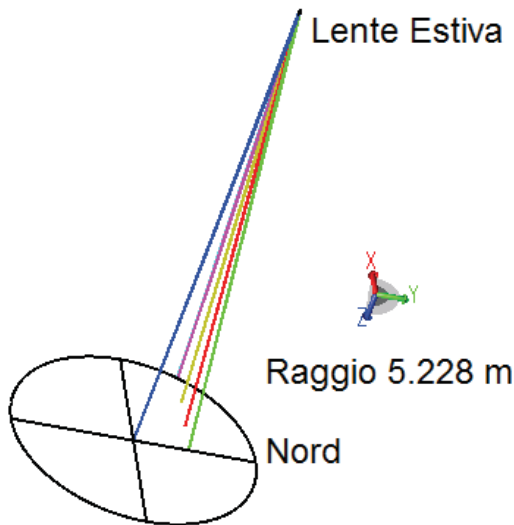


Fig. 1 The Solar image is projected 2.4 m from the rotonda centre on the green ray (ray a), on N-S axis) the other rays are the situation b), c) and d). The ray e) is out of the 5.3 m radius.

The rotonda at the central door of Santa Maria degli Angeli has a central circle of 2.90 m diameter, while the external one has a radius of 6.65m.¹

¹ S. Cuevas, Lentes prismáticas del Lucernario, Il Cigno GG ed. 2009 RM

Mercury's image

For Mercury transit, the apparent planet image diameter will be 1.13 mm, while Sun image will be 200 mm.

The sampling at the image level must be at least 256x256 points. The sampling at pupil is 1024 points.

Simulations

Image simulations were performed for the Summer lens using Zemax Optic studio. By means ray tracing the lens aberrations were calculated for an array of points (9X9) inside the solar image. The lens aberrations information was used for a point spread function (PSF) calculation using a Huygens Transform for the lens array. The convolution of the input image and the PSF was plotted. Furthermore, a seeing of 0.5 mm on the sun image (4.4arcsec of seeing) was simulated along the above simulations. The results are show on the next figures (fig.3).

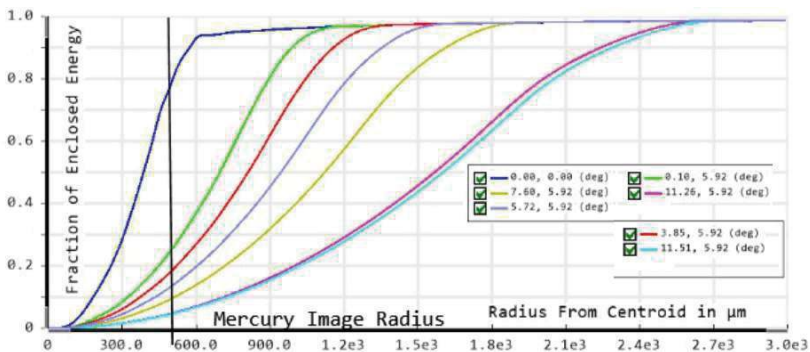


Fig. 2 Fraction of Enclosed Energy (EE) of a Point Spread Function (PSF) for the above positions of the Sun image. The seeing considered for this simulation is 5 arcsec. EE for the position (a) is of the order of than 0.25 within 0.5 mm, while for an ideal zenital image would be 0.8, or 80%. With a value of $EE < 0.2$ the contrast is poor, as it is visible in the four simulated images in fig. 3. These value of EE are computed for Mercury near the solar limb (ingress near the spot if fig 2).

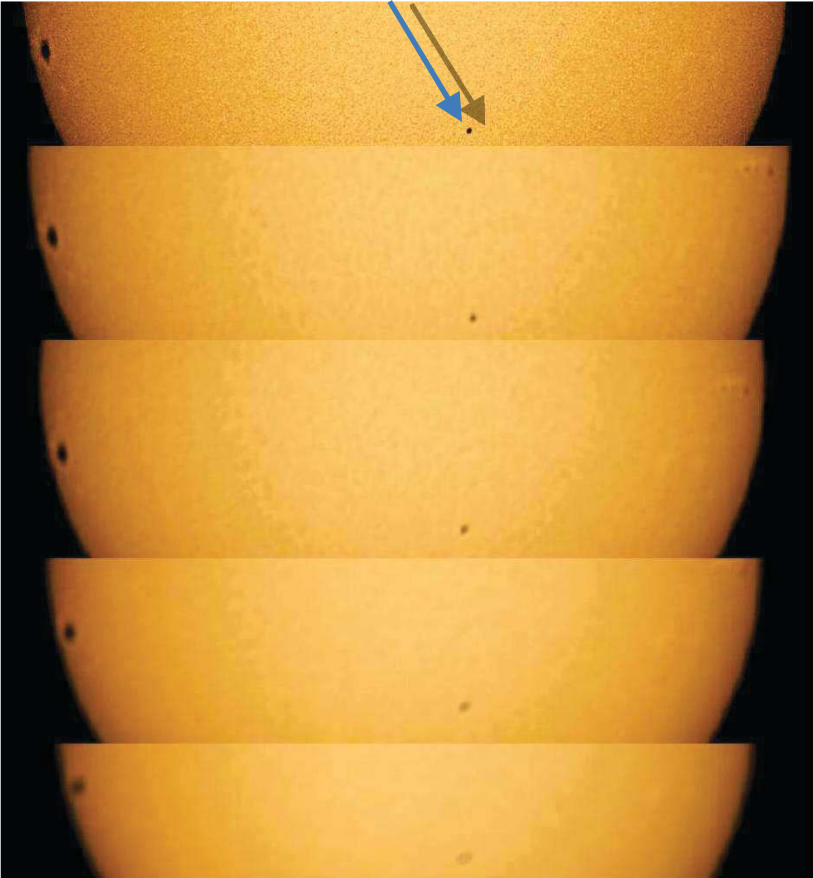


Fig. 3 Composition at 512x512 sampling of simulations of Mercury transit on Sun image from the image (1024x1024 pixels, wikimedia) of the transit of Mercury (blue arrow) on Nov 8, 2006 with a sunspot on the left. Positions on the SMA floor and times corresponding to rays a, b, c, d. It includes seeing. Granulation, Mercury and solar spot's visibility on the solar disc image get worse from a to d (from top to down).

Conclusions Mercury will be visible on the solar disc image at S. Maria degli Angeli from first contact at 13:12 to about 13:42

Algoritmi per il calcolo dell'epatta della Luna

Costantino Sigismondi

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

Abstract

On the sides of the chair of St. Hyppolitus in the Vatican Libray there is a series of 112 epacts, used for calculating the date of Christian Easter valid for 112 years from 222 AD. The algorithm of octaëteris or 8 civil (julian) years=99 lunar months and a correction of three days each 16 years or one day each 5, 5, 6 years are discussed. Four complete solar cycles (28 years), after which the sequence of the day of the week are repeating, are included in 112 years as well as 7 groups of 16 years; 112 is the minimum common multiple between the double octaëteris (16 years) and the solar cycle (28).

Introduzione: l'Octaëteris

Nella seconda città dell'Impero Romano, Alessandria d'Egitto, sotto l'episcopato di papa Demetrio “il vignaiolo”,¹ fu introdotto nel 212 d.C. l'algoritmo dell'octaëteris per calcolare la data della Pasqua, la festa più importante della Cristianità. La Pasqua è la prima domenica dopo il primo plenilunio di Primavera. L'equinozio di Primavera è fissato al 21 marzo e Pasqua può essere solo dal 22 marzo in poi. L'Exeligmos² 54 anni e 32 giorni, pari a 19756 giorni e 669 lunazioni, riportato nell'Almagesto (IV.2) di Tolomeo, ci dà il valore più accurato per gli antichi sul mese lunare (sinodico) medio: 29.53064 dì.

Assumendo l'anno lunare di 354 d e quello civile di 365 d (+1 nel bisestile), ogni anno alla stessa data l'età della Luna cresce di 11 giorni, “modulo 30”, poiché ogni 30 giorni si ha una Luna in più. Si può costruire una serie di epatte (le età della Luna il 31 dicembre, ma qui è l'età della Luna al 21 marzo) e verificare facilmente che si ripete identica di 8 anni in 8, visto che il 2024 è anno bisestile e l'epatta per il 21/3 è di nuovo 12.

1 http://www.copticchurch.net/synaxarium/2_12.html

2 <https://en.wikipedia.org/wiki/Exeligmos>

Anno	2016*	2017	2018	2019	2020*	2021	2022	2023
Luna 21.3	12	23	4	15	27	8	19	30=0

La lunazione media qui vale esattamente $29\frac{1}{2}$ giorni=354/12 d. In 8 anni = 2922 d (inclusi 2 bisestili) la Luna compie quasi 99 lunazioni = 2923 $\frac{1}{2}$ d. L'età della Luna dopo 8 anni nella tabella ha accumulato un anticipo di 1 $\frac{1}{2}$ d, ossia nel 2024 la Luna non avrà 12 giorni il 21 marzo, ma 10 $\frac{1}{2}$. Nel 2032 invece sarà 9 giorni, poiché l'anticipo accumulato diventa 3 giorni. A quel punto conviene correggere le date togliendo 3 giorni a tutti i numeri della serie della successiva octaëteris e di quella dopo ancora, per lavorare sempre con numeri interi. Nel 2048 l'epatta del 21 marzo sarà dunque pari a 6 giorni, e nel 2064 3 giorni, nel 2080 0 giorni. Seguono le epatte al 21/3 ogni 16 anni.

Anno	2016	2032	2048	2064	2080	2096	2112	2128
Epatta 21/3	12	9	6	3	0	27	24	21
Giorno sett	Lun	Dom	Sab	Ven	Gio	Mer	Lun*	Dom*
Luna XIV	23/3	26/3	29/3	01/4	04/4	07/4	10/4	13/4
Pasqua	27/3	28/3	05/4*	06/4	07/4	15/4	17/4	18/4

Il ciclo solare delle date

Il giorno della settimana in questa tabella si calcola sapendo che 365 giorni=52 settimane +1 giorno, quindi dopo 16 anni cresce di 16 giorni +4 (bisestili)=20 mod 7=6 giorni. Siccome il 2100 non sarà bisestile la sequenza regolare del ciclo "solare" di 28 anni dei giorni della settimana salta un giorno indietro; Luna XIV è la Luna Paschalis e la Pasqua cade la domenica successiva. Con questa regola (voluta da papa Vittore I per distinguersi dalla Pasqua ebraica e dai quartodecimani) nel 2048 abbiamo che la Pasqua cade il 5 aprile. Le date della Pasqua ogni 16 anni sono corrette. Il massimo dell'errore ce lo aspettiamo dopo 15 anni, mentre dopo 8 anni il ritardo tra

luna media e vera arriva a $1 \frac{1}{2}$ dì; controverso è quando Luna XIV cade di domenica. Si noti che la periodicità di 8 anni dell'octaëteris colloca le date della Pasqua come un cristallo, mentre la periodicità su scala maggiore genera un quasi-cristallo.

Nella tabella seguente vediamo le Pasque dove la Luna XIV cade $1 \frac{1}{2}$ dopo il calcolo: l'asterisco * evidenzia le Pasque calcolate che risultano errate di 1 settimana in difetto: 3 su 8.³

Anno	2024	2040	2056	2072	2088	2104	2120	2136
Epatta 21/3	12	9	6	3	0	27	24	21
Giorno sett	Gio	Mer	Mar	Lun	Dom	Ven*	Gio*	Mer*
Luna XIV	23/3	26/3	29/3	01/4	04/4	07/4	10/4	13/4
Pasqua	24/3*	01/4	02/4	03/4*	11/4	13/4	14/4	15/4*

Gestione degli errori e correzioni periodiche dell'algorithm

Questo algoritmo di correzione ogni 16 anni della periodicità dell'octaëteris permette di lavorare con effemeridi lunari che sono accurate al meglio di 3 giorni, con l'errore che cresce linearmente dal primo al quindicesimo anno della serie e poi viene azzerato, con un andamento finale a “dente di sega”. Quando la Luna XIV calcolata in questo modo cade di giovedì, venerdì o sabato, quella reale, specialmente se siamo già 15 anni dopo l'inizio della serie, cade la domenica a causa dei quasi 3 giorni di anticipo, perciò la Pasqua sarà la domenica successiva.

Correzione di un giorno ogni 5 anni.

L'antico *saltus lunae* che si manifestava dopo un ciclo di Metone di 19 anni, qui si può riproporre ogni 5 anni per contenere entro un giorno l'errore dell'octaëteris: al termine di ogni quinquennio l'epatta viene diminuita di un giorno

3 <http://tlarsen2.tripod.com/thomaslarsen/easterdates.html#List20>

rispetto a quella calcolata. Così la prima tabella diventa, con 3 correzioni dopo 5, 5 e 6 anni:

Anno	2016*	2017	2018	2019	2020*	2021	2022	2023
Luna 21.3	12	23	4	15	27	9 α	18	29
Anno	2024*	2025	2026	2027	2028*	2029	2030	2031
Luna 21.3	11	22	2 α	13	25	6	18	28 α

nel 2021, 2026 e 2031, tale che l'epatta al 21/3 del 2024 sia 11 e quella del 2032 sia 9. Le Pasque calcolate per queste due date risultano rispettivamente 31/3 e 28/3, corrette.

Algoritmi dalla riforma di Gregorio XIII a papa Francesco

L'accordo tra anno tropico e mese lunare è stato sempre oggetto di studi nella Chiesa Cattolica, coronati con la riforma Gregoriana⁴ del calendario, ma proseguiti oltre con Clemente XI che volle far costruire la meridiana a S. Maria degli Angeli.

Gli algoritmi perfezionati da Luigi Lilio, Egnazio Danti e Cristoforo Clavio⁵ soddisfano la richiesta di stabilità nei secoli, che l'octaëteris non dava: sono un'approssimazione razionale a fenomeni non-lineari e accumuleranno comunque un errore in capo a qualche millennio. Seguendo il Concilio e gli approcci di Paolo VI anche papa Francesco, con il desiderio di ricomporre lo scisma d'Oriente del 1054, ha proposto l'obiettivo di unificare la data della Pasqua Cristiana tra Cattolici ed Ortodossi (nel 2016 rispettivamente il 27 marzo e il 1 maggio) dal momento che nei calcoli della Luna ecclesiastica gli Ortodossi non riconoscono i 10 giorni eliminati da Gregorio XIII nel 1582. Nel Concilio Vaticano II si prospettò la seconda domenica di Aprile, e Francesco lo ha riproposto il 12/6/2015.⁶

4 http://www.dpgi.unina.it/giudice/calendar/Inter_Gravissimas.html

5 <http://www.dpgi.unina.it/giudice/calendar/canone2.html>

6 <http://www.avvenire.it/Chiesa/Pagine/pasqua-data-unica-cattolici-ortodossi.aspx>
+G. Caprile (1977) <https://books.google.it/books?id=Iwo5AQAAMAAJ> p.67-70

Indice

Costantino Sigismondi

Prefazione al volume 9 di Gerbertus in transitu Mercurii 1

Costantino Sigismondi

Declinazione Magnetica: storia delle prime misure e misure con l'azimut del Sole 13

Costantino Sigismondi

Misure di massa nel 1574 del Sangue del Miracolo Eucaristico di Lanciano 21

Costantino Sigismondi

Fotogrammetria dell'Obelisco Vaticano con il Sole 27

Costantino Sigismondi

Misura dell'azimut della Piramide Cestia col Sole 31

Costantino Sigismondi

Dinamica numerica di microsonde verso Alfa Centauri con impulsi LASER su vele spaziali 35

Luigi Mariani

The crossing of the Alps of Gerbert of Aurillac during the 984 AD: climatic implications 37

Costantino Sigismondi, Lorenzo Ricciardi *Fasi fenologiche di Cupressus Sempervirens durante l'inverno 2016* 41

Paolo Rossi

44 Questioni di fisica e astrofisica moderne 45

Flavio G. Nuvolone

*I grafici dei poemi per Eude e Teotrada e quello del Carme
Figurato di Gerberto per Ottone II e Teofano* 61

Costantino Sigismondi

L'Algebra dei transiti planetari sul Sole 75

C. Sigismondi, F. Castiglioni, D. Cicogna, L. F. Cardoso

*The opportunity of the 2016 transit of Mercury for measuring
the solar diameter* 83

C. Sigismondi, F. Castiglioni, D. Cicogna, L. F. Cardoso

*The solar diameter on 9 March 2016, from the total eclipse in
Micronesia: at its standard value* 87

Costantino Sigismondi

Osservazioni dell'eclissi penombrale di Luna 91

Costantino Sigismondi

*Visual timinigs of four 2015 mutual eclipses of Galileian
satellites compared with the ephemerides* 95

Costantino Sigismondi

*I termini di Cassini e Laplace della rifrazione atmosferica
misurati alla Meridiana Clementina* 103

Salvador Cuevas Cardona, Costantino Sigismondi

*Mercury transit at the rotonda of Santa Maria degli Angeli on
May 9th 2016* 105

Costantino Sigismondi

Algoritmi per il calcolo dell'epatta della Luna 109