

GERBERTVS accoglie lavori sul papa astronomo, docente e matematico, musico, filosofo Gerberto d'Aurillac Silvestro II e su temi di scienza medievale e didattica.

ISSN 2038-3657

GERBERTVS

GERBERTVS

18

GERBERTVS 18

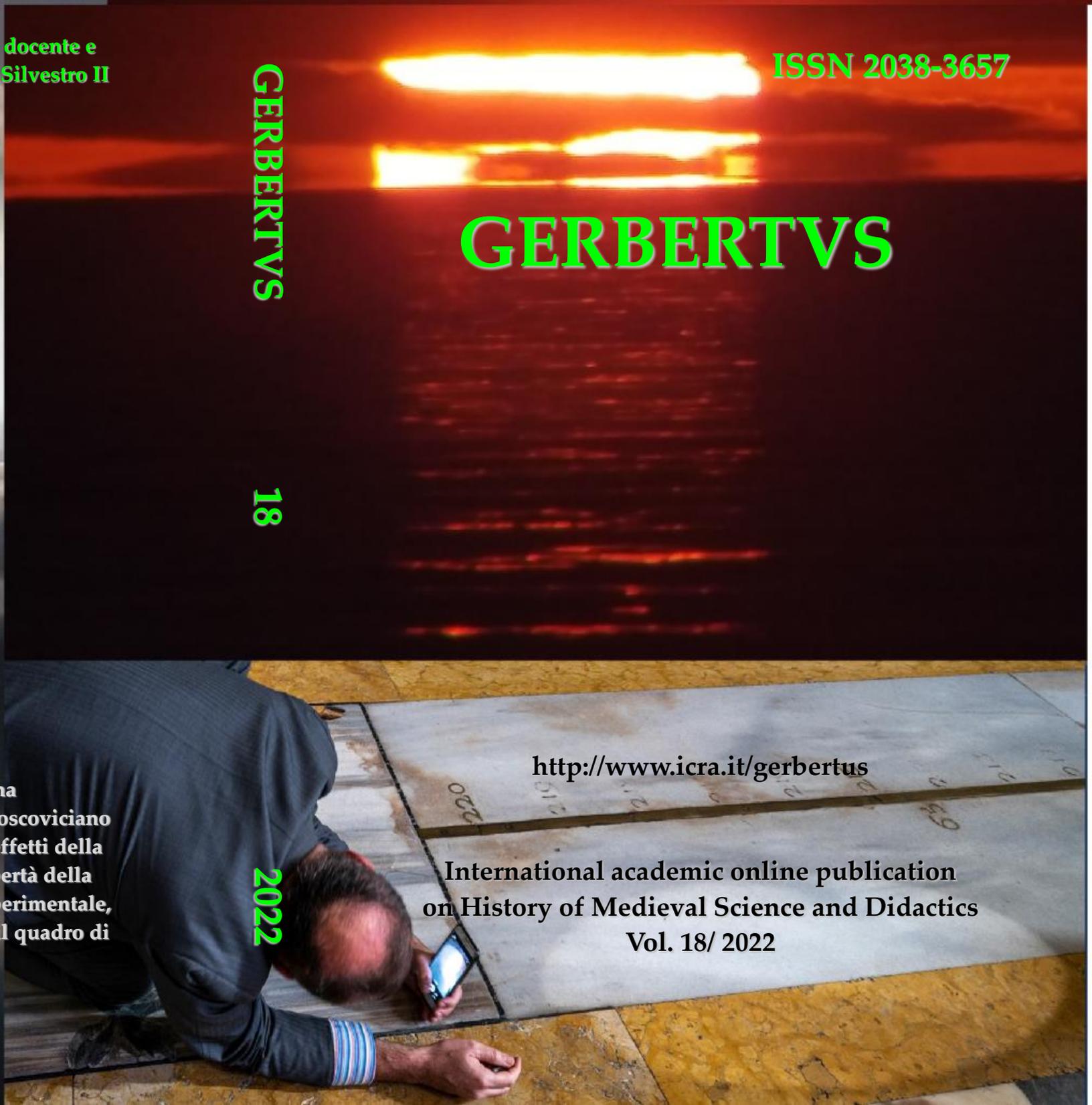
Con l'intensa campagna osservativa alla Meridiana Clementina nel 2022 è stato localizzato un seno Boscoviciano tra 75 e 115 parti centesime, e abbiamo misurato effetti della diffrazione. Conosciamo meglio i due gradi di libertà della meridiana in piazza san Pietro. L'Oceanografia sperimentale, l'ottica atmosferica e la fisica solare, completano il quadro di questo volume 18.

Prof. Costantino Sigismondi Editor

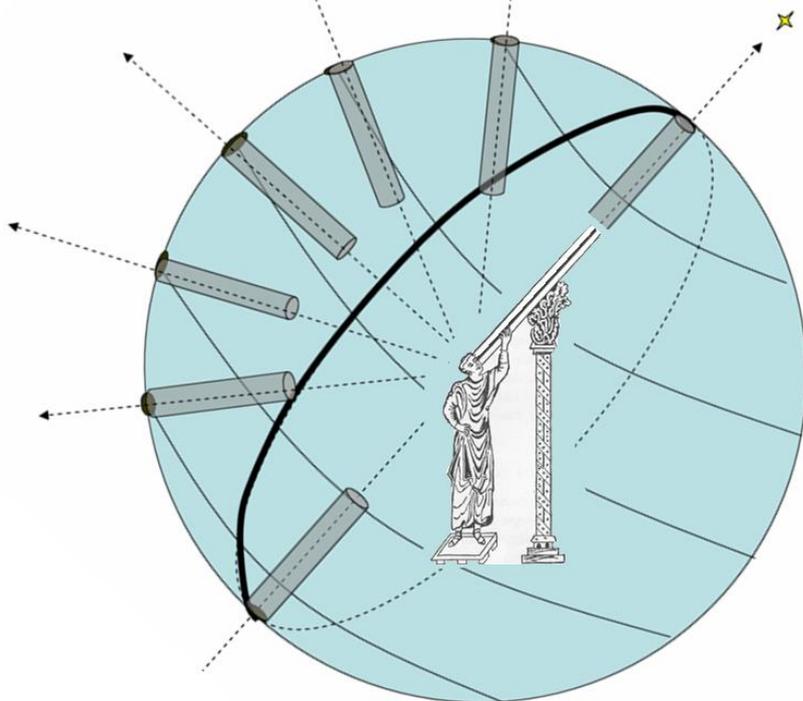
<http://www.icra.it/gerbertus>

International academic online publication  
on History of Medieval Science and Didactics  
Vol. 18/ 2022

2022



# GERBERTVS



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

**International academic online publication  
on History of Medieval Science and Didactic  
vol. 18/2022**

**GERBERTVS**

# International academic online publication on History of Medieval Science

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

## Editorial Board:

Prof. Cosimo Palagiano (Accademia dei Lincei)

Prof. Paolo Rossi (Università di Pisa)

Prof. Cesare Barbieri (Università di Padova e Scuola Galileiana)

Dr. Marek Otisk (Accademia Ceca delle Scienze, e Ostrava Un.)

Dr. Paolo Zanna (Oxford University)

Dr.ssa Irene Sigismondi (LUISS e Sapienza Università di Roma)

Arch. Francesco Giannini† (ICRANet, Pescara)

†scomparso il 4 luglio 2022 a 77 anni.

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

Copertina: Transito meridiano all'Obelisco Vaticano, tramonto del Sole a Ostia e misure del solstizio invernale alla meridiana Clementina il 22 dicembre 2022.

ISSN 2038-3657 (versione stampata)

ISSN 2038-355X (versione online)

ISSN 2038-3630 (CD-ROM)

**Vol. 18– 2022**

Finito di stampare nel gennaio 2023

Con il contributo degli  
*Amici del Morgagni*





## **Indice del volume 18**

Introduzione alla fisica del mare Costantino Sigismondi	pag. 1
Fenomeni equinoziali a san Pietro in Vaticano Costantino Sigismondi	pag. 23
Eclissi parziale di Sole del 25 ottobre 2022 e frequenze Costantino Sigismondi	pag. 27
Eclissi di Luna dell'8 novembre 2022 agli antipodi Costantino Sigismondi	pag. 41
Tramonti sul Velino l'8 e l'11 novembre 2022 Costantino Sigismondi	pag. 51
Levate del Sole a Pescara tra maggio e novembre 2022 Costantino Sigismondi e Tiziana Pompa	pag. 55
Jay Myron Pasachoff (1943-2022): una vita per il Sole Costantino Sigismondi	pag. 57
Sole nella Bilancia, Scorpione e Sagittario osservato nel 2022 alla meridiana di s. Maria degli Angeli Costantino Sigismondi	pag. 63
Meteotsunami a Ostia il 22 novembre 2022 Costantino Sigismondi	pag. 67
Minimo comune multiplo e teoria astronomica del clima Costantino Sigismondi	pag. 71
Congiunzione Giove Luna del 2 dicembre 2022 da dati meridiani Costantino Sigismondi	pag. 77

Il raggio della Terra da misure sullo stesso meridiano pag. 83  
Federico Battistol Elena Piccoli, Costantino Sigismondi

L'occultazione di Marte in opposizione pag. 87  
Costantino Sigismondi

Solstizio e Solis Institutium nel Menologio rustico di Napoli  
Marco Andrioli pag. 88

Sunspot periodicity pag. 92  
Claudio Vita-Finzi

Solstizio d'Inverno 2022 da altezze e tempi in meridiano  
Costantino Sigismondi pag. 151

Ricordi astronomici su Benedetto XVI pag. 165  
Costantino Sigismondi

Effemeridi della Meridiana Clementina per il 2023 pag. 173  
Costantino Sigismondi

Effemeridi 2023 della Meridiana dell'Obelisco Vaticano  
Costantino Sigismondi pag. 179

## Introduzione alla fisica del mare

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

*(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)*

Submitted and accepted June 18<sup>th</sup> 2022, revised Jan 16<sup>th</sup> 2023

**Abstract** The realm of the sea, and the ocean encompasses a lot of physical observations. Through them we introduce high school students to the study of the Oceanography. The argument presented to an introductory level deal with 1. Coastal dunes and berm 2. Hadley cell local (breeze regimes) 3. Tides and seiches (especially for Thyrranian and Adriatic sea) 4. Waves energy balance 5. Sextant, compass and rose of winds 6. METAR codes 7. The ocean in Rome. These topics are studied on the spot, at the beach/pier of Ostia and Pescara, respectively on the Thyrranian and Adriatic sea.

**Sommario** Il mare è oggetto di studi geografici, storico-economici, antropologici, e anche di fisica. Tramite le osservazioni e le misure introduciamo gli studenti di scuola secondaria all'Oceanografica con alcuni argomenti da esaminare sul posto a Ostia e a Pescara: 1. Dune litorali e berma 2. Cella di Hadley locale (regime di brezza) 3. Maree e sesse (nel Tirreno e nell'Adriatico) 4. Bilancio energetico tra onde e venti 5. Strumenti marini: rosa dei venti e bussola, sestante 6. I codici METAR 7. L'oceano a Roma.

**Keywords:** Oceanography, Marine Instruments, Sun-sea interaction, Sea-winds interaction, Waves Mechanics.

**Introduzione:** i giovanissimi non pensano che il mare sia oggetto di studio e di misure, come gli esperimenti fatti nel laboratorio di fisica...eppure basta poco per capirlo, e Istituti prestigiosi nel Mondo e in Italia si occupano di queste tematiche (Scripps,<sup>1</sup> Trieste,<sup>2</sup> Genova,<sup>3</sup> Monaco,<sup>4</sup> Parigi<sup>5</sup>). Gli oceani sono oggetto di interesse della politica

---

<sup>1</sup> <https://scripps.ucsd.edu>

<sup>2</sup> <https://www.ogs.it/it>

<sup>3</sup> <http://ge.ismar.cnr.it/>

<sup>4</sup> <https://musee.oceano.org/en>

<sup>5</sup> <https://www.oceano.org/>

mondiale.<sup>6,7</sup> Gli Stati Uniti nel 1830 istituirono l'osservatorio astronomico navale.<sup>8</sup>

Ancora oggi gli interessi militari attorno agli oceani sono enormi.<sup>9</sup>

Le stesse funzioni le ebbe l'Osservatorio di Greenwich, quello di san Fernando in Spagna<sup>10</sup>. La grande tradizione portoghese la troviamo a Lisbona nel Museo della Marina.<sup>11</sup> Per Venezia c'è anche un servizio speciale di sorveglianza della Laguna.<sup>12</sup> Al termine di questa brevissima introduzione menziono Ostia, dove l'Università di Roma Tre ha aperto Ingegneria del mare, proprio sul Lungomare Caio Duilio.<sup>13</sup> La scuola navale Francesco Morosini di Venezia,<sup>14</sup> e l'Accademia navale di Livorno<sup>15</sup> sono i percorsi per gli Ufficiali della Marina. Gli Istituti Nautici (De Pinedo,<sup>16</sup> M. Colonna a Roma<sup>17</sup>) completano il panorama dell'offerta formativa, a cui si aggiungono i corsi veloci offerti a Sabaudia e a Taranto

---

<sup>6</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_22\\_2398](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_2398)

<sup>7</sup> <https://marine-conservation.org/us-ocean-governance>

<sup>8</sup> <https://www.cnmoc.usff.navy.mil/usno/>

<sup>9</sup> *Science on a Mission: How Military Funding Shaped What We Do and Don't Know About the Ocean* [Physics Today Webinar 25-Jan-2023](#)

<sup>10</sup> <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/cienciaobservatorio>

<sup>11</sup> <https://ccm.marinha.pt/pt/museu>

<sup>12</sup> <https://www.venezia.isprambiente.it/>

<sup>13</sup> <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-ingegneria/l/2021-2022/ocean-engineering-0580706200900002/>

<sup>14</sup> <https://www.marina.difesa.it/il-tuo-futuro-e-il-mare/formazione-in-marina/morosini/Pagine/default.aspx>

<sup>15</sup> [https://www.marina.difesa.it/il-tuo-futuro-e-il-mare/formazione-in-marina/accademia\\_navale/Pagine/default.aspx](https://www.marina.difesa.it/il-tuo-futuro-e-il-mare/formazione-in-marina/accademia_navale/Pagine/default.aspx)

<sup>16</sup> <https://www.itlroma.it/>

<sup>17</sup> <https://www.colonna.edu.it/index.php/it/?layout=edit&id=203>  
(biblioteca)

dalla Lega Navale Italiana,<sup>18</sup> la Sede di Ostia al lungomare Caio Duilio 36 ci ha visto ospiti virtuali con le osservazioni di tramonti tramite webcam.<sup>19</sup>

**1. La duna litorale e la berma** Tipico delle coste laziali, il sistema di dune litorali è il confine naturale del mare. Nel libro dei Proverbi (8, 29) “stabiliva al mare i suoi limiti, così che le acque non ne oltrepassassero i confini” viene espresso questo concetto di limite. La berma è quella zona in parte immersa in parte emersa dove si arresta il moto ondoso. Questa è più inclinata d’inverno che d’estate.<sup>20</sup> La batimetria presso la linea di riva anche ha un’evoluzione stagionale, con la presenza di secche, barre litorali più o meno pronunciate, ossia poco profonde. A Ostia-“cancelli” se ne trovano facilmente due entro i 100 m dalla riva, mentre l’andamento naturale è modificato con le **barriere soffolte** di scogli (presenti davanti a tutta la zona cittadina di Ostia, da Levante-Colombo a Ponente-Porto turistico). Si può dire che gli ultimi duecento metri di mare e i primi duecento metri di terra costituiscano, a tutti gli effetti, un sistema ben determinato dalla meccanica delle onde del mare, e della sabbia mossa dal vento: la regione litorale.<sup>21</sup>

---

<sup>18</sup> <https://www.leganavale.it/post/46503/corsi-nautici-estivi-2022>

<sup>19</sup> <https://www.leganavaleostia.it/webcam-ponente/>

<sup>20</sup> W. Bascom, *Onde e Spiagge*, Zanichelli, Bologna (1966).

<sup>21</sup> <https://www.treccani.it/enciclopedia/regione-litorale/>



Fig. 1 La duna a Ostia, terzo cancello, ingresso di ponente.



Fig. 2 Un cespuglio di *Juniperus phoenicea*, sul lato Nord. La duna fronte mare si eleva per circa 10-12 metri di quota sul livello del mare. Alle sue spalle ci sono altre dune, interamente ricoperte di vegetazione, macchia mediterranea, che si trovano nella riserva naturale del Litorale Romano, riservata al Presidente della Repubblica. Fu Giuseppe Saragat che il 7 agosto 1965 aprì alla cittadinanza i cancelli della spiaggia libera più grande

d'Europa.<sup>22</sup>



Fig. 3 e 4. Cespuglio e bacche di *Juniperus Phoenicea*, il cosiddetto *Ginepro Coccolone*.

Le coccole sono le bacche, che maturano in due anni.

Il ginepro è una pianta pioniera. In tempi molto lunghi, resistendo a temperature estreme e precipitazioni ridotte, e con pochi nutrienti a disposizione, conquista a poco a

---

<sup>22</sup> <https://www.turismoroma.it/it/luoghi/elenco-dei-cancelli-di-castel-porziano-spiagge-libere>

poco l'ambiente sabbioso battuto dai venti e arso dal Sole e dalla salsedine.



Fig. 5 Juniperus Communis, sempre sulla duna del cancello 3.

Queste conifere sono Cupressacee, ed i loro pollini anticipano anche di due mesi la comparsa in aria, rispetto al Cupressus Sempervirens delle nostre città, già nel mese di novembre. Questo tipo di Ginepro ha foglie simili a quelle dei Cipressi, mentre quello Fenicio le ha a punta, lisce e lanceolate.

Un esperimento interessante è quello della misurazione dell'altezza massima della duna fronte mare e dell'andamento della temperatura nel corso di una giornata estiva, appena sopra la superficie della sabbia, **sopravento e sottovento**, in presenza o meno di brezza marina.



Fig. 6 e 7 Altre erbe pioniere sulla duna: agly e camomilla.  
**2. La cella di Hadley locale e il regime di brezza** La brezza di mare sorge poco prima del mezzogiorno locale, quando l'insolazione ha scaldato molto la regione litorale. Con l'aumento della temperatura del suolo anche l'aria si riscalda velocemente e tende a salire verso l'alto, richiamando dal mare aria più fresca. Questo meccanismo si chiude in alto in un circolo che prende il nome di cella. George Hadley perfezionò nel 1735 il

modello di Edmund Halley sulla circolazione atmosferica planetaria tra l'equatore e i tropici,<sup>23</sup> specificando il ruolo della rotazione terrestre. Questo tipo di cella, localmente, senza bisogno di invocare la rotazione, spiega la brezza di mare di giorno, e quella di terra di notte.<sup>24</sup> La Treccani riporta che la brezza è una caratteristica delle regioni mediterranee tranne d'inverno, e la sua assenza è foriera di cambio del tempo.

Durante l'estate con il Sole che è più alto e più forte, il riscaldamento della terra è molto forte e sui rilievi montuosi più vicini al mare si formano le nubi cumuliformi. Dai colli Albani (alti fino a quasi mille metri) e 30 km a Est dai cancelli si levano durante il pomeriggio nubi torreggianti che giunte alla stratosfera vengono deviate verso il mare proprio dal richiudersi della cella. Durante l'estate l'energia fornita dal Sole è sufficiente a creare questo ciclo, che può concludersi anche con un temporale sul litorale verso le 5 del pomeriggio.



---

<sup>23</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Hadley\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Hadley_cell)

<sup>24</sup> [https://www.treccani.it/enciclopedia/brezza\\_\(Enciclopedia-Italiana\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/brezza_(Enciclopedia-Italiana)/)

Fig. 8 Dalla duna, verso Est, nubi cumuliformi. Monte Cavo 960 m è scuro in basso a sinistra. Le nubi torreggiano a 7000 metri, h 14:51.

Dalla spiaggia si perde la vista dei Colli Albani, ma l'evoluzione delle nubi è rapidissima. Un filmato di 47 minuti mostra questa stessa nube fino alle 15:51, quando ha già raggiunto il litorale a 30 km di distanza.



Fig. 9 la stessa nube della fig. 8 alle 14:58. Il top è a 9000 m.

Dai Colli Albani le nubi si alzano in soli 8 minuti fino alla tropopausa: <https://youtu.be/9dZIOVCNHBk> 15 giugno '22 h15-16.

La velocità verticale è di 1 km al minuto, impressionante!



Fig. 10 un'ora dopo h 16 la nube è arrivata sopra al mare coprendo 30 km in orizzontale, segno che la cella

“richiama” verso il mare.

La stessa dinamica atmosferica si osserva sul litorale Adriatico a Pescara rispetto al Gran Sasso (che è a 40 km a Ovest) e a Fossacesia rispetto alla Majella (40 km a Ovest). A Lanciano che è nell’entroterra a 30 km a Est della Majella quella pioggia pomeridiana è più probabile che sul litorale.



Fig. 11 Evoluzione di una nube cumuliforme in 45 minuti, 14/6 h 19.



Fig. 12 la nube della fig. 11 illuminata dal Sole cadente, sopra Roma.

Un'altra osservazione della cella di Hadley locale può essere condotta durante il viaggio in treno tra Roma e

Ostia. Se appena lasciata Roma ci sono delle nubi, sistematicamente ad Acilia –a metà strada- queste nubi raggiungono un massimo, per poi diradarsi e sparire verso il mare. Due celle adiacenti si toccano ad Acilia, a 9 km dal mare, come il modello seguente suggerisce.

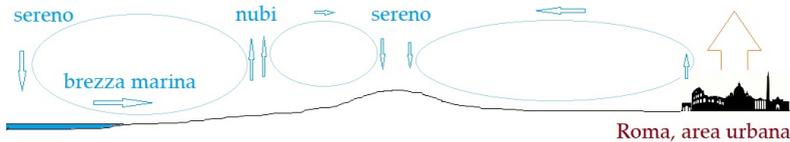


Fig. 13 Le celle locali di circolazione atmosferica tra Roma e il mare.

Queste celle mettono quotidianamente in comunicazione l'isola di calore di Roma con il mare che sta a 25 km di distanza verso Sud,<sup>25</sup> nel momento di maggior calore solare. Acilia è a circa 2/3 della distanza dell'isola di calore urbana di Roma dal mare Tirreno.

**7. METAR (METeorological Aerodrome Report)** Sia andando per mare, che restando a riva o su un pontile, sopra abbiamo il cielo e sotto l'acqua. Dunque non si può prescindere dalla conoscenza delle meteore,<sup>26</sup> come le chiamava Aristotele. Associate ad un determinato luogo e una determinata stagione, esse possono aiutare anche a prevedere il tempo meteorologico. A fronte di servizi online sempre più accurati di previsioni meteo e di analisi di dati da satellite,<sup>27</sup> i dati METAR forniti dagli aeroporti sempre da personale militare, sino ad anni molto recenti, sono indicativi della situazione meteo ora per ora, e sono accessibili anche alcuni mesi dopo nei siti

<sup>25</sup> C. Sigismondi, (2003)  
<http://www.icra.it/solar/sigismondi/STAR40/relazione.html>

<sup>26</sup> <https://cloudatlas.wmo.int/en/home.html>

<sup>27</sup> <https://www.meteoblue.com/>

opportuni,<sup>28</sup> senza richiedere abbonamenti. La stringa di un METAR include le variabili necessarie a comprendere i principali fenomeni osservabili.

**LIRP 141515Z 29007KT CAVOK 30/16 Q1015 NOSIG**

Questo METAR viene dall'aeroporto di Pisa con sigla LIRP, è del 14 (giugno) alle 15:15 Z=17:15 locali. Z sta per "zulu", ossia Greenwich senza ora legale. Da 290° di azimut, viene un vento di 07 Knots= 7 nodi=12.85 km/h. CAVOK la visibilità è OK, la temperatura è di 30°C e quella di rugiada di 16°C (a cui l'umidità condenserebbe). La pressione atmosferica ridotta al livello del mare è 1015 hPa. No altri segnali. L'umidità al 43% è una conseguenza delle due temperature misurate. Più le due cifre sono simili, più l'umidità tende al 100%, e la visibilità si riduce per nebbia o foschia.

La corrispondenza tra le due temperature e l'umidità relativa si deduce dalle tabelle di saturazione per l'atmosfera standard.

C'è poi una previsione meteo TAF (Terminal Area Forecast) a breve termine. Infine esistono anche stazioni meteorologiche marine, con l'indicazione della temperatura del mare e "pesantezza" delle onde, es.

**W12/S8** Water=12°C onde S=8 pesanti (max 9).<sup>29</sup>

L'accuratezza di una osservazione meteorologica viene capita leggendo questo sito <https://metar-taf.com/it/explanation> in cui si vede un'articolazione ben dettagliata rispetto al classico "brutto tempo". Le velocità sono espresse in nodi, ossia in miglia marine all'ora, ossia 1837 m/h. Un miglio

---

<sup>28</sup> <https://metar-taf.com/it/LIRP> es. aeroporto di Pisa Galileo Galilei

<sup>29</sup><https://metar-taf.com/it/explanation> qui è la spiegazione complete delle voci. da consultare ogni volta per avere chiaro il codice dei METAR e tutte le possibili osservazioni meteorologiche.

marino corrisponde ad 1' di latitudine che, essendo letto su un cerchio massimo, ha lo stesso valore per tutti i punti della Terra. Ricordiamo che  $60' = 1^\circ \approx 111 \text{ km}$  e tutto il giro  $360^\circ$  sono circa 40.000 km. La pressione atmosferica si misura in hPa, ma può trovarsi espressa anche in millibar (mb) ed è riportata al livello del mare. La **US Standard Atmosphere 1976**<sup>30</sup> è valida per moderata attività solare

<https://www.digitaldutch.com/atmoscalc/> .

## 8. L'oceano nelle antiche mappe medievali



Fig. 14 La fontana dei fiumi a Piazza Navona: tutti i fiumi sfociano a mare e tutti i mari sono in comunicazione tramite il fiume Oceano, che circonda le terre emerse. Questa è la geografia medievale.

La fontana del Bernini a Piazza Navona, sormontata

<sup>30</sup> R. Mizner, *Rev. Geoph.* 15, 375 (1977)

dall'obelisco egizio, non solo rappresenta la geografia a quattro continenti, ma anche il mare Oceano, o fiume che dir si voglia, attorno all'ecumene abitato e non. Prima della scoperta dell'America i continenti recensiti nella cartografia medievale erano tre. La tradizione che attribuisce ai Magi il numero di tre è legata anche a questa ragione: essi rappresentavano tutta la Terra davanti a cui si manifestava il Cristo. Uno è nero, e rappresenta l'Africa, gli altri due l'Europa e l'Asia.



Fig. 15 Il presepe con i Magi.  
La mappa della Cattedrale di Burgo de Osma mostra la struttura a 3.



Fig. 16 La mappa della Cattedrale di Burgo de Osmà (1086); sulla destra si vede un quarto continente abitato da uno sciapode, ossia uno che si fa ombra con i propri piedi. L'oceano è tutto attorno.

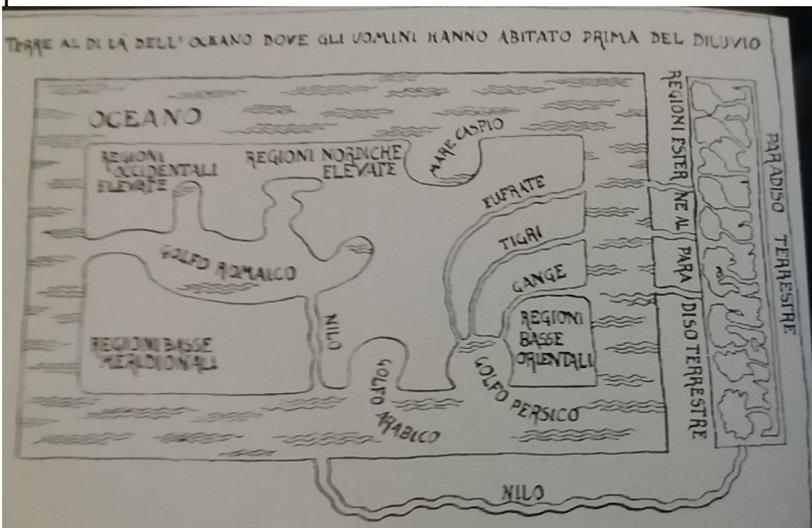


Fig. 17 Uno schema del mondo tripartito medievale.

Anche in questo caso l'Oceano circonda le terre emerse, o  
*Abbraccia terre il gran padre Oceano.* (Foscolo, *I Sepolcri*, v.  
99)



Fig. 18 Oceano, nella fontana di Trevi, circondato da cavalli marini.

## 9. Misure della corrente marina dal punto di vista langrangiano

Si possono fare con il mare calmo, usando dei boli di poseidonie, come quello fotografato in fig. 19.



Fig. 19 Egagropilo dalla spiaggia di Ostia, di circa 45 mm di diametro.

Questi oggetti, volgarmente chiamati “palle di Nettuno” hanno lo stesso peso specifico dell’acqua marina e rimangono a mezza altezza nel mare. Li ho osservati per decine di minuti consecutivi tracciare il percorso di una corrente marina.

Questo è il punto di vista lagrangiano, dentro il fluido, mentre quello euleriano, lo ricordiamo, è quello affacciati dal ponte osservando la corrente.

Queste correnti litorali hanno origine mareale, e trasportano con costanza i sedimenti, Quelli del Tevere hanno condizionato la costa laziale modificandola anche sostanzialmente nel corso degli ultimi secoli, come le testimonianze storiche confermano.



Fig. 20 la linea di Costa alla foce del Tevere dal 100 d.C. al presente.

## 9. Maree e sesse nel Tirreno

Il Tirreno centrale, come l'Adriatico centrale, presentano delle maree dalle escursioni piuttosto limitate, che giungono ad un'ampiezza massima di 50 cm alle sizigie equinoziali. Pertanto la componente più significativa delle oscillazioni del livello marino sono le sesse, di origine meteorologica, che sovente hanno ampiezze dell'ordine dei 30 cm e periodicità attorno ai 40 minuti.

Le sesse, che sono tecnicamente onde lunghe in acqua bassa, anche se il mare è profondo oltre 1000 m, giacché la loro lunghezza d'onda è molto più lunga, si comportano come tutte le onde lineari, ossia vale il principio di sovrapposizione. Varie onde sovrapposte tra loro non si influenzano a vicenda, e spesso ciò che si osserva è una serie di treni d'onda sovrapposti tra loro, col risultato di vedere un pattern irregolare di oscillazioni del livello globale del mare.

Se alle sesse e alla marea si aggiunge il vento, può accadere –anche nel mare nostrum– una *enchente de maré*,<sup>31</sup> ossia che l'intero livello marino si alzi e tracimi nelle zone costiere depresse. È proprio ciò che è accaduto a Ostia il 22 novembre 2022 (in questo volume, p. 67).

La ricorrenza di tali fenomeni, però, non è tanto rara quanto si possa credere, infatti le condizioni per queste inondazioni, sia pur limitate, si presentano spesso nel mese di Novembre. Considerarle una fatalità è l'errore a cui viene indotta l'opinione pubblica, che poi paga i danni a strutture abusive, con le tasse.

## 10. Paleomari: le barriere coralline del Tetide a Roma

---

<sup>31</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Inondazione\\_di\\_San\\_Marcello\\_\(1362\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Inondazione_di_San_Marcello_(1362))

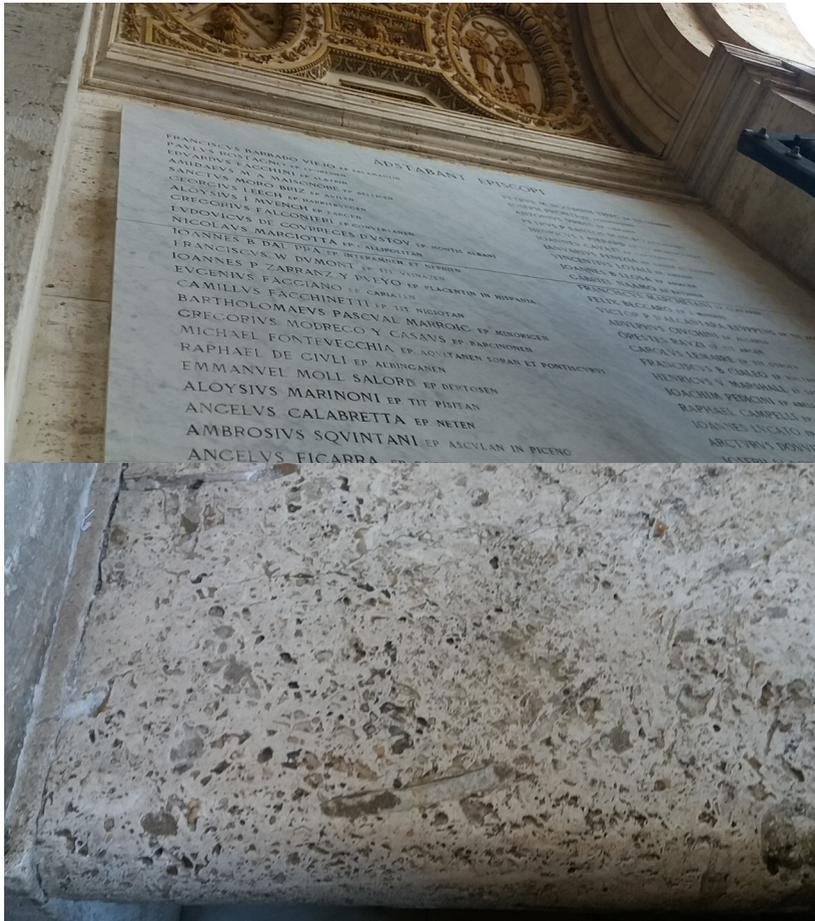


Fig. 21 Portico della Basilica di S. Pietro, sedile del portone centrale, sotto l'iscrizione con i vescovi presenti alla proclamazione del Dogma dell'Assunta.

Come tutto il travertino del Colonnato di San Pietro, anche quello che troviamo nella Basilica ha una chiara origine bentonica, come possiamo vedere meglio nel dettaglio di fig. 22.



Fig. 22 Conchiglia fossile inclusa nel bentos miocenico <sup>32</sup>



Fig. 23 Muschio tra i fossili bentonici miocenici, Colonnato Nord-Nord Est di piazza San Pietro.

Si può dire che tutto il marmo travertino di San Pietro e del Colonnato sia stato in fondo all'Oceano Tetide durante il Miocene, e ne porta tracce evidenti.

---

<sup>32</sup> G. B. Brocchi, Milano, 1845  
<https://archive.org/details/conchiologiafos03brocgoog>

## Fenomeni equinoziali a san Pietro in Vaticano

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

*(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)*

Submitted September 22<sup>nd</sup> 2022, accepted September 23<sup>rd</sup> 2022

**Abstract** The Basilica of St. Peter in Vatican is oriented with the façade toward East and the absis toward West. The axis is oriented  $89^{\circ}38'$  through the sunrise observed from inside the Basilica on 20 September 2022.

The meridian line projected by Egnazio Danti in 1586 and realized in 1817 shows the alignment between the three-dimensional star above the obelisk-gnomon and the bi-dimensional star on the equinoctial disk of the meridian line on 21 September 2022. The exact alignment occurs 24 hours before the true equinox. The inclination of the uppermost cross toward West has been evaluated in 3 cm, along 2 meters of height. The tie rods guarantee the stability of the 5-m tall structure in the windy days.

**Sommario** La Basilica di San Pietro è orientata Est-Ovest con la facciata ad Est. Il sorgere del Sole il 20 settembre 2022, osservato dall'interno di San Pietro ci conferma che l'asse maggiore della Basilica è orientato a  $89^{\circ}38'$ . La linea meridiana progettata da Egnazio Danti nel 1586 e realizzata in granito nel 1817 in piazza san Pietro, mostra l'allineamento tra la stella tridimensionale sopra all'obelisco e quella nera bidimensionale sul disco degli equinozi posto sulla linea di granito, il giorno 21 settembre 2022. L'allineamento esatto tra le due stelle capita 24 ore prima del vero equinozio. L'inclinazione della croce sommitale verso Ovest è stata valutata in 3 cm, su un'altezza complessiva di 2 metri. I tiranti garantiscono la stabilità della struttura sommitale, alta ben 5 metri, nelle giornate ventose.

**Keywords:** Gnomonics, Saint Peter's Basilica, Vatican, Meridian line.

**Introduzione:** Nel libro del profeta Ezechiele è descritta una visione ambientata nel tempio di Dio,<sup>1</sup> la cui gloria entra da

---

<sup>1</sup> Ez 43, 1-7

[Quell'uomo] mi condusse verso la porta che guarda a oriente ed ecco che la gloria del Dio d'Israele giungeva dalla via orientale e il suo rumore era come il rumore delle grandi acque e la terra risplendeva della sua gloria.

La visione che io vidi era simile a quella che avevo visto quando andai per distruggere la città e simile a quella che avevo visto presso il fiume Chebar. Io caddi con la faccia a terra. La gloria del Signore entrò nel tempio per la porta che guarda a oriente. Lo spirito mi prese e mi condusse nel cortile interno: ecco, la gloria del Signore riempiva il tempio. Mentre quell'uomo stava in piedi accanto a me, sentii che qualcuno entro il tempio mi parlava e

Oriente. Sempre in Ezechiele<sup>2</sup> la facciata del tempio guarda ad Oriente. Nel magistero di papa Francesco (2017) c'è un accenno all'orientamento antico delle chiese<sup>3</sup> con l'ingresso a Occidente e l'abside a Oriente, che è opposto all'orientamento della Basilica Vaticana. Francesco nota come gli *uomini dell'epoca moderna, siano molto meno abituati a cogliere i grandi segni del Cosmo*, che qui andiamo a misurare con precisione astrometrica utilizzando un orologio radiosincronizzato e le effemeridi del Sole aggiornate al 2022 e verificate al secondo d'arco alla Meridiana Clementina a Roma

---

mi diceva: «Figlio dell'uomo, questo è il luogo del mio trono e il luogo dove posano i miei piedi, dove io abiterò in mezzo ai figli d'Israele, per sempre».

<sup>2</sup> Ez 47, 1-6

Mi condusse poi all'ingresso del tempio e vidi che sotto la soglia del tempio usciva acqua verso oriente, poiché la facciata del tempio era verso oriente. Quell'acqua scendeva sotto il lato destro del tempio, dalla parte meridionale dell'altare. 2 Mi condusse fuori dalla porta settentrionale e mi fece girare all'esterno fino alla porta esterna che guarda a oriente, e vidi che l'acqua scaturiva dal lato destro. 3 Quell'uomo avanzò verso oriente e con una cordicella in mano misurò mille cubiti, poi mi fece attraversare quell'acqua: mi giungeva alla caviglia. 4 Misurò altri mille cubiti, poi mi fece attraversare quell'acqua: mi giungeva al ginocchio. Misurò altri mille cubiti, poi mi fece attraversare l'acqua: mi giungeva ai fianchi. 5 Ne misurò altri mille: era un fiume che non potevo attraversare, perché le acque erano cresciute, erano acque navigabili, un fiume da non potersi passare a guado. 6 Allora egli mi disse: «Hai visto, figlio dell'uomo?».

<sup>3</sup> Ci fu un tempo in cui le chiese erano orientate verso est. Si entrava nell'edificio sacro da una porta aperta verso occidente e, camminando nella navata, ci si dirigeva verso oriente. Era un simbolo importante per l'uomo antico, un'allegoria che nel corso della storia è progressivamente decaduta. Noi uomini dell'epoca moderna, molto meno abituati a cogliere i grandi segni del cosmo, quasi mai ci accorgiamo di un particolare del genere. L'occidente è il punto cardinale del tramonto, dove muore la luce. L'oriente, invece, è il luogo dove le tenebre vengono vinte dalla prima luce dell'aurora e ci richiama il Cristo, Sole sorto dall'alto all'orizzonte del mondo (cfr Lc 1,78). Udienza Generale 2 agosto 2017

[https://www.vatican.va/content/francesco/it/audiences/2017/documents/pa-pa-francesco\\_20170802\\_udienza-generale.html](https://www.vatican.va/content/francesco/it/audiences/2017/documents/pa-pa-francesco_20170802_udienza-generale.html)

### Levate equinoziali del Sole a san Pietro

Dalla piazza san Pietro si può osservare l'allineamento con l'asse prospettico di via della Conciliazione e il sorgere del Sole nei giorni compresi tra il 16 e il 23 settembre. Il 18 e 19 il Sole sorge da Monte Guadagnolo (1218 m) dove l'imperatore Costantino fece costruire un santuario in onore di s. Eustachio dove Cristo gli era apparso tra le corna di un cervo. Costantino nel 318 fece iniziare i lavori per la costruzione di san Pietro sul colle Vaticano, e l'orientamento è proprio quello del punto del sorgere del Sole il 20 settembre. In questa stessa data la Chiesa ricorda proprio S. Eustachio, a cui è dedicata una chiesa, in Roma, molto vicino al Pantheon. Sul timpano di questa chiesa è posta la croce tra le corna del cervo.

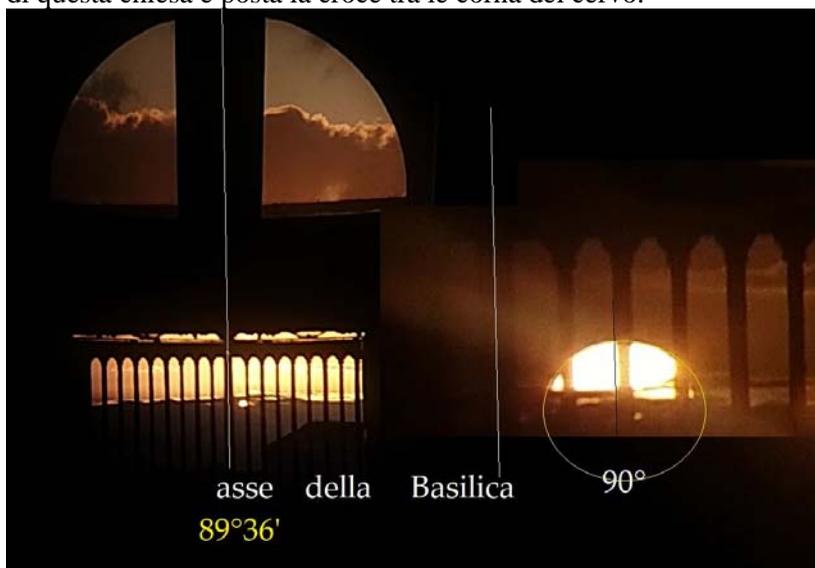


Fig. 1 L'istante dell'apparizione del Sole il 20 settembre 2022 alle 7:07:26 ad azimut  $89^{\circ}48'$  e momento in cui raggiunge l'Est a  $90^{\circ}$ .

L'asse della Basilica, a cui le porte e i cancelli sono allineati, guarda a  $89^{\circ}36'$ , usando il diametro solare di  $1910''$  come riferimento. Con l'istante di apparizione si determina l'azimut del lembo superiore del Sole; il video dell'intero fenomeno è registrato su youtube.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> <https://youtu.be/zEChn1DT1UU> levata 20.9 in san Pietro

Anche le levate dal 19 al 23 settembre sono registrate anche su youtube.<sup>5</sup>



Fig. 2 L'ombra dell'obelisco alle 7:13:13 del 22 Settembre 2022

L'ombra dell'obelisco è addossata al secondo pilastro di ordine gigante alla destra dell'asse della facciata, al momento del sorgere del Sole era addossato al primo pilastro (video del 22.9). L'obelisco non è in asse con la Basilica, e questo spostamento può attribuirsi all'intenzione di far entrare la luce del Sole proprio sull'asse della Basilica, fino all'altare della Confessione (video del 20.9) nella nuova Basilica di san Pietro, iniziata dal 1502 da papa Giulio II, mantenendo lo stesso allineamento della Basilica Costantiniana.

---

<sup>5</sup> <https://youtu.be/vZbIuJn5S00> levata 22.9 obelisco pilone NE  
<https://youtu.be/mStzgrfivxM> levata 21.9 fondo san Pietro E  
<https://youtu.be/xrJKmlQ03ks> l'ombra dell'obelisco su facciata 21.9  
<https://youtu.be/zECHn1DT1UU> levata 20.9 in san Pietro  
<https://youtu.be/yK271Y5MUVg> levata 19.9 obelisco pilone E

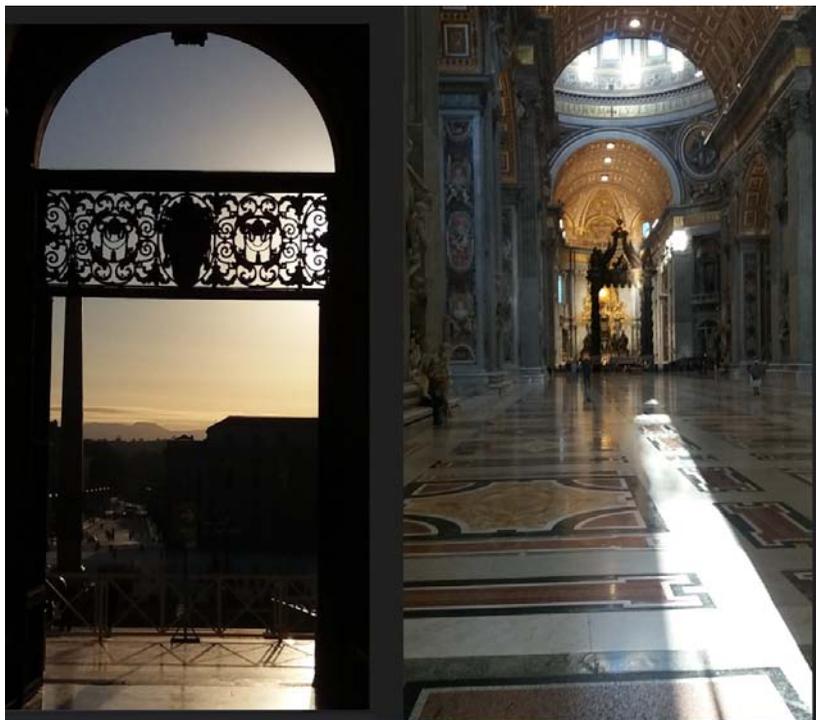


Fig. 3 Monte Guadagnolo, in asse con la Basilica, e raggi del Sole che illuminano l'interno della Basilica il 19 settembre 2022 alle 7:37

### **Monte Guadagnolo, l'Oriente ed il Concilio di Nicea**

L'orientamento dell'asse della Basilica è inequivocabilmente verso un punto differente dall'Est,  $90^\circ$ , di  $24^\circ$ , ossia di  $\frac{3}{4}$  del diametro angolare del Sole (e anche della Luna).

La scelta dell'orientamento dell'edificio, fatta dagli architetti di Costantino, sembra vincolata al Monte Guadagnolo e al punto ortivo del Sole il giorno di S. Eustachio (20 settembre).

La riforma gregoriana del Calendario (1582) ha riportato lo *status quo* relativo al rapporto tra astronomia e calendario al Concilio di Nicea (325) per cui il 20 settembre di allora il Sole sorgeva all'incirca nello stesso punto di oggi, a quattro secoli (un intero ciclo gregoriano) e quattro decenni dal 1582. Analogamente gli equinozi ed i solstizi sono stati riportati ai giorni 21 del mese, come era stato

constatato a Nicea. Sappiamo invece che le date erano spostate al 25 del mese dopo la riforma di Giulio Cesare del 46 a. C.

La coincidenza del Natale col Solstizio invernale era vera, dunque, proprio alla nascita di Cristo, ma non era più così al Concilio di Nicea e, quindi, neppure oggi.

L'orientamento della Basilica di San Pietro a Est è quindi da attribuire alla volontà di cogliere il luogo dove Cristo apparve al soldato romano Eustachio, proprio sul monte Guadagnolo.

Proprio come suggerisce la profezia di Ezechiele “la Gloria del Dio di Israele giungeva dalla via orientale”, verificata entro 24' d'arco da S. Eustachio visto dal colle Vaticano, luogo del martirio e del sepolcro di Pietro, principe degli Apostoli.

**La stella tridimensionale sull'obelisco, proiettata su quella bidimensionale del disco degli equinozi**

## **Eclissi parziale di Sole del 25 ottobre 2022 e frequenze**

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

*(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)*

Submitted October 27<sup>th</sup> 2022, accepted October 31<sup>st</sup> 2022

**Abstract** The real partial eclipses of the Sun, which are not central on any place on Earth, are rarer than the central ones. The eclipse of 25 October 2022 observed at the Meridian Line of St. Maria degli Angeli in Rome, allowed us to determine its partial nature. The next eclipse in Rome will be on March 29, 2025 after a whole Metonic Cycle from the past one in 2006.

**Sommario** Le vere eclissi parziali di Sole, cioè che non sono centrali in nessuna zona del Mondo, sono più rare di quelle centrali (totali o anulari). L'eclissi del 25 ottobre 2022 osservata alla meridiana di s. Maria degli Angeli a Roma, ci ha fornito dati sufficienti per determinarne la parzialità sulla base dei soli dati osservativi e dei diametri e distanze di Terra, Sole e Luna. La prossima eclissi a Roma avverrà il 29 marzo 2025, dopo un ciclo di Metone dalla precedente del 2006.

**Keywords:** Celestial Mechanics, Solar eclipses, Partial Eclipses, Metonic Cycle, Saros Cycle.

**Introduzione:** già Carlo Magno si informava nell'anno 810 circa le due eclissi di Sole che gli astronomi avevano previsto per quell'anno. Dúngal gli spiegò, in una lettera,<sup>1</sup> che le eclissi avvenivano ai due poli della Terra. Nell'appendice matematico-astronomica aggiungevo una discussione sulla frequenza delle varie eclissi di Sole e di Luna, concludendo che le eclissi erano equamente distribuite tra i due astri, a patto di considerare anche le eclissi penombrali di Luna, durante le quali -da un punto in penombra della Luna- si vede il Sole in eclissi parziale da parte della Terra. Adesso la questione è un caso particolare: tra tutte le eclissi di Sole quante sono quelle veramente parziali? Svolgeremo un modello geometrico per rispondere a questa domanda.

**L'eclissi del 25 ottobre 2022 alla Meridiana Clementina**

L'osservazione dell'eclissi sulla Linea Clementina (1702) ci

---

<sup>1</sup> Paolo Zanna e Costantino Sigismondi, Dúngal Letterato e Astronomo (2004) <https://arxiv.org/abs/1211.3687>

consente di svolgere dei calcoli geometrici per localizzare il punto di centralità e capire la sua natura realmente parziale.

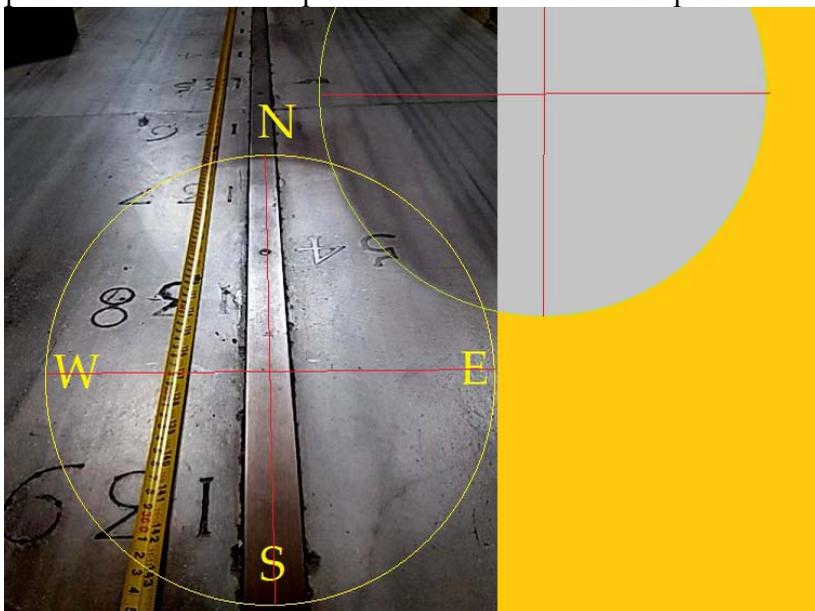


Fig. 1 L'immagine del Sole in eclissi sulla meridiana orientata come appariva in cielo alle 12:54:20. Il profilo della Luna è riprodotto con lo stesso diametro (416 pixel) e la distanza tra i centri è  $256\sqrt{2}=362$  pixel=0.87 diametri.

Nell'ipotesi che Luna e Sole abbiano lo stesso diametro angolare (erano rispettivamente Sole 32'10" e Luna 32' 04") possiamo stimare che la distanza tra i centri fosse  $28' \approx 0.87 \cdot 32.1'$ . La direzione per aumentare la magnitudine dell'eclissi con la parallasse della Luna è verso Nord- Est.

Tuttavia dobbiamo capire se si trova un punto sulla Terra dove i centri di Luna e Sole sono allineati, e in tal caso l'eclissi è "centrale" oppure se è una vera eclissi parziale.

### **La geometria dell'eclissi e il punto subsolare**

Il 25 ottobre 2022 il Sole era a declinazione  $-12^\circ$ , ciò significa,

nella migliore tradizione della Geografia Astronomica, che a latitudine  $12^\circ$  S il Sole passa allo zenit. Roma si trova a  $42^\circ$  N, ossia  $54^\circ$  sopra il punto subsolare. Rispetto al disco terrestre illuminato dal Sole, di cui il punto subsolare rappresenta il centro, Roma è a  $6378 \cdot \sin(54^\circ) = 5160$  km sopra il punto subsolare. La distanza dal limite della notte polare al mezzodì è  $6378 - 5160 = 1218$  km. Entrambe queste distanze non sono lungo il meridiano, ma proiettate lungo un diametro passante per il centro della Terra. Il disco terrestre in figura 2 è delimitato dal terminatore, dove il Sole è all'orizzonte.

Poiché la centralità la troverei a Nord-Est muovendomi di 0.87 diametri lunari (nell'ipotesi di Sole "puntiforme" e quindi raggi paralleli) cioè  $0.87 \cdot 3480 \approx 3027$  km, questo punto va ben fuori della sfera terrestre. Per questo l'eclissi del 25 ottobre 2022 è stata veramente parziale, per tutta la Terra.

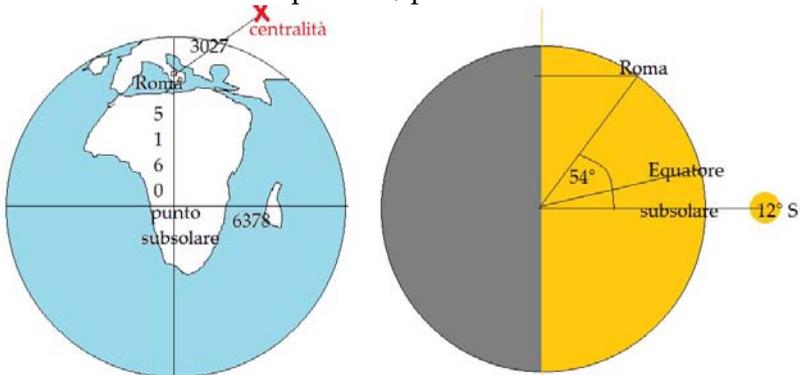


Fig. 2 Geometria dell'eclissi del 25 ottobre 2022 a raggi paralleli. Il disco di destra mostra il punto subsolare e quello di sinistra il punto di centralità. Le distanze e gli angoli sono dal centro della Terra. Il Sole è a declinazione  $12^\circ$  Sud. Con i dati di fig. 1 l'eclissi sarebbe massima a Nord-Est da Roma, in Siberia.

### Geometria della striscia di totalità

L'approssimazione di raggi paralleli va bene per distinguere

l'eclissi parziale da quella centrale in base all'allineamento dei centri. Se è fuori dal disco terrestre è parziale, se no, centrale. Accenniamo ora alle eclissi centrali, e poiché i raggi del Sole non sono paralleli, la striscia di totalità durante un'eclissi non è ampia 3480 km, bensì meno di un decimo di tale valore. Alla distanza media Terra-Luna di 378000 km nel punto sublunare, sulla superficie della Terra, i raggi del Sole formano tra loro un angolo di 1/100 di radiante, e quindi spazzano 3780 km a quella distanza, ossia soli 300 km in più del diametro lunare, avremmo così un'eclissi anulare. Per la totalità è necessario che la Luna sia più vicina, e con continuità si può passare dall'eclissi ibrida (anulare-totale) a quella totale vera e propria. Nel punto sublunare l'eclissi ha sempre la magnitudine massima, e prima e dopo la distanza tra l'osservatore e la Luna aumenta perciò la magnitudine diminuisce. Rispetto alla geometria di raggi paralleli che ha semplificato notevolmente i calcoli, ci rendiamo conto che comunque la centralità dell'eclissi dipende solo dalla linea di vista con i centri di Sole e Luna, se poi il cono d'ombra della Luna si chiude prima di arrivare alla superficie della Terra l'eclissi è anulare, se la chiusura del cono avviene dentro la superficie della Terra, l'eclissi è totale.

### **Magnitudine dell'eclissi del 25 ottobre 2022 alle 12:54:20**

Sempre utilizzando la foto di figura 1, possiamo stimare la **magnitudine pari al rapporto tra diametro occultato e tutto il diametro solare**. Sulla fig. 1 sono 98 pixel su 416 di diametro del Sole, quindi la magnitudine  $M=0.2283$  in quel momento. Le effemeridi (Stellarium 0.20) danno  $M=0.169$ . Questo è il limite della foto, ritoccata con 55% in verticale e 60% in orizzontale dall'originale; un algoritmo che non restituisce l'eclissi reale, perché non è stata presa dalla verticale. La foto in fig. 3 (originale fotografato da Enrico Giuliani) lo è quasi

esattamente, e ci consente calcoli più accurati. E' stata accorciata del 60% in verticale, proporzione trovata empiricamente, ma determinata dal Sole alto  $36^\circ$  sopra l'orizzonte o  $54^\circ$  dallo zenit. La Luna entra di 76.5 pixel e il diametro del Sole è di 475 pixel.



Fig. 3 Eclissi di Sole alle 12:53 del 25 ottobre 2022 prima di toccare la linea meridiana. La magnitudine misurata è 83 px su 462,  $M=0.177$ , senza correzioni di penombra del foro stenopeico. Le effemeridi per la stessa ora e luogo danno  $M=0.176$ , con differenza 0.5%: l'algoritmo usato è corretto.

Con la figura 3 possiamo ripetere i calcoli fatti con la fig. 1. La distanza tra i centri è  $100-17.7=82.3\%$  del diametro del Sole e della Luna, quindi 2864 km, verso Nord-Est: ciò non muta il risultato di fig. 2, comunque l'eclissi è parziale.

### **Tempi di transito dei bordi solari e dei corni lunari**

È possibile ricostruire la geometria dell'eclissi con la precisione relativa dell'1% considerando i tempi di passaggio dei lembi solari e dei "corni" lunari sulla meridiana, e le loro posizioni.

Sole:  $t_1=12:53:13$ ;  $t_2=12:55:30$  non visibile estrapolato dal 26-X

Luna:  $t_1=12:55:00.5$ ;  $t_2=12:55:28.5$

Sole: lembo Sud            28345 mm            lembo Nord    27786 mm

Luna: corno Sud            28109 mm            corno Nord    27843 mm

Traducendo in altezza sopra l'orizzonte quelle posizioni, al netto della rifrazione di Cassini  $60'' \cdot \tan(z)$ , si ottiene con 20353.44 mm di altezza del foro stenopeico

Sole: lembo Sud  $35.6571^\circ$  lembo Nord  $36.2000^\circ$

Luna: corno Sud  $35.8846^\circ$  corno Nord  $36.1440^\circ$

E rispetto al centro del Sole

Sole: lembo Sud  $-16.285'$  lembo Nord  $+16.285'$

Luna: corno Sud  $-2,640'$  corno Nord  $+12.923'$

Queste 4 coordinate vengono riportate sulla figura circolare, di raggio  $16.285^\circ$ . Per i tempi, invece, il raggio risulta maggiore, infatti traducendo i tempi in angoli, rispetto al centro del Sole:

Sole:  $t_1=-16.75'$ ;  $t_2=+16.75'$  non visibile estrapolato dal 26-X

Luna:  $t_1=9.53'$ ;  $t_2=16.385'$

Per via dell'effetto penombra che è massimo in questa direzione, ossia la dimensione geometrica del foro stenopeico influisce sulla dimensione angolare trasversa del Sole, di 25 mm, oscurati a 14 mm, su 35 metri di distanza focale (1/2500) cioè  $1.37'$  in più, che fanno  $0.69'$  per il raggio. Questo modello geometrico è poi ulteriormente corretto dalla luminosità del cielo (velato o sereno) per cui la correzione effettiva era  $0.465'$  durante il transito in eclissi. In definitiva abbiamo 4 punti per il Sole e 2 per la Luna, con l'ipotesi aggiuntiva che la Luna ha lo stesso raggio del Sole.

Riportando i punti presi sulla meridiana (le y vincolate a stare sul cerchio del Sole) in figura abbiamo una magnitudine  $M=0.139$ , una volta fatta passare una Luna di uguale diametro al momento del passaggio meridiano, significativamente inferiore al valore delle effemeridi, mentre riportando i tempi (le x vincolate a stare sul cerchio solare) si ottiene  $M=0.1712$  in ottimo accordo con i valori delle effemeridi  $M=0.169$ .

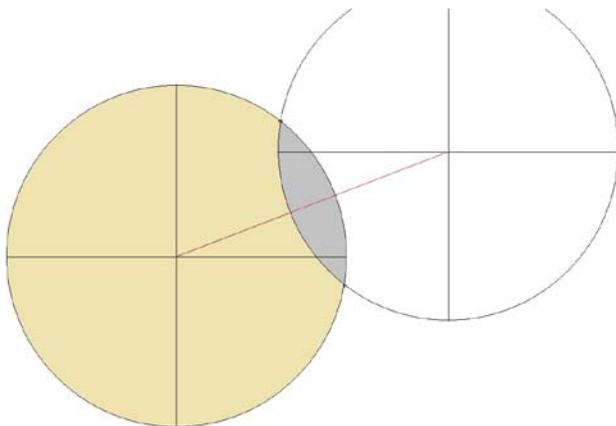


Fig. 4 Sole e Luna dalle posizioni dei lembi, forzati su due cerchi uguali.  $M=0.139$

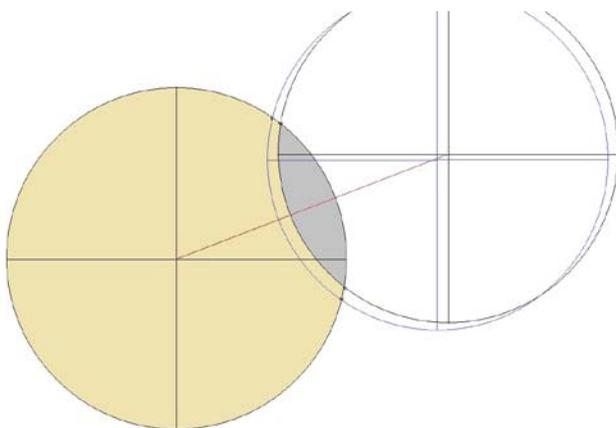


Fig. 5 Sole e Luna dai tempi di passaggio in meridiano, forzati su due cerchi uguali.  $M=0.1712$  (cerchio lunare blu più a sinistra)

### **Frequenza delle eclissi parziali di Sole**

Usando lo stesso approccio dei raggi paralleli per la figura 2 ragioniamo sull'allineamento dei centri di Sole e Luna. Le

distanze medie rispettive dal centro della Terra sono di 149,6 milioni di km e di 384400 km. I diametri di Terra e Luna sono 12756 km e 3480 km. Le proiezioni del centro della Luna che cadono sul disco terrestre (proiezione della semisfera illuminata dal Sole) corrispondono ad eclissi centrali; quelle che cadono fino ad un raggio lunare dal disco sono eclissi parziali. Dunque il rapporto tra l'area della sola corona circolare di un raggio lunare RL attorno al disco terrestre e quella del disco di raggio RL+RT lunare + terrestre è la frequenza cercata. In formule ciò è dato da

$\varphi = \frac{[(RL+RT)^2 - RT^2]}{(RL+RT)^2} = 1 - \frac{RT^2}{(RL+RT)^2}$ . Sostituendo i valori dei raggi terrestri e lunari si ottiene  $\varphi = 0.3827$

Questo risultato non tiene conto della variazione delle distanze di Sole e Luna dal centro della Terra, pertanto è solo indicativo. Dal punto di vista della frequenza possiamo consultare un sito specializzato in eclissi: [timeanddate](https://timeanddate.com).<sup>2</sup> La statistica su 1000 anni di eclissi solari è disponibile anche su altri siti,<sup>34</sup> in particolare ci sono 840 eclissi parziali, 791 anulari e 635 totali e ancora 114 ibride. Quindi la frequenza delle parziali su tutte è  $\varphi = 840/2380 = 0.3529$ , vicino al nostro modello.

### **Periodicità Metonica delle eclissi**

Ci sono molti articoli sulle periodicità delle eclissi, il più completo è di Fred Espenak, della NASA.<sup>5</sup> Per quanto riguarda la prossima eclissi a Roma, il 29 marzo 2025, questa capiterà 19 anni dopo un'altra nel 2006. La periodicità di 19 anni, trovata da Metone nel VI secolo a. C., riporta la Luna nella stessa fase e nello stesso giorno dell'anno, entro 2 ore di precisione. È stata sufficiente per questa eclissi solare, ma le

---

<sup>2</sup> <https://www.timeanddate.com/eclipse/once-in-a-thousand-years.html>

<sup>3</sup> <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/SE2001-2100.html> qui sono 34.4%

<sup>4</sup> <https://vaonis.com/duration-frequency-solar-eclipses>

<sup>5</sup> <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEaros/SEperiodicity.html>

congiunzioni del 29/3/1987<sup>6</sup> e 2044<sup>3</sup> non danno eclissi a Roma, mentre le eclissi totali di Luna del 21/1/2000, 2019 e 2038 ci sono.<sup>7</sup> Il Saros risulta più accurato nella ripetizione delle eclissi.

### **Diametro del Sole e misure stenopeiche di durata dell'eclissi**

Il principio è semplice: si misura la durata osservata dell'eclissi e la si confronta con quella teorica delle effemeridi, calcolate a diametro solare standard di 1919.26" ad 1 UA, e dal rapporto dei tempi di durata si ottiene il diametro puntuale.

Per l'eclissi osservata in s. Maria degli Angeli abbiamo due filmati di inizio e fine riportati al sito

[https://www.youtube.com/playlist?list=PLJaer2KV492\\_Nu3nC aB3LhVxKXsAHhR7S](https://www.youtube.com/playlist?list=PLJaer2KV492_Nu3nC aB3LhVxKXsAHhR7S)

Quello di inizio mostra 11:25:36 come istante iniziale, mentre sul posto il riconoscimento è avvenuto 45 secondi dopo.



Fig. 6 Fotogrammi del video di inizio eclissi (11:28:00) con la Luna in alto e di quello di fine eclissi (13:10:40) Luna a sinistra.

Nel video finale l'istante di fine eclissi è nascosto dalle nubi, per cui bisogna operare un'estrapolazione. È comunque dopo le 13:18:10, momento in cui la magnitudine dell'eclissi è il 6 %.

<sup>6</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_eclipse\\_of\\_March\\_29,\\_1987](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_eclipse_of_March_29,_1987)

<sup>7</sup> <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEdecade/LEdecade2001.html>

L'estrapolazione da 5 fotogrammi compresi tra 4 min 24 s e 7 min 26 s dall'inizio del video porta all'azzeramento della corda 490 s, cioè 8 min 10 s dopo l'inizio -alle 13:10:31- del video, quindi alle 13:18:41.



Fig. 7 Le immagini di cui sono state misurate le corde in rapporto alla lunghezza del diametro, per estrapolare l'istante di ultimo contatto tra Sole e Luna. Si tratta di immagini proiettate dalla lente equinoziale (fatta nel 2000) della cupola d'ingresso di Santa Maria degli Angeli, poco fuori fuoco; le macchie solari apparivano oblunghe: è l'astigmatismo di Petzval intra o extra focale.

La durata osservata dell'eclissi è stata 2 ore - 7 min +5 s, 6785 s, la durata teorica era tra 11:25:31 (-5 s) e 13:19:00 (+19 s) 6811 s. Non è il diametro solare che si è ridotto di 6.76", ma l'effetto penombra del foro stenopeico pari a -1.4", inferiore a quello dovuto al defocus della lente di focale circa 21 metri, -5.4".

L'ottica del foro stenopeico concepita nel 1702 è la scelta migliore per l'eliometro di S. Maria degli Angeli, e con altezze  $\leq 32^\circ$  dà imaging con risoluzione di 1 arcsec, con la visibilità delle macchie solari.

### **L'estrapolazione della corda di lunghezza nulla**

Per capire la procedura seguita nella figura 7 descriviamo ora l'equazione della lunghezza della corda al trascorrere del tempo. Benché la corda sia ottenuta dall'intersezione di due

cerchi, trattiamo l'esempio di una corda ottenuta facendo intersecare una retta con un cerchio. La retta si muove a velocità costante, e la geometria più semplice è farla muovere parallelamente all'asse delle ordinate, con equazione  $y=1-t$ .

Il cerchio si prende di equazione  $x^2+y^2=1$

Così l'intersezione ha coordinata  $x^2=1-(1-t)^2=2t-t^2$

Senza estrarre la radice quadrata vediamo subito che la lunghezza della corda  $2x$ , che noi misuriamo dalle foto, è una funzione complicata del tempo: una radice quadrata di una parabola con la concavità verso il basso. Per questo conviene fare il grafico di  $x^2$  in funzione del tempo così viene una parabola con la concavità verso il basso, il cui zero è proprio l'istante di primo o ultimo contatto tra Sole e Luna.

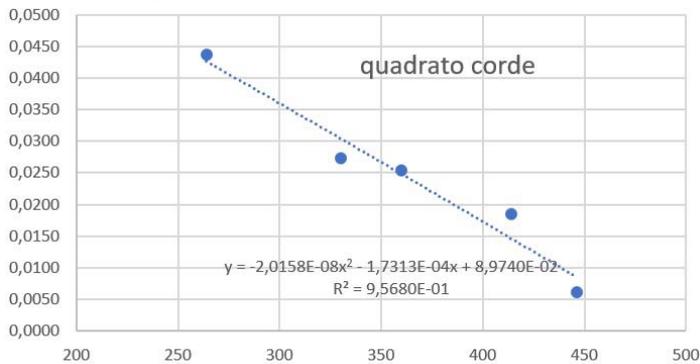


Fig. 8 Le corde individuate sul lembo solare dal disco nero della Luna, sono state misurate in pixel, e rapportate al diametro per evitare errori di scaling delle immagini.

Questo metodo, con immagini meglio definite, ha permesso di calibrare la risoluzione di un telescopio da 3" con l'eclissi del 2021, ed ora la lente equinoziale da 2" sistemata sulla cupola dall'astronomo Salvador Cuevas Cardona nell'anno 2000.

**Referenze:** C. Sigismondi, Gerbertus 14, 159 (2021)

## **Eclissi di Luna dell'8 novembre 2022 agli antipodi**

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

*(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)*

Submitted November 19<sup>th</sup> 2022, accepted November 21<sup>st</sup> 2022

**Abstract** The total lunar eclipse of 8 Nov 2022 occurred at 11 UT, so it was invisible in Rome. The local sunrise and the sunset of the same day occurred at 6 UT and 16 UT: the azimuthal difference between Sun and Moon is measured to verify the eclipse geometrical conditions.

**Sommario** L'eclissi totale di Luna dell'8 Novembre 2022 alle 12 locali era invisibile a Roma. La misura della differenza in azimuth tra Sole e Luna al sorgere e al tramonto del Sole prova le condizioni geometriche per l'eclissi.

**Keywords:** Celestial Mechanics, Lunar eclipses, Azimuth, Spherical Astronomy, Lunar parallax.

**Introduzione:** L'eclissi totale di Luna vede la Terra interposta tra il Sole e la Luna: la condizione geometrica è che il disco della Luna cada entro il disco centrato nella posizione dell'"anti-Sole" di raggio pari all'ampiezza del cono d'ombra della Terra. Poiché le distanze tra Sole, Terra e Luna e Terra variano in continuazione per effetto dell'ellitticità delle orbite, questa condizione è più articolata rispetto alla semplice somma di  $180^\circ$  alle due coordinate che individuano il centro del Sole nel cielo, tuttavia è bene notare che questa condizione implichi che le due coordinate possono essere sia declinazione ed ascensione retta, che longitudine e latitudine eclittica, che azimuth e altezza. Mentre nelle prime due coppie di coordinate il punto di vista è sempre geocentrico, per azimuth e altezza è necessariamente topocentrico, e l'effetto di parallasse deve essere tenuto in conto.

**Parallasse lunare:** alla distanza di 60 raggi terrestri circa, la Luna ci appare in posizione diversa rispetto al geocentro, fino ad  $1/60$  di radiante, cioè  $1^\circ$ , a meno che non la avessimo esattamente allo zenit, dove non c'è parallasse. Noi osserviamo la Luna dal nostro topocentro (topos=luogo in Greco), e alla levata o al suo tramonto la parallasse è massima. Il centro della

Terra è sotto di noi, ad un raggio terrestre di distanza, e la Luna è a  $90^\circ$  dalla verticale, a 60 raggi terrestri circa di distanza: quindi è  $1^\circ$  più in alto sull'orizzonte "geocentrico".

**Rifrazione atmosferica:** l'aria "alza" i corpi celesti per rifrazione, e all'orizzonte l'effetto medio, al livello del mare, è di  $35'$ , ossia poco più dei diametri angolari della Luna e del Sole ( $32'$ ). Questo fa sì che quando la Luna o il Sole appaiono all'orizzonte, la loro "altezza geocentrica" sarebbe diminuita di  $1.5^\circ$ . L'effetto della rifrazione cambia velocemente nei primi gradi di altezza sopra l'orizzonte, mentre la parallasse varia più lentamente, entrambi tendono a zero allo zenit.<sup>1</sup> Come corollario di questo teorema –mi si passi l'espressione– abbiamo che se Sole e Luna sono entrambi sulla linea dell'orizzonte, ed il loro azimut è opposto, nel geocentro l'elongazione è  $178^\circ$  perché parallasse e rifrazione hanno sollevato la Luna, mentre solo la rifrazione ha sollevato il Sole di mezzo grado.<sup>2</sup> Per la dimensione del cono d'ombra della Terra, con  $178^\circ$  di elongazione l'eclissi è appena parziale di penombra. Nel caso dell'8 novembre 2022 la distanza angolare tra i centri del Sole e della Luna è stata di  $179^\circ$  al momento dell'inizio della fase parziale, ed è culminata a  $179^\circ 28'$  al centro della totalità. Tolomeo considerò la rifrazione proprio per spiegare come fosse possibile vedere contemporaneamente Sole e Luna all'orizzonte durante un'eclissi. Si tratta di un'osservazione fatta da Cleomede tre secoli prima di lui, che gettò le basi dello studio della rifrazione atmosferica.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> La rifrazione allo zenit resta  $0.20''$  perché i bordi di Sole e Luna non possono essere allo zenit contemporaneamente. Questo è anche il valore della parallasse orizzontale (Dionis DU SEJOUR, *Traité Analytique des Mouvements Apparent des Corps*, Paris, 1786-89).

<sup>2</sup> Il Sole pure ha parallasse, ma di soli  $8.8''$ .

<sup>3</sup> <https://www.reinventore.it/approfondimenti/la-rifrazione-della-luce>

### **Eclissi citata da Dante nella Quaestio Aqua cum Terra**

*Nam, ut comuniter ab omnibus habetur, hec habitabilis extenditur per lineam longitudinis a Gadibus, que supra terminos occidentales ab Hercule positos ponitur, usque ad hostia fluminis Ganges, ut scribit Orosius. Que quidem longitudo tanta est, ut occidente sole in equinoctiali existente illis qui sunt in altero terminorum, oritur illis qui sunt in altero, sicut per eclipsim lune compertum est ab astrologis. Igitur oportet terminos predictae longitudinis distare per clxxx gradus, que est dimidia distantia totius circumferentie.*

Dante al § 54 di questa sua opera in latino<sup>4</sup> riporta la notizia da Paolo Orosio di un'eclissi di Luna osservata contemporaneamente alle colonne d'Ercole all'alba e alla foce del Gange al tramonto, che quindi devono trovarsi a 180° di longitudine tra loro. Le fonti di Dante sono gli "astrologi" Alfragano e Campano da Novara, che a loro volta citano notizia di un'eclissi osservata nell'antichità col Sole all'equatore celeste (equinoziale). Questo dato e la relativa analisi potrebbero essere alla base del problema della sottostima del raggio terrestre che sembra sia avvenuta da parte di Paolo dal Pozzo Toscanelli (1397-1482) e Cristoforo Colombo (1451-1506). La distanza in longitudine tra il Gange e Gades non poteva superare i 100°. La posizione del Sole sull'equinoziale garantiva che 12 ore erano corrispondenti a 180°. Quindi come spiegare un errore tanto grande? La parallasse e la rifrazione contribuirebbero per 2°, non certo per i restanti 78°.

**Eclissi di Luna dell'8 novembre da misure di azimut:** come misurare l'elongazione Sole-Luna a mezzogiorno dell'8 novembre con la Luna sotto l'orizzonte, a partire dalle misure al tramonto del giorno prima e alla levata del Sole del giorno dopo, oppure mediando levata e tramonto dello stesso giorno.

---

<sup>4</sup> <https://www.danteonline.it/italiano/opere.asp?idope=10&idlang=OR>

Il video del 7 novembre ore 17 <https://youtu.be/DRyPDXjIIuw> ci mostra la Luna rispetto all'azimut del Sole che tramonta (individuato tramite l'ombra di me che osservo)

quello del 9 novembre ore 7 [https://youtu.be/CEnqepQ\\_OwY](https://youtu.be/CEnqepQ_OwY) ci mostra la Luna rispetto all'azimut del Sole che sorge (individuato tramite l'ombra del telefonino che riprende)

La media dei due orari è proprio 8 novembre alle 12, quando la Luna "sarebbe sorta" esattamente opposta al Sole.

Una **prima analisi dati** ha portato al risultato che vi allego come figura: il 7 novembre la Luna è sorta circa 10 suoi diametri  $\emptyset$  verso Sud rispetto all'ANTISOLE (dove sta la mia ombra al momento del tramonto del Sole), mentre il 9 novembre la Luna è tramontata poco più di 6 suoi diametri  $\emptyset$  verso Sud rispetto all'ANTISOLE (al momento della levata del Sole). Trascuriamo, per semplicità- che la Luna è sorta 22 minuti prima del tramonto del Sole il 7 novembre ed è tramontata 60 minuti dopo la levata del Sole il 9 novembre.



Fig. 1 Luna all'orizzonte il 7 e 9 novembre 2022 a Ostia e Roma  
La media tra 7 novembre alle 17 e 9 novembre alle 7 dà 8 novembre alle 12 e la differenza in azimut della Luna sarebbe

stato la media tra (10Ø Sud e 6Ø Nord) , cioè 2Ø Sud (-10Ø+6Ø)/2=-2Ø con la convenzione segno negativo = Sud.

La Luna, dunque, alle ore 12 dell'8 novembre sarebbe sorta 2Ø diametri a Sud rispetto all'anti Sole, cioè circa 1° dall'opposizione perfetta.

Le effemeridi per le ore 12 dell'8 novembre (massimo dell'eclissi) indicano 179°25' di elongazione. La nostra misura è stata precisa ad 1/4 di grado, ma abbiamo considerato solo l'azimut, e non anche l'altezza della Luna.

Il metodo è stato di usare il diametro Ø della Luna come unità di misura nelle foto, oltre a localizzare al meglio la posizione dell'antiSole con l'ombra mia o della telecamera. Inoltre l'angolo che la traiettoria della Luna forma con l'orizzonte è stato tracciato a 48°, così come risulta dalle effemeridi (di cui allego anche una foto).

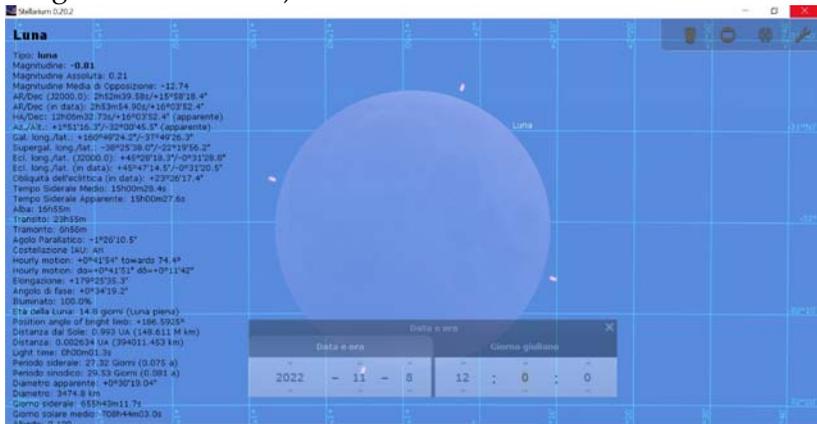


Fig. 2 Effemeridi della Luna alle 12 dell'8 Novembre 2022.

Ecco un modo per capire che c'è stata un'eclissi di Luna osservando i punti di levata e tramonto di Luna e Sole, senza avere un osservatorio attrezzato come poteva essere quello di Nicolò Copernico (1473-1543), qui nella bella immagine creata

dal pittore polacco Jan Matejko<sup>5</sup> nel 1873 in occasione del quarto centenario della nascita dell'astronomo.



Fig. 3 Copernico rappresentato col suo Triquetrum, strumento per le misure angolari, da Jan Matejko (1873), dialoga con Dio.

#### **La Luna osservata il giorno 8 novembre a Roma**

Alle 5:57:20 ho osservato l'ombra della Luna (opposta alla Luna, a  $284^{\circ}11'$ , quindi a  $104^{\circ}11'$ ) ad una distanza angolare di  $\frac{3}{4}$  del campo di vista del monocolo  $7 \times 18$ , pari a  $10.1^{\circ}$ , dal punto dove sarebbe sorto il Sole, individuato esattamente il 7 novembre ( $112^{\circ}00'$ ). Risulta che  $104^{\circ}11' + 7^{\circ}35' = 111^{\circ}46'$  con una differenza di soli  $14'$  dalle effemeridi. Questa misura angolare di azimut è stata eseguita un'ora prima della levata del Sole.

Il Sole si è poi levato  $46'$  più a Sud del punto del 7 nov, individuato tramite la lanterna di una cupola a 3 km.

---

<sup>5</sup> <https://culture.pl/en/work/astronomer-copernicus-or-conversations-with-god-jan-matejko>



Fig. 4 Levate di 7, 8 e 9 novembre osservate dallo stesso punto. Senza rifrazione il Sole era solo 5', 4' e 10' sopra l'orizzontale.

Al tramonto è stata fatta un'altra misura di azimut della Luna, relativo all'AntiSole delle 16:43:34  $az=245^{\circ}58'35''$ , Luna che è sorta alle 17:05 dopo il tramonto del Sole, dal monte Velino. La differenza di azimut è stata di 2.86 diametri lunari ( $1.454^{\circ}$ ), da fotogramma delle 17:05:40  $az=67^{\circ}15'42''$ . Nelle effemeridi, che ho riportato, la differenza è  $1^{\circ}17'07''$ . Il diametro lunare era di  $30' 31.6''$ , il rapporto è  $77'$  a  $30.5' = 2.524$  diametri lunari. L'errore risulta di  $10.23'$ , e dipende dal puntamento dell'AntiSole, da identificare con l'ombra della telecamera e non dell'asse del corpo, come avevo fatto. Fin qui abbiamo calibrato il metodo della misura dell'azimut da foto e osservazioni, ed abbiamo verificato che vale entro un raggio lunare di precisione.



Fig. 5 Tramonto dell'8 novembre (foto h 16:43:34) e levata della Luna alle 17:05:40.

**Riduzione col Sole all'orizzonte** Ci si concentra sulla differenza di azimut tra la Luna ed il punto di levata/tramonto del Sole all'orizzonte, calcolata al momento della levata/tramonto. La Luna scende e sale formando un angolo di

48° con l'orizzonte. Questo angolo, chiamato "parallattico" su Stellarium, cambia leggermente da un giorno all'altro, e con la latitudine; è stato quello per l'8 novembre.

L'ora osservata di levata e tramonto è stata 6:54:30/16:54:50 con la durata del dì di esattamente 10 ore. La Luna osservata alle 5:57:20 in 57 minuti ha compiuto in azimut  $57/60 \cdot 15^\circ \cdot \cos(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = 9.142^\circ$ . Quindi il suo azimut passa da  $-7.5^\circ + 9.142^\circ = 1.642^\circ$  relativo all'*AntiSole*, col segno + da E verso S. La Luna osservata alle 17:05:40 ha compiuto  $11/60 \cdot 15^\circ \cdot \cos(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = 1.764^\circ$  dopo il tramonto del Sole. Quindi il suo  $\Delta$ azimut quando il Sole era all'orizzonte vale ora  $+1.454^\circ - 1.764^\circ = -0.310^\circ$ .

**Correzione per la velocità della Luna**, che viaggia al suo diametro apparente percorso in un'ora, cioè  $\approx 30'/\text{ora} = 0.5^\circ/\text{h}$  verso Est. Tramonto 8 nov. circa  $-11/60 \cdot 0.5^\circ \cdot \cos(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = -0.058^\circ$ , totale  $\Delta$ az =  $-0.368^\circ$ . Levata 8 nov. circa  $-57/60 \cdot 0.5^\circ \cdot \cos(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = -0.305^\circ$ , totale  $\Delta$ az =  $1.337^\circ$ .

### **Altezza della Luna col Sole all'orizzonte dell'8 novembre**

Per il calcolo dell'elongazione serve anche l'altezza della Luna, che con i nostri metodi era 5 dita (7°) sopra l'orizzonte all'alba e alla levata devo togliere  $57/60 \cdot 15^\circ \cdot \sin(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = 10.15^\circ$  ottenendo  $h = -3.15^\circ$  sotto l'orizzonte alla levata e togliere  $11/60 \cdot 15^\circ \cdot \sin(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = 1.96^\circ$  all'altezza sull'orizzonte al tramonto. Avvistata la Luna ad 1° di altezza sopra il Velino, era, al momento del tramonto,  $-0.96^\circ$  sotto l'orizzonte.

**Rifrazione** il Sole all'orizzonte è alzato tra 40' e 44' (avendo osservato da 25 e da 87 m sul livello del mare). L'*antiSole* topocentrico è sopra l'orizzonte di 40'-44' e la Luna reale è 40'-44' sotto, nel caso del tramonto, mentre all'alba devo considerare solo 12' per la Luna in quanto la sua posizione alle 5:57 era meno rifratta, essendo a 7° di altezza, rispetto all'orizzonte. Quindi Alba:  $\Delta h' = \Delta h + 52'$  Tramonto:  $\Delta h' = \Delta h + 88'$ .

**Elongazione dall'antiSole** con il teorema di Pitagora calcolo  $e^2 = \Delta az^2 + h \Delta^2$  ponendo il segno negativo al risultato dell'alba e positivo a quello del tramonto per trovare il minimo avvicinamento tra i centri. Alba:  $-e^2 = 1.337^2 + (-3.15 + 52/60)^2 = 7.0$ , Tramonto  $e^2 = 0.368^2 + (-0.96 + 88/60)^2 = 0.4$ . Con questi numeri l'eclissi sarebbe avvenuta poco prima del tramonto del Sole

**Trigonometria sferica** il centro della Luna in eclissi non passa quasi mai per l'*antiSole* e quindi il calcolo per valutare l'istante in cui l'elongazione si annulla non corrisponde ad un fenomeno che accade realmente. Occorrerebbero altre misure di elongazione per disegnare la traiettoria del centro della Luna rispetto all'*antiSole* e trovarne il punto di minima distanza. La traiettoria, localmente, è una retta, ma la sua determinazione osservativa presenta non poche difficoltà, come abbiamo visto. In questo testo abbiamo usato la trigonometria piana, sul piano dove si trova l'*antiSole*, entro pochi gradi da quel punto.

**Conclusioni** Poiché il nostro scopo era quello di misurare quando l'angolo tra il Sole, l'Osservatore e la Luna diventava piatto, abbiamo eseguito delle osservazioni della Luna alla levata e al tramonto del Sole dei giorni 7, 8 e 9 novembre. Con i dati del 7 e del 9 novembre abbiamo impostato il metodo osservativo che si è valso dell'*antiSole*, materializzato dalla nostra ombra e, ancor meglio, dall'ombra della telecamera. Anche l'*antiLuna* è servita, vedendosi bene l'ombra della Luna all'alba, un'ora avanti la levata del Sole. La posizione in azimut del Sole alla levata e al tramonto è stata definita con buona precisione, grazie al cielo sereno e all'orizzonte libero fino a pochi minuti d'arco sopra l'orizzontale, anche dentro Roma, mentre a Ostia avevamo l'orizzonte marino perfettamente libero da nubi.

Applicando ai dati osservativi, che peccano di precisione nelle



## Tramonti sul Velino l'8 e l'11 novembre 2022

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

*(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)*

Submitted November 21<sup>st</sup> 2022, accepted November 22<sup>nd</sup> 2022

**Abstract** The sunset seen from the mountain's top is delayed for the horizon's depression, with respect to a sea location. The observation of the Sun's reflection on the Velino mount is accounted from 82 and 5 km, respectively on 8 and 11 November. The comparison with the sea level sunset time is done, and with the ephemerides for the Velino's top.

**Sommario** I tramonti visti dalle vette delle montagne sono ritardati per l'effetto della depressione geometrica dell'orizzonte. L'osservazione del Sole riflesso sulla vetta del Velino è stata fatta da 82 km (Roma) e da 5 km (Autostrada A25) il giorni 8 e 11 novembre. Il confronto è fatto con tramonto a livello del mare e con le effemeridi per la vetta del Velino.

**Keywords:** Sunset, Horizon's depression, Earth's sphericity, Atmospheric integral refraction.

**Introduzione:** Nei tramonti in riva al mare è sufficiente cambiare la quota di osservazione di un paio di metri per vedere l'istante di sparizione del Sole ritardare di una decina di secondi. Tuttavia l'esperimento fallisce quando il Sole sparisce dietro un muro di nubi lontano. Anche se le nubi sono più lontane dell'orizzonte marino, al cambiare dell'altezza sul livello del mare da cui si osserva, l'osservatore mantiene la stessa distanza dal bordo della nube. Un tramonto su Monte Amaro (2793 m) cronometrato dalla A25 nel 2018 ha mostrato –in confronto alle effemeridi per lo stesso monte- che da lì l'orizzonte marino in direzione del Sole non era visibile, poiché, al netto di rifrazione e depressione, il Sole era sopra.

### Tramonti da quote sopra il livello del mare

Le montagne sono punti di osservazione sopra il livello del mare e la depressione dell'orizzonte raggiunge valori molto elevati: secondo la formula approssimata  $\theta[^{\circ}] = \sqrt{h[m]}$ , che per il Velino vale  $\theta[^{\circ}] = \sqrt{2487} \approx 50'$ .

Significa che l'orizzonte marino, visto dal Velino, sarebbe 50' sotto l'orizzontale. A Ostia sul Pontile, ad una quota di 3.4 m

l'orizzonte dovrebbe essere 1.8' sotto l'orizzontale, ma sono state misurate deviazioni da 2.5' fino a 6' a seconda delle condizioni di temperatura dell'aria e dell'acqua.

### **Tramonto dell'8 novembre 2022 sul Velino**

Il massiccio del Velino appariva di colore chiaro, rispetto alle montagne davanti, più scure per la vegetazione. Non c'era opacità nell'atmosfera, straordinariamente limpida quella sera. La visibilità superava i 100 km. Appena il Sole tramontò a Roma, anche il candore del lontano massiccio sparì nello stesso tempo. Le effemeridi calcolate per la vetta del Velino, possono chiarire se il tramonto osservato a Roma alle 16:54:40 era anche per la sommità del Velino, certamente in linea di vista con il Sole calante dalla mia postazione a 95 metri sul livello del mare, ed è presumibile anche col mare Tirreno.

Le effemeridi per Roma danno 14' di altezza per il lembo superiore del Sole con atmosfera e -17' senza l'atmosfera.

Per Avezzano, ai piedi del Velino, il Sole era a -1° senza atmosfera, 23' sotto con. Aggiungendo 50' di depressione geometrica risulta che il Sole doveva essere ancora visibile dal Velino per 27' sopra l'orizzonte. Il video alle 16:55 e la foto delle 16:57:13 testimonia che il Sole era tramontato anche sul Velino. Per le effemeridi senza atmosfera il Sole era sotto di 85', la rifrazione standard al livello del mare di 35' e la depressione dell'orizzonte di 50' darebbero il tramonto esattamente a quell'istante, oppure 7' sopra secondo il modello di rifrazione di Stellarium 0.20. Una rifrazione più robusta, possibile col bel tempo, avrebbe potuto prolungare il tramonto, cosa che non è accaduta.

### **Tramonto dell'11 novembre 2022 sul Velino**

Osservato dall'autostrada A25, il riflesso del Sole sul Velino è terminato alle 16:51:35±10 s, col Sole 1° sotto l'orizzonte geometrico. La rifrazione +38' e depressione +50' non hanno

impedito alla leggera foschia (fig. 3 destra) di limitarne la visibilità dei suoi ultimi riflessi sul monte (fig. 2).



Fig. 1 Il monte Velino alle 16:48:16 dell'11 novembre 2022.



Fig. 2 Il monte Velino alle 16:51:13 dell'11 novembre 2022.



Fig. 3 Tramonto a Ostia dell'11-11- 2022 webcam Ostia Ponente A Ostia, da webcam, il tramonto è stato visibile fino all'orizzonte, dove c'era un po' di foschia. La foschia, tipica di questa stagione, con il massimo barico di 1027 mb, rende il Sole più fioco vicino all'orizzonte, visibile direttamente dall'occhio e dalla webcam, ma non dal riflesso sulla roccia.

### **Tramonto solstiziale sul monte Emilius**



Fig. 5 Monte Emilius 3559 m (Aosta) il 23/6/2019 alle 21:22:45 Il Monte Emilius era ancora illuminato sulla vetta dal Sole alle 21:23:22. Il lembo superiore del Sole era 25' sotto l'orizzonte geometrico senza rifrazione, che vale circa 35'; la depressione dell'orizzonte per la quota dell'Emilius vale  $\theta \approx 60'$ . Quindi il lembo del Sole era sopra di 70', e il tramonto era alle 21:29. Tuttavia l'orizzonte Nord-Ovest del monte Emilius non ha il mare, ma il massiccio del Monte Bianco e il Mont Dolent di 3820 m, che interrompe prima la linea di vista col Sole.

**Conclusioni** Insieme alla depressione dell'orizzonte, l'effetto di rifrazione aumenta con la quota di osservazione, perché l'aria attraversata aumenta, tuttavia la riflessione sulla roccia non permette di accertare l'istante vero di sparizione del Sole.

## **Levate del Sole a Pescara tra maggio e novembre 2022**

Tiziana Pompa (*Liceo Galilei, Pescara*)

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

(*ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma*)

Submitted November 2<sup>nd</sup> 2022, accepted November 23<sup>rd</sup> 2022

**Abstract** The sunrise in Pescara is being followed via webcam and from the sea shore. The horizon's refraction is calculated for three dates, with chronodated photos. More data on video recorded on youtube.

**Sommario** Le levate del Sole a Pescara sono monitorate via webcam e dalla spiaggia: in tre date 26 X, 2 XI and 17 V 2022 con foto e in altre via video.

**Keywords:** Sunrise, Horizon's depression, Atmospheric integral refraction.

**Introduzione:** La rifrazione all'orizzonte è molto variabile in dipendenza dalla pressione atmosferica lungo la linea di vista, e dal gradiente di temperatura tra acqua del mare e aria. L'osservazione delle levate del Sole a Pescara tramite webcam e sul posto ci permette di fare alcune considerazioni generali sul fenomeno, anche in confronto con i tramonti a Ostia.

**Rifrazione e timing:** le osservazioni vengono condotte con le stesse tecniche adoperate per l'astrometria solare, ossia con immagini cronodate, o in video o in foto. Da webcam abbiamo assunto che il ritardo tra l'orologio del frame della webcam e il tempo campione italiano sia uguale a quello tra le immagini che vediamo e il tempo che leggiamo. Ad esempio se l'orologio del frame segna le 7:00:00 e l'orologio INRIM le 7:00:19 significa che le immagini ci arrivano con 19 s di ritardo, da sottrarre al tempo letto sul video. Per le foto, invece, si prende per buona la sincronizzazione della camera, che può essere aiutata fotografando un orologio radiocontrollato.

**Osservazioni in spiaggia a Pescara:** sono del 17 maggio 2022, del 26 ottobre e 2 novembre 2022. Le altre sono video da webcam: la rifrazione si può stimare dall'istante in cui il Sole spunta dal mare oppure da quando il disco solare si stacca dall'orizzonte. La foschia non mostra sempre il disco solare via web, ma dalla spiaggia, in mancanza di nubi spesse, si vede.



Fig. 1 Il Sole a  $\Omega$  il 2 novembre alle 6:40:35 e 44 s. Rifrazione 35'. 1024 mb e 10 °C di temperatura dell'aria, 18°C dell'acqua.



Ora estiva: Mercoledì 26 ottobre 2022 07:32:13

Fig. 2 Sole alle 7:30:38 (foto) e alle 7:31:20 (web) del 26 X. La rifrazione è  $\approx 42'$ . Non si riesce a distinguere bene il disco solare in video. Pressione 1023 mb, T= 15 °C aria – 18 °C acqua.



Fig. 3 Sole il 17 maggio alle 5:41:10 e 42:08 spuntò alle 5:39:15. 38' rifrazione, con Sole  $\approx \Omega$ . Aria 15 °C acqua 13 °C 1017 mb.

**Referenze:**<https://www.youtube.com/playlist?list=PLJaer2KV49282UhjIHw93DnIPQtL5N5DM>

## **Jay Myron Pasachoff (1943-2022): una vita per il Sole**

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted November 22<sup>nd</sup> 2022, accepted November 23<sup>rd</sup> 2022

**Abstract** The death of Jay M. Pasachoff leaves the solar physics community without one of his leader and inspirer.

**Sommario** La morte di Jay M. Pasachoff lascia la comunità dei fisici solari priva di uno dei suoi leader carismatici. Traduco in Italiano l'articolo di Clay Risen apparso sul NYTimes del 21 novembre 2022.

**Titolo e sottotitolo:** Jay Pasachoff, che ha inseguito eclissi in tutto il Mondo, muore a 79 anni.

Astronomo al Williams College, probabilmente ha visto più eclissi solari di qualsiasi altro umano nella storia.

**Necrologio** Jay M. Pasachoff, un astronomo del Williams College che ha trascorso più di 50 anni viaggiando per il mondo per osservare le eclissi solari e, con 74 avvistamenti alle spalle, probabilmente ne ha assistito più di qualsiasi altro essere umano nella storia, è morto domenica in casa sua a Williamstown, Massachusetts aveva 79 anni. La causa è stata il cancro ai polmoni, ha detto sua moglie, Naomi Pasachoff.

Per il Dr. Pasachoff, *la sublime grandezza di un'eclissi totale era così travolgente che sfidava la facile descrizione, e il suo fascino non aveva bisogno di spiegazioni: Se non l'hai capito, diceva, ovviamente non ne avevi vista una.* Migliaia di persone sapevano cosa intendeva. Orde di loro percorrono migliaia di chilometri per trascorrere qualche minuto in quello che equivale a una notte artificiale nel bel mezzo della giornata.

*"Siamo umbratili"*, ha scritto sul New York Times nel 2010.

"Essendo una volta stati sotto l'*umbra*, l'ombra della Luna, durante un'eclissi solare, siamo spinti a farlo di nuovo e di nuovo, ogni volta che la Luna si muove tra la Terra e il Sole."

Ma era più di un semplice fan dell'eclissi. Ha studiato la corona, lo strato più esterno dell'atmosfera del Sole, che, essendo un milionesimo di volte la luminosità del Sole stesso, è meglio studiata quando il resto del Sole è oscurato dalla

Luna - in altre parole, durante un'eclissi.

La corona può impallidire alla luce del Sole, ma è un milione di gradi più calda, un mistero che ha affascinato il Dr. Pasachoff.

Gli piaceva dire che il mistero era stato effettivamente risolto, ma che aveva 17 possibili soluzioni, e uno degli obiettivi del suo lavoro era testare quelle teorie.

Il Dr. Pasachoff preferiva essere chiamato un "*anticipatore di eclissi*" invece di un "*cacciatore di eclissi*".

A ragione. Poteva trascorrere fino a tre anni prima di un'eclissi a prepararsi attrezzature, allineare le sovvenzioni, organizzare viaggi e pianificare una qualsiasi delle innumerevoli contingenze che potrebbero interferire con i pochi minuti in cui lui e la sua squadra avrebbero dovuto guardare la Luna passare davanti al Sole.

Per cominciare, non era sufficiente conoscere il percorso di un'eclissi sulla superficie terrestre.

Il Dr. Pasachoff ha studiato gli almanacchi meteorologici per trovare il sito che ha meno probabilità di essere oscurato da una tempesta bizzarra o nebbia mattutina. A volte ciò significava trekking nei deserti del Kenya settentrionale, o volare a 41.000 piedi sopra l'Antartide, come ha fatto il 4 dicembre 2021, in quella che si rivelò essere l'ultima delle sue spedizioni. **Di questa ci riferì all'ICRANet al convegno del 4 dicembre 2021 inviandoci del materiale e commentandolo poi nel convegno del 17 maggio 2022, in occasione dell'eclissi di Luna (n. d. t.).**

Sebbene il Williams College non abbia un corso di laurea in astronomia, il Dr. Pasachoff ha lavorato così strettamente con i suoi studenti universitari che nel tempo ha costruito una vasta rete di contatti in tutto il Mondo, diventando uno degli scienziati meglio connessi in circolazione.

"Conosceva persone ovunque", Michael J. Person, il direttore

del Wallace Osservatorio astrofisico del M.I.T., ha detto in un'intervista telefonica. "Sapevo che potevo chiamare Jay Pasachoff e dire: "Ho bisogno di un telescopio in Nuova Guinea", e lui avrebbe trovato qualcuno là.

Potrebbe sembrare, ad un occhio inesperto, che un'eclissi sia più o meno uguale a qualsiasi altra, ma il dottor Pasachoff sapeva il contrario. Per lui il Sole era un oggetto meno stabile di un fiume, in trasmutazione perpetua, e disse di non aver mai visto la stessa eclissi due volte.

"Ognuno è diverso", ha detto in un'intervista del 2021 usata per questo necrologio. "Il Sole è diverso. Le sue eruzioni sono diverse. Le strutture sulla sua superficie sono diverse".

**Biografia:** Jay Myron Pasachoff è nato il 1 ° luglio 1943 a Manhattan. Suo padre, Samuel, era un chirurgo che partì poco dopo la nascita di Jay per servire nel corpo medico dell'esercito; durante la Seconda Guerra Mondiale, sbarcò in Normandia e partecipò alla battaglia delle Ardenne.

Sua madre Anne (Traub) Pasachoff, era un'insegnante.

Dopo che suo padre tornò dalla guerra, la famiglia si trasferì da Manhattan al Bronx, dove Jay ha frequentato la Bronx High School of Science. Il suo interesse per l'astronomia è iniziato presto, con visite al Hayden Planetarium all'American Museum of Natural History; quando era al liceo costruiva telescopi con l'Associazione degli Astronomi Amatori di New York. Entrò all'Università di Harvard a 16 anni.

Per il suo seminario di matricola, ha scelto un corso di astronomia con **Donald H. Menzel**, esperto di eclissi solari. Per caso, solo poche settimane dopo durante il semestre, un'eclissi totale era destinata a verificarsi al largo della costa del Massachusetts, vicino Marblehead. Il Dr. Menzel affittò un aereo DC-3 dalla Northeast Airlines e prese la sua classe, insieme all'amministratore delegato di Polaroid, per osservarla.

Era la prima eclissi totale del signor Pasachoff, e ne era rimasto affascinato. Aveva intenzione di specializzarsi in Matematica, ma finì invece per farlo in Astronomia. Ha conseguito la laurea triennale nel 1963, il suo master nel 1965 e il suo Ph.D. nel 1969, tutti ad Harvard.

Dopo alcuni anni come borsista post-dottorato presso il California Institute of Technology, Pasachoff arrivò al Williams College nel 1972 come unico membro del suo dipartimento di Astronomia e direttore del suo Osservatorio, il più antico del suo genere negli Stati Uniti.

Ha sposato Naomi Schwartz nel 1974. Insieme a lei, gli sopravvivono le sue figlie, Eloise e Debora; sua sorella, Nancy Kutner, e cinque nipoti.

Mentre i suoi contributi all'Astronomia sono stati molti, il Dr. Pasachoff fu anche, se non di più, conosciuto come, nelle sue stesse parole, come *proselitista*: parlare ai media, scrivere per pubblicazioni scientifiche di interesse generale e incoraggiare i dilettanti a condividere la sua passione per il cielo notturno.

Le sue spedizioni spesso includevano non solo altri scienziati, ma studenti universitari, studenti laureati provenienti da altre scuole e una cricca di amici e familiari, tutti desiderosi di apprendere dal Dr. Pasachoff.

"Aveva questa rara qualità di voler vedere tutti i suoi studenti arrivare dove vogliono essere, e poi ha fatto tutto il possibile per aiutarli ad arrivarci", ha detto Amy Steele, una studentessa di postdottorato di Astronomia alla McGill University che ha studiato con il Dr. Pasachoff alla Williams e ha partecipato a tre spedizioni con lui.

Ha scritto diversi libri di testo per le scuole superiori e universitari, un'edizione aggiornata del Peterson "Field Guide to the Stars and Planets" (1999) e, con la storica dell'arte Roberta J.M. Olson, "Cosmo: Arte e scienza dell'Universo" (2019).

Il Dr. Pasachoff amava l'astronomia, e l'astronomia lo riamava: lui e sua moglie sono stati immortalati nei nomi di una coppia di asteroidi, 5100 Pasachoff e 68109 Naomipasachoff.

### **Necrologio online all'Unione Astronomica Internazionale**

È con grande tristezza che desidero informarvi della scomparsa di Jay Pasachoff, membro di lunga data della Divisione di Fisica Solare, e presidente del Gruppo di lavoro Interdivisione C-F sulle eclissi solari. Mancherà molto a molti nella Divisione e come cacciatore di eclissi solari. I nostri pensieri sono con sua moglie Naomi e i suoi familiari e amici stretti. Richard de Grijs (President) 22 Novembre 2022

**Commenti personali** Conoscevo il prof. Pasachoff dai nostri contatti su posta elettronica. Probabilmente il primo è stato per una conferenza a Ginevra nel settembre 2019, a cui abbiamo partecipato con un poster. Il prof. Pasachoff era sempre disponibile ad aiutare tutti nel proprio campo di ricerca, ed era attento ai lavori di tutti. L'osservazione del transito di Mercurio sul Sole dell'11 novembre 2019 ha avuto lui come special guest nel meeting internazionale tenuto online e in presenza a Pescara, con gli studenti del Liceo Galilei come spettatori. Insieme abbiamo condiviso e co-organizzato anche il bel meeting del 14 dicembre 2020 seguendo un'eclissi in Argentina online, e quello un anno draconitico dopo, del 4 dicembre 2021, in cui lui è volato in Antartide per la totalità. Ancora il 17 maggio 2022 in occasione degli ottant'anni del prof. Ruffini, direttore di ICRANet, e dell'eclissi di Luna del giorno prima, ha tenuto il suo ultimo contributo alla nostra attività didattica ad ICRANet parlandoci in dettaglio dell'impresa antartica del dicembre precedente. La successiva stagione delle eclissi del 25 ottobre e 8 novembre 2022 è stata la sua ultima. Le intense attività sul campo che ho condotto a s. Maria degli Angeli per l'eclissi di Sole e la simulazione delle osservazioni meridiane della Luna, a Ostia e a Roma per le

osservazioni delle levate e dei tramonti di Sole e Luna attorno alla data dell'eclissi di Luna, mi hanno fatto trovare impreparato alla notizia della sua morte, giuntami improvvisa, poco prima della Luna nuova di fine novembre.

Mi aveva scritto il 12 ottobre 2022 chiedendomi se fossi stato l'autore delle magnifiche immagini di green flash nel suo libro *Field Guide to the Stars and Planets*, p. 479 4th ed.; poiché stava lavorando ad una nuova edizione. Lo sapevo al lavoro, e sapevo che in qualunque momento potevo contare su di lui.



Fig. 1 Fenomeni di bordo verde del Sole, della Luna e pianeti. L'icona è del suo indirizzo email del Williams College.

### Referenze

C. Risen (2022) JMPasachoff's obituary [NYTimes](#)

J.M. Pasachoff (2022), [ICRANet meeting](#) after Lunar Eclipse

J.M. Pasachoff (2021), [ICRANet meeting](#) on Anctartica Eclipse

C. Sigismondi, J. M. Pasachoff, et al., (2020) [ICRANet meeting](#) on South American eclipse and solar diameter measures

C. Sigismondi, J. M. Pasachoff, et al., (2019) *Mercurius in Sole visu* [ICRANet meeting](#)

J.M. Pasachoff (2019) [Mercury transit web site](#)

## Sole nella Bilancia, Scorpione e Sagittario osservato nel 2022 alla meridiana di s. Maria degli Angeli

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted November 23<sup>rd</sup> 2022, accepted November 23<sup>rd</sup> 2022

**Abstract** The ingress of the Sun into Libra, Scorpius and Sagittarius has been observed at the Clementine gnomon, the meridian line financed by the pope Clement XI. The calibration of the gnomon (2018-2022) allowed us to verify the solar parallax and the low atmospheric pressure on the observed position of the Sun.

**Sommario** L'ingresso del Sole nella Bilancia, nello Scorpione e nel Sagittario è stato osservato alla meridiana Clementina, ri-calibrata dal 2018 al 2022. La parallasse solare e l'effetto della bassa pressione atmosferica sono stati misurati con la posizione del Sole.

**Introduzione:** L'ingresso nei segni zodiacali viene tradizionalmente utilizzato per verificare il funzionamento della meridiana, dimostrarne le sue potenzialità e ammirarla nella sua secolare esistenza. È anche l'occasione per fare il punto sulle conoscenze acquisite sia in tecnica osservativa, che in analisi dei dati, oltre che di deduzioni storico-scientifiche. Esaminiamo l'equinozio autunnale 2022, l'ingresso del Sole nello Scorpione e nel Sagittario.

**Equinozio autunnale 2022, Sole in Libra:** disponiamo di 5 osservazioni: 18, 19, 22, 23 e 25 settembre 2022. Il fit lineare fornisce lo zero della declinazione al netto della rifrazione tra 34 e 19 minuti prima delle effemeridi. Con la velocità media di 1' all'ora, questi tempi corrispondono tra 34" e 19" di anticipo, ossia che il Sole appare più basso di 26" ± 7" di quanto non sia.

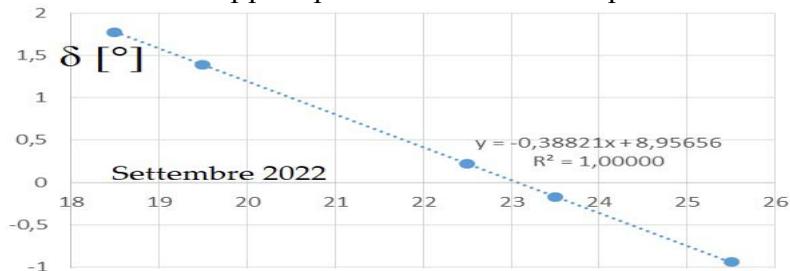


Fig. 1 Equinozio autunnale 2022 a s. Maria degli Angeli

**Ingresso nello Scorpione 2022:** disponiamo dei dati del 18, 19, 20, 24, 25, 26 e 27 ottobre 2022. Il fit parabolico ha buon gioco a dare un  $R^2$  quasi esattamente pari a 1, ma l'istante di ingresso nello SCO risulta 7 minuti in anticipo sulle effemeridi.

Trattandosi di tutti dati, che analizzati singolarmente, mostrano il Sole più alto delle effemeridi, l'ingresso alla declinazione dello SCO  $\delta = -11^\circ 28' 22.9''$  dovrebbe apparire in ritardo, e invece è in anticipo sulle effemeridi. Se variamo i parametri della parabola in modo da ottenere la soluzione più anticipata o quella più posticipata, entro il *Confidence Level* del 95%, otteniamo che rispetto alle effemeridi questi dati forniscono un ingresso in SCO compreso tra -94 e +56 minuti.

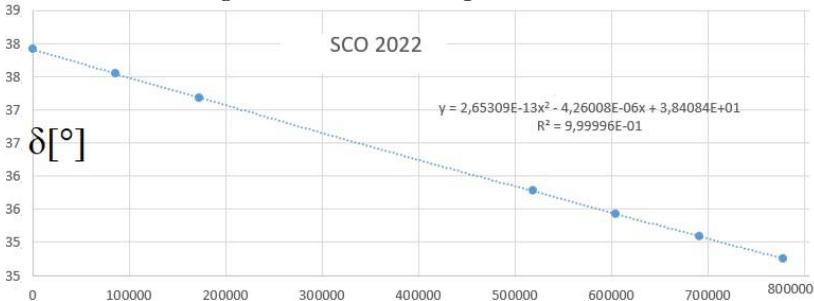


Fig. 2 Passaggi meridiani attorno all'ingresso nello Scorpione. I coefficienti del fit hanno le seguenti variabilità statistiche<sup>1</sup>:  $2.65 \pm 0.25 \cdot 10^{-13}$  ;  $-4.26 \pm 0.02 \cdot 10^{-6}$ ;  $38.408 \pm 0.0024$  nel 95% dei casi.

**Ingresso nel Sagittario 2022:** disponiamo dei dati osservativi del 20 e 21 e del 23 e 24 novembre 2022. L'ingresso è con la declinazione  $\delta = -20^\circ 09' 03.8''$ , da calcolare in meridiano con la rifrazione. Facendo il fit parabolico di questi quattro dati si tiene conto della velocità di cambiamento della declinazione, che è in rallentamento verso il solstizio invernale.

Il centro Sole attraversa la declinazione del Sagittario alle 9:03 del 22 novembre, 15 minuti prima delle effemeridi.

Trattandosi di tutti dati col Sole più basso (verso il Capricorno)

<sup>1</sup> <https://mycurvefit.com/> scegliendo Quadratic Regression e inserendo i dati

di 2 mm rispetto alle effemeridi (0 mm solo per il 24 novembre) l'ingresso in SCO è giustamente anticipato, e 15 minuti corrispondono a 8". Si tratta dell'effetto meteo dovuto a depressione barica di 1008 e 1004 mb rispetto alla media di 1013 mb? La pressione atmosferica dei dati del 21 e del 23 novembre è insolitamente bassa: 1008 e 1004 mb, circa 1.5% più bassa della media di 1013.25 mb. Assumendo questa anche la variazione dell'indice di rifrazione  $r=60'' \cdot \tan(z)$  si ottiene per  $z=62^\circ$  e  $\tan(z)=1.9$   $r=114''$  e  $\Delta r \approx 1.5''$ , che sposterebbe l'immagine solare 1 mm verso il Capricorno, che invece risultava spostata  $2.5 \pm 0.1$  mm verso il Capricorno. È possibile anche che la calibrazione del punto 185 rispetto al quale sono date le quattro posizioni a cavallo del 22 novembre 2022, sia sbagliata proprio di 2 mm.

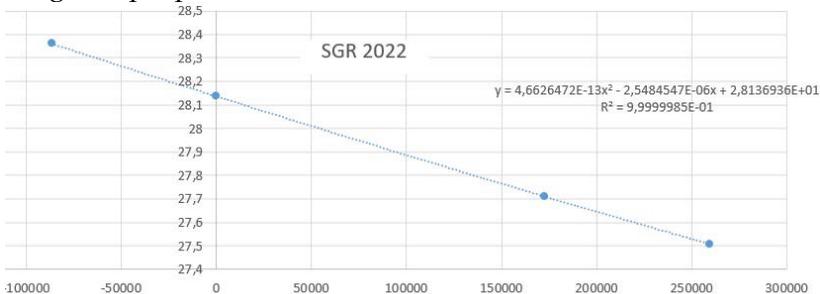


Fig. 3 Passaggi meridiani attorno all'ingresso nel Sagittario.

**Conclusioni:** la calibrazione dei punti di riferimento della meridiana, avvenuta tra il 2018 ed il 2022, potrebbe ancora avere dei ritocchi dell'ordine del millimetro, come accade sia per l'equinozio autunnale, che per l'ingresso nel Sagittario.

L'interpolazione parabolica dello Scorpione, invece, non sembra coerenti con i singoli 7 dati, che sono tutti più col Sole alto delle effemeridi. Verso declinazioni negative, il Sole più alto significa ritardo rispetto all'ingresso di un segno rispetto alle effemeridi. Invece per SCO calcoliamo un anticipo di -7 minuti, ma la "forbice" statistica è pari a  $-7 \pm 75$  minuti, che spiega l'apparente anomalia.



Fig. 4 Sole in meridiano il 21 novembre 2022 a  $62^\circ$  dallo zenit.

**Conclusioni:** gli ingressi nella Bilancia nello SCO e in SGR corrispondono alle effemeridi entro gli errori statistici; nel caso dell'equinozio è stato identificato anche il fenomeno della riflessione dentro il marmo (massimo d'Estate), che prolunga verso il Capricorno (Sud) il bordo osservato del Sole di 1.8 mm, sufficienti a spiegare l'anticipo dell'ingresso nel segno.

## **Meteotsunami a Ostia il 22 novembre 2022**

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

*(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)*

Submitted November 24<sup>th</sup> 2022, accepted November 25<sup>th</sup> 2022

**Abstract** The sea storm occurred on 22 november 2022 in Ostia has been determined by 1- strong wind perpendicular to the shoreline at 40 knots, 2-atmospheric depression 989 mb, 3-high syzygy tide 33 cm. The video of the phenomenon, the meteo data and the ephemerides show the meteotsunami nature of the phenomeon, with a storm surge around 2 meters.

**Sommario** La tempesta marina del 22 novembre 2022 a Ostia è stata causata da 1-forte vento verso la spiaggia a 40 nodi, 2-forte depressione barica 989 mb e 3-alta marea di sizigie 33 cm. Il video, i dati meteorologici e le effemeridi delle maree mostrano che si è trattato di un meteotsunami.

**Introduzione:** L'uragano Katrina alla fine dell'Agosto 2005 devastò la capitale della Louisiana, New Orleans causando oltre 1800 morti. Le punte di depressione barica arrivarono a 902 mb, con uno *storm surge* tra i 14 e i 20 piedi, ossia tra 4 e 6 metri, stimato sulle coste dell'Alabama e della Louisiana.<sup>1</sup>

Normalmente si considera l'effetto di aspirazione, o *surge*, in Inglese, pari ad 1 cm ogni mb di depressione, ma a questo valore si aggiunge la componente spostata dal vento, che determina lo *storm*, ossia la tempesta. Quindi per Katrina avremmo avuto 1.1 metri di surge dovuto alla depressione di 110 mb e gli altri 3-5 metri dovuti al vento, che ha spirato fino ad un massimo accertato di 217 km/h, ossia 117 nodi.

Per Katrina tutti speravano che l'uragano non si dirigesse proprio verso New Orleans, ma è successo il peggio, e l'amministrazione di Gerge W. Bush ha dovuto fare fronte al secondo disastro dopo gli attentati terroristici alle Torri Gemelle e al Pentagono dell'11.9.2001.

---

<sup>1</sup> <https://www.weather.gov/mob/katrina>

**Le condizioni per un meteotsunami:** sono quelle dello *storm surge*. La forte depressione “aspira” in alto il livello medio del mare e anche il forte vento accumula in direzione della spiaggia l’acqua del mare facendo salirne il livello, senza che la risacca possa ricevere acqua a largo. Se a questo aggiungiamo l’alta marea le condizioni sono ideali. Quello che dobbiamo capire è che tutte queste tre variabili sono piuttosto correlate tra loro, ossia bassa pressione e forti venti sono spesso correlati, perturbazioni e alte maree o maree sizigiali sono spesso correlate (si tratta di maree atmosferiche) e forti venti e perturbazioni (si intende di pressione atmosferica) sono sempre correlati. Dunque ci si poteva aspettare ciò che è accaduto: non si tratta di un evento eccezionale solo per il fatto che non ricordiamo precedenti, del resto il *Lido di Ostia* ha solo 100 anni di storia.

**Dati meteorologici:** sono ricavati dai METAR degli aeroporti di Pratica Mare LIRE e di Fiumicino LIRF.

06:55	M		15 °C	5 km	994 m	↗ 240°	26 kt	METAR LIRE: 220755Z 24028KT 5000 TSRA BR SCT076 FEW020CB BKN030 15/13 Q0991 RMK OVC VIS MIN 5000 WIND 11HR3 24019G34KT WIND 11HR31 ////KT WHT
07:55	M		16 °C	7 km	-	↗ 240°	20 - 30 kt	METAR LIRE: 220655Z 24020G30KT 7000 -RA SCT015 FEW020TCU SCT025 16/14 Q0991 RETS RMK OVC VIS MIN 7000 WIND 11HR13 25017G30KT WIND 11HR31 ////KT WHT
06:55	M		18 °C	7 km	-	↗ 240°	24 kt	METAR LIRE: 220555Z 24024KT 7000 -1SRA SCT015 FEW020CB SCT040 18/16 Q0991 RETS
05:55	M		18 °C	7 km	-	↑ 190°	30 - 40 kt	METAR LIRE: 220455Z 19030G40KT 7000 -1SRA SCT015 FEW020CB SCT025 18/16 Q0992 RETS
04:55	M		26 °C	5 km	-	↗ 210°	23 - 33 kt	METAR LIRE: 220355Z 21023G33KT 5000 TSRA BR SCT015 FEW020CB SCT046 26/24 Q0995 RETS RMK OVC VIS MIN 5000 WIND THR13 22021G38KT WIND 11HR31 ////KT WHT
03:55	M		14 °C	5 km	-	↘ 150°	19 - 29 kt	METAR LIRE: 220255Z 15019G29KT 5000 1SRA BR SCT014 FEW020CB SCT050 14/12 Q0995 RETS
02:55	M		13 °C	5 km	-	↘ 120°	15 kt	METAR LIRE: 220155Z 12015KT 5000 TSRA BR SCT015 FEW020CB SCT035 13/11 Q0997 RETS RMK OVC VIS MIN 5000 WIND THR13 13017KT WIND THR31 ////KT WHT

Fig. 1 Dati della base militare di Pratica di Mare LIRE per l’alba del 22 novembre: alle 5:55 vento tra 30 e 40 nodi da Sud azimut 180°, cioè esattamente perpendicolare alla riva di Ostia. I dati dell’aeroporto di Fiumicino sono simili: tra le 5:20 e le 6:20 vento con raffiche fino a 33 nodi da 190°-210° di azimut e

pressione barica 992 mb e la base nuvolosa a 610 m. A Pratica di Mare è stata registrata una temperatura massima di 26 °C alle 4:55 e fino alle 5:55 la pressione è calata di 3 mb. A FCO tra le 7 e le 9 la pressione era 989 mb, più bassa che a Pratica di Mare e più fredda T=15-16°C, tra le 5 e le 6, a 992 mb, T=18 °C.

22 Novembre 2022 METAR LIRE e marea

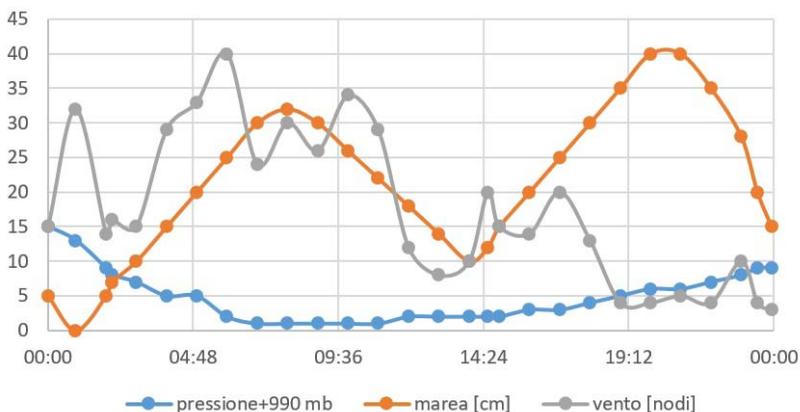


Fig. 2 Pressione, marea e raffiche di vento il 22 novembre 2022. Alla Lega Navale la webcam registra in automatico ed ho salvato online il video:<sup>2</sup> il mare ha "rotto gli argini" all'alba.



Fig. 3 Fotogramma del 22/11 dalla Lega Navale di Ostia. Le barche alate a riva sono state spostate e la spiaggia allagata.

<sup>2</sup> [https://youtu.be/nbIY2AIp\\_M8](https://youtu.be/nbIY2AIp_M8) e Occhio del Ciclone [MeteoSvizzera](https://www.meteosvizzera.ch/) 2022  
GERBERTVS vol. 18 2022 - 69

Dal livello della base delle cabine si può stimare in loco lo *storm surge*, che deve essere stato compreso tra 1.5 e 2 metri.



Fig. 4 Fotogramma al tramonto del 22 novembre 2022.

La strada del lungomare è a 2.2 m sopra il livello medio del mare, per cui il vento e le onde alte oltre 3 metri hanno fatto il resto dei danni sul litorale e sulle zone basse dove è stato costruito abusivamente.

**Conclusioni:** la dinamica della mareggiata è stata in sincronia con la marea; le raffiche di vento più forte G40KT sono state proprio in direzione della spiaggia 190° e insieme all'alta marea, modesta di per sé, 33 cm, e al minimo barico, 989 mb, hanno determinato l'inondazione della spiaggia e tutti i danni.

## **Minimo comune multiplo e teoria astronomica del clima**

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

*(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)*

Submitted November 27<sup>th</sup> 2022, accepted November 29<sup>th</sup> 2022

**Abstract** Determinism is the base of ancient and classical physics, while a periodical phenomenon represents its apogee. The idea of a few dynamical laws to describe all natural phenomena finds in the periodical functions the simpler way to do it. That is the reason why the circular motions are still part of the physics program at all levels from School to University; the applications to the centrifugal force and orbital motions are conceptually less important than the representation of a periodical (eternal) motion.

The astronomical forcing of the climate have been first individuated by William (1801) and John Herschel. William Herschel linked the rise and fall of wheat price in Windsor to the warmth and coldness of solar rays. John Herschel (1833) continued the studies of his father, regarding the atmospheric lunar and solar tides as meteorological forcing. We study the quasi-periodical behavior of the solar-lunar tides in the case of 18.6 years and 11 years of solar activity cycle, and the possibility to have the same conditions of 1985 in 2023. If the solar cycle would have similar amplitude, the thermal inertia arising from the phase's progress of the cycle is different, then only a numerical concordance may occur, without full physical similarity. Moreover the secular modulation of solar activity applies. We use also the Methonic cycle, of 19 years, it reproduces the same lunar phases, and almost same tide's strengths; it is used in the Easter Computus and the example of 1927-2022 cycle of 95 years is given.

**Sommario** La teoria astronomica del clima è deterministica e i periodi esatti del ciclo solare 11 anni e di quello metonico 19 anni modulerebbero l'andamento climatico. È un modello multiperiodico con cui mettiamo in relazione il gennaio 1985 col 2023. Le condizioni al contorno sono diverse.

**Introduzione:** L'ipotesi di Sir William Herschel sulla correlazione tra prezzo del grano e attività solare fu formulata nel 1801, e, benché abbia suscitato critiche,<sup>1</sup> resta un esempio importante di studi sulla relazione Sole-Terra. Riprendiamo l'ipotesi per una trattazione molto semplificata che metta in luce come si possa utilizzare un semplice modello multiperiodico per interpretare o prevedere dei fenomeni. Suo figlio Sir John, lo emulò nell'esplorazione completa del cielo

---

<sup>1</sup> Love, J. J., *On the insignificance of Herschel's sunspot correlation*, Geophys. Res. Lett., 40, 4171–4176, (2013).

australe da Cape Town, e continuò a svilupparne il lavoro sulla periodicità di 18.6 anni dell'influenza mareale lunare come modulazione periodica delle condizioni meteorologiche.<sup>2</sup>

**Attività solare e rotazione degli apsidi lunari** 11 anni il primo e 18.6 anni il secondo ciclo, combinati insieme, come fenomeno multiperiodico, hanno un ciclo di  $19 \times 11 = 209$  anni, se usiamo l'approssimazione metonica di 19 anni, che dà la stessa fase lunare nello stesso giorno dell'anno es. Luna piena il 25 marzo.

**Arrotondamenti e approssimazioni e forma della periodicità** la sequenza delle rotazioni degli apsidi insieme ai periodi 11 a:  
0 18.6 37.2 55.8 74.4 93 111.6 130.2 148.8 167.4 186 204.6  
0 11 22 33 44 55 66 77 88 99 110 121 132 143 154 165 176 187 198 209  
4 cicli degli apsidi e 5 delle macchie differiscono per 0.8 anni.

I cicli solari salgono più rapidamente 4.5 anni di quanto scendano in 6.5 anni. Se l'inizio del ciclo di 11 anni corrisponde con la fase massima, la differenza dopo 0.8 anni è il 12% meno del max, mentre se l'inizio è stato al minimo in 0.8 anni la situazione è già al 18% della salita tra min e max. Esaminando le sequenze di multipli di 11 e di 18.6 con excel si vede che dopo 242 anni  $= 22 \times 11$  la differenza è solo 0.2 anni  $241.8 = 18.6 \times 13$ . Dopo 1023 anni  $= 11 \times 93 = 18.6 \times 55$  sono in fase.

Questo numero si può trovare a partire dal m.c.m. tra 186 e 11:  $186 = 93 \times 2$  e  $11 = 11 \times 1$ , m.c.m.  $= 93 \times 11 = 1023$ .

**Ciclo di Metone e Ciclo Solare:**  $19 \times 11 = 209$  anni: la periodicità delle maree e del ciclo delle macchie solari si ripete esattamente, se questi sono i periodi medi esatti. Dopo due cicli di Metone, 38 anni, il ciclo Solare passa da un minimo al massimo nei restanti 5 anni che seguono il  $3 \times 11 = 33^\circ$  anno. Se però il Sole era ad una fase intermedia tra min e max, es. ascendente, è facile che in 5 anni possa essere nella fase discendente. Quindi come *irradiazione solare* l'intensità sarebbe

---

<sup>2</sup> Ksiazkiewicz, A., <https://www.whipplemuseum.cam.ac.uk/explore-whipple-collections/meteorology/weather-forecasting>

la stessa di 38 anni prima, cambia l'*integrale termico* che dopo aver superato il massimo è maggiore della situazione ancora a metà tra minimo e massimo. Per questo la situazione esattamente uguale si riproporrebbe solo dopo un numero intero di cicli per entrambi i fenomeni, come un vero e proprio fenomeno multiperiodico. Il dibattito in corso sulla possibilità che un'invernata come quella del gennaio 1985 si ripresenti per l'Italia, potrebbe essere ripreso in questo discorso.

### **Metone ed il ciclo delle Pasque**

Metone nel VI sec. a. C. riconobbe che le fasi lunari si ripetevano nelle stesse date dell'anno solare; questo ciclo è alla base del Computo Pascuale, in cui la Luna piena di Primavera è l'ingrediente base, l'altro è la domenica (28 anni di periodo per riaverla nella stessa data).  $28 \times 19 = 532$  anni è il grande ciclo delle Pasque nel calendario Giuliano. Il ciclo di 28 anni è chiamato anche "*ciclo solare*" con significato completamente diverso da quello dell'attività solare. La Domenica il 25 dicembre ritorna, nel calendario Giuliano, che ha un bisestile ogni 4 anni, sempre, dopo 11, 6, 5 e 6 anni. Ossia nel 2022, 2033, 2039, 2044, 2050, 2061, 2066, 2072...la sequenza di 11, 6, 5, 6 dipende in quale anno del ciclo bisestile si comincia a contare.  $11+6+5+6=28$  è il *ciclo solare*.<sup>3</sup> "Sotto-cicli solari" sono quelli di 5 anni se l'anno di partenza è come il 2024 (bisestile), e quindi anche il 1924. Mettendo in parallelo Metone e *solare*:

0 19 38 57 76 95

0 28 56 84+11=95

Abbiamo che se l'anno "zero" è tipo il 2022 dopo 95 anni abbiamo di nuovo la stessa situazione, es. domenica 25 dicembre 2117. Questi sono gli anni con l'avvento più lungo (4 settimane intere, con inizio il 27 novembre).

**Il caso del Sabato Santo del 1927**, era il 16 aprile. È un anno simile al 2023, precedente al bisestile. Quindi la sequenza del

---

<sup>3</sup> secondo la voce *Calendario* dell'Enciclopedia Treccani (1949).

ciclo solare e dei sotto-cicli è  $0\ 28\ 56\ 84\ +6+5=95$

Significa che il 16 aprile è stato sabato anche 90 e 95 anni dopo, ma è stato con la stessa fase lunare solo 95 anni dopo, nel 2022. Joseph Ratzinger è nato il 16 aprile 1927 di Sabato Santo, e ha festeggiato 95 anni, da Papa emerito, Sabato Santo 16 IV 2022. È il ciclo delle Pasque *Giuliane* più breve, su cui era basato il computo di Dionigi il Piccolo del 532. Quello più antico era stato pubblicato ad Alessandria nel 222, e lo troviamo sul lato della statua sedestre di s. Ippolito, rinvenuta a S. Lorenzo fuori le Mura a Roma e conservata ai Musei Vaticani, ed in copia a S. Lorenzo in Lucina (foto in fig. 1) e alla Biblioteca Vaticana, era basato sull'Octaëteris, un ciclo di 8 anni, che risulta più impreciso del ciclo di Metone.<sup>4</sup>



Fig. 1 Sequenze di doppie octaëteris sulla Cattedra d'Ippolito.

### Pseudoepigrafia della *Tavola di Herschel*

Su almanacchi pubblicati in Irlanda e in America nella prima metà dell'ottocento apparvero le tavole di Herschel, che sia il padre William che il figlio John disconobbero.<sup>5</sup> Si tratta di una *volvella* di stile medievale su cui sono riportate le diverse altezze della Luna nel corso di un ciclo di 18.6 anni, in cui essa

<sup>4</sup> C. Sigismondi, Gerbertus, Vol. 9, pp. 109-112 (2016).

<sup>5</sup> J. R. Starr, Weather 57, pp. 99-100 (2002).

sorge da tutte le *diverse foci* (Dante, Paradiso 1, 37). Gli azimut di levata della Luna corrispondono a quelli dei corrispondenti segni zodiacali, e quando –ad esempio- si trova nel Cancro, essa culmina a declinazione  $23.5^{\circ} \pm 5.1^{\circ}$  Nord. Si ha la massima declinazione settentrionale quando il nodo ascendente dell’orbita lunare è  $90^{\circ}$  prima del Cancro, ossia nell’Ariete, e allo stesso tempo si ha la minima declinazione meridionale in Capricorno a  $-28.6^{\circ}$  Sud. Dopo 9.3 anni la situazione si inverte.



Fig. 2 La Tavola del meteo, cosiddetta di Herschel

*La suddetta tavola, costruita su considerazione filosofiche sull'attrazione di Sole Luna nelle loro varie posizioni, rispetto alla Terra e confermate dalle osservazioni ed esperienze di molti anni, suggerirà, senza dubbio, all'Osservatore, che tipo di tempo si verificherà –molto probabilmente- all'ingresso della Luna in ciascuno dei suoi quarti. Quasi sempre vero, fallirà pochissimo. Esempio: se ci sarà Luna nuova, piena o la Luna entrerà nel primo o ultimo quarto alle 12 o tra le 12 e le 2 PM, il tempo sarà molto piovoso d'estate e acqua/neve d'inverno, e così via secondo la tavola.*

**Conclusioni** un fenomeno periodico o multiperiodico è descritto mediante moti circolari. Questo semplice modello, ricorrente, rappresenta il massimo controllo possibile su un fenomeno fisico, e necessita dell'addizione o della moltiplicazione per fare previsioni complete. Dunque è lo stadio più avanzato della previsione mediante un modello e per questo ha avuto un successo lungo tutta la storia del pensiero scientifico. Le orbite dei pianeti, le previsioni delle maree, e la teoria meteorologica che fu sviluppata nel corso del XIX secolo, il secolo dell'apogeo della meccanica classica, rappresentano proprio questo concetto di fisica deterministica. Moti periodici e quasi periodici spiegavano (quasi) tutti i fenomeni osservabili. Abbiamo presentato il caso della combinazione del ciclo dell'attività solare (11 anni) e quello delle fasi lunari riferite alla stessa data dell'anno solare (19 anni) vedendo come si completino in 209 anni, essendo entrambi numeri primi. La stessa situazione del 1985 si è avuta nel 1776. Nel 2023, dopo 38 anni, la fase del ciclo solare è in avanti rispetto al 1985, in cui era al minimo. Nel 2023 sarà quasi al massimo.<sup>6</sup> La modulazione secolare sulle ampiezze dei cicli solari rende questa discussione "accademica" ed anche lo stesso numero di macchie del 1985, sarebbe preceduto da un periodo più freddo (- macchie e - facole, zone più calde).

---

<sup>6</sup> <https://www.sidc.be/silso/cyclesminmax>

## Congiunzione Giove Luna del 2 XII '22 da dati meridiani

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted December 2<sup>nd</sup> 2022, accepted December 5<sup>th</sup> 2022

**Abstract** The Moon at 19:12 and Jupiter at 19:26 have been observed passing at the meridian line of St. Peter's square in Vatican on Dec. 1<sup>st</sup> 2022. The instant of the ecliptic conjunction between Moon and Jupiter is calculated by using the lunar mean sidereal motion. The ecliptic coordinates are computed from the observed right ascension and declinations.

**Sommario** I passaggi meridiani di Luna alle 19:12 e Giove alle 19:26 del 1 Dicembre 2022 alla meridiana di piazza san Pietro sono stati usati per calcolare l'istante della loro congiunzione eclittica.

**Introduzione:** L'astronomia antica era basata sulle coordinate eclittiche, che sono misurate sull'orbita del Sole, sulla quale posso avvenire le eclissi. I pianeti percorrono una fascia eclittica larga circa 7° e la Luna 5° 09'; questa viene spesso rappresentata nelle raffigurazioni artistiche del Mondo.



Fig. 1 Il Padre Eterno col Mondo in mano, affresco di Igino Cupelloni (1918-2009) Chiesa di S. Maria Madre della Provvidenza a Roma. La sfera celeste sotto la mano sinistra ha una fascia dorata orizzontale, che è un cerchio massimo: questa è l'eclittica. La fascia verticale, sormontata dalla croce, probabilmente ricorda anche il Mondo a O-T dei continenti della cartografia medievale circondati dal mare Oceano.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>[https://it.wikipedia.org/wiki/Mappa\\_orbis\\_terrae#/media/File:T\\_and\\_O\\_m\\_ap\\_Guntherus\\_Ziner\\_1472.jpg](https://it.wikipedia.org/wiki/Mappa_orbis_terrae#/media/File:T_and_O_m_ap_Guntherus_Ziner_1472.jpg)

### **Dalle osservazioni meridiane alle coordinate equatoriali**

La meridiana di piazza s. Pietro ha delle sistematiche, ed i tempi di passaggio al meridiano risultano anticipati rispetto al vero poiché la croce sommitale dell'obelisco non è esattamente in asse con la linea meridiana e con l'asse dell'obelisco. Inoltre il centro della Luna, fuori dalla dicotomia esatta, non è facilmente individuabile durante l'osservazione e quindi per il 1° dicembre 2022 mi riferisco a dati volutamente arrotondati al minuto. Infine la meridiana è parzialmente occupata da transenne, e la ripresa del transito della Luna è stata fatta sopra una di queste, a circa 1 metro da terra.<sup>2</sup> La Luna è passata in meridiano alle 19:12 e Giove alle 19:26. Le altezze meridiane dei due astri erano circa 41° e 46°. Il Sole era passato in meridiano alle 11:59:20,<sup>3</sup> in questo modo possiamo calcolare la differenza in ascensione retta tra Luna e Sole.

**Longitudine eclittica di Sole e Luna** Il Sole è entrato nel Sagittario il giorno 22 alle 9:18, per cui il 1 dicembre alle 11:59 è sul  $9^{\circ}+3/24$  grado del Sagittario, con il moto medio del Sole pari a  $1^{\circ}$  al giorno. La Luna alle 19:12, 7 ore 13 minuti dopo il passaggio meridiano del Sole, è  $[7+13/60]/24 \cdot 360^{\circ} = 108.25^{\circ}/30^{\circ} = 3$  segni interi di  $30^{\circ}+18.25^{\circ}$  dopo il Sole, ossia è in Pesci al  $27^{\circ} +3/8^{\circ}$ . Questo calcolo in realtà è una differenza di ascensione retta, non di longitudine eclittica, ma se andiamo a vedere il risultato esatto (usando Stellarium 0.20) la Luna è a  $353^{\circ}50'$  cioè Pesci  $23^{\circ}50'$  e il Sole a  $249^{\circ}13'$  cioè Sagittario  $9^{\circ}13'$ , l'errore maggiore è per la Luna. Occorre usare le formule di cambiamento di riferimento tra i due sistemi di coordinate celesti.

**Differenza di longitudine eclittica di Luna e Giove** questo calcolo può presentare meno errori anche senza le formule esatte del cambio di coordinate, data la loro vicinanza: 14 min.

---

<sup>2</sup> <https://youtu.be/dHtYuJqkIzg> video del 1.12.2022 h 19:10, Vaticano SPO

<sup>3</sup> <https://youtu.be/UnjC-8BEMiU> video del 1.12.2022 h 11:55, Roma SMA

Vicini entrambi all'equatore celeste (disco equinoziale della meridiana) si può usare l'equazione  $4 \text{ min}=1^\circ$ , per determinare la differenza in ascensione retta pari a  $3\frac{1}{2}^\circ$ , che consideriamo identica anche in longitudine eclittica. Prendiamo anche la Luna come fosse in moto sull'eclittica, col moto medio di  $\frac{1}{2}^\circ/\text{h}$ .  $3\frac{1}{2}^\circ$  vengono percorsi in 7 ore, la congiunzione avverrebbe alle 2:13 AM del 2 dicembre, 7 ore dopo i passaggi meridiani.

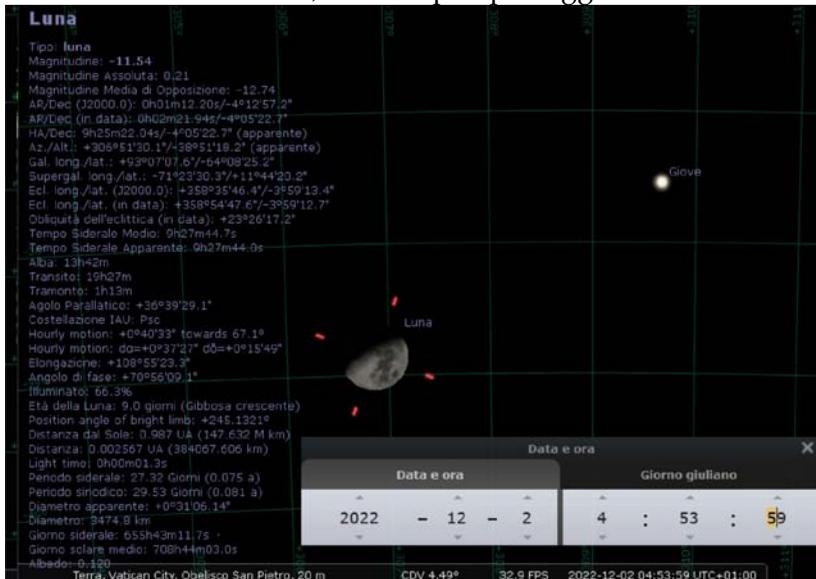


Fig. 2 Congiunzione eclittica Luna-Giove alle 4:54 AM del 2/12. **L'orbita della Luna rispetto all'eclittica** conosciamo la posizione dei suoi nodi: discendente il 25 ottobre alle 12 (eclissi di Sole) nel 2° dello Scorpione, ascendente l'8 novembre alle 12 nel 16° del Toro (SCO+6 segni) a 180°. La Luna ha raggiunto la massima latitudine eclittica Nord 90° dopo 16° del Toro, quindi 16° Leone, e la minima Sud 16° Acquario. Essendo la Luna tra Pesci (23°) e Ariete la Luna il 1° dic h 19:12 è sotto l'eclittica: si trova  $37^\circ$  dopo il minimo in latitudine di  $-5^\circ 09'$ , cioè  $-5^\circ 09' \cdot \cos(217^\circ=180^\circ+37^\circ)=-4^\circ 06'$  ( $-4^\circ 37'$  da effemeridi). Calcolando  $-5^\circ 09' \cdot \cos(220.5^\circ)=-3^\circ 54'$  la Luna sta salendo in latitudine eclittica di 12' verso la congiunzione,



**Cambiamento di coordinate grafico** nel rappresentare l'orbita della Luna e quella del Sole insieme all'equatore gli angoli delle linee di uguale ascensione retta sono convergenti ai poli celesti. L'equatore è sopra l'eclittica d'Inverno e sotto d'Estate.

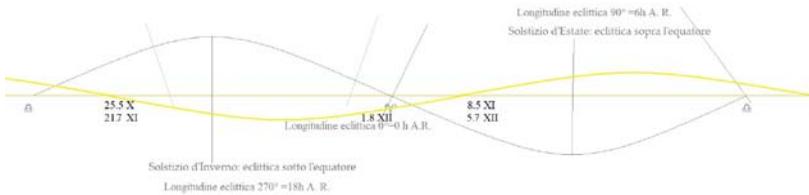


Fig. 4 Le orbite del Sole (retta orizzontale rossa) e della Luna (curva gialla) confrontate con l'equatore celeste (curva nera).

La Luna passa ai nodi, che retrogradano, ogni 27.2 giorni (mese draconitico), mentre passa presso la stessa stella ogni 27.33 giorni (mese siderale). Le coordinate sull'equatore (ascensione retta, ma letta in gradi) riportate sull'eclittica, a causa della convergenza delle linee di uguale ascensione retta, risultano più "grandi" di quelle eclittiche prima del punto  $\gamma$ , proprio come accade per la Luna il 1 dicembre alle 19:12 (A R. 23h44m=356°,  $\lambda=354^\circ$ ). Poiché l'angolo formato da eclittica ed equatore è  $\varepsilon=23.5^\circ$ , i  $4^\circ$  che mancano al punto  $\gamma$ , sull'equatore, costituiscono un cateto di un triangolo la cui ipotenusa giace sull'eclittica:  $4^\circ/\cos(\varepsilon)=4.36^\circ$ . Se aggiungiamo anche la latitudine eclittica della Luna al momento dell'osservazione  $\beta=4.6^\circ$  possiamo spiegare i rimanenti  $1.64^\circ$  di differenza tra longitudine eclittica e ascensione retta.

Infatti la stessa orbita della Luna, poiché non giace sull'eclittica, presenta lo stesso problema delle convergenze: la perpendicolare all'orbita della Luna è perpendicolare anche all'eclittica solo alle latitudini eclittiche più estreme. Analogamente accade ai solstizi tra eclittica ed equatore. Tuttavia se le orbite sono parallele, per la sfericità del cielo, un grado percorso sull'eclittica ai solstizi si proietta sull'equatore su uno spazio angolare maggiore pari a  $1^\circ/\cos(\varepsilon)$ , con  $\varepsilon=23.5^\circ$

l'obliquità dell'eclittica. Così un grado percorso dalla Luna ai lunistizi sull'eclittica diventa pari a  $1^\circ/\cos(\iota)$ , con  $\iota=5.15^\circ$  l'inclinazione dell'orbita lunare sull'eclittica.

Anche se sembra poca cosa, quando si vogliono fare i calcoli esatti, questo termine incide sul risultato.

### **Formule di trigonometria sferica per il cambio di coordinate**

Per passare dall'ascensione retta e declinazione (ciò che posso misurare alla meridiana) alle coordinate eclittiche ci sono le formule di trasformazione di coordinate.<sup>5</sup> Usando Stellarium si ottengono immediatamente le coordinate nei sistemi di riferimento desiderati, riferite sia al 2000 che alla data in corso.

Tutte queste considerazioni sono state fatte per arrivare alla **Congiunzione eclittica**: è diversa da quella in ascensione retta. Giove è praticamente fermo (1' in 8 ore) e sta in  $\lambda=359^\circ$ . La Luna sta in  $\lambda=354^\circ$  e viaggia a  $1^\circ$  ogni due ore; quindi mancano 10 ore. La congiunzione è così prevista alle 5:12 del mattino seguente 2 dicembre, mentre le effemeridi di Stellarium la danno alle 4:54 AM.

**Conclusioni**: alla meridiana dell'obelisco di san Pietro abbiamo misurato i passaggi di Luna alle 19:12 e Giove alle 19:26 del 1° dicembre. 14 minuti in ascensione retta corrispondono a  $3.5^\circ$  sull'equatore, ma  $5^\circ$  sull'eclittica, che la Luna percorre in 10 ore.



Fig. 5 Ascensione retta e longitudine eclittica vicino al punto  $\gamma$ . Ai nodi dell'eclittica  $\gamma$  e  $\Omega$ , è massima la differenza tra A.R. e  $\lambda$ .

<sup>5</sup> <https://eratostene.vialattea.net/wpe/argomenti/sistemi-di-coordinate-astronomiche/trasformazione-di-coordinate/>

## Il raggio della Terra da misure sullo stesso meridiano

Federico Battistiol, Elena Piccoli

(Liceo Antonio Scarpa, Motta di Livenza, TV)

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted December 2<sup>nd</sup> 2022, accepted December 5<sup>th</sup> 2022

**Abstract** The radius of the Earth was measured by Eratostenes along 7° of latitude. We repeat the experience on the same meridian of Rome, along 430 km or 3°52' of latitude. In Rome we use the Clementine Gnomon (41°54'11.2" N and 12°29'51" E) and in Motta di Livenza a vertical pole. The measures have been realized in October and December 2022 and a better calibration of both instruments come out as a side effect.

**Sommario** L'esperienza di Eratostene fu condotta su circa 7° gradi di latitudine tra Siene ed Alessandria, noi la ripetiamo su 3°52' tra Roma e Motta di Livenza. A Roma usiamo la meridiana Clementina (41°54'11.2" N e 12°29'51" E) e un palo verticale a Motta di Livenza (45°46'22" N e 12°36'21" E). Le misure realizzate ad Ottobre e Dicembre 2022 hanno richiesto una migliore calibrazione di entrambi gli strumenti.

**Introduzione:** L'esperienza di Eratostene è concettualmente molto semplice, e oggi con l'aiuto di google maps sarebbe molto facile controllare che due strumenti sono sullo stesso meridiano. Ma tre secoli avanti Cristo l'impresa richiedeva molto più che due osservazioni fatte lo stesso giorno del solstizio estivo, anche se a Syene, l'attuale Assuan, il Sole passava allo zenith al mezzogiorno locale. Infatti per conoscere se due località erano sullo stesso meridiano occorre osservare con un orologio sincronizzato col passaggio meridiano del Sole un'eclissi di Luna, e poi confrontare le osservazioni. Per farla breve il lavoro di Eratostene era possibile se una rete di osservazioni ed operazioni potevano essere realizzate e coordinate tra loro, con tutta la potenza tecnica e organizzativa del regno alessandrino alle spalle. Eratostene stesso era il direttore della Biblioteca di Alessandria, il luogo di riunione dei maggiori scienziati del Mondo all'epoca.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> [La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna.](#) By Lucio Russo | Reviel Netz - Academia.edu

**Luoghi e strumenti deputati:** Roma e Motta di Livenza sono sullo stesso meridiano (5' 30" di differenza: Motta è più a Est). Dunque è sufficiente confrontare la lunghezza relativa di un'ombra meridiana nello stesso istante, meglio quello del passaggio meridiano, e il gioco è fatto. Non abbiamo mai il Sole allo zenith, ma ci possiamo aspettare che in meridiano l'altezza del Sole sia sempre 3°52' di differenza in meno per il sito più a Nord. I 430 km di distanza misurabili mediante GMaps tra i due siti di osservazioni completano gli ingredienti necessari, mediante una proporzione, a trovare la circonferenza ed il raggio della Terra.  $430 \text{ km} : 3.87^\circ = x : 360^\circ$ . Il nostro esperimento, dunque, si limita alla verifica che la differenza tra le altezze meridiane sia  $3.87^\circ$ , visto che la differenza in longitudine di 5.5' dei due meridiani influisce in modo trascurabile sui risultati.

**Calibrazione del palo verticale a Motta:** Le misure fatte nella scuola di Motta di Livenza durante il mese di Ottobre 2022 sono servite ad individuare lo gnomone migliore allo scopo. Infatti è opportuno avere uno gnomone alto, e il bordo di un edificio può essere buono, ma è necessario anche che sia accessibile il piede della perpendicolare allo gnomone.

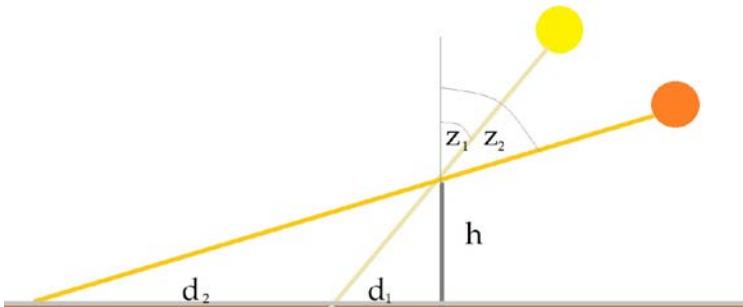


Fig. Schema della lunghezza dell'ombra a due distanze zenitali. Sono stati provati allo scopo il muro della scuola, quello della palestra ed un palo della luce, che alla fine è stato utilizzato.

La sua verticalità è l'ipotesi più difficile da verificare nella pratica, e sono state necessarie due misure di cui una vicina al solstizio invernale, quando la sua ombra è più lunga. Infatti poiché la lunghezza "d" dell'ombra su un piano orizzontale dipende dall'altezza sullo stesso piano della sommità dello gnomone "h", se ho due valori di  $d=h \cdot \tan(z)$  per due valori diversi di  $z$ , posso ricavare il valore del parametro  $h$  da due o più misure della lunghezza dell'ombra meridiana.

Servono almeno due misure poiché la deviazione dalla verticale del palo, che è sistematica, è presente nello stesso modo nelle due misure  $d=h \cdot \tan(z)+d_{\text{sist}}$ .

Lo scopo delle misure a Motta è stato quello di ridurre l'incertezza su  $d_{\text{sist}} < 5$  mm. In questo modo l'angolo zenitale del centro del Sole, o del suo bordo più alto, misurato col palo verticale dovrebbe essere conosciuto con una precisione migliore di 5 mm su 5000, ossia di una parte su mille, circa 3'.

**Calibrazioni allo gnomone Clementino:** sono in corso dal 2018 per la campagna IGEA-ZIA, e in questa occasione un tassello in più è stato conseguito. Infatti abbiamo legato tutte le misure al punto dell'equinozio usando un unico metro metallico di 10.5 m. Questa operazione è stata fatta passando sotto il passaggio vetrato che fu collocato tra  $z=45^\circ$  e  $z=42^\circ$ , ed ha subito messo in evidenza discrepanze di qualche millimetro sui riferimenti prima e dopo il vetro. Come zero di riferimento abbiamo usato le effemeridi di Stellarium 0.20, quando la differenza con le misure risultava inferiore ad 1 mm e non c'erano anomalie dell'indice di rifrazione, dovute ad anomalie di pressione atmosferica o del gradiente termico verticale,<sup>2</sup> cioè in giorni sereni e stabili.

**Analisi dati** con lo spigolo della palestra della scuola si è risolto il sistema  $d=h \cdot \tan(z)+d_{\text{sist}}$  con i dati del 6 e del 20 ottobre 2022, con  $z$  da effemeridi, ed è venuto  $h=9.547$  m 118

---

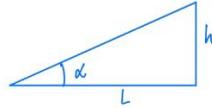
<sup>2</sup> C. Barbieri, *Lezioni di Astronomia*, Zanichelli, Bologna 1999.

mm in meno di quanto misurato col distolaser. L'altro parametro  $d_{sist.}=339$  mm, si può spiegare se lo spigolo della palestra è sporgente di 34 cm rispetto al muro sottostante, pur non essendoci elementi aggettanti.

MISURE NOTTA DI LUENZA  
ESPERIMENTO ERATOSTENE

Edificio: PALESTRA

Altezza:  $h = 9,665$  m



DATA	ORA	LUNGHEZZA OMBRA L (m)	ANGOLO	EFFEMERIDI
6/10/2022	12:57:42	12,12	38,57°	39,02°
20/10/2021	12:54:22	14,60	33,50°	33,8°

Prendendo invece per buona la misura di  $h$  e calcolando le altezze angolari del Sole nei due giorni il Sole risulterebbe  $0.45^\circ$  e  $0.3^\circ$  più basso delle effemeridi, e quindi la differenza con Roma inferiore di  $0.37^\circ \pm 0.07^\circ$  ai  $3.87^\circ$ , con la conseguenza che la circonferenza polare della Terra sarebbe più grande.

**Bordo dell'ombra e penombra:** il bordo superiore del Sole si mostra sopra un edificio, quindi l'inizio dell'ombra corrisponde alla proiezione a Terra del bordo superiore, di  $16' = 0.267^\circ$ , al centro del Sole (effemeridi). La penombra non viene distinta chiaramente dall'ombra, e se il Sole appare più basso è perché l'ombra è stata valutata più lunga, e non più corta come si avrebbe prendendo il bordo superiore del Sole.

Questo argomento è a favore della presenza di  $d_{sist.}=339$  mm, che si aggiunge alla vera lunghezza dell'ombra. È chiaro che con due sole misure i parametri  $h$  e  $d_{sist.}$  ottenuti col sistema portano i risultati delle osservazioni nella direzione del raggio della Terra corretto, visto che a S. Maria degli Angeli la precisione delle misure angolari è sempre entro alcuni secondi d'arco.

## L'occultazione di Marte in opposizione

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted December 8<sup>th</sup> 2022, accepted December 9<sup>th</sup> 2022

**Abstract** On 8 December 2022 the full Moon at 5:09, Mars in opposition at 5:24 and the occultation at 6:15 have been video recorded. The immersion's instant for Mars has been calculated from two photograms, by its angular diameter 17'' and the lunar orbital velocity 0.5''/s, validating Stellarium 0.20

**Sommario** L'8 dicembre 2022 Luna piena alle 5:09, Marte in opposizione alle 5:24 e la sua occultazione alle 6:15 sono state registrate. L'istante dell'immersione di Marte calcolato da due fotogrammi, con il suo diametro angolare 17'' e la velocità orbitale lunare 0.5''/s, valida Stellarium 0.20.

**Introduzione:** Una occultazione planetaria, a differenza di quelle stellari, è un fenomeno a luminosità variabile, poiché il disco del pianeta viene coperto gradualmente dal profilo del disco lunare. La Luna piena, in aggiunta, non offre un contrasto luminoso vantaggioso, come quando è crescente e l'astro occultato sparisce dietro il bordo oscuro della Luna.

Si tratta comunque di un evento interessante per la pratica astronomica in stile IOTA.<sup>1</sup> Per il video girato durante l'immersione ho scelto ISO 100 ed EV=-0.7, la scelta è stata dettata dalle circostanze di illuminazione al momento, poiché sono sopraggiunti due veli di stratocumuli, con quello inferiore opaco. Luna satura e Marte (-1.9) visibile nel video.

La sincronizzazione con l'orologio radio sincronizzato fatta con dei fischi in vari momenti del video, è accurata a 0.3 s.

### Dati osservativi: i fotogrammi cronodati

Dal video pubblicato su youtube ho ricavato tre fotogrammi con Marte ancora separato dal bordo lunare, Marte parzialmente e completamente immerso.<sup>2</sup> Tutto questo tra una nuvola e l'altra. Li ho analizzati con IRIS di Christian Buil e ho ricavato per Marte pieno 9x9 pixel a 90 ADU e per Marte parzialmente occultato 4x4 pixel a 50 ADU. Il diametro in pixel

---

<sup>1</sup> D. Dunham, <http://www.lunar-occultations.com/iota/planets/1208mars.htm>

<sup>2</sup> <https://youtu.be/qatxeuWdufk> foto in fig.1,e <https://youtu.be/8mivJTphjCo>

non è il diametro angolare, ma quello determinato dalla sfocatura, dove sono ripartiti sull'immagine i fotoni che vengono da Marte, proporzionali all'area visibile del pianeta.



Fig. 1 Fasi dell'immersione di Marte dietro il disco lunare. Gli ingrandimenti mostrano un bordo nero lunare artefatto di 17". Intensità fuori:  $9^2 \times 90 = 7290$ , intensità parzialmente immerso  $4^2 \times 50 = 800$ . Marte è ancora fuori per l'11% della sua area.



Fig. 2 Fotometria disco.

Si tratta dell'area di un settore circolare, poiché la curvatura della Luna è molto più grande di quella di Marte e può essere approssimata ad una retta, e di valutare quale percentuale del diametro resta coperta. Dalla figura 2 si può vedere che

circa il 18% del diametro di Marte resta ancora in vista.

In questa opposizione il diametro angolare è 17": quindi circa 3" sono ancora scoperti. Alla velocità orbitale 0.5"/s la Luna li copre in 6 secondi. Dal modello geometrico e dai dati di intensità e dimensione dell'ultima immagine, sfocata, di Marte si ricava che alle 6:14:57 Marte si è completamente immerso dietro al disco lunare a Roma, Monte Mario. Le effemeridi di Stellarium 0.20 danno le 6:15:03 e sono in buon accordo, non quelle IOTA (6:15:28) né Occult 4.1.5.0 (6:15:32) calcolate entrambe per Monte Mario, poiché era già sparito alle 6:15:10.

**Conclusioni:** con la fotometria di Marte e geometria del disco occultato ho estrapolato l'immersione e validato Stellarium 20. La discrepanza oltre 30 s per le altre due effemeridi forse è per il bordo nero artefatto in fig. 1, l'emersione lo avrebbe chiarito.

## Solstizio e *Solis Institium* nel Menologio rustico di Napoli

Marco Andrioli (*San Bonifacio, VR*) marcoandrioli65@gmail.com

Submitted September 22<sup>nd</sup> 2022, accepted December 10<sup>th</sup> 2022

**Abstract** The etymology of the word solstice is discussed on the light of Menologium rusticum Colotianum's term of Solis Institium and Bruma for Winter, standing for Bre(viss)ima (dies). The Menologium is in Naples,

**Sommario** L'etimologia di solstizio è discussa alla luce dell'iscrizione sul Menologio rustico Coloziano di Napoli, dove è attestato Sol Institium, e Bruma a partire da Bre(viss)ima (dies), per il solstizio invernale.

### Introduzione: *SOLSTITIVM* o *SOLIS INSTITIVM*?

Dal vocabolario on line Treccani abbiamo: **solstìzio** s. m. [dal lat. solstitium, comp. di sol «Sole» e tema di stare «fermare, fermarsi»]. Ma nel "*Menologium*" rustico o coloniale Coloziano, al mese di giugno, appare l'epigrafe:

"*SOLIS INSTITIVM*", dal significato chiaro e limpido di "Sole" + "fermata". Del resto "il fermarsi" è espresso anche con il termine latino "institio" in Cicerone (*Tusculum* 1,25) "*qui errantium stellarum cursus, praegressiones, institutiones notavit*".

Per conferma si confronti un dizionario latino alla parola "*institio*".



Fig. 1 Il Menologium rustico, Museo Archeologico di Napoli.

Il riquadro centrale riporta le 9 ore della notte, l'8° giorno prima delle calende di Luglio (21 giugno).

Al tempo dell'incisione del Menologium, il termine "*SOLIS INSTITIVM*", al mese di giugno, indicava quello che oggi chiamiamo solstizio estivo (il Sole è al tropico del Cancro). Il

termine solstizio (che secondo i dizionari deriva da *solstitium*) oggi è associato ad entrambi i momenti astronomici: il solstizio estivo e il solstizio invernale. Ma gli antichi romani definivano il solstizio invernale con il termine “*bruma*”,<sup>1</sup> perchè è il giorno più breve di ogni altro (*Dicta “bruma” quod brevissima dies est*). Questo dettaglio mi ha indotto a pensare che il termine *solstitium* sia il risultato della contrazione (vuoi per semplificazione o vuoi per corruzione da parte di antichi copisti) del termine originale SOLIS INSTITIVM, il quale esprimeva bene, in modo preciso e chiaro il significato astronomico: “Sole stare fermo sopra”, “Sole sosta là in alto”, al mese di giugno.

Del resto “*interstitium*” indica “stare in mezzo, stare tra” e *instare* significa “stare sopra”.

La contrazione *solstitium* invece, che obbliga l’enciclopedia Treccani al rimando del tema stare per trovare il significato di “Sole fermo”, è validissima oggi per indicare entrambi i due momenti del Sole ai tropici, ma solo se poi in italiano si aggiunge la specifica di “estivo” o “invernale”; tutto ciò perchè il termine originale SOLIS INSTITIVM, semplificato in *solstitium*, gli ha fatto perdere l’indicazione chiara riferita al solo tropico del cancro : “Sole fermo sopra”, “Sole fermo alto (sull’orizzonte)”.

### **Il caso del solstizio invernale sul Menologio**

Anche al solstizio d’inverno (tropico del Capricorno) si ha la sensazione che il Sole si fermi, ma non è fermo in alto come indica bene il termine INSTITIVM.

A conferma di ciò è anche l’assenza, al mese di dicembre del Menologium, dell’incisione doppiamente usata del termine “SOLIS INSTITIVM”, per indicare l’altro momento astronomico del solstizio invernale, il quale è indicato invece

---

<sup>1</sup><https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015084647901&view=1up&seq=393&q1=bruma>

con l'epigrafe: "HIEMIS INITIUM SIVE TROPAE CHIMERINAE", cioè "l'inizio del freddo o della svolta in Capricorno (del Sole)" (fig. 1 a destra, sotto il Sagittario<sup>2,3</sup>).

**Sintesi nell'opera incisoria** oggi giorno è diffusamente in uso nella messaggistica la scrittura in forma contratta di parole sinonime: xkè = perchè, xfetto =perfetto, ecc.

Incidere una parola con martello e scalpello non è come digitare dei tasti. Quindi, se il termine *solstitium* fosse stato in uso al tempo dell'incisione, per quale motivo lo scalpellino non ne fece utilizzo, risparmiandosi la fatica di incidere ben quattro caratteri aggiuntivi ed evitare la difficoltà di rimanere all'interno dei margini della colonna?

La risposta che mi sono procurato è che la parola *solstitium* non era ancora diventata la forma contratta con lo stesso significato, che indicasse il momento astronomico del "Sole sopra alto fermo" in cielo, nel mese di giugno. Soprassedendo all'odierna imprecisione astronomica trasmessa con l'uso "isolato dal contesto" del termine solstizio, dovrebbe essere almeno integrata l'origine l'etimologica di solstizio.

**Conclusioni, SOLSTIZIO:** Etimologia: ← dal lat. SOLIS INSTITIVM, comp. sōlis 'Sole' e institium 'fermarsi in alto' (detto così anticamente quel giorno del mese di giugno in cui il Sole sembra si fermi, voltato verso di noi, alto sull'orizzonte).<sup>4</sup> È da evidenziare che in alcuni dizionari del XIX secolo si affaccia in forma dubitativa il SOLIS INSTITIVM connesso al termine INSTITIUM (il fermarsi).<sup>5,6</sup> La forma

---

<sup>2</sup> <https://www.ibiblio.org/expo/vatican.exhibit/exhibit/b-archeology/images/arch07.jpg> trascrizione del Calendario Vallense

<sup>3</sup> <https://logeion.uchicago.edu/bruma> bruma da brevima < breuma (sincope)

<sup>4</sup> [https://www.treccani.it/magazine/lingua\\_italiana/domande\\_e\\_risposte/lessico/lessico\\_914.html](https://www.treccani.it/magazine/lingua_italiana/domande_e_risposte/lessico/lessico_914.html) a questo link si trova il dibattito tra l'Autore ed i linguisti dell'Istituto dell'Enciclopedia Italiana.

<sup>5</sup> INSTITIUM, ii, n. verbale ab **insisto**, idem quod **institio**: il fermarsi. In vet. Kalend. Apud Grat. 138, mense Iunio, quando solstitium fit, solis

*solstitium* è attestata in opere di autori latini antichi.<sup>7</sup> È probabile che il modo di dire romano antichissimo, “SOLIS INSTITIVM” , originariamente chiaro e limpido nel suo significato, sia stato poi deviato con abbreviazioni di antichi copisti. Le pietre parlano: il *Menologium* testimonia, a mio parere, la forma originale in latino della parola in lingua italiana SOLSTIZIO. L’etimo in linguistica è la forma più antica alla quale sia possibile risalire nello studio della storia di un vocabolo. Il termine *Bruma* indicava il solstizio invernale, i cui giorni sono i più brevi. Nella *menologia rustica*<sup>8</sup> è la tradizione degli almanacchi agricoli, la cui unica testimonianza lapidea è il *Menologium* di Napoli, essendo andato perduto il Vallense.

---

institium legitur. *Presso Grazio (Falisco) 138, nel mese di Giugno, quando avviene il solstizio, si legge solis institium. Sed illud Kalendarium habetur apocryphum a Pontedera in Antiqu. Gr. et Lat. Ep. 46, genuinum vero a Morcell. De Stil. Inscr. Lat. T. 1 p. 79 edit. Patav. (da Egidio Forcellini, revisione di Giuseppe Furlanetto, Totius Latinitatis Lexicon, Prato, typis Aldinianis, 1865 tomo III, p. 548)*

<https://archiviodistatorino.beniculturali.it/strumenti/lexicon-totius-latinitatis/> sul Lexicon di Forcellini col link al volume consultato,

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015084648024&view=1up&se-q=178&q1=Solstitium> dove si trova scritto in calce *Olim & SoliStitium scriptum fuit, una volta era anche scritto SoliStitium*. E sono riportate alcune delle citazioni che Treccani ha scritto nella risposta in nota (1).

<sup>6</sup> Stefano Antonio Morcelli, *De Stilo Inscriptionum Latinarum*, tomo I, Padova, typis Seminarii, 1819. **SOLIS INSTITIVM**. in *Kalendario Vallensi Solstitium legitur. Institutiones stellarum* habet Tullius, nisi mendum sit in scriptura (19). *Solis Institium. nel Calendario Vallense si legge Solstizio. In Tullio (Cicerone) c'è Institutiones=Stazionarietà? delle stelle (pianeti?)*, a meno che non ci sia un errore nella scrittura.

<sup>7</sup> Ad esempio Varrone, *De Lingua Latina*, Liber VI.8 *Alter motus solis est aliter ac caeli quod movetur a bruma ad solstitium. Dicta Bruma quod brevissimus tunc dies est; solstitium, quod sol eo die sistere videbatur; aut quod ad nos versum proximum est solstitium. Quom venit in medium spatium inter brumam et solstitium, quod dies aequus fit ac nox, aequinoctium dictum. Tempus a bruma ad brumam dum sol redit, vocatur annus, quod ut parvi circuli annuli, sic magni dicebantur circites ani, unde annus.*

<sup>8</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Menologia\\_rustica](https://it.wikipedia.org/wiki/Menologia_rustica) con scheda del *Menologio*

## **Sunspot periodicity**

Earth Sciences, Natural History Museum

Cromwell Road, London SW7 5BD, UK

Submitted December 2<sup>nd</sup> 2022, accepted December 20<sup>th</sup> 2022

**Abstract** The Schwabe (~11 yr) value for the annual sunspot number is sometimes uncritically applied to other measures of solar activity, direct and indirect, including the 10.7 cm radio flux, the inflow of galactic cosmic rays, solar flare frequency, terrestrial weather, and components of space climate, with the risk of a resulting loss of information. The ruling (Babcock) hypothesis and its derivatives link the sunspot cycle to dynamo processes mediated by differential solar rotation, but despite 60 years of observation and analysis the ~11 yr periodicity remains difficult to model; the possible contribution of planetary dynamics is undergoing a revival. The various solar sequences that genuinely display an~11 yr cycle stand to benefit from an understanding of its periodicity that goes beyond statistical kinship. The outcome could ironically prompt the demotion of sunspots from their dominant historical role in favour of other possible indicators of solar cyclicity, such as the solar wind flux and its isotopic signatures, even if they are less accessible.

**Sommario** Il valore detto di Schwabe (~11 anni) corrispondente al numero annuale delle macchie solari sovente viene esteso ad altre misure dell'attività solare, sia dirette che indirette, compreso il flusso radio ai 10.7 cm, l'afflusso dei raggi cosmici galattici, la frequenza delle eruzioni solari, la meteorologia terrestre, ed elementi del clima dello spazio, così rischiando lo spreco di dati. L'ipotesi regnante (cioè quella di Babcock), e quelle che vi derivano, collegano il ciclo Schwabe a processi dinamo mediante la rotazione solare differenziale, ma 60 anni di osservazione e analisi trovano difficoltà a modellare la periodicità di ~11 anni; e le teorie che richiamano l'influenza dinamica dei pianeti ne riprendono vita. Le varie successioni solari che dimostrano un vero ciclo di ~11 anni trarranno vantaggio dalla comprensione del ciclo che oltrepassa la pura somiglianza statistica. Il risultato ironicamente potrebbe ridurre l'importanza delle macchie solari in confronto di altri indizi ciclici come p.es. il flusso del vento solare ed i suoi indizi isotopici benché meno accessibili.

### **Introduction: the XIX century**

In 1843 the apothecary Heinrich Schwabe identified a periodicity in the sunspot record of about 10 years on the basis of sunspot groups for 1826-1850, a value endorsed by Alexander von Humboldt (1851) but soon revised to ~11 yr by Rudolf Wolf (1852a). Some kind of repetition had previously

been recognised by Christian Horrebow in the number and size of the sunspots for 1761- 1776 (Fairbridgse et al. 2019), and for the period 1650-1800 by William Herschel (Fairbridge 1997a). For the last 4 centuries the annual total has ranged between 8 and 14 yr.

In due course an 11-year rhythm was found to ride at times on coarser periodicities derived from sunspot or 14C data: the Hallstatt ~2400 yr cycle (Usoskin et al. 2016), the Suess-deVries ~200 yr cycle (Cini Castagnoli et al. 1998), and the Gleissberg ~ 88 yr cycle (Gleissberg 1958; Perystikh and Damon 2003). Several shorter cycles, including one measuring ~158 d (Oliver et al. 1998), have been identified for part of the sunspot or isotopic records.

Although it is not readily grasped without telescopic projection, the repetitive nature of sunspots attracted the interest of a wide range of astronomical, meteorological, medical and other researchers seeking to investigate solar influences on human health, economy and society (Herschel 1801, Jevons 1878, 1879; Hope-Simpson 1978; Hoyle and Wickramsinghe 1990; Juckett and Rosenberg 1993; Tapping et al. 2001; Towers 2017). Humboldt (1851) had seen no connection between sunspots and terrestrial climate; many others have continued to do so even if the causal chain between Sun and such matters as crop yield includes a number of what are decorously termed non-linear transition elements (Pustil'nik and Yom Din 2014 a, b). A disparate literature has resulted, with sunspots serving as the tokens of solar activity, just as natural selection was once so fully identified with its role as an evolutionary agency that it 'suffered neglect as an independent principle worthy of scientific study' (Fisher 1930).

This essay is motivated by the conviction that valid

periodicities deserve to be identified because they would be useful in the analysis of the Sun's workings and by the same token that false cycles need to be rooted out. I do not aim or claim to compete with the work of Hathaway (2015) or the countless workers at the sunspot coalface (the British Library catalogue alone lists 16,598 items under the heading of solar cycle.)

**The paper is in three parts.** The first part deals with the statistics and other numerical properties of the sunspot record. The second part considers some of the terrestrial and astronomical phenomena that are identified with an 11-yr cyclicity. The third part touches on a number of plausible mechanisms for solar periodicity including the role of planetary alignments. References are not necessarily the earliest mention of a phenomenon or process, the aim being to facilitate judicious access to a large and repetitive body of work.

### **The ~11yr Sunspot Cycle**

It is no surprise, given the basis of its original identification, that statistical issues should loom large in the sunspot cycle literature. The authors of the classic work on sunspots (Bray and Loughhead 1964, 226) were not impressed by the results achieved: 'the number of published investigations of a purely statistical nature would seem to exceed those having a more direct physical basis... [yet] the majority .... have led to no new insight into the physical nature of sunspots or the solar cycle'. The present account is more sanguine and not only because there is an additional half century of material: besides advances in statistical methodology and computational devices we now benefit from three-dimensional views of sunspots and related features, the solar interior is being probed by helioseismology (Howe 2008), the associated

magnetic and spectroscopic phenomena are well documented, and interpretation has been enriched by the fruits of solar system and stellar exploration, notably by the discovery of starspots and by numerical modelling of stellar interiors and galactic dynamics.

Even so the progress does not yet invalidate the comments made by Eddy (1977) in an early review that sunspots in themselves 'are not particularly fundamental in solar activity or necessarily related to the solar output', that 'we have little if any evidence that today's 11-yr cycle is an enduring feature of the sun', and that 'the available indirect evidence suggests that in the longer term, change and not regularity may rule solar behaviour'.

### **Statistical scrutiny**

Sunspots, initially recorded simply as blots ('macchie') on the current solar hemisphere (Galilei 1613), were quantified by Wolf in 1848 using a formula ( $N = k(10g + s)$ ) which combined the number of individual spots ( $s$ ) and sunspot groups ( $g$ ) into a single daily figure ( $N$ ) (Wolf 1852a). This proved surprisingly reproducible despite the inclusion of a subjective value ( $k$ ) for the observer and the place of observation. The formula was retained as the international sunspot number (SSN) or Zürich number until 2015, when the series, which includes historical data and runs from 1750 to the present, was subjected to a number of corrections necessitated by changes in equipment and in the weighting ( $k$ ) adopted for the measurements (Clette et al. 2014).

The daily observations had also revealed that the solar body rotated monthly (Galilei 1613), that this rotation was latitudinally differential (Carrington 1863), and that it was accompanied by progressive equatorward shifts in the latitude of the spots over the Schwabe cycle (Carrington 1858, Spörer

1889). Once the magnetic nature of the spots had been revealed (Hale 1908) and the rhythm of the alternation in the polarity of sunspot pairs established (Hale and Nicholson 1938), the ~22 year Hale cycle came to be viewed by some workers as a related but distinct measure of solar cyclicity (Cliver 2014).

The statistical treatment to which sunspot records have been subjected ranges from the simplest to the most recondite. An example of the former is the averaging that led to 10 and then 11 years although even this procedure can be greatly refined, witness the value of  $11.1212 \pm 6.0$  favoured in one reference (Fairbridge 1997a). Solar cycle minima are found to exhibit the 80-120 yr Gleissberg cycle (Garcia and Mouradian 1998). Simple comparison brings out the variability that impedes even short-term prediction (Sabarinath and Anilkumar 2011). The comparative review of sunspot cycles by Wilson (1984) includes discussion of smoothed sunspot number and schematic sunspot cycles. Such surveys evidently benefit from extended sunspot records whether direct (Vaquero 2007) or derived from isotopic or other proxy sources (Usoskin 2013, Acero et al. 2018). The rates of growth and decay of the annual sunspot number have invited continuing scrutiny in order to establish their value for estimating future sunspot maxima and minima and their timing (Wilson and Hathaway 2006).

The length of a sunspot cycle, commonly defined by the appearance of the first spot of the new cycle, is complicated by the need to allow for an overlap of perhaps 1-2 yr between adjacent such cycles even though the lingering cycle operates at a different solar latitude (Kramynin and Mikhalina 2015). Alternative definitions include the interval between successive sunspot maxima and between the arrival at a specified latitude of average sunspot latitude drift in successive cycles (Miletsky and Ivanov 2014). Wavelet analysis (Ochadlick et al.

1993) may detect subtle variations in the length of the sunspot cycle and reveal changes in the prominence of putative 11-yr, 53-yr and 101-yr periods (Le and Wang 2003). Indeed, basing the analysis on minima or some other part of the sunspot number record may reveal the Gleissberg 80-120 yr period (Garcia and Mouradian 1998) and thus indicate one possible source of cycle length variability.

Compare those studies that were designed to discover whether variations in sunspot numbers are stochastic or chaotic. One such analysis (Morfill et al. 1991) dealt with the years 1878-1945 in units of 12 days, and it found that the record was best fitted by a 'deterministic chaos' model incorporating a memory on timescales of ~50 days. The finding has implications for magnetic field transport and perhaps also the mechanisms that produce and annihilate sunspots, but only if the sunspot generation is already known to be confined to the convective layer of the Sun. A later analysis assessed the relative importance of chaotic and stochastic behaviour in the course of cycles 10-23, that is during 1855-2008 (Greenkorn 2009). It found a change from stochastic to chaotic in the sunspot numbers between cycles 10-19 and 20-23 and boldly concluded that there was a corresponding increase in the scale of turbulence in the convective region.

Despite the complex interplay between stochastic, deterministic and chaotic elements in turbulence (e.g. Bershadskii 2011) such analyses have been applied in sunspot prediction, of increasing concern for such matters as the management of the orbits of artificial satellites by way of solar influences on atmospheric properties. Two major predictive strategies may be distinguished, one based on some kind of regression which allows extrapolation into the future, and a 'precursor' group of models which yields an estimate of the

amplitude of the next cycle. The former hinges on cycle shape, as noted earlier, and the mathematical functions that convey it. Precursor methods generally employ sunspot numbers or geomagnetic indicators (Hathaway et al. 1999). Predicting the behaviour of a sunspot cycle is fairly reliable 3 years after the minimum in sunspot number (Hathaway et al. 1994).

Understanding the mechanism responsible for any periodicity (Spruit 2011) is evidently the key to more dependable forecasting. For instance, a combination of Laplace distribution functions and moving averages has served to model a generic sunspot cycle (Sabarinath and Anilkumar 2011), and what appeared to be a purely phenomenological characteristic of daily sunspot number - a Laplace or double exponential distribution of days on which the sunspot number changes - has been traced to changes in the subsurface magnetic fields which are otherwise out of sight (Noble and Wheatland 2013). The Babcock model, which hinges on the alternation between poloidal and toroidal configurations of the solar magnetic field, remains the ruling model even though it is sometimes dismissed as merely phenomenological and its validity may be questioned (e.g. Rabin et al. 1991).

Again, observation of sunspots as an evolutionary ensemble indicates the existence of a regular azimuthally directed subphotospheric magnetic field which changes its direction each 11-yr cycle (Ruzmaikin 2001). The crucial argument is that, whereas the field predicted by mean-field dynamo theory is too weak by itself to emerge at the solar surface, the turbulent character of solar convection means that the fields generated by the dynamo are intermittent and concentrated into ropes or sheets sufficiently strong to exceed the buoyancy threshold and emerge at the Sun's surface, with clustering of emerging loops to form sunspots. The classic model by Parker (1955) had also deduced many attributes of sunspots from the

intersection of strands of magnetic flux from the solar toroidal field with the photosphere. More recently the strength of three sunspot cycles (21-23) was successfully predicted, using observations of the amplitude, penetration depth, equatorial return flow thickness and the position of the inversion layer of the meridional circulation, in order to calibrate a solar dynamo model (Choudhuri et al. 2007, 2017).

The Parker (1955) sunspot model mentioned above assumes a dynamo in which the requisite magnetic field originates at the tachocline and sunspots thus have their roots deep in the Sun's convection zone (Parker 1993). An alternative scheme views a dynamo that affects the convection zone as a whole and results in a reduction in the elasticity of the magnetic field lines leading among other things to 11-yr variations of the solar radius (Losada et al. 2016, Kleorin et al. 1996). Now plotting the spectrum making up the sunspot frequency curve, which is consistent with the 22-yr periodicity, yields a large number of different frequencies rather than a simple sinusoidal curve (Dicke 1979b). This led to the suggestion that several practically independent processes were involved, a notion encapsulated in the eruption hypothesis in which each eruption takes about 11 years to die down and is guided by a random walk in phase (Kiepenhauer 1953). It was once argued that Babcock's theory of the solar cycle also yielded a random walk in phase, but various statistical tests for sunspot maxima in the late 18th century conflicted with that view and instead pointed to a precisely tuned internal oscillator acting as a clock within the Sun (Dicke 1978).

**Grand solar minima and maxima** are periods of several successive very low or very high Schwabe sunspot cycles, the best known being the 1645-1715 Maunder Minimum, first reported (as noted above) by E.W. Maunder, when sunspots almost vanished and there were few auroral sightings (Eddy

1976, 1983). Grand solar maxima can also be defined by a threshold of 600 MV (in 25-year averages) (Lockwood et al 2009). Solar-cycle modulation reportedly persists during extended periods of very low sunspot activity (Wang and Sheeley 2013), notably as  $^{10}\text{Be}$  concentration in the Dye 3 and NGRIP (Greenland) ice cores (Beer et al. 1998; Berggren et al. 2009).

### **Individual sunspots**

Modelling the origin and life of individual sunspots (e.g. Alfvén 1943; Cowling 1945) has proved if anything a greater challenge than with pairs or gaggles of sunspots perhaps because the evidence lacks the context of a bipolar or migrating magnetic field. Nevertheless great advances in imaging resolution allow the fine structure of the sunspot (McIntosh 1981) to be monitored and its relation to photospheric granulation to be established. Sunspot pairs are an integral part of early attempts to systematise the polarity alternation that characterises the cycle (Akasofu 2014). They are central to the Parker (1955, 1975) model for sunspot formation in which concentrated flux tubes produced by the solar dynamo break through to the surface. There have been many elaborations of this suggestion (Rempel and Cheung 2014, Cheung and Isobe 2014); Caligari et al. (1995) concluded that the magnetic buoyancy to raise the tube required a field strength of  $\sim 105\text{G}$ . Novel approaches include the notion of negative effective magnetic pressure instability (Losada et al. 2016).

Changes in the intensity and magnetic field of individual spots are of course observed with ground-based instruments as well as from space (Albregtsen and Maltby 1981; Norton and Gilman 2004). The SDO/AIA and the Nobeyama radioheliograph revealed that the umbra of AR (Active

Region) 11131 displayed 3-min oscillations in UV and EUV and in radio emission, with the higher frequency oscillations more pronounced near the centre of the umbra and the lower frequencies concentrated on the periphery (Reznikova et al. 2012). The evolution of line-of sight flows and horizontal proper motions in and around a follower sunspot, that is the trailing member of a sunspot pair, were documented over 5 d during which it decayed to a pore (Deng et al. 2008). Such measurements are useful guides to the underlying processes and thus conceivably those responsible for the 11 yr period, its variability, and its wider significance.

Pores, which are small sunspots lacking a penumbra (Sobotka 2003), do not necessarily evolve into fully fledged sunspots but spectral scanning may show an extended radial filamentary structure in the Ca II line with morphological and dynamical properties similar to those of the superpenumbra found in the chromosphere above large isolated sunspots (Sobotka et al 2013). Flux magnetograms accordingly make it possible to identify pores, which may be difficult to detect on white light images and thus to monitor magnetic activity during pronounced solar minima, as in 2009 (Livingston and Penn 2009).

One component of sunspot behaviour that has resisted full understanding even though known for over a century, is Evershed flow, an outward flow of gas at up to 2 km/s from the sunspot's photospheric umbra which crosses the penumbra and sometimes extends beyond it and which was first identified spectroscopically (Evershed 1909; Rempel and Schlichenmaier 2011). An inward flow at higher altitudes -- the inverse Evershed flow (Beck and Choudhary 2019) -- consists of chromospheric material flowing into the sunspot along dark channels at about 40–50 km s<sup>-1</sup> (Georgakilas et al. 2003) with downflow over the umbra. Thanks partly to three-

dimensional numerical simulation the fundamental mechanism is thought to be the radial component of thermal convection located mainly where the magnetic field strength is greatly reduced (Nordlund and Scharmer 2009) but even the basic observations - let alone their physical interpretation - are subject to dispute (Solanki 2003). However it is still surprising that peak photospheric flow velocities, unlike the magnetic field strength of sunspots, appear to be independent of the strength of the solar activity cycle (Penn and Livingston 2006, Hiremath 2010).

In addition to magnetograms and spectroscopic analysis of the chromosphere the study of individual sunspots has benefited from helioseismology, which bears not only on the tachocline and thus the genesis of the sunspot cycle (Bushby and Mason 2004) but also, in the guise of time–distance helioseismology, on conditions beneath the spot and the emergence of active regions (Kosovichev 1996; Thompson 2004).

### **Sunspot distribution and the butterfly diagram**

For historical and related technical reasons the structure, dimensions and dynamics of sunspot groups are better known than those of their constituent spots. Consider for example the account by McIntosh (1981) built on 25 years of personal observation in white light. It considered sunspot groups and showed their intimate relation to photospheric granulation, mesogranulation and supergranulation. The axis of sunspot groups was found to begin at a high inclination to the equator which is gradually reduced by the addition of new spots. The velocity patterns revealed by H-alpha synoptic charts revealed a sinusoidal zone of shear analogous to terrestrial jet streams. The study by Javaraiah (2011) focused on the growth rates of sunspot groups in 1874-2009 and found that the annually averaged daily mean growth rate was 70% greater than the

corresponding decay rate, but, as a corrective to the blurring of averaging, a 11-year periodicity in both rates was found to apply mainly in the 0°-10° latitude zone of the southern hemisphere.

The magneto-hydrodynamic sunspot model advanced by Alfvén (1943, 1945; Walén 1944), which accounted for the generation of bipolar spots, hinged on two major tenets: that the darkness of the spot is a mechanical effect of its magnetic field and that this field is generated from the solar magnetic field by wave disturbances along the lines of force. It was dismissed by Cowling (1945) as internally inconsistent or inconsistent with observation.

The analysis by Schwabe (1843) was based on two annual features of the sunspot record, the number of spot-free days and the number of sunspot groups, and they yielded very similar sequences. Rudolf Wolf (1848) also took account of sunspot grouping in his formulation. The Sunspot Group Number count (Svalgaard and Schatten 2016) favours sunspot groups on the grounds that they would permit the record to be extended reliably back to times when telescopes were lacking or too defective for single spot recording (the backbone-method). Later work has sought to specify the properties of sunspot groups, including position in an 8-stage idealised development sequence (analysis of over 3000 sunspot groups by the Greenwich Observatory in the first half of the 20th century 50% have lifetimes of <2 d and 10% >11 d : <http://www.sws.bom.gov.au/Educational/2/2/2> accessed 27 9 2019), doubtless primarily to increase their analytical value.

The group sunspot number (RG) -- the number of groups that have been identified, normalised in order for it to agree with the Zurich sunspot number -- was introduced in 1998 (Hoyt and Schatten 1998) and has proved informative in revealing secular behaviour, as in the correlation between cycle number

and cycle amplitude, and in extending the record by 4 early cycles (Hathaway et al. 2002). Of course 'normalisation' did not eliminate all discrepancies between the two sunspot series, and they have been reconciled by recalibrating the original international sunspot number SSN, the first time since its creation by Wolf, for the 400 yr period 1700-May 2015 (Clette et al. 2014). The revised series has a number of salient characteristics. They include the absence of the 200-year deVries/Suess cyclicity that may be present in radionuclide datasets spanning millennia, raising the possibility that it is not a strictly solar effect such as a climatic influence on the mode of radionuclide deposition in polar ice (Ahluwalia and Ygbuhay 2016).

As we have seen, from the outset sunspot quantification, whether explicitly or not, dealt with the location on the solar surface as well as the number of sunspot assemblages (Li et al. 2003).. Perhaps the first attempt at formal sunspot mapping over a large area was the butterfly diagram pioneered by Edward and Annie Maunder (1904). The equatorward drift of sunspots that creates the butterfly effect operates largely at latitudes lower than 40°; above 40° there is a poleward migration of faculae. The plot vividly illustrated the repetitive pattern of sunspot shift and in passing the overlap between successive cycles and the asymmetry between the North and South hemispheres. With the extended solar cycle (ESC), whereby the wings of the activity butterfly extend nearly a decade back in time and to much higher solar latitudes (Srivastava et al. 2018), the periodicity measures 17-18 yr and two consecutive cycles with different levels of activity evolve simultaneously at different solar latitudes (Leroy and Noens 1983). In effect the ESC endorses the view that sunspot number and pattern reflect the emergence of magnetic flux rather than a more fundamental property of the Sun's activity.

The hemispheric asymmetry was noted both Spörer (1894) and Maunder (1904). The latter cautioned against any assumption to the contrary. The pattern is widely viewed as a useful test of competing dynamo models (Nepomnyaschikh et al. 2019), and investigations into the asymmetry focus on its amplitude or its phase (Hathaway 2015; Carbonell et al. 1993; Zolotova et al. 2009; Nair and Nayar 2008); but, despite great advances in computing power and algorithmic design, current MHD simulations still depart substantially from the observed solar cycle (Norton et al. 2014; Blanter et al. 2017).

Edward Maunder drew attention to the paucity of sunspots during 1645-1715, a period that is now called the Maunder Minimum (Eddy 1976); the few sunspots that prevailed during it were sufficient for Picard and La Hire to construct a butterfly diagram for 1615-1719 (Serre and Nesme-Ribes 1993, 1997). The fine structure of butterfly diagrams invites scrutiny both en masse or with reference to a limited wing flap. Kopecký and Kuklin (1969) focused on Cycles 12-19 with special reference to the double maximum displayed by 11-year sunspot data. Ternullo (2007) discussed Cycles 20-22 mainly in an attempt to decide whether the fine structure of the diagram is a real phenomenon or 'a meaningless consequence' of the turbulent nature of the eruption of magnetic flux, to find evidence of a periodic oscillation prograde and retrograde motion possibly linked to oscillation reported in the tachocline.

A further measure of sunspot distribution is the '**longitudinal asymmetry parameter**' (Vernova et al. 2002) which is free from the stochastic, longitudinally even distribution of sunspot activity and thus emphasises the more systematic component of longitudinal asymmetry. It is argued that the stochastic fraction may account for the record height of cycle 19 and may be related to a relic magnetic field in the solar convection layer

(Cowling 1946, Mursula et al. 2001). A relic dipole magnetic field in association with the Hale magnetic polarity cycle (Boyer & Levy 1984) is also invoked to explain the 22 year cyclicity in the Group Sunspot Number revealed for the last 400 yr with an amplitude of about 10% of the level indicated by present-day sunspot activity (Mursula et al. 2001, 2002).

Even though relic magnetic fields found elsewhere in the solar system (Vita-Finzi and Fortes 2013), other irregularities in the timing and duration of magnetic flux emergence, of which sunspots and active areas are of course symptoms, are rarely explained by appeals to relic effects. The 158-day periodicity in the occurrence of high-energy solar flares that has been identified by wavelet analysis of active regions (Oliver et al. 1998), for example, illustrates unexplained such complex timing. The major solar flares do not observe the 11-yr or 22-yr cycle (Roy 1977).

### **The ~11-yr Solar Cycle**

In the present account the term solar cycle, commonly viewed as synonymous with sunspot cycle (e.g. Eddy 1977), should be taken to encompass variations in the level of solar activity in general (Daintith and Gould 2006) provided an ~11-yr periodicity which can plausibly be linked to the Sun has been demonstrated for the property in question. Some workers prefer the term 'solar activity cycle' for 'a near-periodic variation generally close to a period of 11 years' and take it to demonstrate 'the existence of a timing engine in the sun that appears to control or influence all aspects of solar phenomena and beyond in the solar system where the solar influence is felt' (Balogh et al. 2014). Others defer any such causal inference. Thus the association between sunspots and the declination of a magnetic needle reported by Wolf (1852b), like that between the Carrington coronal mass ejection of 1859 and

a magnetometer disturbance at Kew Observatory (Cliver and Svalgaard 2004), was for some obscured by the hostility to any such link posed by Lord Kelvin, who pronounced that ‘We may be forced to conclude that the supposed connection between magnetic storms and sunspots is unreal, and that the seeming agreement between the periods have been a mere coincidence’ (Kelvin 1892; see also Stewart 1861).

The array of candidates for affiliation to the 11-yr solar cycle is diverse in content and plausibility although, as Lord Kelvin’s contribution shows, authority (in this case *ab homine*) sometimes counts more than validity. Given that this review is rooted in the  $\sim$ 11-yr period first identified in the pattern of sunspots there would seem little point in hunting for putative solar cycle indicators on the Sun itself. Indeed, the fact that many of them are highly correlated with each other has been ascribed to their ‘intrinsic link’ with solar magnetism and consequently the 11-year cycle: they merely ‘represent the many different observables modulated by the solar cycle’ (Ermolli 2014). But this amounts to assuming that any variation on the photosphere or in the solar output (White 1977) is necessarily subject to the same ( $\sim$ 11-yr) periodicity and mechanism.

### **Solar indicators of the solar cycle**

Before considering instances of solar output as possible bearers of 11-yr cyclicity under the broad headings of matter, radiation and magnetic fields (White 1977) we need some discussion of a number of relevant properties of the Sun itself, namely its orbit and dimensions, as they could reflect and impinge on the solar cycle. The Milankovitch orbital (413,000, 125,000 and 95,000 yr) variables are too gradual for any 11-yr or 22-yr periodicity to be detected at present. However there are changes in solar spin configuration which are linked to

progress along the solar cycle. For example the high-latitude migrating zonal flow pattern known as the torsional oscillation (Howard and LaBonte 1980) is associated with the rising phase of Cycle 24 (Howe et al. 2013).

Variations in solar dimensions have long been investigated. Changes in the Sun's diameter, measured telescopically from Earth or from space, have been correlated with sunspot number ever since the classic measurements by Picard and de la Hire in 1666-1719 (Ribes et al. 1987, Thuillier et al. 2005; Costa et al. 1999) and just as long challenged (Parkinson et al. 1980). Data for surface gravity ( $f$ -modes) obtained by SOHO and SDO instruments over two solar cycles (1996-2017) are thought to indicate changes in solar radius which are inversely related to sunspot number (Rozelot et al. 2018; see also Kuhn et al. 2012). Evidently secular constancy need not rule out short-term oscillations, and novel techniques, including the PICARD microsatellite programme and measurements at different wavelengths (Vita-Finzi 2013), may well prompt fresh disputes.

The solar interior has until recently been accessible only in terms of processes thought to account for energy production (Bethe 1939) and the gross structural divisions revealed by helioseismology (Ulrich 1970; Bahcall 1999), and thus eluded the hunt for periodicities. Not so the flux of solar neutrinos, assessed since 1964 (Davis 1964). The issue is obscured by a low instrumental count rate at the various neutrino detectors even though the flux is a very substantial  $5.10^{10} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ . Data from both the Homestake and the GALLEX neutrino experiments point to modulation with a frequency of  $11.85 \text{ yr}^{-1}$ . The same frequency is prominent in power spectrum analyses of the ACRIM irradiance data for both the Homestake and GALLEX time intervals. Both could result from rotational modulation in the solar core, which rotates with a sidereal

frequency of 12.85 yr<sup>-1</sup> (Sturrock 2009). Raychaudhuri (1984) had reported a statistically significant variation of solar neutrino flux data with the solar activity cycle, which he ascribed to the pulsating characters of the nuclear energy generation in the interior of the Sun, and 20 years of Homestake data (Lande et al. 1991) reportedly indicate that the average solar neutrino flux varies with the 11-yr solar activity cycle, as higher neutrino fluxes are observed during solar quiet periods and lower fluxes during solar active periods.

The detection of surface oscillations with a period of ~5 min (Leighton et al. 1962) in 1960 and their recognition as the impact of standing acoustic (p) waves trapped beneath the photosphere (Ulrich 1970) led to what came to be known as helioseismology. The mean frequency of low-degree p-modes in 1980-1985 was found to be higher at the time of solar maximum than near solar minimum (Woodard and Noyes 1985), possibly in response to changes in the strength of the solar magnetic activity near the solar surface. Moreover data for two solar cycles suggest that solar activity insofar as it is reflected in the modes varies from one cycle to the next (Broomhall et al 2014).

Features identified on the photosphere by remote sensing, besides active areas and their outliers, include full-disk magnetograms taken at various ground observatories since the 1950s and from the SOHO and SDO satellites since 1996, and facular indices (1874-) at various observatories (Deng et al. 2013). Besides the magnetic fields manifested as sunspots and other components of active areas and the chromospheric network, the Sun boasts a global field which has been recorded as full-disk magnetograms from ground observatories since the 1950s and can be mapped by exploiting the Zeeman effect (1897) as in the Babcock magnetograph

(Livingston 1999). Evidently observation of solar variation is not confined to the photosphere (or the core): possible chromospheric indices include full-disk Ca II K line and plage observations (Harvey 1992), daily full-disk H $\alpha$  observations (Makarov and Tlatov 2000) and a flare index (e.g. Kleczek 1952, Benz 2008). For the transition (1 GHz deemed better than the familiar F10.7 index: Dudok de Wit 2014); and various coronal indices (e.g. Fe XIV emission line at 530.3 nm: Minarovjech et al. 2011). The magnetic flux emanating from the corona for 1964-1996, assessed from the aa geomagnetic activity index and interplanetary data (see below), rises and falls in each solar cycle lagging slightly behind sunspot number (Lockwood et al. 1999). Solar luminosity, defined as the Sun's total power outflow (Willson and Hudson 1991), when measured by the Active Cavity Radiometer Irradiance Monitor I (ACRIM I) during early 1980-late 1989, varied with the 11-year solar cycle and closely followed statistical measures for the distribution of magnetic and photospheric features on the solar surface (Willson et al. 1986; Willson and Hudson 1988; Foukal and Lean 1990), pointing to the existence of a physical mechanism other than the thermal diffusion model that explains luminosity deficits due to sunspots. An exception was a strong irradiance excess during 1980 coinciding with the sunspot maximum of solar cycle 21 but not with any other indicators of solar activity.

Sometimes confused with luminosity, the **Sun's total irradiance (TSI)** -- the total electromagnetic energy spanning the entire spectrum per unit area above the Earth's atmosphere and normalized to one AU from the Sun -- has been measured over the years by radiometers on a variety of spacecraft (Li et al. 2010). The many periodicities (Lean 2018) embodied in the daily composite measure constructed by the Physikalisch-Meteorologisches-Observatorium in Davos (PMOD) for 1978-

2009 were found to include only two periods which were statistically significant following analysis by the complex Morlet wavelet transform method (Torrence and Compo 1998). They were 10.32 yr and ~32 d. The first was equated with the Schwabe cycle, the second with the 'quasi rotation period', thus called because its value appeared to differ from one cycle to the next. A revised value for the TSI of  $1360.08 \pm 0.5 \text{ W m}^{-2}$  was obtained during the 2008 solar minimum using the Total Irradiance Monitor (TIM) on the Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE) satellite (Kopp and Lean 2011), significantly lower than the value generally accepted in the 1990s ( $1365.4 \pm 1.3 \text{ W m}^{-2}$ ) mainly thanks to the exclusion of scattered light from the TIM (Kopp and Lawrence 2005). The TSI measurements show a difference of 0.12% between solar maximum and minimum. Variations in TSI lag behind sunspot activity by 29 days, in the view of Li et al. (2010), perhaps in response to the evolution of sunspots and bright features.

A definition of irradiance that complements TSI is spectrally resolved solar radiative flux (SSI: Yeo et al. 2014), again per unit area above the Earth's atmosphere and normalised to 1 AU. Both TSI and SSI have been monitored from space, at least in the UV wavelengths (120-400 nm), since 1978 (Kopp et al. 2012) but mainly because of instrumental difficulties there is more uncertainty over cyclical variability in SSI data and only the SIM instrument on the SORCE spacecraft spans the entire UV-IR spectrum and that only for 2003-2011. By 2014 the full period of record for ISS had not yielded any obvious solar cycle modulation (Yeo 2014). An exception is the replication by SSI of UV irradiance observations from the UARS and SORCE missions below 180 nm but as noted earlier the missions do not share identical viewpoints.

Until 1987 it was not certain whether variations in the UV

component were subject to an 11-yr cycle, although there was evidence for their increase with solar activity during the solar cycle by an amount ranging from less than 1% at 300 nm to an order of magnitude at EUV coronal emission lines (Lean 1987). Continuous irradiance measurements in the EUV from 1991 by the Solar Stellar Irradiance Comparison Experiment (SOLSTICE) and the Solar Ultraviolet Spectral Irradiance Monitor (SUSIM) instruments on the Upper Atmosphere Research Satellite (UARS) satellite soon allowed the 11-year variability of the Sun's radiation at wavelengths 120-400 nm to be estimated (Lean et al 1992; Rottman 1999). Further progress came with the Solar EUV Experiment's EUV Grating Spectrograph (EGS) onboard the Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics Dynamics (TIMED) spacecraft which has provided low-resolution spectral data since 2002 (Woods and Eparvier 2006; Dudok de Wit et al. 2008).

By now it will be clear that the search for 11-yr cyclicity - or its rejection - encompasses a wide range of wavelengths from radio to gamma rays, and that reconciling divergences between measurements and both proxy and semi-empirical models is hampered by persistent uncertainties (Yeo et al. 2014). Yet it is sometimes facilitated by appeals to time lags for which there is no robust justification. Take the reported phase asynchrony between sunspot numbers and the coronal index (CI), which refers to the total energy emitted by the E-corona at 530.3 nm (Fe XIV) (Mavromichalaki et al. 2005). The correlation coefficient between the two series varies between cycles, but on average the SNs begin a month earlier in the period January 1939-December 2008 (Cycles 22 and 23: Deng et al. 2012), an example of phase asynchrony ascribed to their different origins (Deng et al. 2012) even though for the same period a periodicity of  $\sim 11.45$  yr was found by Fast Fourier Transform and Morlet Wavelet Transform for CI, GCRs and

also a solar flare index (SFI) (Singh et al. 2018).

Synthetic versions of particular wavelengths may in fact reveal or rule out disputed explanations. The E10.7 proxy for EUV (Tobiska 2001) represents the integrated solar EUV energy flux for 1.8-105.0 nm at the top of the atmosphere in units of 10.7 cm radio flux. It has the advantage of extending back to February 1947 and therefore spanning potentially more than one solar cycle. An ~11-yr period is indeed clearly represented for 1992-2002 (Vita-Finzi 2009) but the data also embody a sequence of ~27-day oscillations which, like the neutrino record from the Homestake detector, hints at an origin in rotation of the solar radiative zone (Sturrock et al. 1997) rather than the passage of active regions across the solar surface (Donnelly 1987).

**The solar output** is by no means confined to continuous fluxes and includes ephemeral, sometimes violent, events such as solar storms and the emission of plasma by coronal mass ejections (CMEs). Edward Sabine (1852) noted that the 11-yr sunspot period corresponded with a similar period in magnetic storms and other features of terrestrial magnetism, and it has since long been reported that solar flares and CMEs as well as storms are most frequent at or near solar maximum (Webb and Howard 1994; Ramesh 2010; Le et al. 2013; Telloni et al. 2014, 2016; Li et al. 2018).

### **The heliosphere**

The solar wind, which emanates from the corona, also reflects the solar cycle (Neugebauer 1975, Richardson and Kasper 2008, Veselovsky et al. 2012) and may in turn influence its dynamics (Israelevich et al. 2000). It defines the heliosphere (Gazis 1996; Tokumaru 2013). Using data obtained by the Wind spacecraft, Kasper et al. (2012; see also Aellig et al. 2001) found that over Cycle 23 between 1994 and 2010 the

abundance of helium relative to hydrogen in the slow strain of solar wind was strongly correlated with sunspot number (Ogilvie and Hirshberg 1974, McIntosh et al. 2011). This association gains practical importance in view of the suspected link between helium content in the solar wind speed and the incidence of coronal mass ejections (Richardson et al 2003); how far it depends on changing sources on the Sun (Poletto 2013) is uncertain.

What is well attested is that the solar wind acts as shield against the flux of galactic cosmic rays (GCR) from interstellar space (van Allen 2000; Cliver et al. 2013; Bazilevskaya et al 2014). Instrumental monitoring of the GCR record from ionization chambers and neutron monitors has revealed a clear ~11-yr periodicity for anti-correlation with solar activity, with sunspot number as proxy (Forbush 1958; Neher 1967; Krainev and Kalinin 2013; Ross and Chaplin 2019). For earlier times the cosmogenic isotope  $^{10}\text{Be}$  in ice cores also yields 11-year variations albeit of greater amplitude because  $^{10}\text{Be}$  is more sensitive to lower energy cosmic rays than are neutron monitors (Beer et al. 1990, McCracken 2001, 2004), although the  $^{10}\text{Be}$  signal in ice cores may be distorted by complex ice flow (Berggren et al. 2009). The atmosphere acts as a low-pass filter so that long-term variations are emphasised at the expense of short-term events. In addition solar flares can increase the  $^{14}\text{C}$  in tree rings by about 1% (Kocharov 1992). Various studies have accordingly found no persuasive 11-yr signal (Suess 1965); a rare exception is an analysis of wines produced in 1909-1952, which showed  $^{14}\text{C}$  variations with an amplitude of  $4.3 \pm 1.1$  % (Burchuladze et al. 1980).

**The Ulysses solar mission** 17 years into its 22-yr Hale cycle had observed that the magnetic field of the heliosphere was organised into two regions of opposite polarity separated by a single current sheet (Balogh et al. 2001; Fisk and Zhao 2009;

Zhao and Fisk 2011). This became tilted with regard to the solar equator as the cycle progressed and eventually ‘turned over’. The asymmetry in solar wind speed distribution also alternates with the Hale cycle (Mursula and Zieger 2001).

### **The terrestrial record**

The major source of information on the Sun’s magnetic history is thus terrestrial. The longest record (1868-) is held by the aa geomagnetic index (Mayaud 1972; Thompson 1993; Coffey and Erwin 2001; Lockwood et al. 2018), a measure derived from the K index (a measure of disturbances in the horizontal component of the Earth’s magnetic field) for two roughly antipodal observatories every three hours. Some of the cyclicity it displays may derive from orbital intersection with high-speed solar wind streams (Zerbo et al. 2013) rather than from an intrinsic feature of the magnetic signal. However, over the period 1844-1994, i.e. over six Hale cycles, the amplitudes of the 22 - year sunspot and geomagnetic activity cycles were found to be highly correlated (Cliver et al. 1996). Other terrestrial indicators with apparent 11-yr cyclicity include the Earth’s spin rate (Currie 1980, 1981) which, to judge from sunspot and Doppler data, and latterly the findings of helioseismology, varies with the solar cycle by about 1% especially at the solar equator (Howard 1984; Tuominen and Virtanen 1987; Hathaway and Wilson 1990; Bhatnagar and Livingston 2005).

The most vociferous and persistent terrestrial echo of the 11-yr cycle is of course climate (Huntington 1945; Soon et al 2014) with its many hydrological, biological and economic ramifications. Needham (1959, 435) observed that, although a connection between sunspot activity and the conditions of the ionosphere was fully accepted, its effects on the meteorological situation was uncertain, quoting Ionides and Ionides (1939) to

the effect that, for once, Chinese astrological conclusions were perhaps right in maintaining a connection between celestial and terrestrial phenomena. 'Though not at present generally admitted it is not impossible that the sun-spot period may be connected, through meteorological effects, with events of social importance, such as good and bad harvests', a view maintained by Arakawa (1953) about Japanese rice harvest famines since 1750.

Even when the solar factor appears inadequate to account for its alleged impact (e.g. Kelly and Wigley 1990) and in the face of repeated warnings against spurious correlation (Pittock 1978; Baldwin and Dunkerton 1989), the hunt for an 11-yr signal in the atmosphere remains active and is sometimes rewarded if only after judicious targeting. Meteorological data from which volcanic and El Niño signals have been purged reveal global scale tropospheric changes consistent with solar forcing (Gleisner and Thejll 2003); total column ozone may be implicated not by direct radiative interaction but by the solar influence on the poleward transport of the gas (Labitzke and van Loon 1997); and the strong correlation of sunspot cycle length with northern hemisphere temperature anomaly (Friis-Christensen and Lassen 1991) shows how matching irregular sequences, perhaps helped by the introduction of a neglected factor such as low cloud cover (Svensmark and Friis-Christensen 1997), can prove a valuable investigative device when the causal links remain uncertain even after experimental scrutiny (Carslaw et al. 2002; Zarrouk and Bennaceur 2010; Kirkby et al. 2011).

Computer modelling of general circulation models is also a route to the testing of the 11-yr periodicity (Meehl et al. 2009). One can settle on a limited number of controlling variables, such as solar irradiance and stratospheric ozone (Haigh 1996), and the outcome may in turn lead to changes in the large-scale

tropospheric circulation which are amenable to testing, such as changes in storm-track location related to the 11-yr cycle (Vita-Finzi 2018). Even more ambitiously, evidence of the 11-yr rhythm has been identified in climatic 'measures of variability' such as the North Atlantic Oscillation (NAO), the southern annular mode (SAM) and the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) which encompass substantial parts of the globe (Anderson 1990; Landscheidt 2000; Kuroda and Kodera 2005; Barriopedro et al. 2008; Li et al. 2011; Hassan et al. 2016), although the methods employed and the underlying assumptions have their critics (Gray et al. 2010).

To correlate individual weather components with the solar cycle would appear more straightforward (Hiremath 2006), but this does not guarantee a convincing interpretation. For instance, a drought cycle with a 22.36 yr periodicity spanning 1000 years has been derived for the western USA from the D/H isotope ratio in the cellulose of Bristlecone pine tree rings (Epstein and Yapp 1976); but, rather than a climatic effect, Dicke (1979a) favoured as explanation variations in solar luminosity driven by a deeply buried magnetic field. With the less specific air temperature, classical spectrum analysis had been supplanted by maximum entropy spectrum analysis (MESA); when applied to the entire globe it revealed the 11-yr signal only in North America east of the Rockies and North of 35° N and it indicated a solar cycle period with a mean amplitude of 0.3°C and lagging behind sunspot numbers by  $5.7 \pm 0.7$  yr (Currie 1981). Tide gauge data is evidently further removed from solar control, which is perhaps why a 10.6 yr cycle with an amplitude of 10-15 mm was found in mean sea level data for Europe, in anti-phase to the sunspot cycle in high latitudes but approximately in phase at mid-latitudes (Woodworth 1985).

Similarly, although surface hydrology is governed by

geological and vegetational as well as climatic factors the simplicity of river discharge totals invites correlation with one or other index of solar activity. Fourier analysis of Nile flood levels for AD 622–1470 yielded a period of  $18.4 \pm 0.4$  yr, which was attributed to the lunar tide of 18.6 yr (Hameed 1984); yet Empirical Mode Decomposition showed that the 11-yr cycle is present in the river's high-water level variations which reflect solar influence on the Nile sources in eastern Equatorial Africa by way of the atmospheric circulation over the Atlantic and Indian Oceans (Ruzmaikin et al 2006). The role of galactic cosmic ray flux is another blur in the causal web between solar cyclicity and weather (Marsh et al 2000)

which is gaining experimental as well as observational support (Yamaguchi et al 2010; Shaviv 2005; Kirkby 2011).

The agricultural impact of weather and climate may seem even less likely to yield robust conclusions thanks to the confusions introduced by the human factor. Yet it yields mappable and archival data often well calibrated over time and, as the survival of many farming economies (and the taxes they yield) shows, systems that may last decades and centuries. It was here that some of the earliest conjectures about solar fluctuations arose (Herschel 1801; Jevons 1882; Lockyer et al 1896) and that disputes over their validity continue to flourish (Love 2013). Indeed, the term sunspot is employed for an extrinsic random variable in economics (Cass and Shell 1983). In any case the association between solar periodicity and crop yields has been given fresh credence by the analysis of the connection between agricultural prices and space weather by way of a causal chain which includes what are delicately called several non-linear transition elements (Pustil'nik and Yom Din 2004a and b).

## **Implications**

Much has been discovered about the history of the ~11-yr periodicity from written records and through the medium of cosmogenic isotopes (Baliunas and Jastrow 1990; Anderson 1991; Cini Castagnoli and Provenzale 1997; Usoskin 2013; McCracken et al. 2013; Arlt and Weiss 2014). Yet it seems premature to assume that the 11-yr solar activity cycle is ‘the observational manifest of the solar dynamo’ (Yeo et al. 2014) even if a less restrictive claim can more confidently be made that ‘the solar field is maintained by a hydromagnetic dynamo’ (Tobias 2002). As it happens it was the irregularity of the cycle period that prompted the notion of a ‘chronometer’ deep in the Sun (Dicke 1979b): irregularity is not the attribute that leaps to mind when considering a decent chronometer or, indeed, a working dynamo.

The dynamo model as generally understood (Charbonneau 2010, 2014) hinges on differential rotation and meridional flow (Weiss and Thompson 2009); the one enduring model for the dynamo-cycle is the empirical one by Babcock (1961), which invokes flux loops to account for the alternating cycle, a stratagem rendered implausible by a solar surface impervious to magnetic flux (Parker 1984). Like the related semi-empirical model devised by Leighton (1969; Charbonneau 2007; Cameron and Schüssler 2017), the solar dynamo theories of Babcock and Parker have both been dismissed because the requisite diffusion coefficient was lacking (Piddington 1972) or because an axisymmetric magnetic field cannot be sustained by dynamo action (Cowling 1934, 1957).

Whereas in creating those models and their derivatives it was generally assumed that the dynamo action was distributed throughout the Sun’s convection zone or located near the photosphere, there is currently some support for it to be concentrated at or near the tachocline, the interface between

the convective and radiative zones . No convincing evidence for a mechanism to drive an 11-yr cycle has yet come to light thereabouts (Tobias and Weiss 2007), but in seeking to explain the periodicity and its irregularity it is helpful to partition the sequence among the documented physical processes operating in the Sun. In one such fragmentary scheme (Mullen 2010) the successive episodes total 9-12 yr.

### **Mechanisms: external**

A case has long been made for a contribution by planetary alignments to the solar cycle (Schuster 1911). The association proposed in China in the 3rd-4th century BC between the Jupiter cycle and agricultural production may in fact have been occasioned by the 11-yr sunspot period (Needham 1959). Wolf (1859), among others, remarked on the closeness of the 11-yr sunspot cycle to Jupiter's ~12-yr sidereal period; a link between sunspots and Jupiter was explicitly discussed by Carrington (1863) and between Mercury and sunspots a century later by Bigg (1967). The planetary hypothesis lost favour once the magnetic nature of sunspots had been revealed by Hale (1908; Charbonneau 2013) but never completely. Besides recalculation made possible by astronomical and computing advances there have been innovations in the analysis as a whole, notably in response to the revelations of helioseismology (Dingle et al 1973; Hughes et al 2007).

How the control is accomplished has not always been specified, but gravitational and derived tidal factors are the natural corollary of a Newtonian solar system, with a centre of mass, or barycentre, which is seen as the crucial component of any such system (Jose 1965; Hung 2007; Okhlopkov 2012; Fairbridge and Shirley 1987; Scafetta and Willson 2018), and the amplitude of the 11-yr cycle alternates between phases of

high and low activity (the latter including the Maunder and other minima) according to position along an orbit determined by the solar system as a whole (Charvátová 1988).

A more indirect route which accepts that the planets cannot directly control solar activity but perturb the operation of the solar dynamo posits that they exert a time-dependent torque on the solar core (Grandpierre 1996) or on a non-spherical tachocline at the base of the convective zone (Callebaut et al 2012). The resulting periodicities were found to tally with long-term cycles in proxies of solar activity over 9400 years derived from cosmogenic isotopes (Abreu et al 2012). However, the statistical basis for the thesis has been found wanting in two ways: the purported peaks in the torque spectrum are artefacts produced by aliasing, while any coherence between planetary torque and 'heliospheric modulation potential' is in fact insignificant (Polouianov and Usoskin 2014). More recently, the tidal-forcing option has been revived, with Venus, Earth and Jupiter joining forces to influence the solar magnetic field (Takahashi 1968; Stefani et al. 2019, 2016). A Venus-Earth-Jupiter alignment occurs every 11.07 yr, an effect hitherto dismissed as inadequate but now reinforced by reference to the Tayler instability, a component of the Tayler-Spruit dynamo model for the generation of stellar magnetic fields (Rogers 2011; Stefani et al 2018). And electrodynamic rather than gravitational effects have been invoked to link planetary configuration with solar activity (Nikulin 2009; Scafetta and Bianchini 2022).

The identification of sunspot cycles on other stars (Noyes 1991) has proved beneficial to planetary models for solar periodicity not only by encouraging the notion of solar system dynamic interaction but also by making available data on age, mass, rotation and other characteristics of Sun-like stars to complement our parochial database. The inference that stellar

light variability represents spots was first advanced in 1972 and circumstantial support for it includes rotation and periodic shifts in their latitude. Moreover the putative starspots hint at active magnetic activity. In 2009 it was still possible to ask 'whether starspots are just blown-up sunspot analogs' (Strassmeier 2009). Before long the data amassed by the Kepler space telescope mission were complex enough to raise such issues as differential surface rotation and spot emergence and decay (Basri 2018). From our present perspective what renders them significant is indeed their analogy with solar sunspots and in particular their display of periodicities in latitude and magnitude. The COROT light curve for CoRoT-Exo-2, for example, has a period of 4.522 d indicative of two spots at different latitudes (Strassmeier 2009); 17 yr of photometry of G8 giant HD 08472 shows a brightness cycle of 6.2 yr, a possible stellar analogy of our 11-yr cycle (Özdarcan et al. 2010).

Besides illustrating the possible links between cycle length and the nature of the host star, such stellar analogies help to guide extrapolation of the limited observational data into the future and the distant past. Indeed, the predictive limitations of the Babcock-Leighton model (Bushby and Tobias 2007; Charbonneau et al 2007; Cameron and Schüssler 2017) and the prevailing algorithms (Pesnell 2015), and the growing practical demands and risks of space exploration (Cucinotta and Durante 2006; Goelzer et al 2013; Schwadron et al 2018), doubtless encourage renewed assessment of planetary and other extrasolar influences (e.g. Kotov et al. 2012) on the cycle period.

It is not solely a matter of timing. For example, the 11-yr modulation varies by a factor of about 5 for protons of ~200 MeV and only a few percent for energetic ~10 GeV cosmic ray muons (Foukal 2013); long-term solar brightness changes may

be estimated from Sun-like stars (Lockwood et al 1992). Invoking extrasolar influences on the solar cycle thus opens the door to analysis of the solar dynamo in terms of stellar generalities. It may also lead to the dethronement of sunspots and their replacement by other indicators of solar cyclicity, such as the solar wind flux, which, though less accessible, benefit from records spanning many millennia and from an explicit link to the dynamics of the solar interior.

### **Summary and conclusions**

Since its recognition in 1843 by Heinrich Schwabe the ~11-yr sunspot cycle, often termed the solar cycle, has been identified in periodicities displayed by various components of the Sun's radiation and other parts of its output and by related phenomena in space and on Earth. Although in some instances the ~11-yr solar equivalence is endorsed by calculation or modelling, many accounts present minimal analysis and invite the charge of wishful thinking. As a consequence attempts to explain the sunspot cycle itself are dominated by models which invoke some aspect of the dynamo that is thought to operate in some part of the Sun's convection zone. To be sure, the few current alternatives, including those that rely on planetary alignments, are unconvincing though doubtless in part through the taint of astrology, and there remains the validity of equating with the solar cycle – itself with a duration of somewhere between 8 and 14 yr – a range of climatic, geological and medical episodes many of which lack independent chronologies. In the enunciation of the laws of astronomy, as well as physics and mechanics, commented Henri Poincaré, we choose rules whereby 'The simultaneity of two events, or...the equality of two durations...are only the fruit of an unconscious opportunism' (Gould 2001). This cynical assessment can be

invalidated by applying chronometric techniques that were not available in 1905 when its author made his claim

**Acknowledgments** I thank two anonymous referees for their forthright comments on the MS.



Fig. 1 Sunspots on 20 december 2022 as from SDO telescopes and on 14x25 refractor's projection in St. Peter's square in the Vatican. (C. Sigismondi <https://youtu.be/-AvSvXNYdfA> 2022). Monitoring the solar surface is possible with small instruments, especially towards the maximum phase of the XXV cycle, with frequent large sunspots. The direct approach before consulting the web is important to make students sensible to the study of the most resolvable stellar surface. The left image of the Sun is much better resolved than Betelgeuse's surface as seen from VLT.

## **References**

- Abreu JA et al (2012) Is there a planetary influence on solar activity? *Astron Astrophys* 548:A88
- Acero FJ et al (2018) Extreme value theory applied to the millennial sunspot number series. *Astrophys J* 853:80
- Aellig MR, Lazarus AJ, Steinberg JT (2001) The solar wind helium abundance: variation with wind speed and the solar cycle. *Geophys Res Lett* 28:2767-2770
- Ahluwalia HS, Ygbuhay RC (2016) Salient features of the new Sunspot Number time series. *Solar Phys* 291:3807-3815
- Akasofu S-I (2014) Single spots, unipolar magnetic regions, and pairs of spots. *Geophys Res Lett* 41:3698-3700
- Alfvén H (1943) On the effect of a vertical magnetic field in a conducting atmosphere. *Arkiv Mat Astron Fys* 29A:1-6
- Alfvén H (1945) Sunspots and magneto-hydrodynamic waves-II. *MNRAS* 105:382-394
- Albregtsen F, Maltby P (1981) Solar cycle variation of sunspot intensity. *Solar Phys* 71:269-283
- Anderson RY (1990) Solar cycle modulations of ENSO: a possible source of climatic change. In *Proc 6th Ann Pacific Clim (PACLIM) Workshop 1989, Pacific Grove, CA, 77-81*
- Anderson RY (1991) Solar variability captured in climatic and high-resolution paleoclimatic records: a geologic perspective. In *Sonett CP et al (eds) The sun in time. Univ of Arizona, Tucson, 543-56*
- Anderson RY (1992) Possible connection between surface winds, solar activity and the Earth's magnetic field. *Nature* 358:51-52
- Arakawa H (1953) On the relation between the cyclic variation of sun-spots and the historical rice crop famines in Japan. *Pap Met Geophys* 4:151-
- Arlt R, Weiss NO (2014) Solar activity in the past and the

- chaotic behaviour of the dynamo. *Space Sci Rev* 186:525-533
- Babcock HW (1961) The topology of the Sun's magnetic field and the 22-year cycle. *Astrophys J* 133:572-587
- Bahcall JN (1999) The birth of helioseismology. *Astrophys J* 525:1199-1200
- Baldwin MP, Dunkerton TJ (1989) Observations and statistical simulations of a proposed solar cycle/QBO/weather relationship. *Geophys Res Lett* 16:863-866
- Baliunas SL, Jastrow R (1990) Evidence for long-term brightness changes of solar-type stars. *Nature* 348:520-523
- Balogh A, Marsden RG, Smith EJ (eds) (2001) *The heliosphere near solar minimum*. Springer, Berlin
- Balogh A et al (2014) Introduction to the solar activity cycle: overview of causes and consequences. *Space Sci Rev* 186:1-15
- Barriopedro D, Garcia-Herrera R, Huth R (2008) Solar modulation of Northern Hemisphere winter blocking. *J Geophys Res* 113:D14
- Basri G (2018) Calibration of differential light curves for physical analysis of starspots. *Astrophys J* 865:142
- Bazilevskaya GA et al (2014) Solar cycle in the heliosphere and cosmic rays. *Space Sci Rev* 186:409-435
- Beck C, Choudhary DP (2019) Magnetic properties and flow angle of the inverse Evershed flow at its downflow points. *Astrophys J* 874:1
- Beer J et al (1990) Use of  $^{10}\text{Be}$  in polar ice to trace the 11-year cycle of solar activity. *Nature* 347: 164-166
- Beer J, Tobias S, Weiss N (1998) An active Sun throughout the Maunder Minimum. *Sol Phys* 181:237-249
- Benz AO (2008) Flare observations. *Living Rev Sol Phys* 5, 1
- Bethe H (1939) Energy production in stars. *Phys Rev* 55:434-456
- Berggren A-M et al (2009) A 600-year annual  $^{10}\text{Be}$  record from the NGRIP ice core, Greenland. *Geophys Res Lett* 36:L11801

Fundamentals of

Bershanskii A (2011) Subharmonic and chaotic resonances in solar activity. *Europhys Lett* 92:50012

Bethe H (1939) Energy production in stars. *Phys Rev* 55:103-104

Bhatnagar A, Livingston W (2005) *Fundamentals of solar astronomy*. World Scientific, Singapore

Bigg EK (1967) Influence of the planet Mercury on sunspots. *Astron J* 72:463-466

Blanter E et al (2017) Reconstruction of the North-South solar asymmetry with a Kuramoto model. *Sol Phys* 292:54

Boyer D, Levy EH (1984) Oscillating dynamo magnetic field in the presence of an external nondynamo field - the influence of a solar primordial field. *Astrophys J* 277:848-861

Bray RJ, Loughhead RE (1964) *Sunspots*. Chapman & Hall, London

Broomhall A-M et al (2014) The Sun's interior structure and dynamics, and the solar cycle. *Space Sci Rev* 186:191-225

Burchuladze AA et al (1980) Radiocarbon variations with the 11-year solar cycle during the last century. *Nature* 287:320-322

Bushby PJ, Mason J (2004) Understanding the solar dynamo. *Astron Geophys* 45:4.7-4.13

Bushby PJ, Tobias S (2007) On predicting the solar cycle using mean-field models. *Astrophys J* 661:1289-1296

Caligari P, Moreno-Insertís F, Schüssler M (1995) Emerging flux tubes and in the solar convection zone. 1: symmetry, tilt, and emergence latitude. *Astrophys J* 441:886-902

Callebaut DK, de Jager C, Duhau S (2012) The influence of planetary attractions on the solar tachocline. *J Atmos Solar-Terr Phys* 80:73-78

Cameron RH, Schüssler M (2017) An update of Leighton's solar dynamo model. *Astron Astrophys* 599:A52

Carbonell M, Oliver R, Ballester JL (1993) On the asymmetry

- of solar activity *Astron Astrophys* 274:497-504
- Carrington RC (1858) On the distribution of the solar spots in latitudes since the beginning of the year 1854, with a map. *Mon Not Roy Astron Soc* 19: 1-3
- Carrington RC (1863) Observations of the spots on the sun from Nov. 9, 1853 to Mar. 24, 1861, made at Redhill. Williams and Norgate, London
- Carslaw KS, Harrison RG, Kirkby J (2002) Cosmic rays, clouds , and climate. *Science* 298:1732-1737
- Cass D & Shell K (1983) Do sunspots matter? *J Polit Econ* 91:193-228
- Charbonneau P (2007) Babcock-Leighton models of the solar cycle: Questions and issues. *Adv Space Res* 39:1661-1669
- Charbonneau P (2010) Dynamo models of the solar cycle. *Living Rev Sol Phys* 7, 3
- Charbonneau P (2013) The planetary hypothesis revived: the Sun's magnetic z varies cyclically over a period of about 11 years. *Nature* 493:613-614
- Charbonneau P (2014) Solar dynamo theory. *Ann Rev Astron Astrophys* 52:251-290
- Charvátová I (1988) The solar motion and the variability of solar activity. *Adv Space Res* 8:147-159□
- Cheung MCM, Isobe H (2014) Flux emergence (Theory). *Liv Rev Solar Phys* 11:3
- Choudhuri AR (2017) Predicting a solar cycle before its onset using a flux transport dynamo model. *Proc IAU Symp* 335
- Choudhuri AR, Chatterjee P, Jiang J (2007) Predicting solar cycle 24 with a solar dynamo model. *Phys Rev Lett* 98:131103
- Choudhury P, Dwivedi BN, Ray PC (2011) Solar modulation of galactic cosmic rays during 19-23 solar cycles. *New Astron* 16:430-438
- Cini Castagnoli G, Provenzale A (1997) Records of the solar cycle in terrestrial archives. In *Past and present variability of*

- the solar-terrestrial system. Proc Internat School of Physics Enrico Fermi, Course CXXXIII, Soc Ital Fis, Bologna, 37-46
- Cini Castagnoli G et al (1998) On the solar origin of the 200 y Suess wiggles: Evidence from thermoluminescence in sea sediments. *Il Nuovo Cimento* 21:237-242
- Clette F, Svalgaard L, Vaquero J M, Cliver EW (2014) Revisiting the Sunspot Number. *Space Sci Rev* 186:35–103
- Cliver EW (2014) The extended cycle of solar activity and the Sun's 22-year magnetic cycle. *Space Sci Rev* 186:169-189
- Cliver EW, Boriakoff V, Bounar KH (1996) The 22-year cycle of geomagnetic and solar wind activity. *J Geophys Res* 101: 27091-27109
- Cliver EW, Richardson IG, Ling AG (2013) Solar drivers of 11-yr and long-term cosmic ray modulation. *Space Sci Rev* 176:3-19
- Cliver EW, Svalgaard L (2004) The 1859 solar-terrestrial disturbance and the current limits of extreme space weather activity. *Solar Phys* 224:407-422
- Coffey HE, Erwin EH (2001) When do the geomagnetic aa and Ap indices disagree? *J Atmos Sol-Terr Phys* 63:551-556
- Costa JER, et al (1999) Solar radius variations at 48Ghz correlated with solar irradiance. *Astrophys J* 520:L64
- Cowling TG (1934) The magnetic field of sunspots. *Mon Not R Astr Soc* 94:39-48
- Cowling TG (1946) Alfvén's theory of sunspots. *Mon Not Roy Astron Soc* 106: 446–456 -
- Cowling TG (1957) *Magnetohydrodynamics*. Interscience, NY
- Cucinotta FA, Durante M (2006) Cancer risk from exposure to galactic cosmic rays: Implications for space exploration by human beings. *Lancet Oncol* 7: 431-435.
- Currie RG (1980) Detection of the 11-yr sunspot cycle signal in Earth rotation. *Geophys J Internat* 61:131-140+-
- Currie RG (1981) Solar cycle signal in Earth rotation: non-

- stationarity behaviour. *Science* 21:386-389
- Davis R Jr (1964) Solar neutrinos II: experimental. *Phys Rev Lett* 12:303-305
- Deng N et al (2008) Flow field evolution of a decaying sunspot. arXiv:0709.3340v1 [astro-ph]
- Deng LH, Qu ZQ, Wang KR, Li XB (2012) Phase asynchrony between coronal index and sunspot numbers. *Adv Space Res* 50:1425-1433
- Deng L et al (2013) Phase relationship between polar faculae and sunspot numbers revisited: wavelet transform analyses. *Publ Astron Soc Jap* 65:11. doi :10.1093/pasj/65.1.11
- Dicke RH (1978) Is there a chronometer hidden deep in the Sun? *Nature* 276:676-680
- Dicke RH (1979a) Solar luminosity and the sunspot cycle. *Nature* 280:24-27
- Dicke RH (1979b) The clock inside the Sun. *New Scientist* 83:12-14
- Dingle LA, Van Hoven G, Sturrock PA (1973) Test for planetary influences on solar-activity. *Solar Phys* 31:243-246
- Donnelly RF (1987) Temporal trends of solar EUV and UV full-disk fluxes. *Sol Phys* 109:37-58
- Dudok de Wit, et al(2008) Which solar EUV indices our best for reconstructing the solar EUV irradiance? *Adv Space Res* 42:903-911
- Dudok de Wit T, Bruinsma S, Shibasaki K (2014) Synoptic radio observations as proxies for upper atmosphere modelling. *J Space Weather Space Clim* 3:26000
- Eddy JA (1976) The Maunder Minimum. *Science* 192:1189-1202
- Eddy JA (1977) Historical evidence for the existence of the solar cycle. In:White OR (ed) *The solar output and its variation*. Colorado Ass Univ Press, Boulder, 51-71
- Eddy JA (1983) The Maunder Minimum: A reappraisal. *Solar Phys* 89:195-207

- Epstein S, Yapp CJ (1976) Climatic implications of the D/H ratio of hydrogen in CH groups in tree cellulose. *Earth Planet Sci Lett* 30:252-261
- Ermolli I, Shibaal (2014) Solar cycle indices from the photosphere to the corona: Measurements and underlying physics. *Space Sci Rev* 186:105-135
- Ermolli I et al (2017) Solar cycle indices from the photosphere to the corona: measurements and underlying physics. [arXiv:1705.07054.v1\[astro-ph.SR\]](https://arxiv.org/abs/1705.07054)
- Evershed J (1909) Radial movement in sunspots. *Kodaikanal Obs Bull* 15:63-69
- Fairbridge RW (1997) a ) Herschel, William (1738-1822), pp .298-299; b) Orbital commensurability and resonance pp. 564-571, in Shirley JH and Fairbridge RW eds *Encyclopedia of planetary sciences*, Kluwer Dordrecht, 564-571
- Fairbridge RW & Shirley JH (1987) Prolonged minima and the 179-yr cycle of the solar inertial motion. *Solar Phys* 110:191-220
- Fisher RA (1930) *The genetical theory of natural selection*. Oxford Univ Press, Oxford
- Fisk LA, Zhao L (2009) The heliospheric magnetic field and the solar wind during the solar cycle. In Gopalswamy N and Webb DF (eds) *Universal Heliophysical Processes*, Proc IAU Symp 257, 109-120
- Forbush SE (1958) Cosmic ray intensity variations during two solar cycles. *J Geophys Res* 63:651-669
- Foukal P (2013) *Solar astrophysics* (3rd ed). Wiley, Weinheim
- Foukal P, Lean J (1990) An empirical model of total solar irradiance variation between 1874 and 1988. *Science* 247:556-558
- Friis-Christensen E, Lassen K (1991) Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate. *Science* 254:698-700
- Galilei G (1613) *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie*

- solari e loro accidenti. Mascardi, Rome
- Garcia A, Mouradian Z (1998) The Gleissberg cycle of minima. *Solar Phys* 180:495-498
- Gazis PR (1996) Solar cycle variation of the heliosphere. *Rev Geophys* 34:379-402
- Georgakilas AA et al (2003) Chromospheric Evershed flow. *Astron Astrophys* 403:1123-1133
- Gleisner H, Thejll P (2003) Patterns of tropospheric response to solar variability. *Geophys Res Lett* 30:44
- Gleissberg W (1958) The eighty-year sunspot cycle. *J Br Astron Assoc* 68:148-152
- Goelzer ML et al (2013) An analysis of heliospheric magnetic field flux based on sunspot number from 1749 to today and prediction for the coming solar minimum. *J Geophys Res* 118: 7525-7531
- Gould DJ (ed) (2001) Henri Poincaré: the value of science. The Modern Library, New York
- Grandpierre A (1996) On the origin of solar cycle periodicity. *Astrophys Space Sci* 243:393-400
- Gray LJ et al (2010) Solar influences on climate. *Rev Geophys* 48:RG4001
- Greenkorn RA (2009) Analysis of sunspot activity cycles. *Solar Phys* 255:301-323
- Haigh JD (1999) A GCM study of climate change in response to the 11-year solar cycle. *J Roy Met Soc* 145: 871-892
- Haigh JD (1996) The impact of solar variability on climate. *Science* 272:981-984
- Hale GE (1908) On the probable existence of a magnetic field in Sun-spots. *Astrophys J* 28:315-343
- Hale GE, Nicholson SB (1938) Magnetic observations of sunspots 1917-1924: vol I. Pub Carnegie Instit Wash 498:
- Hameed S (1984) Fourier analysis of Nile flood levels. *Geophys Res Lett* 1:843-845

- Harvey KL (1992) The cyclic behavior of solar activity. *Astron Soc Pacific Conf Ser* 27:335-353
- Hassan D et al (2016) Sunspots and ERNSO relationship using Markov method. *J Atmos Solar-Terr Phys* 137:53-57
- Hathaway DH (2015) The solar cycle. *Living Rev Solar Phys* 12, 4
- Hathaway DH, Wilson RM (1990) Solar rotation and the sunspot cycle. *Astrophys J* 357:271-274
- Hathaway DH, Wilson RM, Reichmann EJ (1994) The shape of the sunspot cycle. *Sol Phys* 151:177-190
- Hathaway DH, Wilson RM, Reichmann EJ (1999) A synthesis of solar cycle prediction techniques. *J Geophys Res* 104:22375-22388
- Hathaway DH, Wilson RM, Reichmann EJ (2002) Group sunspot numbers: sunspot cycle characteristics. *Solar Phys* 211:357-370
- Herschel W (1801) Observations tending to investigate the nature of the Sun, in order to find the causes or symptoms of its variable emission of light and heat; with remarks on the use that may possibly be drawn from solar observations. *Phil Trans R Soc London* 91:268-318
- Hiremath KM (2006) The influence of solar activity on the rainfall over India: Cycle-to-cycle variations. *J Astrophys Astron* 27:367-372
- Hiremath KM (2010) Evershed flow velocities during 100 years. In: Hasan SS and Rutten RJ (eds) *Magnetic coupling between the interior and atmosphere of the Sun*. *Astrophys Space Sci Proc*, Springer, Berlin, 417-420
- Hope-Simpson RE (1978) Sunspots and flu: a correlation. *Nature* 275:86
- Howard R (1984) Solar rotation. *Ann Rev Astron Astrophys* 22:131-155
- Howard R, Labonte BJ (1980) The sun is observed to be a

- torsional oscillator with a period of 11 years. *Astrophys J* 239:L33-L36
- Howe R (2008) Helioseismology and the solar cycle. *Adv Space Res* 41:846-854
- Howe R et al (2013) The high-latitude branch of the solar torsional oscillation in the rising phase of cycle 24. *Astrophys J Lett* 767: 20
- Hoyle F, Wickramasinghe NC (1990) Sunspots and influenza. *Nature* 343:304
- Hoyt DV, Schatten KH (1998) Group sunspot numbers: a new solar activity reconstruction. *Solar Phys* 179: 189-219
- Hughes DW, Rosner R, Weiss NO (2007) (eds) *The solar tachocline*. Cambridge Univ Press, Cambridge
- Humboldt A von (1851) *Cosmos*, v 3, Fr trans. Turati, Milan
- Hung C-C (2007) Apparent relations between solar activity and solar tides caused by the planets. NASA/TM 2007-214817, Cleveland OH
- Huntington E (1945) *Mainsprings of civilization*. Wiley, New York
- Ionides SA, Ionides ML (1939) *One day telleth another*. Arnold, London
- Israelevich P, Ershkovich A, Gombosi TI (2000) Does the solar wind affect the solar cycle? *Astron Astrophys* 362:379-382
- Javaraiah J (2011) Long-term variations in the growth and decay rates of sunspot groups. arXiv:1105.1066v1 [astro-ph.SR]
- Jevons WS (1878) Commercial crises and sun-spots. *Nature* 19:33-37
- Jevons WS (1879) Sun-spots and the plague. *Nature* 19:338
- Jevons WS (1882) The solar-commercial cycle. *Nature* 26:226-228
- Jose PD (1965) Sun's motion and sunspots. *Astron J* 70:193-200
- Juckett DA, Rosenberg B (1993) Correlation of human

longevity oscillations with sunspot cycles. *Radiation Research* 133:312-320.

Kasper JC et al (2012) Evolution of the relationships between helium abundance, minor ion charge state, and solar wind speed over the solar cycle. *Astrophys J* 745:162

Kelly PM, Wigley TML (1990) The influence of solar forcing trends on global mean temperature since 1861. *Nature* 347:460-462

Kelvin Lord (Thomson W) (1892) The anniversary of the Royal Society Presidential address, Royal Society. *Nature* 47:106-111

Kiepenheuer KO (1953) Solar activity, in Kuiper GR et al (eds) *The Sun*, Chicago Univ Press, Chicago, 322

Kirkby J et al (2011) Role of sulphuric acid, ammonia and galactic cosmic rays in atmospheric aerosol nucleation. *Nature* 476:429-433

Kleczek J (1952) Catalogue de l'activité des éruptions chromosphériques. *Publ Inst Centr Astron* 22

Kleorin N, Mond M, Rogachevskii I(1996) Magnetohydrodynamic turbulence in the solar convective zone as a source of oscillations and sunspot formation. *Astron Astrophys* 307:293-309

Kocharov GE (1992) Radiocarbon and astrophysical-geophysical phenomena. In: Taylor RE, Long A, Kra RS (eds) *Radiocarbon after four decades*, Springer, New York, 130-145

Kopecký M, Kuklin G V (1969) A few notes on the sunspot activity in dependence on the phase of the 11-year cycle and on the heliographic latitude. *Bull Astr Inst Czech* 20:22-29

Kopp G, Lawrence G (2005) The Total Irradiance Monitor (TIM): Instrument design. *Sol Phys* 230:1-2

Kopp G, Lean JL (2011) A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate. *Geophys Res Lett* 38:L01706

Kopp G et al (2012) Total solar irradiance data record accuracy and consistency improvements. *Metrologia* 49:S29-S33

- Kosovichev AG (1996) Tomographic imaging of the Sun's interior. *Astrophys J* 461:L55-L57
- Kotov VA, Sanchez FM, Bizouard K (2012) On possible cosmic origin of the 11-year solar cycle. *Bull Crimean Astrophys Obs* 108:36-45
- Krainev MB, Kalinin MS (2013) On the description of the 11- and 22- year cycles in the GCR intensity. *J Phys Conf Ser* 409:012155
- Kramynin AP, Mikhalina FA (2015) Length of 11-year solar cycles. *Geomag Aeron* 55:866-871
- Kuhn JR et al (2012) The precise solar shape and its variability. *Science* 33:1638-1640
- Kuroda Y, Kodera K (2005) Solar cycle modulation of the Southern Annular Mode. *Geophys Res Lett* 32:L13802
- Labitzke K, van Loon H (1997) Total ozone and the 11-yr sunspot cycle. *J Atmos Solar-Terr Phys* 59:9-19
- Lande K et al (1991) Status and future of solar neutrino observations. *Proc School Astro-Particle Phys.* World Scientific, Singapore
- Landscheidt T (2000) Solar forcing of El Niño and La Niña. *ESA Spec Publ* 463:135-140
- Le G-M et al. (2013) Solar cycle distribution of major geomagnetic storms. *Res Astron Astrophys* 13: 739-748
- Le G-M, Wang JL (2003) Wavelet analysis of several important periodic properties in the relative sunspot numbers. *Chinese J Astron Astrophys* 3:391-394
- Lean J (1987) Solar ultraviolet irradiance variations: A review. *J Geophys Res* 92:839-868
- Lean J (2018) Estimating solar irradiance since 850 CE. *Earth Space Sci* 5:133-149
- Lean J et al (1992) SUSIM/UARS observations of the 120 to 300 nm flux variations during the maximum of the solar cycle: inferences for the 11-year cycle. *Geophys Res Lett* 19:2203-2206

- Leighton RB et al (1962) Velocity fields in the solar atmosphere. I. Preliminary Report. *Astrophys J* 135:474
- Leighton RB (1969) A magneto-kinematic model of the solar cycle. *Astrophys J* 156:1-26
- Leroy J-L, Noens J-C (1983) Does the solar activity cycle extend over more than an 11-year period? *Astron Astrophys* 120:L1-L2
- Li C et al (2018) Waiting time distributions of solar and stellar flares: Poisson process or with memory? *Mon Not Roy Astron Soc* 479: L139-L142
- Li KJ et al (2003) On the latitudinal distribution of sunspot groups over a solar cycle. *Solar Phys* 215:99-109
- Li KJ et al (2010) Periodicity of total solar irradiance. *Solar Phys* 267: 295-303
- Li J et al (2011) Interdecadal modulation of El Niño amplitude during the past millennium. *Nature Climate Change* 1:114-118,
- Livingston W (1991) Babcock's solar magnetograph. *Astrophys J* 525C:537
- Livingston W, Penn M (2009) Are sunspots different during the solar minimum? *EOS, Trans Am Geophys Un* 90:257-264
- Lockwood M, Rouillard AP, Finch ID (2009) The rise and fall of open solar flux during the current grand solar maximum. *Astrophys J* 700:2
- Lockwood M, Stamper R, Wild MN (1999) A doubling of the Sun's coronal magnetic field during the last 100 years. *Nature* 399:437-439
- Lockwood M et al (2018) A homogeneous aa index: 1. Secular variation. *J Space Weather Space Clim* 8:A53
- Lockwood GW et al (1992) Long-term solar brightness changes estimated from a survey of Sun-like stars. *Nature* 360:653-655
- Lockyer JN, Hunter WW, Archibald ED (1896) The cycle of sun-spots and of rainfall in southern India. *India Famine during this solar minimum?* *EOS* 90:257-258

- Losada IR et al (2016) A new look at sunspot formation using theory and observations. In: Vargas Domínguez S (ed) Fine structure and dynamics of the solar atmosphere, Proc IAU Symp 327, IAU, 46-59
- Love JJ (2013) On the insignificance of Herschel's sunspot correlation. *Geophys Res Lett* 40:4171-4176
- McCracken KG (2001) Variations in the production of  $^{10}\text{B}$  due to the 11 year modulation of the cosmic radiation, and variations in the vector geomagnetic dipole. Proc 27 Int Cosmic Ray Conf, Hamburg,
- McCracken KG (2004) Geomagnetic and atmospheric effects upon the cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  observed in polar ice. *J Geophys Res* 109:A04101
- McCracken KG, Beer, J, Steinhilber F, Abreu J (2013) The heliosphere in time. *Space Sci Rev* 176:59-71
- McIntosh PS (1981) The birth and evolution of sunspots: observations. In: The Physics of Sunspots, Proc Conf 1981:7-54
- McIntosh SW et al (2011) Solar cycle variations in the elemental abundance of helium and fractionation of iron in the fast solar wind: indicators of an evolving energetic release of mass from the lower solar atmosphere. *Astrophys J Lett* 740:1
- Makarov VI, Tlatov AG (2000) The large-scale solar magnetic field and 11-year activity cycles. *Astron Rep* 44:759-764
- Marsh N, Svensmark H (2000) Cosmic rays, clouds, and climate. *Space Sci Rev* 94:215-230
- Maunder EW (1904) Note on the distribution of Sun-spots in heliographic latitude, 1874 to 1902. *Mon Not Roy Astron Soc* 64:747-761
- Mavromichalaki H et al (2005) Coronal index as a solar activity index applied to space weather. *Adv Space Res* 35:410-415
- Mayaud P-N (1972) The aa indices: A 100-year series characterizing the magnetic activity. *J Geophys Res* 77: 6870-6874

- Meehl GA et al (2009) Amplifying the Pacific climate system response to a small 11-year solar cycle forcing. *Science* 325:1114-1118
- Miletsky EV, Ivanov VG (2014) Interrelation between the amplitude and length of the 11-year sunspot cycle. *Geomag Aeron* 54:1000-1005
- Minarovjech M et al (2011) The green corona database and the coronal index of solar activity. *Contrib Astron Obs Skaln Pleso* 41:137–141
- Morfill GE, Scheingraber H, Voges W (1991) Sunspot number variations: stochastic or chaotic. In Sonett CP, Giampapa MS, Matthews MS (eds) *The Sun in time*. Univ Arizona Press, Tucson AZ, 30-58
- Mullen DJ (2010) *Physics of the Sun*. CRC Press, Boca Raton FL
- Mursula K, Zieger B (2001) Long-term north-south asymmetry in solar wind speed inferred from geomagnetic activity: A new type of century-scale solar oscillation? *Geophys Res Lett* 28:95-98
- Mursula K, Usoskin IG, Kovaltsov GA (2001) Persistent 22-year cycle in sunspot activity: evidence for a relic solar magnetic field. *Solar Phys* 198:51-56
- Mursula K, Usoskin IG, Kovaltsov GA (2002) A 22-year cycle in sunspot activity. *Adv Space Res* 29:1979-1984
- Nair VS, Nayar SRP (2008) North-South asymmetry in solar wind and geomagnetic activity and its solar cycle evolution. *Indian J Radio Space Phys* 37:391-395
- Needham J (1959) *Science and civilisation in China*, v. 3. Cambridge Univ Press, Cambridge
- Neher HV (1967) Cosmic-ray particles that changed from 1954 to 1958 to 1965. *J Geophys Res* 72:1527-1539
- Nepomnyashchikh A A et al (2019) Can the long-term hemispheric asymmetry of solar activity result from fluctuations in dynamo parameters? *Astron Astrophys* 625,

A37

Neugebauer M (1975) Large scale solar cycle variations of the solar wind. *Space Sci Rev* 17:221

Nikulin IF (2009) Cycles of activity on Sun and stars. (In Russian). St Petersburg

Noble PL, Wheatland MS (2013) Origin and use of the Laplace distribution in daily sunspot numbers. *Solar Phys* 282:565-578

Nordlund A, Scharmer GB (2009) Convection and the origin of Evershed flows. arXiv:0905.0918v1 [astro-ph.SR]

Norton AA, Gilman P (2004) Magnetic field-minimum intensity correlation in sunspots: A tool for solar dynamo diagnostics. *Astrophys J* 603:348-354

Norton AA, Charbonneau P, Passos D (2014) Hemispheric coupling: Comparing dynamo simulations and observations. *Space Sci Rev* 186:251-283

Noyes RW, Baliunas SL, Guinan EF (1991) What can other stars tell us about the Sun? In: Cox AN, Livingston WC, Matthews MS (eds) *Solar interior and atmosphere*. Univ Arizona Press, Tucson AZ, 1161-1185

Ochadlick AR, Kritikos HN, Giegengack R (1993) Variations in the period of the sunspot cycle. *Geophys Res Lett* 20:1471-1474

Ogilvie KW, Hirshberg J (1974) The solar cycle variation of the solar wind helium abundance. *J Geophys Res* 79:4595-4602

Okhlopkov VP (2012) The main periodicities of the motion of the center of the sun relative to the center of mass of the solar system and solar activity. *Moscow Univ Phys Bull* 66:634-638

Oliver R, Ballester JL, Baucin F (1998) Emergence of magnetic flux on the Sun as the cause of a 158-day periodicity in sunspot areas. *Nature* 394:552-553

Özdarcan O et al (2010) Discovery of cyclic spot activity on the G8 giant HD208472. *Astron Nachr* 331:794-806

Parker EN (1955) The formation of sunspots from the solar toroidal field. *Astrophys J* 121:491-507

- Parker EN (1984) Magnetic buoyancy and the escape of magnetic fields from stars. *Astrophys J* 280:423-427
- Parker EN (1993) The solar dynamo. *Astrophys J*.408:707-719
- Parkinson JH, Morrison LV, Stephenson SR (1980) The constancy of the solar diameter over the past 250 years. *Nature* 288:548-551
- Penn MJ, Livingston W (2006) Temporal changes in sunspot umbral magnetic fields and temperatures. *Astrophys J* 649:L45-L48
- Perystikh AN, Damon PE (2003) Persistence of the Gleissberg 88 - year solar cycle over the last ~12,000 years: Evidence from cosmogenic isotopes. *J Geophys Res* 108:doi:10.1029/2002JA009390
- Pesnell WD (2015) Predictions of Solar Cycle 24: how are we doing? *Space Weather* 14:10-21
- Petrovay K (2010) Solar cycle prediction. *Living Rev Solar Phys* 7,6
- Piddington JH (1972) Solar dynamo theory and the models of Babcock and Leighton. *Solar Phys* 22:3-19
- Pittock AB (1978) A critical look at long-term sun-weather relationships. *Rev Geophys Space Phys* 16:400-420
- Poletto G (2013) Sources of solar wind over the solar activity cycle. *J Adv Res* 4:215-220
- Polouianov S, Usoskin I (2014) Critical analysis of a hypothesis of the planetary tidal influence on solar activity *Solar Phys* 289:2333-2342
- Pustil'nik LA & Yom Din G 2004a Influence of solar activity on state of wheat market in medieval England. [arXiv:astro-ph/0312244](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0312244)
- Pustil'nik LA & Yom Din G 2004b Space climate manifestation in Earth prices - from medieval England up to modern USA. [arXiv:astro-ph/0411165v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0411165v1)
- Rabin DM, deVore CR, Sheeley NR, Jr., Harvey KL, Hoeksema

- JT 1991 The solar activity cycle, In Cox AN, Livingston WC, Matthews MS (eds) *Solar interior and atmosphere*, Univ Arizona Press, Tucson AZ, 781-843
- Ramesh KB (2010) Coronal mass ejections and sunspots – solar cycle perspective. *Astrophys J* 712:L77-L80
- Raychaudhuri P (1984) Solar neutrino data and the 11-year solar activity cycle. *Solar Phys* 93:397-401
- Rempel M, Cheung MCM (2014) Numerical simulations of active region scale flux emergence from spot formation to decay. *Astrophys J* 785:90-
- Rempel M, Schlichenmaier R (2011) Sunspot modeling: from simplified models to radiative MHD simulations. *Living Rev Solar Phys* 8, 3
- Reznikova VE et al (2012) Three-minute oscillations above sunspot umbra observed with the Solar Dynamics Observatory/Atmospheric Imaging Assembly and Nobeyama Radioheliograph. *Astrophys J* 46:119, doi 10.1088/00044-637X/746/2/119
- Ribes E, Ribes JC, Bartholot R (1987) Evidence for a larger Sun with a slower rotation during the seventeenth century. *Nature* 326:52-55
- Richardson JD, Kasper JC (2008) Solar cycle variations of solar wind dynamics and structures. *J Atmos Solar-Terr Phys* 70:219-225IG,
- Richardson JD et al (2003) Helium variation in the solar wind. *Proc ESA SP-535:521-526*
- Rogers TM (2011) Toroidal field reversals and the axisymmetric Tayler instability. *Astrophys J* 735:100
- Ross E, Chaplin WJ (2019) The behaviour of galactic cosmic-ray intensity during solar activity Cycle 24. *Solar Phys* 294:8
- Rottman G (1999) Solar ultraviolet irradiance and its temporal variation. *J Atmos Solar-Terr Phys* 61:37-44
- Roy JR (1977) The north-south distribution of major solar flare

events, sunspot magnetic classes and sunspot areas (1955) *Sol Phys* 52:53-61

Rozelot JP, Kosovichev AG, Kilcik A (2018) How big is the Sun: solar diameter changes over time. *Sun Geosph* 13:63-68

Ruzmaikin A (2001) Origin of sunspots. *Space Sci Rev* 95:43-53

Ruzmaikin A, Feynman J, Yung YL (2006) Is solar variability reflected in the Nile River? *J Geophys Res* 111:D21114

Sabarinath A, Anilkumar AK (2011) A stochastic prediction model for the sunspot cycles. *Solar Phys* 273:255-265

Sabine E (1852) On the periodical laws discoverable in the mean effects of the larger magnetic disturbances. *Phil Trans Roy Soc London* 142:103-112

Scafetta N, Willson RC (2018) Multi-scale comparative spectral analysis of satellite total solar irradiance measurements from 2003 to 2013 reveals a planetary modulation of solar activity and its non-linear dependence on the 11-year solar cycle. [arXiv:1311.6807v1\[physics.gen-ph\]](https://arxiv.org/abs/1311.6807v1)

Schuster A (1911) The influence of planets in the formation of sunspots. *Proc Roy Soc Lond* 85A:309-323

Schwabe H (1843) *Sonnenbeobachtungen im Jahre 1843* *Astron Nachrichten* 21:233-236.

Schwadron NA et al (2018) Update on the worsening particle radiation environment observed by CReTER and implications for future human deep - space exploration. *Space Weather* 16:289-303

Serre T, Nesme-Ribes E (1997) The evolution of the solar cycle. In: Castagnoli GC, Provenzale A (eds) *Past and present variability of the solar-terrestrial system : measurement, data analysis and theoretical models*, *Proc Int Sch Phys 'Enrico Fermi'* CXXXIII:291-309

Shaviv NJ (2005) On climate response to changes in the cosmic ray flux and radiative budget. *J Geophys Res* 110:A08105

Singh PR, Saxena AK, Tiwari CM (2018) Mid-term

- periodicities and heliospheric modulation of coronal index and solar flare index during solar cycles 22-23. *J Astrophys Astr* 39:20
- Sobotka M (2003) Solar activity II: Sunspots and pores. *Astron Notes* 324:369-373
- Sobotka M et al (2013) Atmosphere above a large solar pore. arXiv:1302.4893v1 [astro.ph.SR]
- Solanki SK (2003) Sunspots: an overview. *Astron Astrophys* 11:153-286
- Soon W et al (2014) A review of Holocene solar-linked climatic variation on centennial to millennial timescales: Physical processes, interpretative frameworks and a new multiple cross-wavelet transform algorithm. *Earth-Sci Rev* 134:1-15
- Spörer FWG (1889) Über die Periodicität der Sonnenflecken seit dem Jahre 1618. *Nova Acta Ksl Leop-Carol Deutschen Akad Naturforscher* 53:2
- Spörer FWG (1894) Publicationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam 32. Engelmann, Leipzig
- Spruit HC (2011) Theories of the solar cycle: a critical view. In Miralles MP, Sánchez Almeida J (eds) *The Sun, the solar wind, and the heliosphere*. IAGA Spec Sopron Book Ser 4, 39-49
- Srivastava AK et al (2018) The extended solar cycle: Muddying the waters of solar/stellar dynamo modeling or providing crucial observational constraints? *Astron Space Sci* 22,
- Stefani F, Giesecke A, Weber N, Weier T (2016) Synchronized helicity oscillations: a link between planetary tides
- Stefani F, Giesecke A, Weier T (2018) On the synchronizability of Tayler-Spruit and Babcock-Leighton type dynamos. *Solar Phys* 193:12
- Stefani F, Giesecke A, Weier T (2019) A model of a tidally synchronized solar dynamo. *Solar Phys* 294:60-
- Stenflo JO (1992) On the validity of the Babcock-Leighton approach to modeling the solar cycle. In Harvey KL (ed) *The*

soilkar cycle, ASP Conf 27, 83-88

Stewart B (1861) On the great magnetic disturbance which extended from August 28 to September 7, 1859, as recorded by photography at the Kew Observatory. Phil Trans R Soc London B 151:423-430

Strassmeyer KG (2009) Starspots. Astron Astrophys Rev 17,2

Sturrock P (2009) Combined analysis of solar neutrino and solar irradiance data: further evidence for variability of the solar neutrino flux and its implications concerning the solar core. Solar Phys 254:227-239

Sturrock PA, Walther G, Wheatland MS (1997) Search for periodicities in the Homestake solar neutrino data. Astrophys J 491:409-413

Suess HE (1965) Secular variations of the cosmic-ray-produced carbon-14 in the atmosphere and their interpretations. J Geophys Res 70:5937-5952

Svalgaard L, Schatten KH (2016) Reconstruction of the Sunspot Group Number: the backbone method. Sol Phys 291:2653-2684

Svensmark H, Friis-Christensen E (1997) Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships. J Atmos Sol-Terr Phys 59:1225-1232

Takahashi K (1968) On the relation between the solar activity cycle and the solar tidal force induced by the planets. Solar Phys 3:598-602

Tapping KF, Mathias G, Surkan DL (2001) Influenza pandemics and solar activity. Can J Infect Dis 12:1016-1022

Telloni D, Carbone V, Lepreti F, Antonucci E (2014) Stochasticity and persistence of solar coronal mass ejections. Save you permissiveness you will read a long road you see Astrophys J 781:L1

Telloni D, Carbone V, Lepreti F, Antonucci E (2016) Statistical properties of solar flares and coronal mass ejections through the solar cycle. Proc AIP Conf 1720:020005

- Ternullo M (2007) The butterfly diagram fine structure. *Sol Phys* 240:153-164
- Thompson MJ (1993) A technique for predicting the amplitude of the solar cycle. *Solar Phys* 148:383-388
- Thompson MJ (2004) Helioseismology and the Sun's interior. *Astron Geophys* 45:4.21-4.25
- Thuillier G, Sofia S, Harberreiter M (2005) Past, present and future measurements of the solar diameter. *Adv Space Sci* 35:329-340
- Tobias SM (2002) Modulation of solar and stellar dynamos. *Astron Nachr* 323:417-423
- Tobias SM, Weiss N (2007) The solar dynamo and the tachocline. In Hughes DW, Rosner R, Weiss NO (eds) *The solar tachocline*, Cambridge Univ Press, 319-350
- Tobiska WK (2001) Validating the solar EUV proxy, E10.7. *J Geophys Res* 106:29969-29978
- Tokumaru M (2013) Three-dimensional exploration of the solar wind using observations of interplanetary scintillation. *Proc Jpn Acad Ser B* 89:67-79
- Torrence C, Compo GP (1998) A practical guide to wavelet analysis. *Bull Amer Meteor Soc* 79:61-78
- Towers S (2017) Sunspot activity and influenza pandemics: a statistical assessment of the purported association. *Epidemiol Infect* 29:1-16
- Tuominen I, Virtanen H (1987) Solar rotation variations from sunspot group statistics. In Durney BR, Sofia S (eds) *The internal solar angular velocity*, *Astrophys Space Sci Lib* 137, Springer, Dordrecht, 83-88
- Ulrich RK (1970) The five-minute oscillations on the solar surface. *Astrophys J* 162:993-
- Usoskin IG (2013) A history of solar activity over millennia. *Living Rev Solar Phys* 10, 1
- Usoskin IG et al (2016) Solar activity during the Holocene, the

- Hallstatt cycle and its consequence for grand maxima and minima. *Astron Astrophys* 587:A150
- Van Allen JA(2000) On the modulation of galactic cosmic ray intensity during solar activity cycles 19, 20, 21, 22 and early 23. *Geophys Res Lett* 27:2453-2456
- Vaquero JM (2007) Historical sunspot observations: a review. *Adv Space Res* 40:929-941
- Vernova ES et al (2002) A new pattern for the North-South symmetry of sunspots. *Sol Phys* 205:371-382
- Veselovsky IS, Dmitriev AV, Suvorova AV, Tarsina MV (2012) Solar wind variation with the cycle. *J Astrophys Astron* 21:423-429
- Vita-Finzi C (2009) The Dicke cycle: a ~27 day solar oscillation. *J Atmos Solar-Terr Phys* 72:139-142
- Vita-Finzi C (2013) *Solar history*. Springer, Dordrecht
- Vita-Finzi C (2018) *The Sun today*. Springer, Dordrecht
- Vita-Finzi C, Fortes AD (2013) *Planetary geology*. Dunedin, Edinburgh
- Walén C (1944) On the theory of sunspots. *Arh Mat Astr Fys* 30A and 31B
- Wang Y-M, Sheeley NR Jr (2013) The solar wind and interplanetary field during very low amplitude sunspot cycles. *Astrophys J* 764:1
- Webb DF, Howard RA (1994) The solar cycle variation of coronal mass ejections and solar wind mass flux. *J Geophys Res* 99: 4201-4220
- Weiss NO, Thompson MJ (2009) The solar dynamo. *Space Sci Rev* 144:53-66
- White OR (1977) (ed) *The solar output and its variation*. Colorado Ass Univ Press, Boulder CO
- Willson RC, Hudson HS (1988) Solar luminosity variations in solar cycle 21. *Nature* 332:810-812
- Willson RC, Hudson HS (1991) The Sun's luminosity over a

- complete solar cycle. *Nature* 351:42-44
- Willson RC et al (1986) Long-term downward trend in total solar irradiance. *Science* 234:1114–1117
- Wilson RM (1984) A comparative look at sunspot cycles. NASA Tech Pap 2325, Marshall Flight Center, AL
- Wilson RM, Hathaway DH (2006) An examination of sunspot number rates of growth and decay in relation to the sunspot cycle. NASA Tech Pub 214433, Marshall Flight Center, AL
- Wolf R (1852a) Neue Untersuchungen über die Periode der Sonnenflecken und ihre Bedeutung. *Mitt Naturforsch Ges Bern* 255:249-270
- Wolf R (1852b) Sonnenflecken-Beobachtungen in der ersten Hälfte des Jahres 1852; Entdeckung des Zusammenhanges zwischen den Declinationsvariationen der Magnethadel und den Sonnenflecken. *Mitt Naturforsch Ges Bern* 245:179-184
- Wolf R (1859) Mittheilungen über die flecken  
Vierteljahrsschr Natforsch Ges Zür 9:207
- Woodard MF, Noyes RW (1985) Change of solar oscillation eigenfrequencies with the solar cycle. *Nature* 318:449-
- Woods TN, Eparvier FG (2006) Solar ultraviolet variability during the TIMED mission. *Adv Space Res* 37:219-224
- Woodworth PL (1985) A world - wide search for the 11 - yr solar cycle in mean sea - level records. *Geophys J Int* 80:743-755
- Yamaguchi YT et al. (2010) Synchronized Northern hemisphere climate change and solar magnetic cycles during the Maunder Minimum. *Proc Natl Acad Sci USA* 107:20697-20702
- Yeo K, Krivova NA, Solanki SK (2014) Solar cycle variation in solar irradiance. *Space Sci Rev* 186:137-167
- Zarrouk N, Bennaceur R (2010) Link nature between low cloud amounts and cosmic rays through wavelet analysis. *Acta Aeronaut* 66:1311-1319

Zeeman P (1897) The effect of magnetisation on the nature of light emitted by a substance. *Nature* 55:347

Zerbo J-L, Amory-Mazaudier C, Oiuattara F (2013) Geomagnetism during solar cycle 23: Characteristics. *J Adv Res* 4: 265-274

Zhao L, Fisk L (2011) Understanding the behavior of the heliospheric magnetic field and the solar wind during the unusual solar minimum between cycles 23 and 24. *Solar Phys* 274:379-397

Zolotova NV et al (2009) Long-term asymmetry in the wings of the butterfly diagram, *Astron Astrophys* 503:197-201

## Solstizio d'Inverno 2022 da altezze e tempi in meridiano

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

*(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)*

Submitted December 30<sup>th</sup> 2022, accepted December 31<sup>st</sup> 2022

**Abstract** The winter solstice at the Clementine Gnomon in Rome, St. Maria degli Angeli is the occasion to test at the uppermost resolution of 1.77 arcsec/mm the atmospheric refraction theory at 24.7° of altitude. Not only that, but also the systematic errors of the meridian line and of reading it, due to the reflection on the marble and the angle of observation. Moreover the similar position of the solar image within 10 cm in 8 days from 18 to 25 December allows to better determine the  $\Delta UT1=UT1-UTC$  value at the moment, and in comparison with the previous solstices from 2018. Regarding the calculation of the solstice's time, this phenomenon gives the possibility to make an absolute measure by evaluating the turning time of the meridian solar image with a single mm accuracy, within the 100 mm of variation in the last Advent's week. When the reference of a fixed star is added, as in the measures published by Francesco Bianchini since 1701, the solar ecliptic longitude  $\lambda=270^\circ$  becomes the parameter to obtain by time's interpolation. To reproduce such observational conditions and the consequent calculations we used the meridian line in St. Peter's square in Vatican and the transits of Jupiter, which approached the  $\gamma$  point on December 20, 2022. Sky conditions in 18-25 December have to be good for doing a parabolic fit of the solar positions to obtain an absolute solstice's time, while they are less important when the transit times of the Sun and Jupiter are compared, being possible to observe even out of that week.

**Sommario** Al solstizio invernale la meridiana Clementina offre la possibilità di fare misure con 1.77 arcsec/mm e testare la rifrazione atmosferica a 24.7° di altezza sull'orizzonte, ma anche le sistematiche dovute all'angolo di lettura sul marmo, rispetto alla direzione di riflessione dei raggi del Sole. L'istante del solstizio può essere calcolato dal fit parabolico dell'inversione dell'immagine solare che avviene nello spazio di 10 cm tra il 18 ed il 25 Dicembre. Anche la valutazione del  $\Delta UT1=UT1-UTC$  viene bene in questo breve spazio facendo una statistica, in confronto con i solstizi dal 2018. Servono giorni sereni per fare questo, sia con la meridiana camera oscura nella Basilica, sia fuori a piazza san Pietro, invece il confronto tra gli istanti dei transiti meridiani del Sole e di una stella fissa può essere fatto anche fuori da queste date per ottenere per interpolazione l'istante in cui il Sole è a longitudine eclittica  $\lambda=270^\circ$ . Abbiamo osservato il transito del Sole e di Giove –al punto  $\gamma$  d'Ariete il 20 Dicembre 2022- alla meridiana dell'obelisco Vaticano e le levate dai Colli Albani e da Pescara.

**Keywords:** Meridian line, Santa Maria degli Angeli, San Pietro in Vatican, Tropic, Solstice, Refraction, Earth's Rotation, Positional Astronomy, azimuth

**Introduzione:** La meridiana Clementina a s. Maria degli Angeli è del tipo “a camera oscura”: l’immagine solare proiettata attraverso un foro di 25 mm a 50 metri di distanza è osservata sul marmo bianco Imezio, di Atene, con la luce ambientale della Basilica. Nelle prime osservazioni di Francesco Bianchini i finestroni della Basilica venivano oscurati per migliorare al massimo il contrasto dell’immagine. Oggi noi schermiamo il finestrone Sud-Ovest con la nostra ombra, riuscendo ad osservare anche con veli di nubi o tra le nubi.<sup>1</sup> La posizione dell’immagine solare viene poi misurata a partire da segni lasciati con la matita sulla meridiana, prima e dopo il passaggio del Sole: almeno 2 del bordo Nord e 2 a Sud. Questa tecnica ha ormai diversi anni, ma solo dal 27 Ottobre 2018 ho cominciato a fare più segni, e la posizione della retta che li avvicina meglio tutti determina la misura del giorno. La varianza di queste misure è tipicamente tra 1 e 2 mm. Anche con le nubi la posizione del Sole può essere presa così, durante 20 minuti anziché solo nell’istante del passaggio meridiano.

**Il bordo del Sole** è determinato dalla penombra e dalla Limb Darkening Function, ed appare **rossastro** nelle giornate più limpide, lo spessore di questo bordo è di circa 5 mm.



Fig. 1 Bordo rosso dell’immagine solare il 27 XII, sinistra il Sud Il colore rosso non è semplice penombra, che è un effetto di ottica geometrica, bensì diffrazione. Il diametro meridiano efficace del foro stenopeico è 9 mm. Così anche la penombra è

<sup>1</sup> Come il 17, 23, 24 e 26 Dic.: <https://youtube.com/shorts/kz7EXOJSHms>

di 9 mm (a causa dello spessore di 6.1 mm del foro e dell'angolo di  $24.7^\circ$  con cui entrano i raggi solari) per cui è possibile anche osservare le macchie solari più grandi sulla meridiana. Il foro stenopeico efficace al solstizio invernale è un ovolo di 19.2 mm in laterale e 9 mm in meridiano. La diffrazione con un'apertura di 9 mm è pari a  $11''$ , che al Capricorno sono 6 mm, in luce bianca di  $\lambda=550$  nm, e  $14''$  ossia 8 mm in luce rossa  $\lambda=700$  nm. La luce rossa è visibile solo ai bordi Nord e Sud (fig. 1) mentre non si vede al bordo Ovest quando il Sole sparisce dietro la colonna del Vanvitelli, nelle migliori condizioni di contrasto luminoso.

### **Asimmetria di posizione dei bordi Sud e Nord**

Le misure dal 17 al 27 XII prese dalla verticale dell'immagine, da vicino, risultano meno in accordo alle effemeridi rispetto a quelle prese a  $25^\circ$  (fig. 2) che sono molto più scomode e meno adatte al contesto della Basilica, ma senza questa *proskynesis* non si può chiarire la differenza tra effemeridi e osservazioni al solstizio invernale vista tra il 2018 e il 2021. Il bordo Nord appare in media spostato di  $8\pm 5$  mm verso il 220, mentre il bordo Sud è  $5.6\pm 6.5$  mm verso il 215, così l'immagine s'accorcia più a Nord che a Sud.



Fig. 2 Le misure della posizione del Sole il 22 XII 2022.

Con il Sole ancora vicino all'equatore avevamo verificato che

L'immagine del Sole si riflette anche dentro il marmo e così si prolunga di quasi 2 mm, che diventerebbero 5 mm al tropico del Capricorno, ma non sembra essere questa la causa delle differenze con le effemeridi. L'immagine invernale, più fioca e molto più grande, lunga 110 cm e larga 46 cm, si accorcia rispetto al suo centro un po' di più, cioè 2 mm, nella parte più distante dall'osservatore e più vicina al foro stenopeico. Inoltre il bordo settentrionale, verso il 215, viene osservato dal 220 al di là dell'immagine del Sole, mentre quello meridionale confina col buio vicino all'occhio. Il bordo Nord si immerge nel buio, mentre il Sud emerge dal buio: il livello di sensibilità dell'occhio può cambiare leggermente cercando il bordo dal buio alla luce rispetto al trovarlo dalla luce al buio, ma può esserci anche un effetto geometrico sottile, da modellizzare.

**Il solstizio da misure di posizione** come negli anni passati il fit parabolico porta con sé **l'effetto perielio**, per cui il Sole si allontana dal 220 più velocemente di quanto si avvicini, giacché il perielio segue il solstizio di 15 giorni circa. Il fit parabolico ha perciò una valenza più didattica che tecnica.

Infatti se l'ora del solstizio viene stimata alle 22:13 con i dati tra il 17 ed il 25, aggiungendo il dato del 26 Dicembre arretra alle 21:44 del 21 Dicembre, che è l'unico giorno in cui non si è riuscito ad osservare nulla. Tra il 17 ed il 27 su 11 giorni solo 1 è stato off, 3 ottimi e negli altri 7 abbiamo ottenuto dati.

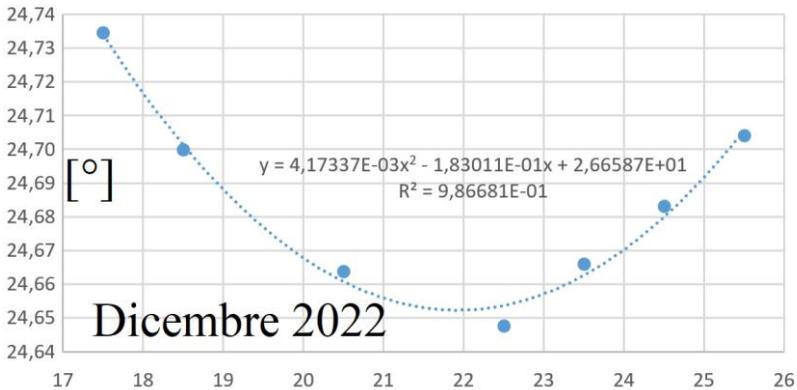


Fig. 3 Altezze del Sole alla meridiana Clementina. Solstizio invernale calcolato alle 22:13 del 21 dicembre, 34 minuti prima rispetto alle effemeridi IMCCE. L'effetto perielio arretra progressivamente il minimo della parabola, anche se da dati col Sole alla stessa altezza (metodo *alla Nicola Cusano*).

**Alla meridiana dell'obelisco di San Pietro in Vaticano** questo metodo si può applicare, ma non all'ombra e alla penombra che sono difficilissimi da determinare in piena luce del giorno. Nella fig. 3 ho fotografato l'Obelisco di Dogali, appena fuori santa Maria degli Angeli, e la sua ombra. La stella sommitale non si vede controsole, la sua ombra è sfumata, e si forma ad oltre 15 metri. A san Pietro questa distanza diventa 100 metri.

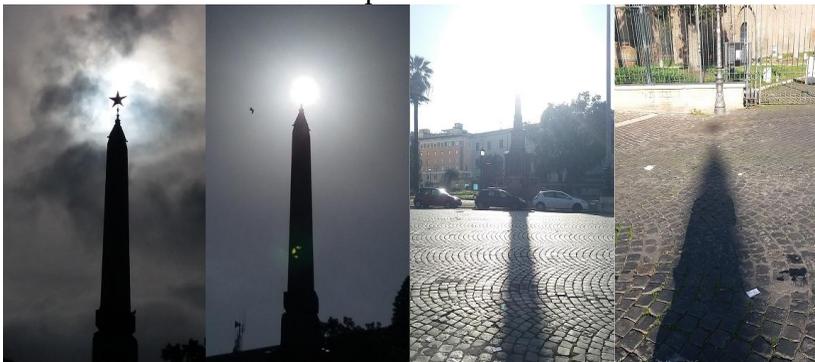


Fig. 4 Obelisco di Dogali a Roma, il 24 ed il 25 dicembre 2022. Dunque per le misure di posizione si possono sfruttare solo la

ghost image (la stella verde sullo sfondo dell'obelisco nella seconda immagine di fig. 3) e la proiezione al suolo con il telescopio sulla stessa linea di vista. La risoluzione angolare migliora in proiezione, ma il contrasto nelle giornate di foschia è basso. L'istante del transito è accurato alla frazione di secondo, ma il confronto della posizione apparente del Sole rispetto alla base della croce sopra l'obelisco tra due transiti dipende dalla posizione verticale dell'asse del telescopio. A 100 m di distanza dalla croce dell'obelisco 1 cm perpendicolare alla linea di visita corrisponde a 20", pari ad 1/60 dello spostamento del Sole tra il 12 ed il 19 dicembre 2022<sup>2</sup>.



Fig. 5 Sole proiettato il 19 dicembre 2022 sulla meridiana di s. Pietro. Centro della lente del cannocchiale a 31 cm di altezza sulla meridiana e 66 cm di distanza verso l'obelisco, dalla stella nera del Capricorno. La proiezione in meridiano è a destra, col Sole dietro il profilo della base della croce sommitale.

### **Proiezioni del Sole alla meridiana di s. Pietro**

I telescopi utilizzati monocoli da 7x18, 14x25 e 16x40 sono stati montati su treppiede e la lente obbiettiva è stata collocata in modo da formare un angolo di 25° con la stella nera del solstizio e l'orizzontale, così da essere allineata sempre nello

---

<sup>2</sup> 12 e 19 dicembre 2022 da San Pietro <https://youtu.be/H68rvNbZTGE>  
28 dicembre <https://youtu.be/A1U7WkuXKYc>

stesso modo con l'obelisco e realizzare al meglio le condizioni delle misure differenziale.

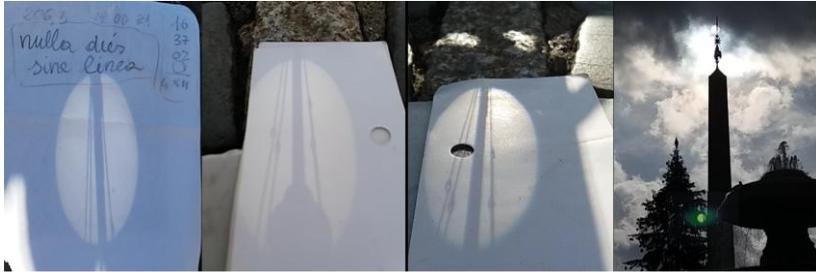


Fig. 6 Le proiezioni meridiane del Sole dietro l'obelisco il 12, 19, 28 e 29 dicembre 2022; i tiranti, la base e l'asse verticale della croce sono ben visibili e servono per allinearle tra loro.

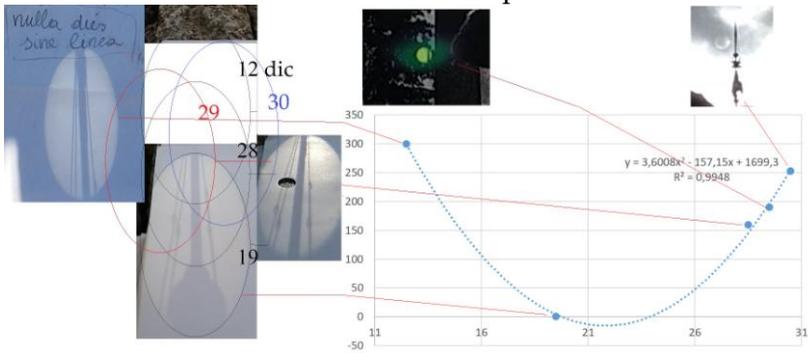


Fig. 7 Mediante i riferimenti della croce ho allineato le immagini del Sole ottenendo l'istante del solstizio il 21 dicembre alle 19:43±2 ore, tre ore prima delle effemeridi.

L'angolazione con cui l'immagine proiettata è stata ripresa rispetto alla verticale, varia da una ripresa all'altra, e si aggiunge all'errore sistematico del perielio con uno statistico. L'obelisco-meridiana di san Pietro offre la possibilità di confrontare il passaggio meridiano del Sole con quello delle stelle e raggiungere così una migliore precisione sul solstizio. Lungo la meridiana al Capricorno 1' corrisponde a 6 cm, quindi il puntamento può essere considerato preciso. Nelle immagini dirette il diametro del Sole è di 37 pixel, l'incertezza di 1 px corrisponde quindi ad 1' (per il 29 ed il 30 dicembre).

**$\Delta T_1$  e la de-rotazione della Terra** si misura confrontando il ritardo/anticipo<sup>3</sup> del passaggio sulla meridiana rispetto alle effemeridi. È possibile fare una media di questi tempi, presi rispetto all'orologio radiosincronizzato, visto che la parte della meridiana interessata da questa misura è la stessa entro 10 cm a s. Maria degli Angeli e entro 25 cm a san Pietro. La varianza della media di  $N$  dati è  $1/\sqrt{N}$  l'incertezza del singolo dato che vale 0.25 s, ottenendo valori entro  $\pm 0.1$  s.

Analogamente si possono confrontare i dati del 2022 con i solstizi precedenti e troviamo a s. Maria degli Angeli  $\Delta T_1$  invariato entro  $\pm 0.1$ s.<sup>4</sup> Anche a san Pietro abbiamo misurato i transiti meridiani del Sole il 12, 19 e 28-30 dicembre precisi al secondo con le effemeridi, ma sappiamo che uno spostamento minimo dell'asse dell'obbiettivo del telescopio rispetto all'asse della meridiana si riflette subito nella misura di 6.6 mm=1 s.



Fig. 8 Lente del telescopio in asse con la meridiana il 28 dic '22.

**Il confronto tra il passaggio del Sole e di una stella fissa** in meridiano era il metodo usato per determinare l'istante del solstizio e di tutti gli altri ingressi nei 12 segni zodiacali. Il problema posto dalla velocità variabile di avvicinamento al tropico, della coordinata altezza  $h$ , che addirittura si inverte di

---

<sup>3</sup> Al solstizio invernale il passaggio meridiano a Santa Maria degli Angeli è in ritardo di 23 s, a piazza San Pietro è in anticipo di 18 s.

<sup>4</sup><https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>

segno viene risolto esaminando la longitudine eclittica o l'ascensione retta che crescono linearmente col tempo.

h è direttamente legata alla declinazione  $\delta$  dall'equazione  $h=90^\circ-(\text{latitudine}+\delta)$ . La longitudine eclittica  $\lambda$  oppure l'ascensione retta  $\alpha$ , hanno sì delle variazioni in velocità per la seconda legge di Keplero, ma sono molto più limitate, e quindi l'interpolazione lineare tra due osservazioni, prima e dopo il solstizio, va più che bene. Ho osservato Giove mentre era prossimo al punto  $\gamma$  d'Ariete dal 20 al 29 Dicembre 2022.

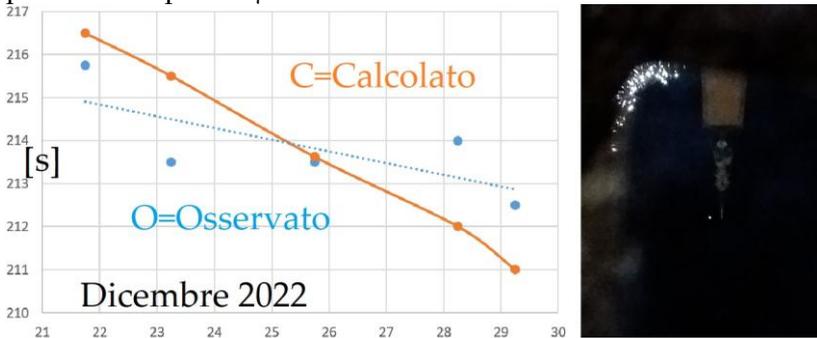


Fig. 9 Giove al meridiano dell'obelisco vaticano riflesso sullo specchio posto sulla meridiana (a destra). Sull'asse y: tempo medio [s] che manca alle 24 ore tra un passaggio e l'altro.

Il giorno solare medio è 24 ore +30 s al perielio e -30 s all'afelio. Il giorno siderale vale sempre 24 ore - (3 m 56 s = 236 s).

Lo scostamento O-C con O=osservato e C=calcolato (teoria) è dovuto al posizionamento dello specchio al centro della linea meridiana di granito non orizzontale e liscio. O-C=2s significa che il ri-posizionamento ogni sera è stato esatto entro 3 mm. Le **misure** sono **differenziali**, ossia prese dallo stesso punto dello strumento e nelle stesse condizioni, proprio come abbiamo cercato di fare col Sole al solstizio invernale.

Oltre l'intervallo medio tra i transiti è passato di 24 ore - 3m 36s a 24h -3m 32s, che mostra chiaramente che **Giove** non è fisso e si muove verso Est (**in moto diretto**) ed anche **in accelerazione**, in modo da posticipare il suo passaggio rispetto

ad una stella fissa<sup>5</sup> tra 20 e 24 secondi al giorno.

In questo modo abbiamo anche potuto valutare la differenza tra il passaggio del Sole e quello del punto  $\gamma$  d'Ariete in meridiano e stimare l'istante del solstizio invernale quando questa vale esattamente 6 ore, per interpolazione di una coppia di passaggi meridiani del Sole e del punto  $\gamma$ . Queste osservazioni oggi sono possibili solo all'obelisco di piazza san Pietro, poiché la finestra sopra il foro stenopeico di s. Maria degli Angeli non si può più aprire per le stelle e i pianeti.

### Calcolo del solstizio invernale dal confronto Sole-Giove

Con Giove vicinissimo al punto  $\gamma$  abbiamo calcolato quando il transito del Sole era esattamente sei ore prima di quello del  $\gamma$ .



Fig. 10 Sinistra dati teorici da effemeridi, destra osservazioni.

Giove ha raggiunto il giorno 20 dicembre la longitudine  $\lambda=0^\circ$  a latitudine eclittica  $\beta=-1^\circ 20'$ , per cui in meridiano il punto  $\gamma$  passava dopo Giove  $80/15 \cdot \sin(\varepsilon)$  [min]=2.11 min =127 s dopo.<sup>6</sup> All'istante del transito di Giove del 20 Dicembre 2022 ho aggiunto 2 min 7 s per trovare il punto  $\gamma$  e poi ho sottratto 3 min e 56 s per la rotazione della Terra (tempo siderale) ogni giorno successivo. L'intersezione tra le due rette avviene 20 minuti in anticipo sul dato delle effemeridi per l'ingresso in Capricorno del Sole 21 dicembre 2022 alle 22:48.  $\lambda$  e  $\beta$  di Giove le ho prese dalle effemeridi, ma potevo sostituirle con le coordinate di una stella fissa vicina al punto  $\gamma$  o all'eclittica e

<sup>5</sup> Il giorno siderale è pure influenzato dal  $\Delta UT1$ , ma in misura  $< 1/3600$  s

<sup>6</sup>[https://www.youtube.com/playlist?list=PLJaer2KV49281o79YUMmJ9QA\\_dUPOfI8QV](https://www.youtube.com/playlist?list=PLJaer2KV49281o79YUMmJ9QA_dUPOfI8QV) Tutti i transiti di Giove all'Obelisco Vaticano qui analizzati

seguire il metodo che usava Bianchini (1703) alla meridiana di s. Maria degli Angeli. Di fatto la costanza della rotazione terrestre permetteva di osservare un transito di una stella una sola volta, e quello del Sole almeno due volte, prima e dopo il “cardine dell’anno” cioè un solstizio o un equinozio, e la sua determinazione veniva fatta per interpolazione lineare e non parabolica come facciamo noi usando solo le posizioni.



Fig. 11 Il Sole e il Capricorno il 27 Dicembre 2022.

Nella foto 11 il bordo meridionale lambisce il numero 219, sotto di 202 mm dal 220, il cui segnale è immerso nel riflesso del finestrone. Il Capricorno è fatto da Francesco Tedeschi 1702 su disegno tratto dall'Uranometria di Johannes Bayer del 1603. **Metodi di Galileo e Cusano all'orizzonte per il solstizio** venne riferito da Galileo per il tramonto al solstizio estivo: egli notava l'avvicinarsi progressivo del punto occiduo ad un promontorio e il suo riallontanarsi. È un metodo noto fin dalla notte dei tempi, così come lo era quello **di Nicola Cusano** che ha ottenuto la data del solstizio facendo la media tra due giorni in cui il Sole passava per lo stesso punto nel cielo (individuato da un tubo fisso, ma anche da un riferimento fisso all'orizzonte). Per il solstizio invernale 2022 abbiamo dati delle levate sui Colli Albani e dal lungomare di Pescara.



Fig. 12 Levate del Sole a Roma dai Colli Albani. La percentuale indicata a sinistra è dello spazio tra la vetta a sx e a dx del Sole. Il fit parabolico di questi dati restituisce il 22 dicembre h 12.

A Pescara abbiamo la webcam davanti allo stab. La Prora, da cui si può vedere il sorgere del Sole tutti i giorni dell'anno. Gli azimut del punto ortivo del Sole sono stati presi in pixel e divise per un segmento fisso individuato sul ponte sul mare.



Fig. 13 Le levate attorno al solstizio invernale 2022 a Pescara, le posizioni sono in pixel dallo zero (riquadro del 5 dicembre) e normalizzate alla distanza tra lo zero e l'uno. Il solstizio viene con soli 10 minuti di anticipo sulle effemeridi (effetto perielio). Grazie alla posizione fissa della webcam e al riferimento preso sul Ponte del Mare che passa il Porto Canale (tra 0 e 1), abbiamo una determinazione del solstizio molto accurata.

**Conclusioni:** L'uso della meridiana Clementina dal 1999 al 2022, sempre al mezzodì, ci ha abituato a studiare gli ANNI CARDINES solstizi ed equinozi dal punto di vista dell'immagine solare sulla meridiana. La migliore precisione con cui si determinano gli istanti dei CARDINES è 1 mm su 1100 mm di immagine al solstizio invernale e su 210 all'estivo. La velocità in declinazione si annulla e servono tre punti distanziati per trovare l'istante del solstizio, affetti dall'apside, cioè perielio il 4 gennaio e afelio il 4 luglio, che rendono asimmetrica la parabola tra i tre punti. Agli equinozi 1 mm su 360 mm si realizzano con 11 mm all'ora di velocità in declinazione e quindi l'incertezza di 1 mm=6 minuti.

L'asimmetria riscontrata nel collocamento dell'orlo Nord e Sud

sul marmo di circa 2 mm influenza la procedura di analisi della posizione dell'immagine, oltre alla deviazione locale dal vero Nord della linea meridiana.

Le stesse problematiche si ritrovano a piazza san Pietro, dove il rivelatore (telecamera, specchio e telescopio per proiettare il Sole) deve essere collocato ogni osservazione nello stesso punto delle altre osservazioni per fare misure differenziali.

Nelle misure a s. Maria degli Angeli il Sole è proiettato sulla meridiana da un foro fisso, in quelle di san Pietro il Sole si staglia sulla croce sommitale vista da un punto fisso; a seconda del meteo lo si osserva in proiezione dal telescopio o direttamente con la telecamera.

Tuttavia da piazza san Pietro è possibile osservare anche le stelle, ed abbiamo seguito Giove sia per la sua forte luminosità che la vicinanza al punto  $\gamma$  d'Ariete. In questo modo abbiamo avuto la possibilità di conoscere l'istante del transito del punto  $\gamma$  e confrontarlo con quello del Sole, le cui effemeridi sono state validate al secondo: il solstizio invernale in Capricorno si ricava così entro 20 minuti dal vero.



Fig. 14 Il Sole bisecato dalla croce sull'obelisco il 30 XII alle 12.

**Referenze** C. Sigismondi: Gerbertus **14**, 57; 269; 287 (2021)

Video su [youtube](https://www.youtube.com/watch?v=...) di transiti e levate il mese di dicembre 2022.

## Ricordi astronomici su Benedetto XVI

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted December 31<sup>st</sup> 2022, accepted January 2<sup>nd</sup> 2023

**Abstract** The Easter Computus issued by Gregory XIII in 1582 made possible the same dates of the mobile festivities in 1927 and in 2022, after a cycle of 95 years, the one upon which the Christian era was born after Dionysius the Humble. Joseph Ratzinger was born on the Holy Saturday of 1927, April 16, and in 2022 turned 95 years again on the Holy Saturday. This coincidence is remarkable. As Pope Benedict XVI, he dedicated the Angelus of 21 december 2008 to the International Year of Astronomy, quoting the Popes related to the history of Astronomy (Sylvester II, Gregory XIII and Pius X) and the winter solstice, observable through the Obelisk's shadow on the meridian line of St. Peter's square.

**Sommario** Il Computo Pasquale riformato da Gregorio XIII nel 1582 ha reso possibile l'esistenza di un ciclo delle Pasque di 95 anni tra il 1927 ed il 2022. L'era Cristiana è stata basata su questo ciclo da Dionigi il Piccolo. Joseph Ratzinger nacque il Sabato Santo del 1927, 16 aprile, e nel 2022 ha compiuto 95 anni ancora di Sabato Santo. La coincidenza è rimarchevole. Da papa dedicò l'Angelus del 21 dicembre 2008 all'Anno Internazionale dell'Astronomia, citando i papi legati alla Storia dell'Astronomia (Silvestro II, Gregorio XIII e Pio X) ed il solstizio invernale, osservabile per mezzo dell'ombra dell'Obelisco sulla linea meridiana in piazza s. Pietro.

**Keywords** Easter Computus, Benedict XVI, Dionysius the Humble, Metonic cycle.

### **Introduzione: Metone, il ciclo delle Pasque ed il ciclo solare**

Metone nel VI sec. a. C. riconobbe che le fasi lunari si ripetevano nelle stesse date dell'anno solare ogni 19 anni; questo ciclo è alla base del Computo Pasquale elaborato da Dionigi il Piccolo, in cui la Luna piena di Primavera è l'ingrediente base, e l'altro è la domenica (28 anni di periodo per riaverla nella stessa data).  $28 \times 19 = 532$  anni è il grande ciclo delle Pasque nel calendario Giuliano. Il ciclo di 28 anni è chiamato anche "ciclo solare" con significato completamente diverso da quello dell'attività solare. Come esempio: la Domenica il 25 dicembre ritorna, nel calendario Giuliano, che ha un bisestile ogni 4 anni, sempre, dopo 11, 6, 5 e 6 anni. Ossia nel 2022, 2033, 2039, 2044, 2050, 2061, 2066, 2072...la

sequenza di 11, 6, 5, 6 dipende in quale anno del ciclo bisestile si comincia a contare.  $11+6+5+6=28$  è il *ciclo solare*.<sup>1</sup> “Sotto-cicli solari” sono quelli di 5 anni se l’anno di partenza è come il 2024 (bisestile), e quindi anche il 1924. Mettendo in parallelo Metone e *solare*:

0 19 38 57 76 95

0 28 56 84+11=95

Abbiamo che se l’anno “zero” è come il 2022, dopo 95 anni avremo di nuovo la stessa situazione, es. domenica 25 dicembre 2117. Questi sono gli anni con l’avvento più lungo (4 settimane intere, con inizio il 27 novembre).

**Il caso del Sabato Santo del 1927**, era il 16 aprile. È un anno simile al 2023, precedente al bisestile. Quindi la sequenza del ciclo *solare* e dei *sotto-cicli* è 0 28 56 84 +6+5=95

Significa che il 16 aprile è stato sabato anche 90 e 95 anni dopo, ma è stato con la stessa fase lunare solo 95 anni dopo, nel 2022.

Joseph Ratzinger è nato il 16 aprile 1927 di Sabato Santo, e ha festeggiato 95 anni, da Papa emerito, Sabato Santo 16 IV 2022.

È il ciclo delle Pasque *Giuliane* più breve, su cui era basato il computo di Dionigi il Piccolo del 532.

Un tipo di computo più antico era quello calcolato ad Alessandria nel 222, e lo troviamo sul lato della statua sedestre di s. Ippolito, rinvenuta a S. Lorenzo fuori le Mura a Roma e conservata ai Musei Vaticani, ed in copia a S. Lorenzo in Lucina (foto in fig. 1) e alla Biblioteca Vaticana, era basato sull’*Octaëteris*, un ciclo di 8 anni, che risulta più impreciso del ciclo di Metone.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> secondo la voce *Calendario* dell’Enciclopedia Treccani (1949).

<sup>2</sup> C. Sigismondi, Gerbertus, Vol. 9, pp. 109-112 (2016).



Fig. 1 Sequenze di doppie octaëteris sulla Cattedra d'Ippolito.

## Il Solstizio d'Inverno del 2008 e l'Angelus Astronomico

Cari fratelli e sorelle!

il Vangelo di questa quarta domenica di Avvento ci ripropone il racconto dell'Annunciazione (Lc 1,26-38), il mistero a cui ritorniamo ogni giorno recitando l'Angelus. Questa preghiera ci fa rivivere il momento decisivo, in cui Dio bussò al cuore di Maria e, ricevuto il suo "sì", incominciò a prendere carne in lei e da lei. L'orazione "Colletta" della Messa odierna è la stessa che si recita al termine dell'Angelus e, in italiano, dice così: "Infondi nel nostro spirito la tua grazia, o Padre. Tu, che all'annuncio dell'Angelo ci hai rivelato l'incarnazione del tuo Figlio, per la sua passione e la sua croce guidaci alla gloria della risurrezione". A pochi giorni ormai dalla festa del Natale, siamo invitati a fissare lo sguardo sul mistero ineffabile che Maria ha custodito per nove mesi nel suo grembo verginale: il mistero di Dio che si fa uomo. E' questo il primo cardine della redenzione. Il secondo è la morte e risurrezione di Gesù, e questi due cardini inseparabili manifestano un unico disegno divino: salvare l'umanità e la sua storia assumendole fino in fondo col farsi carico interamente di tutto il male che le opprime.

Questo mistero di salvezza, oltre a quella storica, ha una dimensione cosmica: Cristo è il Sole di grazia che, con la sua luce, "trasfigura ed accende l'universo in attesa" (Liturgia). La stessa collocazione della festa del Natale è legata al solstizio d'inverno, quando le giornate, nell'emisfero boreale, ricominciano ad allungarsi. **A questo proposito, forse non tutti sanno che Piazza San Pietro è anche una meridiana:** il grande obelisco, infatti, getta la sua ombra lungo una linea che corre sul selciato verso la fontana sotto questa finestra, ed in questi giorni l'ombra è la più lunga dell'anno. Questo ci ricorda la funzione dell'astronomia nello scandire i tempi della preghiera. L'Angelus, ad esempio, si recita al mattino, a mezzogiorno e alla sera, e con la meridiana, che anticamente serviva proprio per conoscere il "mezzogiorno vero", si regolavano gli orologi.

Il fatto che proprio oggi, 21 dicembre, in questa stessa ora, cade il solstizio d'inverno, mi offre l'opportunità di salutare tutti coloro che parteciperanno a vario titolo alle iniziative per l'anno mondiale dell'astronomia, il 2009, indetto nel 4° centenario delle prime osservazioni al telescopio di Galileo Galilei. Tra i miei Predecessori di venerata memoria vi sono stati cultori di questa scienza, come Silvestro II, che la insegnò, Gregorio XIII, a cui dobbiamo il nostro calendario, e san Pio X, che sapeva costruire orologi solari. Se i cieli, secondo le belle parole del salmista, "narrano la gloria di Dio" (Sal 19[18],2), anche le leggi della natura, che nel corso dei secoli tanti uomini e donne di scienza ci hanno fatto capire sempre meglio, sono un grande stimolo a contemplare con gratitudine le opere del Signore.

Torniamo ora con lo sguardo verso Maria e Giuseppe, che attendono la nascita di Gesù, ed impariamo da loro il segreto del raccoglimento per gustare la gioia del Natale. Prepariamoci ad accogliere con fede il Redentore che viene a stare con noi, Parola d'amore di Dio per l'umanità di ogni tempo.



Fig. 2 Il disco solare bisecato dalla croce sommitale sull'Obelisco Vaticano, durante il solstizio invernale questa configurazione è visibile dal disco del Capricorno al mezzodì.

### **I solstizi invernali a piazza san Pietro**

Nel 2008 il solstizio avveniva alle 12:03 UT il 21 dicembre,<sup>3</sup> quindi il passaggio meridiano di quell'anno fu con il Sole appena sotto i 24°38' di altezza, con l'obliquità dell'eclittica 23°26'22". La nutazione dell'asse terrestre<sup>4</sup> ha un periodo di oscillazione di 18 anni e un'ampiezza di  $\pm 9''$ : quell'anno era il momento giusto per vedere l'ombra più lunga dell'Obelisco, anche se questo effetto è limitato dalla penombra. Infatti

---

<sup>3</sup> <https://promenade.imcce.fr/fr/pages4/439.html?nyear=2008&SAISONS=>

<sup>4</sup> <https://svs.gsfc.nasa.gov/20196>

l'ombra di un oggetto a 100 metri di distanza è larga 1 metro, cioè dalla luce piena all'ombra c'è 1 metro, ma l'ombra risulta anche illuminata dalla luce ambientale e da quella del cielo, per cui il contrasto non è mai ideale. La penombra sfuma tutte le ombre gettate dal Sole, poiché il Sole non è puntiforme.



Fig. 3 Ombra dell'Obelisco e penombra di fregi e croce sopra il 29 dicembre 2022 ore 12:14:45 col disco del Capricorno.

La meridiana di granito corre idealmente anche alle spalle di me che fotografo, raggiungendo la torre del primo meridiano d'Italia, sul Monte Mario e poi 430 km più a Nord, dopo aver attraversato gli Appennini, San Marino, entrata in Adriatico ad Igea Marina, passa per Faè (Treviso), a Nord del delta del Po'.

### **I papi e l'astronomia e l'astronomia in Vaticano**

Oltre ai tre papi, di Venerata Memoria, citati da Benedetto XVI, e cioè Silvestro II (999-1003), Gregorio XIII (1572-1585)<sup>5</sup> e S. Pio X (1903-1914), includerei senz'altro Clemente XI Albani (1700-1721) che a sue spese da Cardinale ha fatto costruire la meridiana di s. Maria degli Angeli. Poi Leone XII Della Genga, che ha voluto realizzare l'Osservatorio del Campidoglio per l'Università "La Sapienza" fondata nel 1306 da Bonifacio VIII. Ancora Pio VII Chiaramonti che comprò a Parigi strumenti astronomici per la Specola Calandrelli che sostituì – nell'astronomia e la meteorologia- il Collegio Romano durante il periodo di soppressione dei Gesuiti dal 1773, e da lui stesso ripristinati nel 1814. Sotto il suo lungo pontificato, 23 anni, fu realizzata la meridiana di piazza san Pietro, a spese del curatore della Reverenda Fabbrica di San Pietro, Pietro card. Maccarani (1817) con la consulenza astronomica di Filippo Luigi Gigli<sup>6</sup> (1756-1821). Sempre a quel tempo nei piani alti del Vaticano, la Torre Gregoriana dove operava il Gigli, e l'Esedra del Belvedere, dove abitava il Cardinale Francesco Saverio de Zelada (1727-1801), si faceva ottima astronomia.<sup>7</sup> Sono conservate nei Musei Vaticani, nella sezione Etrusca proprio sul Belvedere, gli sportelli con le effemeridi dei transiti solari.<sup>8</sup>

---

<sup>5</sup> [http://dpgi.unina.it/giudice/calendar/Inter\\_Gravissimas.html](http://dpgi.unina.it/giudice/calendar/Inter_Gravissimas.html) col testo della Bolla Inter Gravissimas tradotto in Italiano da Giuseppe Giudice dell'Università di Napoli, fine cultore dell'Astronomia.

<sup>6</sup> <https://archiviopossessori.it/archivio/1145-gigli-filippo-luigi>

<sup>7</sup> [https://www.treccani.it/enciclopedia/francesco-saverio-de-zelada\\_%28Dizionario-Biografico%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/francesco-saverio-de-zelada_%28Dizionario-Biografico%29/)

<sup>8</sup> <https://catalogo.museivaticani.va/index.php/Detail/objects/MV.44538.0.0>

Cultore di Ottica e di Astronomia era anche Pio IX, che fu amico di padre Angelo Secchi, direttore e fondatore dell'Osservatorio del Collegio Romano, dove nacque l'astrofisica sia stellare che solare. Pio IX ricevette pure Camille Flammarion, il più famoso divulgatore dell'Astronomia del suo tempo.

Sisto IV cento anni prima di Gregorio XIII fu interpellato per la riforma del Calendario, e chiamò a Roma l'astronomo Regiomontano, che però vi trovò la morte il 6 luglio 1476 a soli 40 anni, così che si dovette attendere un altro secolo per vedere promulgata la riforma. Lo stesso Sisto V volle l'obelisco in piazza san Pietro pensando con Egnazio Danti la riedizione del grande gnomone augusteo proprio in piazza san Pietro, che tutt'ora è il più grande obelisco-gnomone del Mondo.



Fig. 4 Il disco del Sagittario/Acquario mostra come il Danti era riuscito a salvare fontana e meridiana, poiché questo disco si illumina (destra) per pochi minuti, proprio tra il 20 ed il 25 novembre, così da accogliere l'ombra dell'obelisco e mostrare l'allineamento Sole-Stella3D-Disco Zodiacale (a sinistra).

La meridiana, infatti, “corre” lungo il selciato della piazza, attraversando per un tratto di Scorpione ed Acquario proprio la fontana Nord, che era già lì alla fine del quattrocento.

Danti per tracciare la meridiana doveva tenere conto dell’altezza dell’obelisco sul suolo, e anche dei fregi sommitali, rispetto ai quali i dischi zodiacali sono stati collocati.

Il progetto del Danti, includeva anche la rosa dei venti, come già nel soffitto della Torre dei Venti in Vaticano, dove aveva già realizzato la meridiana nel 1580.

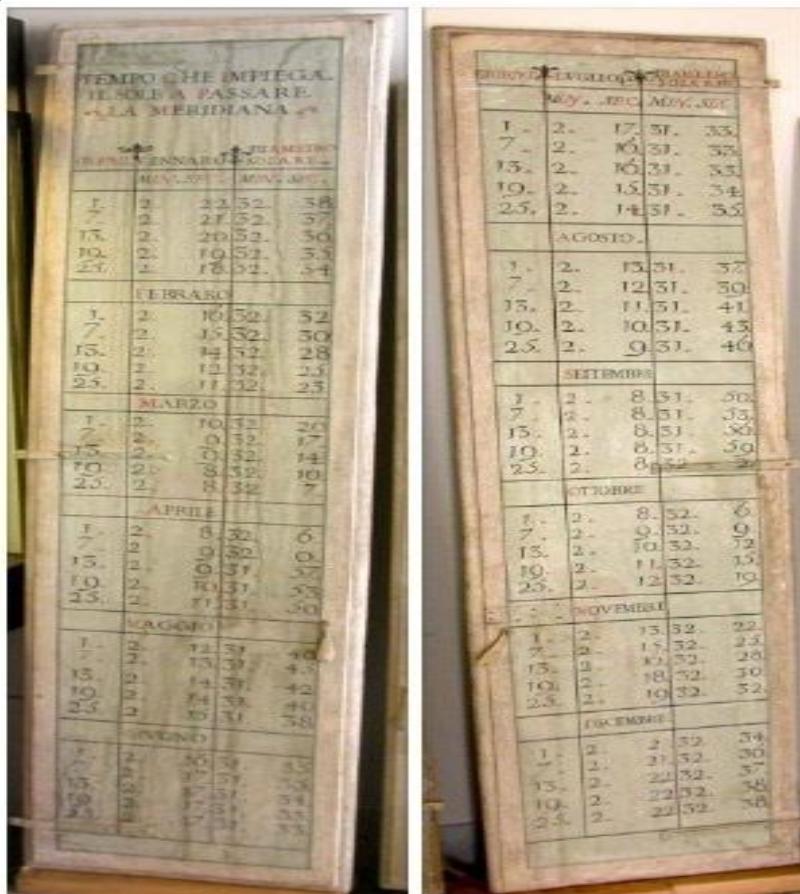


Fig. 5 Sportelli di finestra del card. De Zelada con effemeridi della durata del transito solare. Fine XVIII sec. Museo Gregoriano Etrusco.

Giovanni Paolo II, da seminarista, nel 1939 si era iscritto all'associazione polacca di astronomi amatoriali. Le vicende incalzanti della guerra gli impedirono di partecipare alle attività dell'associazione. Molti anni dopo, da papa, nel 2000, espresse il desiderio di avere un telescopio. Fui chiamato dal sottosegretario al Pontificio Consiglio della Cultura per acquistare il telescopio al papa, ed il 25 maggio 2000, in san Pietro glielo consegnai sotto il baldacchino del Bernini.<sup>9</sup>



Fig. 6 Papa Wojtyła riceve il telescopio il 25 V 2000 a s. Pietro.



Fig. 7 Papa Benedetto XVI visita la meridiana di S. Maria degli Angeli il 10 aprile 2011.

Papa Benedetto XVI, ha invitato i fedeli all'osservazione del transito meridiano del Sole al solstizio invernale, la domenica

---

<sup>9</sup> [http://astrocultura.uai.it/avvenimenti/Papa\\_e\\_Titano.htm](http://astrocultura.uai.it/avvenimenti/Papa_e_Titano.htm)

21 dicembre 2008, è stato l'unico papa ad aver fatto una cosa del genere. Qualche anno dopo ha visitato in forma privata la Basilica di s. Maria degli Angeli e dei Martiri, onorando quella meridiana della visita di un altro pontefice regnante, dopo Clemente XI che la aveva finanziata da Cardinale e visitata da papa il 20 agosto 1702 ed il 6 ottobre quando la inaugurò, rispettivamente nelle feste di s. Bernardo e di s. Bruno. Clemente XI aveva celebrato la sua prima messa solenne da sacerdote il 6 ottobre 1700, 48 giorni prima di essere eletto papa. Era infatti Cardinale laico fino al 27 settembre 1700.

**Conclusioni: la Pasqua come quasicristallo** La vita lunga oltre cinque cicli di Metone di un uomo che ha guidato per otto anni la barca di Pietro, che è stato un docente chiarissimo e un dottore della Chiesa, ci ha stimolato a considerare la singolare coincidenza di due sabati santi nella stessa data a  $95=19 \times 5$  anni di distanza. Nel 1938, 1949 e 1960 la Pasqua è stata il 17 aprile, quindi dopo 11, 22 e 33 anni la circostanza si è ripetuta, ma la successiva data è capitata 95 anni dopo il 1927, anno di nascita di Joseph Ratzinger. Qualcuno ha detto che Dio parla anche con i numeri... Se Ratzinger fosse nato un anno prima o dopo non si sarebbero avute queste coincidenze.<sup>10</sup> La Pasqua si comporta come un quasicristallo,<sup>11</sup> cioè ha delle regolarità locali,<sup>12</sup> ma non periodicità estese, ad esempio 11, 22, 33 e poi 95. Questa regolarità cessa di valere se un anno secolare non è bisestile come sarà il 2100 o è stato il 1900. Inoltre il ciclo di Metone è un'approssimazione al meglio di 2 ore, in capo a 12 cicli accade il *saltus lunae* che rompe il quasicristallo. Il Sabato dell'ottava di Natale del 2022, dopo 34958 giorni, 4994 settimane, 95 anni e 259 giorni cioè 37 settimane, si è conclusa la cara esistenza terrena di Joseph

---

<sup>10</sup> [http://web.tiscali.it/gabrieletalevi/date\\_pasqua\\_elenco.htm](http://web.tiscali.it/gabrieletalevi/date_pasqua_elenco.htm)

<sup>11</sup> I. Stewart, Easter is a quasicrystal, Scientific American 2001

<sup>12</sup> <https://www.britannica.com/science/quasicrystal>

Aloisius Ratzinger, Benedetto XVI.

La riflessione sul suo 95° compleanno ci ha portato a studiare il Computo Pasquale e la natura quasi-cristallina delle date della Pasqua. Il Computo Pasquale è stata una operazione riservata agli astronomi alessandrini, inizialmente, per poi svilupparsi anche in Aquitania, a Roma, in Irlanda...

La Chiesa di Roma ha dovuto disciplinare questo calcolo per far sì che tutta la Chiesa celebrasse la Pasqua nello stesso giorno. La verifica delle condizioni astronomiche della Pasqua è stata fino a tutto il settecento pienamente dentro gli obbiettivi scientifici dell'astronomia, e lo Gnomone Clementino (1702) è servito anche a questo scopo.

Le meridiane e gli orologi solari hanno ritmato anche le ore della preghiera, e delle attività civili, con la mediazione uditiva delle campane. In un rapido excursus abbiamo ripercorso parte della storia dell'astronomia riguardo i papi e il Vaticano.



Fig. 8 Papa Benedetto XVI e Mons. Renzo Giuliano parroco di S. Maria degli Angeli al centro della Basilica sullo sfondo l'organo del Giubileo. Proprio qui era l'immagine stenopeica del Sole quando è iniziata l'eclissi del 25 X 2022.

## **Effemeridi della Meridiana Clementina per il 2023**

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted January 8<sup>th</sup> 2023, revised and accepted January 10<sup>th</sup> 2023

**Abstract** The ephemerides for the meridian transit on the Clementine Gnomon in the basilica of St. Maria degli Angeli are published. New features include: 2. the general deviation of the meridian line with respect to the North of 5' 11" which produce a delay from 10.6 s in summer solstice, to 22.4 s in winter solstice, with respect to the ephemerides for the pinhole (41°54' 11" N 12°29'51" E). 2. the *boscovichian sinus* effect, measured in 2022, between 75 and 115 centesimal parts which delays the transits up to 2.4 s, producing a delay at the equinoxes of 16.4 s instead 14 s. The position of the center of the Sun is in centesimal parts of pinhole's height to the nearest decimal (20 mm). Departures from ephemerides are new science.

**Sommario** Le effemeridi del 2023 per la Meridiana Clementina sono pubblicate con una precisione del secondo, relative alla linea meridiana reale, quindi tenendo conto della deviazione verso Est di 5' 11" globale e del *seno Boscovichiano* localizzato nel 2022 tra le parti centesime 75 e 115, cioè vicino agli equinozi, che arriva a ritardare di ulteriori 2.4 s il transito. La meridiana ritarda di 10.6 s al solstizio estivo e di 22.4 s a quello invernale, mentre agli equinozi arriva a 16.4 s di ritardo per effetto del seno. La posizione dell'immagine solare è al decimale di parte centesima dell'altezza (20 mm). Scostamenti dalle effemeridi sono nuova scienza.

**keywords** Ephemerides, Meridian Transit, Meridian Line.

### **Introduzione: effemeridi per un osservatorio specializzato**

La Meridiana Clementina è un osservatorio solare dedicato all'astronomia di posizione, e tra i grandi strumenti Italiani è quello in pieno funzionamento, tecnicamente parlando. Infatti l'ultima calibrazione documentata è quella del 1977 alla Meridiana del Duomo di Milano (Ferrari da Passano, Monti e Bezoari), mentre per santa Maria del Fiore a Firenze c'è quella di Ximenes (1761), così come a Bologna, san Petronio c'è il lavoro di Manfredi (1695), a Palermo (2005) ho avuto occasione di verificare che il solstizio invernale non si vedeva per l'oscuramento del vetro di chiusura del foro stenopeico. L'uso delle meridiane suddette non va oltre l'osservazione occasionale, mentre a s. Maria degli Angeli l'attività osservativa va avanti dal 2002, con una serie di risultati

interessanti: identificazione degli effetti di relatività speciale sulla posizione osservata della Stella Polare tra l'1 e l'8 gennaio 1701 (aberrazione stellare) nel 2006; identificazione dell'aberrazione stellare nelle posizioni di Sirio lungo tutto l'anno 1702-1703; influenza dell'aberrazione stellare sui tempi di solstizi ed equinozi (anni cardines) del 1703 pubblicati sull'iscrizione nel presbiterio (entrambe pubblicate nel 2021); misura diretta di nutazione dell'asse terrestre (2008) e di variazione dell'obliquità dell'eclittica (2008-2022); misura del ritardo  $\Delta UT1$  tra la rotazione terrestre e il tempo atomico uniforme nel corso degli anni (2003-2009 e 2018-2022). Oltre alla verifica degli algoritmi di Cassini (1655) al primo ordine in  $\tan(z)$  e di Laplace (1824) al terzo ordine, siamo in grado di rilevare dati utili per trovare anomalie bariche o termiche rispetto all'atmosfera standard, grazie alla risoluzione massima di 2"/mm raggiungibile al solstizio invernale. Le macchie solari più grandi sono altresì osservabili.

**Le effemeridi** servono a programmare meglio le osservazioni conoscendo in anticipo posizioni e tempi, e la precisione al secondo delle effemeridi 2022 ha permesso di riscoprire con precisione il **seno Boscoviciano tra 75 e 115 parti centesime**, sfuggito, sino ad ora, alle misure sul posto, anche fatte col laser (2006 e 2018). Un nuovo algoritmo per confrontare effemeridi e osservazioni è stato implementato nella formula  $RITARDO [s] = (22,4 - 10,6) * (POSIZIONE - 33,3) / (217,5 - 33,3) + 10,6$ . E questo ritardo teorico viene confrontato con quello dato dal tempo di transito calcolato per la posizione del foro stenopeico sottratto a quello osservato e ricavato dalla media incrociata dei passaggi. Come generatore di effemeridi senza atmosfera ho usato IMCCE<sup>1</sup>, mentre giornalmente uso Stellarium 0.20 per comparare le osservazioni in Basilica e le effemeridi con atmosfera. Segni zodiacali e stagioni: Stellarium nel **geocentro**.

---

<sup>1</sup> [Web Service IMCCE per Pescara](#)

DATA	ore 12+			
ANNO 2023	min	sec	h[°]	posizione
domenica 1 gennaio 2023	13	47	25,1	213,3
lunedì 2 gennaio	14	15	25,2	212,4
martedì 3 gennaio	14	43	25,3	211,5
mercoledì 4 gennaio	15	10	25,4	210,6
giovedì 5 gennaio	15	37	25,5	209,5
<b>Epifania</b> venerdì 6 gennaio	16	03	25,6	208,5
sabato 7 gennaio	16	29	25,8	207,3
domenica 8 gennaio	16	55	25,9	206,1
lunedì 9 gennaio	17	20	26,0	204,9
martedì 10 gennaio	17	44	26,2	203,5
mercoledì 11 gennaio	18	08	26,3	202,2
giovedì 12 gennaio	18	31	26,5	200,8
venerdì 13 gennaio	18	54	26,6	199,3
sabato 14 gennaio	19	16	26,8	197,8
domenica 15 gennaio	19	38	27,0	196,3
lunedì 16 gennaio	19	58	27,2	194,7
martedì 17 gennaio	20	18	27,4	193,1
mercoledì 18 gennaio	20	38	27,6	191,5
giovedì 19 gennaio	20	57	27,8	189,8
<b>♋ Acquario 20 gennaio</b>	ore		9	29
venerdì 20 gennaio	21	15	28,0	188,1
sabato 21 gennaio	21	32	28,2	186,4
domenica 22 gennaio	21	49	28,4	184,6
lunedì 23 gennaio	22	04	28,7	182,9
martedì 24 gennaio	22	19	28,9	181,1
mercoledì 25 gennaio	22	33	29,2	179,3
giovedì 26 gennaio	22	47	29,4	177,4
venerdì 27 gennaio	22	59	29,7	175,6
sabato 28 gennaio	23	11	29,9	173,8
domenica 29 gennaio	23	22	30,2	171,9
lunedì 30 gennaio	23	32	30,5	170,1
martedì 31 gennaio	23	41	30,7	168,2
mercoledì 1 febbraio	23	49	31,0	166,3
giovedì 2 febbraio	23	57	31,3	164,5
venerdì 3 febbraio	24	04	31,6	162,6
sabato 4 febbraio	24	10	31,9	160,7
domenica 5 febbraio	24	15	32,2	158,9
lunedì 6 febbraio	24	19	32,5	157,0
martedì 7 febbraio	24	22	32,8	155,1
mercoledì 8 febbraio	24	25	33,1	153,3
giovedì 9 febbraio	24	27	33,4	151,4
venerdì 10 febbraio	24	28	33,8	149,6
sabato 11 febbraio	24	28	34,1	147,8
domenica 12 febbraio	24	28	34,4	145,9
lunedì 13 febbraio	24	27	34,8	144,1
martedì 14 febbraio	24	25	35,1	142,3
mercoledì 15 febbraio	24	23	35,4	140,5
giovedì 16 febbraio	24	19	35,8	138,8

venerdì 17 febbraio	24	15	36,1	137,0
sabato 18 febbraio	24	11	36,5	135,3
<b>♉ Pesci 18 febbraio</b>	ore		23	34
domenica 19 febbraio	24	05	36,8	133,5
lunedì 20 febbraio	23	59	37,2	131,8
martedì 21 febbraio	23	53	37,5	130,1
<b>Le Ceneri</b> mercoledì 22 febbraio	23	45	37,9	128,4
giovedì 23 febbraio	23	38	38,3	126,7
venerdì 24 febbraio	23	29	38,6	125,1
sabato 25 febbraio	23	20	39,0	123,4
domenica 26 febbraio	23	10	39,4	121,8
lunedì 27 febbraio	22	60	39,8	120,2
martedì 28 febbraio	22	49	40,1	118,6
mercoledì 1 marzo	22	38	40,5	117,0
giovedì 2 marzo	22	27	40,9	115,4
venerdì 3 marzo	22	14	41,3	113,9
sabato 4 marzo	22	01	41,7	112,4
domenica 5 marzo	21	48	42,1	110,9
lunedì 6 marzo	21	34	42,4	109,4
martedì 7 marzo	21	22	42,8	107,9
mercoledì 8 marzo	21	06	43,2	106,4
giovedì 9 marzo	20	52	43,6	105,0
venerdì 10 marzo	20	36	44,0	103,6
sabato 11 marzo	20	20	44,4	102,2
domenica 12 marzo	20	04	44,8	100,8
lunedì 13 marzo	19	48	45,2	99,4
martedì 14 marzo	19	31	45,6	98,0
mercoledì 15 marzo	19	15	46,0	96,7
giovedì 16 marzo	18	58	46,4	95,4
venerdì 17 marzo	18	41	46,8	94,1
sabato 18 marzo	18	23	47,1	92,8
domenica 19 marzo	18	06	47,5	91,5
lunedì 20 marzo	17	48	47,9	90,2
<b>♈ Ariete 20 marzo</b>	equinozio vernale 22:24			
martedì 21 marzo	17	30	48,3	89,0
mercoledì 22 marzo	17	13	48,7	87,8
giovedì 23 marzo	16	55	49,1	86,5
venerdì 24 marzo	16	37	49,5	85,4
sabato 25 marzo	16	18	49,9	84,2
<b>h 13+</b> domenica 26 marzo	15	59	50,3	83,0
<b>Ora estiva</b> lunedì 27 marzo	15	41	50,7	81,9
martedì 28 marzo	15	23	51,1	80,7
mercoledì 29 marzo	15	05	51,5	79,6
giovedì 30 marzo	14	47	51,9	78,5
venerdì 31 marzo	14	29	52,3	77,4
sabato 1 aprile	14	11	52,6	76,3
domenica 2 aprile	13	53	53,0	75,3
lunedì 3 aprile	13	34	53,4	74,2
martedì 4 aprile	13	17	53,8	73,2
mercoledì 5 aprile	12	59	54,2	72,2

giovedì 6 aprile	12	42	54,6	71,2
venerdì 7 aprile	12	25	54,9	70,2
sabato 8 aprile	12	08	55,3	69,2
<b>Pasqua</b> domenica 9 aprile	11	51	55,7	68,3
lunedì 10 aprile	11	35	56,0	67,3
martedì 11 aprile	11	19	56,4	66,4
mercoledì 12 aprile	11	03	56,8	65,5
giovedì 13 aprile	10	48	57,1	64,6
venerdì 14 aprile	10	33	57,5	63,7
sabato 15 aprile	10	18	57,9	62,8
domenica 16 aprile	10	04	58,2	62,0
lunedì 17 aprile	09	50	58,6	61,1
martedì 18 aprile	09	36	58,9	60,3
mercoledì 19 aprile	09	23	59,3	59,4
<b>♉ Toro 20 aprile</b>	ore		10	13
giovedì 20 aprile	09	10	59,6	58,6
venerdì 21 aprile	08	58	60,0	57,8
sabato 22 aprile	08	46	60,3	57,0
domenica 23 aprile	08	35	60,6	56,3
lunedì 24 aprile	08	24	61,0	55,5
martedì 25 aprile	08	13	61,3	54,8
mercoledì 26 aprile	08	03	61,6	54,0
giovedì 27 aprile	07	53	61,9	53,3
venerdì 28 aprile	07	44	62,3	52,6
sabato 29 aprile	07	36	62,6	51,9
domenica 30 aprile	07	27	62,9	51,2
lunedì 1 maggio	07	20	63,2	50,6
martedì 2 maggio	07	13	63,5	49,9
mercoledì 3 maggio	07	06	63,8	49,3
giovedì 4 maggio	07	00	64,1	48,6
venerdì 5 maggio	06	55	64,4	48,0
sabato 6 maggio	06	50	64,6	47,4
domenica 7 maggio	06	46	64,9	46,8
lunedì 8 maggio	06	42	65,2	46,2
martedì 9 maggio	06	39	65,5	45,7
mercoledì 10 maggio	06	36	65,7	45,1
giovedì 11 maggio	06	34	66,0	44,6
venerdì 12 maggio	06	33	66,2	44,0
sabato 13 maggio	06	32	66,5	43,5
domenica 14 maggio	06	32	66,7	43,0
lunedì 15 maggio	06	32	67,0	42,5
martedì 16 maggio	06	33	67,2	42,0
mercoledì 17 maggio	06	35	67,4	41,6
giovedì 18 maggio	06	37	67,6	41,1
venerdì 19 maggio	06	39	67,9	40,7
sabato 20 maggio	06	42	68,1	40,2
<b>♊ Gemelli 21 maggio</b>	ore		9	09
<b>Ascensione</b> domenica 21 maggio	06	46	68,3	39,8
lunedì 22 maggio	06	51	68,5	39,4
martedì 23 maggio	06	55	68,7	39,0

mercoledì 24 maggio	07	01	68,9	38,7
giovedì 25 maggio	07	06	69,0	38,3
venerdì 26 maggio	07	13	69,2	37,9
sabato 27 maggio	07	19	69,4	37,6
<b>Pentecoste</b> domenica 28 maggio	07	27	69,6	37,3
lunedì 29 maggio	07	34	69,7	37,0
martedì 30 maggio	07	42	69,9	36,7
mercoledì 31 maggio	07	51	70,0	36,4
giovedì 1 giugno	07	60	70,2	36,1
venerdì 2 giugno	08	09	70,3	35,8
sabato 3 giugno	08	18	70,4	35,6
domenica 4 giugno	08	28	70,5	35,4
lunedì 5 giugno	08	39	70,6	35,1
martedì 6 giugno	08	49	70,8	34,9
mercoledì 7 giugno	09	00	70,9	34,7
giovedì 8 giugno	09	12	70,9	34,5
venerdì 9 giugno	09	23	71,0	34,4
sabato 10 giugno	09	35	71,1	34,2
domenica 11 giugno	09	47	71,2	34,1
lunedì 12 giugno	09	59	71,2	33,9
martedì 13 giugno	10	12	71,3	33,8
mercoledì 14 giugno	10	25	71,4	33,7
giovedì 15 giugno	10	37	71,4	33,6
venerdì 16 giugno	10	50	71,4	33,6
sabato 17 giugno	11	04	71,5	33,5
domenica 18 giugno	11	17	71,5	33,5
lunedì 19 giugno	11	30	71,5	33,4
martedì 20 giugno	11	43	71,5	33,4
mercoledì 21 giugno	11	56	71,5	33,4
<b>♋ Cancro 21 giugno</b>	solstizio estivo h 16:57			
giovedì 22 giugno	12	09	71,5	33,4
venerdì 23 giugno	12	22	71,5	33,4
sabato 24 giugno	12	35	71,5	33,4
domenica 25 giugno	12	48	71,5	33,5
lunedì 26 giugno	13	01	71,5	33,5
martedì 27 giugno	13	13	71,4	33,6
mercoledì 28 giugno	13	26	71,4	33,7
giovedì 29 giugno	13	38	71,3	33,8
venerdì 30 giugno	13	50	71,3	33,9
sabato 1 luglio	14	02	71,2	34,0
domenica 2 luglio	14	13	71,1	34,2
lunedì 3 luglio	14	24	71,1	34,3
martedì 4 luglio	14	35	71,0	34,5
mercoledì 5 luglio	14	45	70,9	34,7
giovedì 6 luglio	14	56	70,8	34,8
venerdì 7 luglio	15	05	70,7	35,1
sabato 8 luglio	15	15	70,6	35,3
domenica 9 luglio	15	24	70,5	35,5
lunedì 10 luglio	15	33	70,3	35,7
martedì 11 luglio	15	41	70,2	36,0

mercoledì 12 luglio	15	49	70,1	36,3
giovedì 13 luglio	15	56	69,9	36,5
venerdì 14 luglio	16	03	69,8	36,8
sabato 15 luglio	16	10	69,6	37,1
domenica 16 luglio	16	16	69,5	37,5
lunedì 17 luglio	16	21	69,3	37,8
martedì 18 luglio	16	26	69,1	38,1
mercoledì 19 luglio	16	31	68,9	38,5
giovedì 20 luglio	16	35	68,8	38,9
venerdì 21 luglio	16	38	68,6	39,3
sabato 22 luglio	16	41	68,4	39,6
<b>♌ Leone 23 luglio</b>	<b>Ore</b>	<b>3</b>	<b>50</b>	
domenica 23 luglio	16	43	68,2	40,1
lunedì 24 luglio	16	44	68,0	40,5
martedì 25 luglio	16	45	67,8	40,9
mercoledì 26 luglio	16	45	67,5	41,4
giovedì 27 luglio	16	45	67,3	41,8
venerdì 28 luglio	16	44	67,1	42,3
sabato 29 luglio	16	43	66,8	42,8
domenica 30 luglio	16	40	66,6	43,3
lunedì 31 luglio	16	38	66,4	43,8
martedì 1 agosto	16	34	66,1	44,3
mercoledì 2 agosto	16	30	65,9	44,8
giovedì 3 agosto	16	26	65,6	45,4
venerdì 4 agosto	16	20	65,3	45,9
sabato 5 agosto	16	15	65,1	46,5
domenica 6 agosto	16	08	64,8	47,1
lunedì 7 agosto	16	01	64,5	47,7
martedì 8 agosto	15	54	64,2	48,3
mercoledì 9 agosto	15	46	64,0	48,9
giovedì 10 agosto	15	37	63,7	49,5
venerdì 11 agosto	15	28	63,4	50,1
sabato 12 agosto	15	18	63,1	50,8
domenica 13 agosto	15	08	62,8	51,5
lunedì 14 agosto	14	57	62,5	52,1
martedì 15 agosto	14	45	62,2	52,8
mercoledì 16 agosto	14	34	61,8	53,5
giovedì 17 agosto	14	21	61,5	54,2
venerdì 18 agosto	14	08	61,2	55,0
sabato 19 agosto	13	55	60,9	55,7
domenica 20 agosto	13	41	60,5	56,5
lunedì 21 agosto	13	26	60,2	57,2
martedì 22 agosto	13	11	59,9	58,0
<b>♍ Vergine 23 agosto</b>	<b>Ore</b>	<b>11</b>	<b>01</b>	
mercoledì 23 agosto	12	56	59,5	58,8
giovedì 24 agosto	12	40	59,2	59,6
venerdì 25 agosto	12	24	58,9	60,4
sabato 26 agosto	12	07	58,5	61,2
domenica 27 agosto	11	50	58,2	62,1
lunedì 28 agosto	11	32	57,8	62,9

martedì 29 agosto	11	15	57,5	63,8
mercoledì 30 agosto	10	56	57,1	64,7
giovedì 31 agosto	10	38	56,7	65,6
venerdì 1 settembre	10	19	56,4	66,5
sabato 2 settembre	09	60	56,0	67,4
domenica 3 settembre	09	40	55,7	68,3
lunedì 4 settembre	09	21	55,3	69,3
martedì 5 settembre	09	01	54,9	70,2
mercoledì 6 settembre	08	40	54,5	71,2
giovedì 7 settembre	08	20	54,2	72,2
venerdì 8 settembre	07	60	53,8	73,2
sabato 9 settembre	07	39	53,4	74,2
domenica 10 settembre	07	19	53,0	75,2
lunedì 11 settembre	06	58	52,7	76,3
martedì 12 settembre	06	37	52,3	77,3
mercoledì 13 settembre	06	16	51,9	78,4
giovedì 14 settembre	05	55	51,5	79,5
venerdì 15 settembre	05	34	51,1	80,6
sabato 16 settembre	05	12	50,8	81,7
domenica 17 settembre	04	52	50,4	82,8
lunedì 18 settembre	04	31	50,0	84,0
martedì 19 settembre	04	09	49,6	85,1
mercoledì 20 settembre	03	48	49,2	86,3
giovedì 21 settembre	03	27	48,8	87,5
venerdì 22 settembre	03	06	48,4	88,7
sabato 23 settembre	02	45	48,0	89,9
<b>♎ Bilancia 23 settembre</b>	<b>Equinozio autunnale 8:49</b>			
domenica 24 settembre	02	24	47,7	91,2
lunedì 25 settembre	02	03	47,3	92,4
martedì 26 settembre	01	42	46,9	93,7
mercoledì 27 settembre	01	22	46,5	95,0
giovedì 28 settembre	01	01	46,1	96,3
venerdì 29 settembre	00	41	45,7	97,6
sabato 30 settembre	00	22	45,3	98,9
domenica 1 ottobre	00	02	44,9	100,2
<b>h 12</b> lunedì 2 ottobre	59	43	44,5	101,6
martedì 3 ottobre	59	21	44,2	103,0
mercoledì 4 ottobre	59	04	43,8	104,4
giovedì 5 ottobre	58	46	43,4	105,8
venerdì 6 ottobre	58	28	43,0	107,2
sabato 7 ottobre	58	11	42,6	108,7
domenica 8 ottobre	57	54	42,2	110,1
lunedì 9 ottobre	57	37	41,9	111,6
martedì 10 ottobre	57	21	41,5	113,1
mercoledì 11 ottobre	57	05	41,1	114,6
giovedì 12 ottobre	56	49	40,7	116,2
venerdì 13 ottobre	56	34	40,3	117,7
sabato 14 ottobre	56	20	40,0	119,3
domenica 15 ottobre	56	07	39,6	120,9
lunedì 16 ottobre	55	54	39,2	122,4

martedì 17 ottobre	55	41	38,9	124,1
mercoledì 18 ottobre	55	29	38,5	125,7
giovedì 19 ottobre	55	18	38,1	127,3
venerdì 20 ottobre	55	07	37,8	129,0
sabato 21 ottobre	54	57	37,4	130,7
domenica 22 ottobre	54	48	37,1	132,4
lunedì 23 ottobre	54	39	36,7	134,1
<b>♏ Scorpione 23 ottobre</b>	<b>ore</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	
martedì 24 ottobre	54	31	36,4	135,8
mercoledì 25 ottobre	54	24	36,0	137,5
giovedì 26 ottobre	54	17	35,7	139,2
venerdì 27 ottobre	54	11	35,3	141,0
sabato 28 ottobre	54	06	35,0	142,8
<b>h 11</b> domenica 29 ottobre	54	02	34,7	144,5
<b>Ora solare</b> lunedì 30 ottobre	53	58	34,3	146,3
martedì 31 ottobre	53	55	34,0	148,1
mercoledì 1 novembre	53	53	33,7	150,0
giovedì 2 novembre	53	52	33,4	151,8
venerdì 3 novembre	53	51	33,1	153,6
sabato 4 novembre	53	52	32,8	155,4
domenica 5 novembre	53	53	32,5	157,3
lunedì 6 novembre	53	55	32,1	159,1
martedì 7 novembre	53	58	31,9	161,0
mercoledì 8 novembre	54	01	31,6	162,8
giovedì 9 novembre	54	06	31,3	164,7
venerdì 10 novembre	54	11	31,0	166,5
sabato 11 novembre	54	18	30,7	168,4
domenica 12 novembre	54	25	30,4	170,2
lunedì 13 novembre	54	33	30,2	172,0
martedì 14 novembre	54	42	29,9	173,9
mercoledì 15 novembre	54	52	29,6	175,7
giovedì 16 novembre	55	02	29,4	177,5
venerdì 17 novembre	55	14	29,1	179,3
sabato 18 novembre	55	26	28,9	181,1
domenica 19 novembre	55	39	28,7	182,9
lunedì 20 novembre	55	53	28,4	184,6
martedì 21 novembre	56	07	28,2	186,4
mercoledì 22 novembre	56	23	28,0	188,1
<b>♐ Sagittario 22 novembre</b>	<b>ore</b>	<b>15</b>	<b>02</b>	
giovedì 23 novembre	56	39	27,8	189,8
venerdì 24 novembre	56	56	27,6	191,4
sabato 25 novembre	57	14	27,4	193,1
domenica 26 novembre	57	32	27,2	194,7
lunedì 27 novembre	57	51	27,0	196,2
martedì 28 novembre	58	11	26,8	197,7
mercoledì 29 novembre	58	32	26,7	199,2
giovedì 30 novembre	58	53	26,5	200,7
venerdì 1 dicembre	59	15	26,3	202,1
sabato 2 dicembre	59	38	26,2	203,4
<b>I Avvento</b> domenica 3 dicembre	00	01	26,0	204,7

<b>h 12</b> lunedì 4 dicembre	00	25	25,9	206,0
martedì 5 dicembre	00	49	25,8	207,2
mercoledì 6 dicembre	01	14	25,6	208,4
giovedì 7 dicembre	01	40	25,5	209,4
venerdì 8 dicembre	02	06	25,4	210,5
sabato 9 dicembre	02	33	25,3	211,4
domenica 10 dicembre	02	60	25,2	212,3
lunedì 11 dicembre	03	27	25,1	213,2
martedì 12 dicembre	03	55	25,1	213,9
mercoledì 13 dicembre	04	23	25,0	214,6
giovedì 14 dicembre	04	52	24,9	215,3
venerdì 15 dicembre	05	21	24,9	215,8
sabato 16 dicembre	05	50	24,8	216,3
domenica 17 dicembre	06	19	24,8	216,7
lunedì 18 dicembre	06	49	24,7	217,0
martedì 19 dicembre	07	18	24,7	217,3
mercoledì 20 dicembre	07	48	24,7	217,4
giovedì 21 dicembre	08	18	24,7	217,5
<b>♑ Capricorno 22 dicembre</b>	<b>Solstizio invernale 4:27</b>			
venerdì 22 dicembre	08	47	24,7	217,5
sabato 23 dicembre	09	17	24,7	217,5
domenica 24 dicembre	09	47	24,7	217,3
<b>Natale</b> lunedì 25 dicembre	10	17	24,7	217,1
martedì 26 dicembre	10	46	24,8	216,8
mercoledì 27 dicembre	11	16	24,8	216,4
giovedì 28 dicembre	11	45	24,8	216,0
venerdì 29 dicembre	12	14	24,9	215,5
sabato 30 dicembre	12	43	25,0	214,9
domenica 31 dicembre	13	12	25,0	214,2
lunedì 1 gennaio 2024	13	40	25,1	213,5
martedì 2 gennaio 2024	14	09	25,2	212,6
mercoledì 3 gennaio 2024	14	36	25,3	211,8
giovedì 4 gennaio 2024	15	04	25,4	210,8
venerdì 5 gennaio 2024	15	31	25,5	209,8
<b>Epifania</b> sabato 6 gennaio	15	58	25,6	208,7
domenica 7 gennaio 2024	16	24	25,7	207,6
lunedì 8 gennaio 2024	16	50	25,8	206,4
martedì 9 gennaio 2024	17	15	26,0	205,2
mercoledì 10 gennaio 2024	17	40	26,1	203,9
giovedì 11 gennaio 2024	18	04	26,3	202,5
venerdì 12 gennaio 2024	18	27	26,4	201,1
sabato 13 gennaio 2024	18	50	26,6	199,7
domenica 14 gennaio 2024	19	13	26,8	198,2

Gli orari dei passaggi calcolati sono accurati al secondo, incluso l'effetto del *seno boscoviciano*, riscoperto nel 2022, che ritarda fino a 2 s i passaggi calcolati attorno agli equinozi: le parti centesime (posizioni) interessate sono tra 75 e 115, e le date sono: tutto marzo e dal 10 settembre al 11 ottobre. La meridiana ritarda di 22.4 s al solstizio invernale, 10.6 s a quello estivo e 16.4 s agli equinozi.

## Effemeridi 2023 della Meridiana dell'Obelisco Vaticano

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted January 12<sup>th</sup> 2023, revised and accepted January 13<sup>th</sup> 2023

**Abstract** The ephemerides for the meridian transit on the Vatican Obelisk's meridian line in St. Peter's square are published. With respect to the edition 2022, detailed for each day, we simplify the output to the zodiacal disks lowering the precision to the nearest minute. The reason is because they are the the only easy reference points over a 82 m-long meridian line; second: the meridian line is not all in plane; moreover the presence of fences and temporary enclosures may interfere with the observations. About the gnomon, obelisk and uppermost features, three mounts-star-cross, there is no perfect symmetry with respect to the granite line on the floor. In other words: at Cancer the intermediate point of the obelisk's shadow does not overlap with the meridian line, nor the black star of the zodiacal disk, and the uppermost cross is not casting shadow there. The uppermost features, namely the cross and the 3-dimensional star, are not perfectly vertical and the transit time of the Sun changes over the meridian line, being the upper part western than the lower part. The 3 mounts structure is triangular and its half is not in line with the uppermost cross, nor the upper part of the obelisk's pyramid. While a real pinhole camera-obscura meridian line has the incognita of the precision of the line itself, this obelisk-meridian line is used as a multiple-gnomon meridian line, with a greater phase space of free parameters. For this reason we concentrate only over the zodiacal disks, and to the nearest minute of precision, remarking the stationary points of the equation of time, the "star points".

**Sommario** Le effemeridi del 2023 per l'obelisco vaticano tengono conto della natura peculiare di questo gnomone. Mentre per un pinhole solo le eventuali deviazioni locali della linea influiscono sul tempo di transito, ma la località è univocamente determinata dalla posizione dell'immagine, per lo gnomone-obelisco non è univoca la parte dell'obelisco che getta l'ombra: il monolito, il puntale, i tre monti, la stella tridimensionale e la croce sommitale danno tempi di transito differenti, anche se in ogni punto della linea meridiana solo uno dei suddetti elementi è attivo. Siccome sulla linea non sono identificabili segnaposti facilmente e velocemente riutilizzabili, anche per il movimento di gente e transenne, conviene concentrarsi sui dischi zodiacali. Indicheremo anche i "punti di stella" quando l'equazione del tempo ha punti stazionari, in modo da chiarire meglio come interpolare, con un minuto di accuratezza, il tempo di transito meridiano.

**keywords** Ephemerides, Meridian Transit, Meridian Line.

### **Una meridiana di lunga gestazione: 1586-1817**

La Meridiana dell'obelisco vaticano fu progettata da Egnazio Danti (1536-1586) che vide la morte solo quaranta giorni dopo che l'obelisco fu spostato al centro della Platea Sancti Petri, dove c'era già dal 1490 la fontana Nord (quella attraversata dalla linea meridiana). Gian Lorenzo Bernini realizzò sotto papa Alessandro VII il colonnato tra il 1656 ed il 1667, come archi di due cerchi di raggio circa 80 m, i cui centri sono distanti 80 m tra loro. I centri dei due archi sono a 96 cm dalla linea meridiana, ad Ovest per il centro Nord e ad Est per quello Sud. Queste distanze corrispondono ad un angolo di 41', che è pari alla deviazione dall'Est, verso Nord, della Basilica di San Pietro, sia la Costantiniana (318 ca-1506-1620) sia quella attuale. La linea meridiana lunga 82 m è formata da segmenti di granito di qualche metro, spessi 7 cm, è interrotta dalla rosa dei venti per circa 3 metri, riprendendo parallela al primo tratto Cancro-Leone-Vergine, ma non esattamente sulla stessa linea, con un secondo tratto Vergine-Bilancia-Scorpione che è in ottimo allineamento verso il Nord e con il tratto finale dopo la fontana, e cioè Sagittario-Capricorno. Tra la parte finale della Vergine ed il Capricorno la meridiana devia dal Nord per meno di 2 mm su 60 metri ossia meno di 7".

### **Quale parte dello gnomone si deve usare per il transito**

L'ombra del monolito è la parte più evidente, ma la meridiana non è simmetrica al suo asse, meno evidenti sono le penombre dei fregi sommitali, sopra il puntale.

Tuttavia la pratica insegna che un transito col Sole che passa tra il puntale e la sommità della croce può essere misurato con buona precisione direttamente utilizzando solo la ghost image. Quando si può osservare in proiezione con un piccolo telescopio e uno schermo per creare una piccola zona in ombra dove avere un contrasto sufficiente, la croce sommitale è l'elemento che funziona meglio per questioni di simmetria.



Fig. 1 12 gen 2023 h 12:33. Ombre e penombre sul lastrone di travertino bianco in piazza san Pietro, radiale rispetto all'obelisco, e alla meridiana di granito.

I bracci della croce sono spessi 9 cm, e col Sole al Capricorno, si trovano a 100 m dalla linea meridiana, offrendo un ostacolo verticale che abbraccia un angolo di 3'.

Dalle misure fatte a diversi livelli della croce, contemporaneamente, si è visto che intercorrono fino a 8 secondi di differenza tra sotto e sopra. Essendo la croce alta due metri, questa pende verso Ovest di 8 cm. Inoltre dalle misure estive si è visto che l'ombra del monolito è asimmetrica e risulta più lunga di 2 cm a Ovest rispetto ad Est del puntale

centrale. Tutto ciò fa pensare ad un obelisco monolito di 27 m che pende leggermente verso Est (via della Conciliazione opposto alla facciata di San Pietro) con gli elementi sommitali alti 5 m che sono fatti pendere verso Ovest (verso la facciata) per compensare la prima pendenza. Il basamento di 8 m completa l'altezza di circa 40 metri complessiva.

### **Misure della verticalità dell'obelisco e finimenti**

Siamo in attesa di dati **al teodolite**: l'unità di misura sarà lo spessore della croce. Il punto di vista i pilastri Est del portale Nord del colonnato, i più vicini all'asse della linea meridiana. Fin'ora queste misure sono state fatte col transito solare in punti diversi della meridiana, come nei 5 m prima del disco del Capricorno in fig.2.



Fig. 2 Misure in simultanea il 21 dicembre 2021 alla meridiana di piazza san Pietro, prima del disco solstiziale del Capricorno. Sono fatte lungo 5 metri e coprono tutta la croce sommitale.

**Gennaio**



Capricorno dalle 12:13 alle 12:20



Acquario dal 20 gennaio alle 9:29; dalle 12:20 alle 12:23

### Febbraio

Acquario fino al 18 febbraio h 23:34 dalle 12:23 alle 12:24, *punto di stella* 11 febbraio (12:24). Pesci dalle 12:23 alle 12:22



Marzo dalle 12:22 alle 12:17 fino all'Ariete il 20 marzo h 22:24



**dal 26 marzo entra l'ora estiva e il transito va da 13:16 a 13:14**

**Aprile** dalle 13:13 alle 13:07, il Sole in Toro il 20 aprile alle 10:13 e passa in meridiano alle 13:09. GAP

**Maggio** passaggi dalle 13:07 alle 13:06 il 14 maggio, punto di stella, e poi il Sole entra in Gemelli il 21 maggio alle 9:09 e passa in meridiano alle 13:06, il 31 maggio alle 13:07.

**Giugno** passaggi meridiani dalle 13:07 alle 13:13 con ingresso nel Cancro il 21 alle 16:57 con passaggio alle 13:11

**Luglio** passaggi meridiani dalle 13:13 alle 13:16 con punto di stella il 26 luglio, S. Anna, alle 13:16. Sole nel Leone il 23 luglio alle 3:50 e passaggio alle 13:16.

**Agosto** passaggi nel GAP dalle 13:16 alle 13:10 col Sole nella Vergine il 23 agosto alle 11:01 e passaggio alle 13:12.

**Settembre** passaggi dalle 13:10 alle 13:00 con ingresso nella Bilancia (equinozio d'autunno) il 23 settembre alle 8:49 e passaggio meridiano alle 13:03.

**Ottobre** passaggi dalle 13:03 alle 12:53 col Sole nello Scorpione il 23 ottobre alle 18:20. Entra l'ora solare il 29 ottobre col passaggio alle 11:53 fino al 31 ottobre.

**Novembre** passaggi dalle 11:53 alle 11:58, con punto di stella il 3 novembre, s. Carlo, alle 11:53. Il Sole entra nel Sagittario il 22 novembre alle 15:02 con passaggio meridiano alle 11:56.

**Dicembre** passaggi dalle 11:59 alle 12:13 con avanzamento di 30 s al giorno. Sole nel Capricorno il 22 dicembre alle 4:27 con passaggio meridiano alle 12:08. Durante la novena di Natale le campane di s. Pietro suonano a distesa a mezzogiorno.

*Costantino Sigismondi*

Tutti i giorni al mezzogiorno del TMEC, tempo medio dell'Europa centrale, suonano le campane dell'Angelus, che si riconoscono –dopo il segnale orario delle 12, con 4 rintocchi dell'ora piena e 12 rintocchi del numero delle ore- dalla sequenza *Angelus* di 3-4-5-1 rintocchi.