

L'Orientamento con le Carte Geografiche e il Punto Nave

Cosimo Palagiano *cosimo.palagiano@uniroma1.it*
(*Sapienza Università di Roma e Accademia dei Lincei*)
Submitted February 13th 2020, accepted Feb 27th

Abstract An overview about the methods of orienteering with maps and charts, either terrestrial or maritime is made under the historical perspective. The measures of latitudes and longitudes along the centuries with gnomons, lunar eclipses and Jupiter's satellites are presented along with the techniques used by Christopher Columbus (Taoleta de Marteloio), concluding with the astronomical navigation.

Sommario Una panoramica dei metodi di orientamento con le mappe, le carte topografiche e quelle marittime, viene presentata lungo la storia da Tolomeo al Medio Evo, fino al GPS. Le misure di latitudine con lo gnomone e longitudine con le eclissi di Luna e i satelliti di Giove vengono presentate insieme alle tecniche usate da Cristoforo Colombo (Taoleta de Marteloio) fino alla navigazione astronomica.

Orientamento Terrestre

La ricerca delle coordinate geografiche sulla terra: le coordinate geografiche assolute sono:

- Latitudine, Longitudine e altezza;
- Le coordinate relative sono: l'azimut e la distanza

La latitudine

- La ricerca approssimativa della latitudine non richiede particolari calcoli. I più antichi agrimensori delle civiltà cosiddette preclassiche usavano uno strumento rudimentale, cioè un'asta, lo gnomone, che, infisso perpendicolarmente sul terreno, proietta l'ombra del sole. L'angolo del triangolo rettangolo, formato dello gnomone, l'ombra sul terreno, e il raggio del Sole tra la punta superiore dello gnomone e l'estremità dell'ombra, indica in gradi l'altezza del Sole sull'orizzonte. Questa misura dipende però dalle stagioni e

dalla latitudine del luogo stesso.

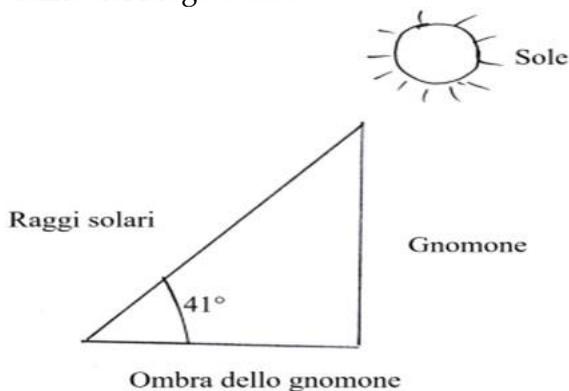


Fig. 1 Schema di funzionamento di uno Gnomone

L'altezza del Sole

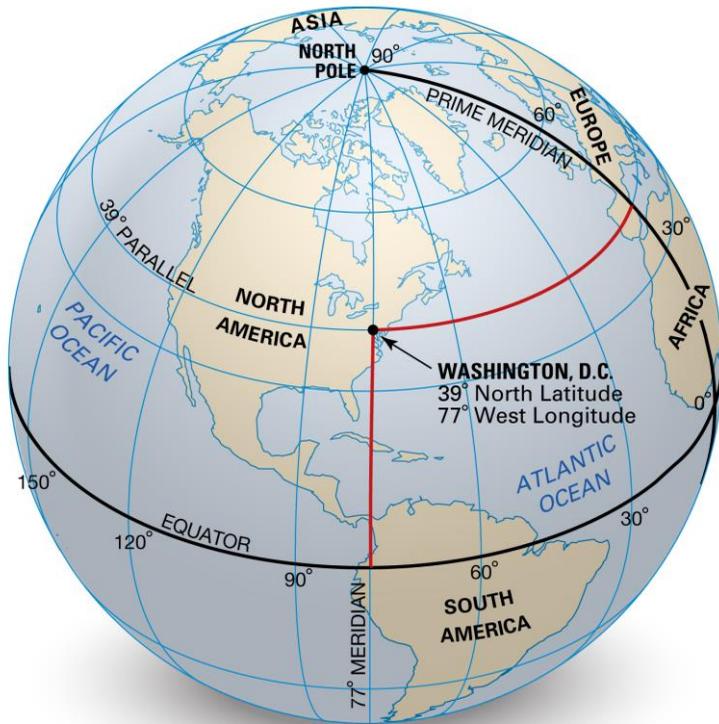
A mezzogiorno dei giorni degli equinozi, l'altezza del Sole sull'orizzonte, forma un angolo esattamente complementare a quello della latitudine del luogo. Negli altri giorni i valori vanno corretti consultando le tabelle dette effemeridi (dal greco ἐφημερίς, giornaliero).

Lo Gnomone

Ricerca della latitudine

Poiché l'angolo formato dall'inclinazione dei raggi solari è di 49° , la latitudine (approssimativa) è di $(90^\circ - 49^\circ) = 41^\circ$, che è all'incirca la latitudine di Napoli (pari a $40^\circ 51' 80''$ N).

La latitudine, per lo schema prima riportato, è stata la coordinata più semplice da trovare. Già Claudio Tolomeo, nel II secolo d.C., aveva pubblicato nella sua opera geografica (*Γεωγραφικὴ Ὑφήγησις*, Guida geografica) un elenco di circa 8000 località del mondo allora conosciuto. Mentre i valori della latitudine sono abbastanza precisi - al netto di possibili errori sia da parte delle sue fonti che da parte degli amanuensi che redigevano i codici - i valori della longitudine sono in gran parte erronei.



© Encyclopædia Britannica, Inc.

Fig. 2 Coordinate geografiche sferiche

Ricerca della longitudine 1

La ricerca della longitudine è molto più complessa, perché – data la uguale dimensione di tutti i meridiani - innanzi tutto va considerato un meridiano fondamentale, dal quale far partire i valori ad est e ad ovest da tale meridiano.

Nella storia della cartografia devono essere segnalati molti meridiani fondamentali, da quella dell'Isola di Herro nelle Canarie, adottato da Tolomeo, a quello di Parigi, a quello di Roma, a quello di Greenwich, divenuto meridiano

internazionale.

Nell'età classica (Ipparco) si ricavava la longitudine deducendo la differenza di longitudine dalla differenza tra i tempi locali in cui era osservata una stessa eclisse di Luna (ad esempio durante la battaglia di Gaugàmela, combattuta e vinta da Alessandro Magno). Un metodo più pratico e veloce (ma approssimativo) era quello di rapportare le differenze di longitudine sulle distanze lineari degli itinerari. La differenza di longitudine tra due luoghi non posti sullo stesso parallelo si stimava tra la differenza di latitudine e l'angolo che la congiungente forma con il meridiano.

I risultati non furono molto attendibili, come è dimostrato dai valori di longitudine del testo di Tolomeo.

Ricerca della longitudine 2

Nel 1610 Galilei, con il suo cannocchiale (detto da lui *perspicillum*), scoprì i quattro satelliti di Giove (detti *Pianeti Medicei*), che gli ruotavano intorno scomparendo e ricomparendo di continuo. Galilei comprese che queste apparizioni e scomparse dei *Pianeti Medicei*, visibili nello stesso momento da tutti i luoghi della Terra, potevano essere considerati un elemento valido per il calcolo delle longitudini. Infatti, dalla differenza oraria solare vera tra questi punti si stabilisce la loro differenza in gradi di longitudine. Oggi l'ora del tempo medio di Greenwich è indicata negli Almanacchi.

Ricerca della longitudine 3

Ancora nell'1800 il calcolo della longitudine era eseguito con l'osservazione dei *Pianeti Medicei*.

Fabian Gottlieb von Bellinghausen nacque a Ösel (o Saaremaa) in Estonia nel 1778, allora appartenente all'Impero Russo. Nei suoi viaggi nei Mari del Sud nel periodo 1819-1820, giunse fino a quasi intravedere l'Antartide. Utilizzava il metodo dei

Pianeti Medicei per il calcolo delle longitudini. Per la complessità del lavoro Bellingshausen e i suoi marinai raggiungevano un risultato soddisfacente solo dopo aver ricavato la media da successive misurazioni.

Ricerca della longitudine 4

Il Bellingshausen calcolava il tempo secondo il calendario giuliano. La Russia adottò il calendario gregoriano dopo la rivoluzione di ottobre (che cade il 7 novembre). La differenza tra i due calendari era, nel 1582, di 10 giorni, perché furono eliminati i giorni dal 5 al 14 ottobre: dopo il 4 ottobre (festa di San Francesco) si passò al 15 ottobre (festa di Santa Teresa). Ovviamente con l'andare del tempo, i giorni di differenza aumentano. Questo è la principale causa della differenza di date di alcune festività delle chiese ortodosse. Per questo motivo la Russia festeggia il Natale (Рождество) il 7 gennaio, cioè dopo il primo dell'anno nuovo (Новый год).

Ricerca della longitudine 5

Mentre era a Terranova, James Cook osservò l'eclisse del Sole il 5 agosto 1766. Stimando il tempo di inizio e quello della fine dell'eclisse e confrontandoli con i tempi in una posizione nota in Inghilterra riuscì a calcolare la longitudine del sito a Terranova. Per questo utilizzò strumenti per la lettura dei fenomeni astronomici e cronometri di precisione.

Latitudine e Longitudine
concetto di base

Esempio: coordinate geografiche di Washington (da Enciclopedia Britannica

- Come si vede nel grafico precedente, le coordinate di Washington sono:
- Latitudine Nord 39°

- Longitudine Ovest Gr. 77°

L'ellissoide di riferimento

- Com'è noto, la Terra non ha forma sferica, e pertanto, per la individuazione delle coordinate geografiche, è necessario fare ricorso ad un ellissoide di riferimento, cioè una superficie definita matematicamente che approssima il geode, la vera forma della Terra. Gli ellissoidi di riferimento costituiscono la superficie su cui poggia virtualmente la rete geodetica e qualunque punto dello spazio definito da latitudine, longitudine e altitudine sull'ellissoide.
- Nel tempo si sono tentati diversi ellissoidi, ma quello attualmente in uso è l'ellissoide WGS 84 del 1984.

Le coordinate geografiche nella cartografia

La cartografia topografica italiana, in collegamento con quella internazionale, è curata dall'Istituto Geografico Militare.

Tutta la superficie terrestre è coperta da 60 fusi cartografici di 6° di longitudine, con riferimento al meridiano di Greenwich. L'Italia è compresa in due fusi da 6° a 12° (fuso ovest) e da 13° a 18° (fuso est), con una zona di sovrapposizione intorno ai 12° Est. Il meridiano di Roma Monte Mario, adottato nell'Ottocento per la cartografia del Regno d'Italia, è a 12° 27' 08.400" Est Gr. Il meridiano di Monte Mario fu definito nel 1870 dal gesuita e astronomo italiano Angelo Secchi.

Carteggio terrestre

L'individuazione sul terreno delle coordinate geografiche è semplice per quanto riguarda i valori di gradi e primi, segnati sulla cornice verticale (per le latitudini) e orizzontale per le longitudini. I valori dei secondi si ottengono stabilendo una proporzione tra le misure lineari sulla carta tra un meridiano (o un parallelo) del valore di 1' e la distanza tra il meridiano (o

il parallelo) rispettivamente a est o a sud del punto. Se, ad esempio, la distanza sulla carta tra i due paralleli in cui si trova il punto, è di 6 cm, e la distanza tra il parallelo a sud e il punto è di 4 cm, si stabilisce la proporzione: $6 : 4 = 60 : x$; $x = 50''$. Si deve sempre tener presente che i meridiani convergono verso i Poli (Nord geografico) e la bussola indica il Nord magnetico. Lo stesso calcolo si calcola per le longitudini. Le direzioni dei due "Nord" dal punto di osservazione divergono secondo l'angolo di declinazione magnetica, che varia nel tempo, e tale variazione annuale viene indicata sulla carta topografica.

L'altitudine del punto compresa tra due isoipse, ad esempio di 25 m di equidistanza (dette ordinarie) si trova con lo stesso calcolo proporzionale, ma ovviamente il risultato è meno preciso del precedente, perché il terreno non ha quasi mai un'inclinazione costante.

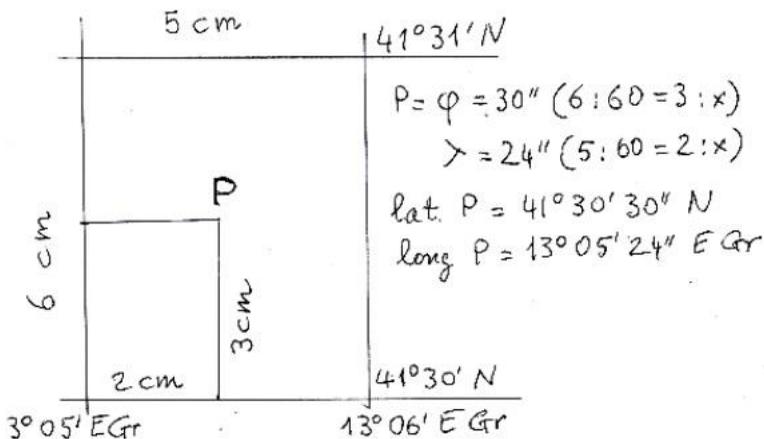


Fig. 3 Coordinate di un punto P sulla Carta Topografica

Ricerca delle coordinate del punto P sulla Carta Topografica

Esempio: come si ricavano le coordinate geografiche in gradi,

primi e secondi di un

Punto P: rapporto tra distanze lineari e ampiezze angolari.

Declinazione magnetica

- Nelle carte topografiche dell'Istituto Geografico Militare sono indicati i valori della declinazione magnetica e delle sue variazioni annuali dalla data di pubblicazione della carta. Tuttavia, per aree molto limitate, la declinazione magnetica può considerarsi ininfluenza.

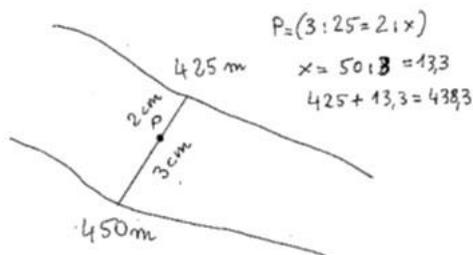


Fig. 4 Esempio della ricerca di un'altitudine sulla Carta

Ricerca approssimativa dell'altitudine di P sulla carta topografica

- Altitudine approssimativa del punto P tra due isoipse equidistanti 25 m (normali).

La moderna geodesia

La moderna geodesia si basa su sistemi satellitari di navigazione, detti GNSS (Global Navigation Satellite System) che, mediante ricevitori elettronici, determinano le coordinate geografiche di un qualunque punto della superficie terrestre o dell'atmosfera con un errore di pochi metri. I sistemi attualmente più utilizzati sono il sistema statunitense GPS e il sistema russo GLONASS. Il sistema europeo Galileo, concepito per usi civili, consente un'accuratezza inferiore ai 10 centimetri nel posizionamento. Questo sistema non è soggetto alle limitazioni o alle interruzioni dovute a scopi militari.

Orientamento in mare 1

- Per una storia dell'orientamento in mare fin dalle prime civiltà, dobbiamo dire che tutto era basato sull'osservazione degli astri nel cielo, oppure, come, ad esempio si comportavano i Polinesiani, seguendo i movimenti del mare e delle correnti marine.
- Il loro materiale "scrittoria" consisteva in bastoncini di legno e conchiglie.

Orientamento in mare 2

- I marinai, a cominciare da alcuni secoli a.C., utilizzavano i peripli (dal lat. *perīplus*, gr. *περίπλους*), che in realtà descrivevano, come la parola indica, la circumnavigazione di una terra emersa.
- Uno dei più antichi peripli è il Periplo di Annone del V sec. A.C., scritto in punico, di cui abbiamo la traduzione in greco. Secondo la tradizione, Annone oltrepassò le Colonne d'Ercole e fondò centri libofenici lungo le coste dell'Africa occidentale.
- Una precedente altra navigazione fu, secondo la tradizione, quella organizzata dal faraone Necho II (VI sec. a.C.). Secondo Erodoto (II, 159), Necho II inviò una spedizione, che in tre anni navigò dal Mar Rosso intorno all'Africa fino allo Stretto di Gibilterra e ritornò in Egitto. Gli antichi furono colpiti dalla diversa posizione del sole nell'emisfero australe (a nord e non a sud). Si suppone che la navigazione seguita nei peripli fosse costiera: quella che venne poi definita di cabotaggio. La parola secondo alcuni deriverebbe dal navigatore italiano Giovanni Caboto, e secondo altri dal temine spagnolo *cabo*, capo in spagnolo: cioè navigazione da capo a capo, evitando la pericolosa traversata in mare aperto.
- I peripli probabilmente avevano la funzione di carte

nautiche e di portolani, essendo le prime dei disegni di tratti marittimi racchiusi da coste, e gli altri descrizioni delle coste, con quelli che ora vengono detti punti cospicui (particolari notevoli ed evidenti della costa).

Orientamento in mare 3

- Un altro esempio è quello di Rutilio Namaziano (V sec. d.C.) che nel suo poema *de reditu suo* descrive il suo viaggio effettuato nel 416 a.C., da Portus Augusti a Luni. Durante la navigazione, descrisse il viaggio nel poema intitolato *De reditu suo* in due libri, l'uno di 664 versi e l'altro, frammentario, di 68. Il viaggio fu compiuto per mare, per evitare i pericoli di un viaggio lungo l'Aurelia, che in quel periodo era molto pericoloso.

Orientamento in mare: il Medioevo

- Con l'invenzione e l'uso della bussola in mare, la navigazione diventa meno difficile.
- Naturalmente la bussola non teneva conto della declinazione magnetica e perciò gli eventuali errori della rotta, in superfici marine non molto ampie, come il Mediterraneo, erano addebitati ai movimenti del mare e dei venti (scarroccio).

La cartografia nautica medievale

- Le carte nautiche del Medioevo erano costruite non con il sistema delle coordinate geografiche, ma con la "ragnatela" delle "corse", che partivano da alcuni centri di irradiazione nel mare, e seguivano le direzioni della rosa dei venti.
- La più nota e più antica conosciuta carta nautica è la cosiddetta Carta Pisana, del XIII secolo, conservata nella Biblioteca Nazionale dei Parigi.



Fig. 5 La carta nautica pisana

La Taoleta de marteloio

- Il sistema di navigazione del marteloio era applicato nel Mediterraneo tra il XIV e il XV secolo, prima dell'avvento della navigazione astronomica. Nel tracciare la rotta i marinai utilizzavano la direzione della bussola, la distanza (velocità \times tempo) e la Taoleta de marteloio. Il tempo era misurato con la clessidra, mentre il solcometro a barchetta veniva gettato in mare, trattenuto da una sagola con nodi alla distanza di 15,433 metri l'uno dall'altro: cioè il percorso in 30 secondi se la barca percorresse un miglio nautico ogni ora. Ogni nodo nei trenta secondi della clessidra corrispondeva a una velocità di un miglio nautico all'ora. Per questo motivo l'unità di misura della velocità nautica è chiamata "nodo".

- I marinai tacciavano la traversata tra due diversi percorsi di navigazione risolvendo i triangoli con l'aiuto della Toleta e della trigonometria. Pare che Cristoforo Colombo abbia utilizzato questo sistema nei suoi viaggi (Osvaldo Baldacci).

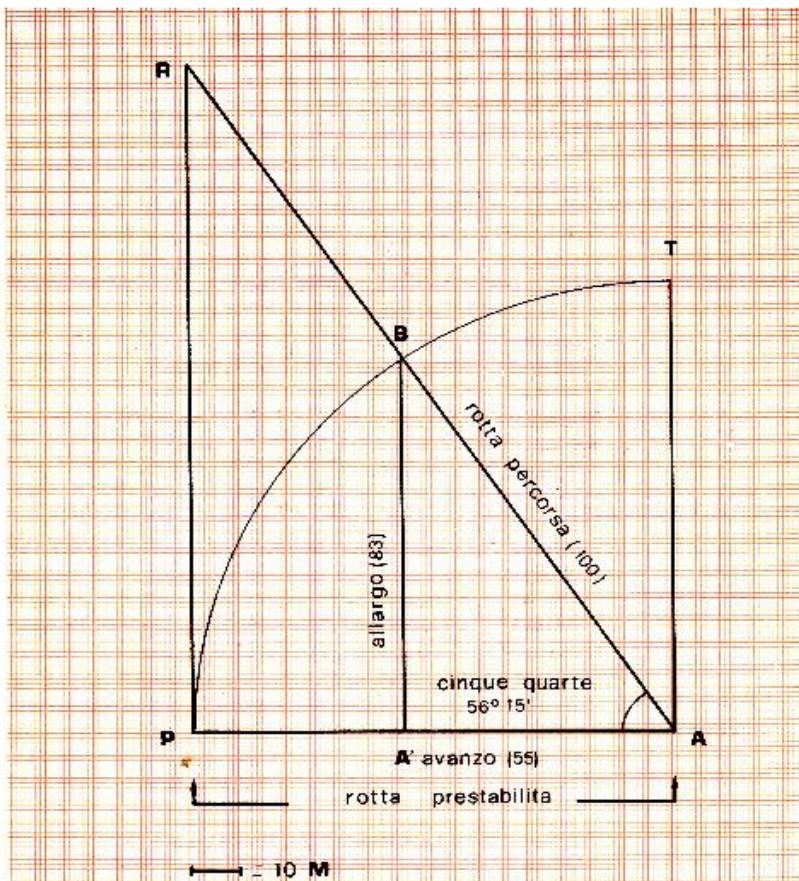


Fig. 6 Uso della Taoleta de Marteloio

La Taoleta in navigazione

- Nel commento alla il Baldacci scrive: "Nella figura.. è indicata con AP la rotta prestabilita che la nave dovrebbe percorrere per giungere al porto P, e corrispondente a una lunghezza convenzionale di 100 unità di misura (Miglia, Leghe...)... (ma la nave) è costretta dal vento a percorrere una rotta AB, formando un angolo PAB, parti a cinque quarte. Al termine delle cento miglia preventivate la nave si trova nel

punto B, dal momento che $AP=AB$, essendo raggi di una stessa circonferenza. Ma quando la nave è giunta nel punto B di quanto si è distanziata o allargata (dove "allargo") dalla rotta prestabilita? La taoleta dà l'allargo, che in questo caso è pari a 83 unità di misura considerata. Miglia. È evidente che se ho percorso su AB una decima parte (10 M, o 10 L...), divido 83 per 10 ; se la quinta parte divido per cinque ... Proporzionalmente aumenta o diminuisce l'allargo . Quando sono giunto nel punto B (avendo percorso 100 M), di quanto teoricamente è andata avanti la nave (dove "avanzo") rispetto alla rotta prestabilita? Il valore che leggo (55 M) mi dà immediatamente il risultato. Questo può essere elaborato ... con multipli e sottomultipli , a seconda della esigenza. La taoleta, pertanto, dà valori assoluti (in relazione a 100 M) dell'allargo e dell'avanzo, che, riportati opportunamente sulla carta nautica indicano il punto nave. La taoleta dà anche il ritorno (=12)" ... con valore applicativo di costante matematica ... Il ritorno è indicato nella figura dal segmento BR, la lunghezza del quale si ottiene moltiplicando il "ritorno" per l' "avanzo di ritorno", e cioè – nella fattispecie - la costante 12 moltiplicata per la costante 6,5 = 78 M (BR). La nave sarà nel punto R dopo aver percorso altre 78 M a partire da B, e quindi per un totale di 178 M (AR) . Tale punto R – allora erroneamente ritenuto sul meridiano di P – consente alla nave, con rotta da nord a sud, di giungere finalmente nel punto P desiderato. Ma quante miglia in direzione nord sud bisogna percorrere? La taoleta consente il calcolo che segue: 178 M (AR) diviso per 12, uguale 148 M" (O. Baldacci, 1985).

Mentre nel Medioevo non si faceva distinzione tra carta nautica e portolano, perché carta e portolano venivano accomunate dal titolo complessivo di carta portolanica. Oggi le

carte nautiche e i portolani sono due supporti alla navigazione: le prime sono carte geografiche a grande scala, i secondi sono descrizioni delle coste, che vengono aggiornate continuamente, anche mediante la radio.

La navigazione astronomica

- Mentre durante il Medioevo, la navigazione, nel Mediterraneo, si basava essenzialmente sulla bussola e sui venti, nell'età moderna vennero maggiormente utilizzati gli strumenti ottici, come il sestante, per calcolare l'altezza degli astri, e le effemeridi, alle quali ho già fatto cenno.

Il calcolo astronomico delle coordinate

- Se conosciamo le coordinate equatoriali di un astro (stelle, sole, luna, pianeti), le sue coordinate alto-azimutali in un certo istante e il tempo, possiamo ricavare le coordinate geografiche del luogo.

- Si misura l'altezza di più astri e il tempo dal meridiano 0 di Greenwich mediante il sestante e il cronometro marino, con il metodo dei cerchi di altezza. Il cerchio di altezza è il luogo dei punti dai quali gli osservatori misurano l'altezza di uno o più astri. Nel caso di tre astri con i rispettivi cerchi di altezza, ciascun osservatore si troverà nel punto d'incontro dei tre cerchi suddetti.

Il carteggio

- Il carteggio è il sistema di tracciamento della rotta mediante le carte nautiche della zona di mare che si intende attraversare.

- La carta nautica è in proiezione di Mercatore, per consentire il tracciamento della rotta in linea retta (lossodromia). Sulla carta latitudini e longitudini sono indicate ai margini in valori di gradi, primi e decimi (non secondi).

- Sulla carta nautica sono disegnati alcune bussole, con la indicazione della declinazione magnetica in un dato anno e le sue variazioni annuali.
- Sulla carta viene tracciato su paralleli e meridiani il punto nave; viene misurato l'angolo tra il meridiano e la direzione della rotta prestabilita; la misura dell'angolo tra il piano longitudinale della nave e le direzioni verso due punti cospicui sulla costa.
- Sono necessari per questa operazione: Carta nautica dell'area; bussola magnetica; compasso nautico a due punte; squadre nautiche; matita; elenco dei fari e fanali; tabella delle deviazioni magnetiche.
- Nel tracciare la rotta e determinare il tempo di arrivo, è necessario conoscere le condizioni meteomarine.
- Oggi la carteggio classico è sostituito dalla cartografia digitale GPS.

Referenze

Osvaldo Baldacci, *Una taoleta de marteloio fatta da Cristoforo Colombo*, in Pubblicazioni dell'Istituto di Geografia, Serie B (Geostorica) N. 8, Università di Roma "La Sapienza", Facoltà di Lettere e Filosofia, Roma 1985, p. 12 sg. Carte nautiche e portolani

Sergio Giudici, *Fare il punto. Una storia a ritroso della localizzazione da Tolomeo al GPS*, Mondadori Milano 2017.

Il solstizio invernale nello stile di Niccolò Cusano

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma*)

Submitted February 9th 2020, accepted Feb 12th *prof.sigismondi@icra.it*

Abstract A meridian line out of the window allowed to know the date of winter solstice 2020 from six dates in November and February in which the shadow at the meridian passage was identical. The method of Niccolò Cusano to measure the winter solstice in Andraz Castle is also recalled.

Sommario Allestita una meridiana sul davanzale con un libro, un righello, una matita e un orologio, ho calcolato l'istante del solstizio invernale 2020 da sei osservazioni dell'ombra meridiana a Novembre e a Febbraio, simile a come Niccolò Cusano fece questa misura al Castello di Andraz nel 1460.

Meridiana sul davanzale La costruzione di una linea meridiana presuppone la conoscenza, per una data posizione, dell'istante del passaggio meridiano del Sole, se non si ha la possibilità di vedere il Sole da mattina a sera da quel punto, nel qual caso si può usare il metodo di Vitruvio: fissa un palo verticale e fai un cerchio centrato nella sua base, l'ombra al mattino entra nel cerchio e al pomeriggio ne esce individuando due punti, uniscili, e unisci il punto medio tra i due con la base del palo, avrai la linea meridiana. Le effemeridi per il passaggio meridiano del Sole sul mio davanzale si ottengono con Stellarium 0.20.2 con le coordinate del proprio sito, quando l'azimut del Sole vale $180^{\circ}00'00''$: quello è l'istante del transito meridiano.

A quell'istante ho tracciato con la riga e la matita una linea sull'ombra gettata dal bordo di un libro, che ho sistemato in una posizione ben precisa, ossia quando lo rimetto in quel punto quella posizione è sempre la stessa.

Osservazioni In varie giornate ho utilizzato questa meridiana, a partire dal 2 Novembre 2020 quando la ho installata, allora il transito meridiano avveniva alle 11:53. Al momento di scrivere questo articolo, prima decade di Febbraio, il transito avviene alle 12:24. La meridiana consente di apprezzare molto bene le variazioni dell'Equazione del Tempo, per cui il mezzogiorno locale in questi 100 giorni è cambiato di oltre mezz'ora. Il bordo del libro produce un'ombra che è sfumata nella penombra, rispetto all'immagine stenopeica del Sole in camera oscura (come quella della Meridiana di santa Maria degli Angeli) si tratta di un **effetto asimmetrico**.

L'obelisco (come quello di san Pietro) produce un'ombra simmetrica e questo permette una lettura più accurata sulla linea meridiana che sta sulla piazza. Quindi non dobbiamo aspettarci un risultato estremamente preciso dalle misure fatte con la "meridiana a libro" ossia che usa il libro al posto dell'obelisco, purtuttavia vedremo che la differenza tra il solstizio valutato con questa meridiana e quello con una più accurata non è molta e lo scostamento dal valore esatto dipende più dalla forma dell'orbita della Terra e la data del perielio.

Dati sperimentali

La lunghezza dell'ombra meridiana è stata presa il 3 novembre 2020, giorno di pieno Sole, pari a 443.5 mm, e poi l'8 febbraio 2021 pari a 444 mm tra una nube e l'altra. Altri dati disponibili per fare un'interpolazione lineare sono il 6 nov 461.5 mm e il 9 feb 434 mm, 11 feb 425 mm e 12 feb 419 mm. Per novembre l'ora era sempre le 11:53:45 e per febbraio le 12:24:20 perché l'istante è stazionario in quelle date.

Calcolo del solstizio invernale

È utile trasformare le date in giorni giuliani con questi calcolatori <http://www.archaeoastronomy.it/Calcolo%20JD/JD.html> online perché date col Sole alla stessa altezza meridiana le assumiamo simmetriche rispetto al solstizio (assumiamo che l'orbita sia circolare uniforme). L'algoritmo con due soli dati è la media: es. 3 Novembre e 8 Febbraio a mezzodi, danno 22 dicembre a mezzanotte. Con due dati per parte invece si può fare un'interpolazione/estrapolazione:

data	JD	ombra	JD cal	Data	JD	ombra	JD cal
3 Nov	156.95	443,5	254.03	8 Feb	253.98	444	157.04
6 Nov	159.95	461,5	252.23	9 Feb	254.98	434	155.37

Tabella 1. JD sono le ultime tre cifre del giorno giuliano. JD cal i valori calcolati (interpolati linearmente o estrapolati linearmente, cioè con le "proporzioni") perché le ombre di Nov e di Feb fossero rispettivamente uguali. I dati verdi comportano uno "spostamento dal dato osservato" minimo 0.5 mm da 443.5 a 444 mm.

Le medie incrociate di questi dati calcolati con quelli interpolati-estrapolati (verde a 2 ore di distanza, rosso a 38-42 ore di distanza)

danno 4 valori che mediati tra loro danno $JD=205.56\pm 0.38$

22 dicembre ore 2:32 TMEC ± 9.2 h.

Le effemeridi di IMCCE danno il solstizio alle 11:02 TMEC del 21 dicembre 15.5 ore prima. I soli dati verdi portano al 22 dicembre ore 00:56, comunque 14 ore dopo il solstizio vero.

Discussione sui risultati Vediamo subito che la deviazione standard di tutti i dati, pari a 9 ore e 10 min, ci indicherebbe che questa è l'incertezza che abbiamo sul risultato, conseguente dall'accuratezza sui nostri dati e sul nostro strumento (che è mobile, quindi soggetto a errori casuali di calibrazione). Ma abbiamo anche il risultato esatto, che differisce dal nostro di $15.5/9.2=1.7$ cioè quasi 2 volte la deviazione standard. Significa che c'è di più di un errore casuale di lettura che ci fa ottenere un risultato diverso: quello casuale di zero.

Errore del modello: l'effetto Cusano

La risposta sta proprio nel modello che implicitamente abbiamo assunto di orbita terrestre circolare uniforme.

La Terra ruota attorno al Sole su un'orbita ellittica il cui perielio è capitato il 2 gennaio 2021 alle 14:50 TMEC, cioè dopo il solstizio d'inverno, rendendo più veloce la risalita verso le declinazioni più primaverili rispetto alla discesa.

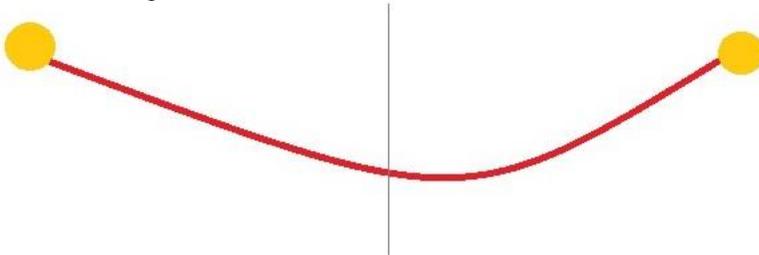


Fig. 1 Il minimo è raggiunto più lentamente mentre la stessa altezza meridiana di partenza è raggiunta più velocemente grazie al perielio. Il punto medio cade prima del vero solstizio d'inverno.

Questa differenza è sistematica e cresce con l'aumentare della distanza tra le due date estremali. Lo chiamiamo, per le considerazioni che seguono dopo, *Effetto Cusano*.

Col punto medio troviamo, invece, un istante dopo il solstizio, segno che l'errore massimo (o la deviazione standard) stimato sulla media

delle medie non tiene conto di tutte le incertezze della nostra misura. La differenza di 15 ore dal valore esatto è più realistica come incertezza del calcolo del solstizio con uno strumento così piccolo.

Teoria degli errori in Fisica

La parola errore subito presenta una connotazione morale, ma in Fisica dobbiamo intenderla più come incertezza di misura che produce un'incertezza nel risultato. Chiarito il senso non posso andare contro a secoli di utilizzo di una parola, sforzandomi di parlare di incertezze, per cui uso il termine "errore" nelle sue varie definizioni. **Errore statistico:** la deviazione standard di un insieme di dati, è computata attorno alla media, viene anche detto "momento di ordine 2" di un insieme di dati, dove quello di "ordine 1" è la media, e quello di ordine 3 lo "skew". Sono raffinatezze per cui sono state aperte delle facoltà universitarie apposta. **Errore massimo:** questo è l'approssimazione più semplice del precedente, si ottiene calcolando la semi-differenza tra valore massimo e valore minimo di una grandezza. $E_{max} = (Max - Min) / 2$. Tutti lo possono capire e calcolare.

Errore sistematico: normalmente è anche l'errore di "zero" di uno strumento, sistematicamente, cioè sempre, c'è lo stesso difetto di partenza. Una bilancia che ha lo zero starato, che "pesa" 1 kg in più...

Errore casuale di lettura: se misuro al meglio di ± 0.5 mm (**sensibilità** dello strumento) la lunghezza dell'ombra una volta posso farlo per eccesso, un'altra per difetto. È un errore casuale e l'eccesso o il difetto non dipendono da circostanze definite. Nel momento in cui le identificassimo non sarebbe più un errore casuale, ma avrebbe una causa, di cui tenere sempre conto. L'errore casuale e la sensibilità di uno strumento spesso coincidono, perché si cerca sempre di misurare con la massima precisione: es. non uso un bilancino al mg per poi arrotondare al kg. **Errore casuale meteo:** le nubi riducono il contrasto dell'ombra ed il suo limite è incerto anche di ± 2 mm.

Errore causale di zero: è il caso di introdurlo per la nostra meridiana volante: lo zero può cambiare da una misura all'altra con la posizione del libro che fa ombra. Il libro non viene incastrato esattamente allo stesso punto, ma entro ± 1 mm, non intenzionale. Si riduce creando uno strumento fisso. Niccolò Cusano lo fece, come

anche Francesco Bianchini con lo Gnomone Clementino (1702) che sta nella Basilica di s. Maria degli Angeli, le cui mura risalgono a Diocleziano (305) e non hanno più movimenti di assestamento neppure a livello del millimetro su molte decine di metri.

Confronto con dati analoghi presi allo Gnomone Clementino

I dati che ho a disposizione per lo Gnomone Clementino sono quelli ottenuti dallo studio degli ingressi nei segni del Sagittario e dell'Acquario che sono simmetrici rispetto al solstizio in Capricorno. SGR 21 nov h 21:30 AQR 19 gen h 21:40, la media tra queste due date rende il 21 dicembre alle 9:40 TMEC, 1h 22 min di anticipo sul vero solstizio. Questi dati, già interpolati, sono molto accurati e in accordo con le effemeridi, eppure hanno prodotto un risultato finale distante 82 minuti dal valore esatto, ciò lo dobbiamo solo al fatto che l'orbita della Terra è ellittica. Questi 82 minuti in anticipo sul valore vero del solstizio, misurati tra i segni del Sagittario SGR e dell'Acquario AQR sono dovuti all'effetto Cusano.

La combinazione *in quadratura* dei vari errori casuali porta ad un errore complessivo (lettura, zero, meteo) su una singola misura di ombra pari a $\sqrt{(1^2+1^2+2^2)}=\pm 2.5$ mm. Con l'ombra che cambia di 5.9 mm/dì queste sono $\sigma=10$ ore di incertezza per ogni misura.

La somma delle due date (Nov+Feb) ha un'incertezza $\sqrt{(\sigma^2 + \sigma^2)}=14h$ e la media, che è dividere per 2, ha 7h di incertezza calcolata. Ne abbiamo constatate circa il doppio, 14h includendo l'effetto Cusano.

Dal confronto con le effemeridi del solstizio scopriamo che la nostra meridiana volante col libro consente una precisione di una decina di ore sulla valutazione del solstizio. Comunque le medie di due date distanti 100 giorni tra loro include l'approssimazione di orbita circolare della Terra che induce ad una differenza sistematica tra solstizio vero e solstizio calcolato che cresce con la distanza tra le date delle due osservazioni.

Le interpolazioni (verde) – e soprattutto le estrapolazioni segnate in rosso- fatte su dati osservativi propagano gli errori fatte sulle singole osservazioni.

Criterio di Chauvenet, e selezione dei dati

Noi conosciamo già l'istante esatto del solstizio invernale 2020,

quindi possiamo stimare l'errore di questo metodo con questa meridiana volante a partire dal dato esatto. Ma possiamo anche vedere cosa accadrebbe selezionando i dati in basi al procedimento.

Facciamo il caso dei soli dati del 3 Nov 443.5 mm e 8 Feb 444 mm: sono quasi uguali, li considero tali e ottengo 22 Dic h 0 come media, 13 ore dopo il valore esatto e circa 15 dopo l'istante che si otterrebbe da dati precisi. Passando alle interpolazioni abbiamo le ombre del 3 Nov e del 6 Nov 443.5 e 461.5 tra le quali cade, ma molto vicino al dato del 3 Nov l'ombra di 444 mm dell'8 febbraio. L'interpolazione lineare qui funziona bene perché non vado ad estendere troppo lontano dai punti di partenza il risultato. Le due medie della prima riga della tabella 1 portano come risultato $JD=204.4977\pm 0.012$ che è il 22 dic h 00:56 14 ore dopo. Invece l'ombra del 9 febbraio 434 mm cade fuori dall'intervallo 443.5-461.5 ma non troppo lontano, e anche l'ombra del 6 novembre 461.5 cade fuori dall'intervallo 434-444 di febbraio. Quindi le estrapolazioni saranno da prendere con le pinze, infatti le due medie vengono 205.17 e 206.09 molto più distanti delle precedenti. Il criterio di Chauvenet, un po' "ad hoc" le scarterebbe entrambe. Applicando questo criterio resteremmo con i soli dati della prima riga, e avremmo una incertezza di 17 minuti e la data del solstizio al 22 dicembre ore 00:56, che però è più grande di 14 ore del vero. Ci troveremmo a dover spiegare come mai la differenza con il valore vero è quasi 50 volte l'incertezza del metodo... C'è un errore casuale di calibrazione e uno dovuto al meteo (che influenza il contrasto dell'ombra e quindi le sue misure) che influenzano tanto i calcoli finali. Basti pensare che 0.5 mm di differenza nella lunghezza dell'ombra spostata di 1 ora il risultato calcolo del solstizio.

Niccolò Cusano e il solstizio d'Inverno nel Castello di Andraz

Rispetto alla nostra meridiana volante il cardinale scienziato Niccolò Cusano fece un foro permanente nel muro a Sud-Sud Ovest di una stanza del Castello. Verso le 15 il Sole in una certa data di Novembre passa nel buco e illumina la parete opposta per alcuni minuti. Il fenomeno si ripete tutti i giorni fino alla data simmetrica di Febbraio. Cusano valutò l'istante del solstizio esattamente a metà tra le due date, e trovò 12-13 dicembre, perché all'epoca (1460) mancavano

ancora 122 anni alla riforma Gregoriana, che lo riportò al 21 dicembre.

Probabilmente Cusano trovò proprio il solstizio il 12 dicembre, per l'effetto che porta il suo nome, in luogo del 13. La misura, che è stata ipotizzata da Giuseppe De Donà nel 2010, non fu mai pubblicata da Cusano per la sua morte avvenuta a Todi nel 1464, durante uno dei suoi numerosi viaggi, ma l'ipotesi che quel foro avesse questo scopo è estremamente realistica.

Il cammino verso la riforma del calendario era ancora lungo. Sisto IV chiamò a Roma il Regiomontano, valente astronomo tedesco, proprio per la riforma del Calendario, ma Johannes Mueller vi trovò la morte il 6 luglio 1476 a soli 40 anni, un secolo intero prima della riforma...

Il solstizio invernale del tempo di Cusano cadeva proprio nella data del proverbio "Santa Lucia, il giorno più corto che ci sia" che ancora è conosciuto, ma che ha origine (e pure termine) circa seicento anni fa, quando viveva Cusano (Nicolaus de Kues, Nicola di Cusa, città tedesca sulla Mosella 150 km a Sud di Colonia).

Scheda Esperimento: Materiale: libro, riga, matita, orologio, Sole. Dati: data (giorno mese anno ora minuto secondo) e lunghezza ombra (mm) Algoritmi da usare: interpolazione ed estrapolazione lineare Modelli: orbita circolare della Terra attorno al Sole Incertezze di misura: ombra (± 1 mm) Data (± 1 s) Risultati dell'esperimento: Solstizio (+15.5 ore) Eccentricità dell'Orbita Terrestre (da valutare)



Fig. 2 Tomba di Niccolò Cusano (1401-1461) nella Basilica di san Pietro in Vincoli a Roma. A sinistra il Cardinale inginocchiato e con il cappello cardinalizio a terra, prega san Pietro con le chiavi e la catena conservata in quella chiesa, sorretta da un angelo.

Versione semplificata per excel: "data" al posto del giorno giuliano

Il Giorno Giuliano proposto nel 1582 da Giuseppe Scaligero al tempo della riforma Gregoriana è contato dal primo "zero" dei multipli di 15, 19 e 28 anni. 15 è l'indizione e la troviamo nelle date antiche, anche nell'epitaffio di Gerberto in Laterano (anno 1003 indizione I). 19 è il ciclo di Metone in capo al quale la Luna torna nella stessa fase lo stesso giorno dell'anno. 28 anni è il ciclo per cui lo stesso giorno della settimana è certamente nella stessa data. Questi ultimi due cicli legati alla data dell'anno funzionano sempre nel calendario Giuliano, mentre levando 3 anni bisestili ogni 400 anni la riforma Gregoriana li rende imprecisi. Noi che viviamo a cavallo del 2000 non ci accorgiamo della riforma Gregoriana perché il 2000 è stato bisestile, mentre non sono bisestili tutti gli anni secolari non divisibili per 400. Nella tabella 1 ho preso solo le ultime 3 cifre della data Giuliana JD,

ma con excel, molto più prosaicamente si usa la funzione data che trasforma la data nel numero dei giorni trascorsi dallo zero (!) gennaio 1900=0. Secondo excel è esistito il 29 febbraio 1900, e sarebbe la data 60... a parte questo errore storico, per lo scopo che ci serve excel va bene. Scrivo la data e ottengo un numero. Faccio la media tra due date come se fossero numeri... per excel il ventesimo secolo è durato 36525 giorni (valore per il 31/12/1999). Nella figura che segue c'è la trasformazione di date e in numeri dal 1900.0 (tolto 44000) e le lunghezze delle ombre.

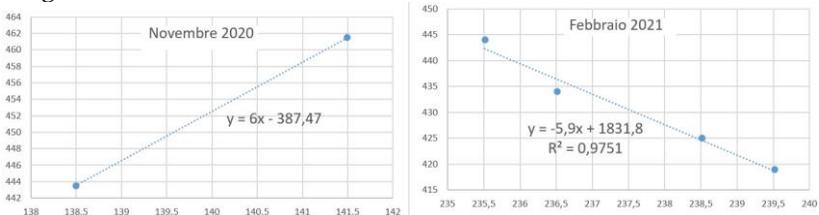


Fig. 3 La velocità di crescita dell'ombra a Novembre e Febbraio vale tra 5.9 e 6 mm/dì, il coefficiente angolare delle rette di fit.

Prendendo lo scarto massimo tra la retta di fit di Febbraio e i singoli punti abbiamo l'ampiezza delle errore casuale ± 1.5 mm sulla misurazione della lunghezza dell'ombra dalla base (un po' mobile) del libro. Conoscendo la velocità giornaliera di 6 mm/dì questo errore casuale corrisponde a ± 6 h.

Somma in quadratura degli errori

Lo stesso errore, essendo lo stesso esperimento, è capitato anche a Novembre, dove però ho solo due dati. Quindi abbiamo ± 1.5 mm a Novembre e ± 1.5 mm a Febbraio, o anche ± 6 h in entrambi i lati. Qual è l'effetto combinato delle due incertezze causali? Si sommano in quadratura così $\sqrt{(6^2+6^2)}=8.5$ h: la somma tra i due istanti è definita con un'incertezza di ± 8.5 h, e la media quindi di ± 4.25 h, perché divido per due la somma e anche l'errore.

Conclusioni

L'effetto Cusano nei nostri dati non si è visto, ma grazie alla sua conoscenza abbiamo approfondito la questione degli errori di misura, arrivando a capire che l'errore casuale sulla determinazione del Solstizio da due misure con cielo sereno è anche di ± 4.25 h, e

diventa superiore se la giornata non è serena, perché il cielo diventa più luminoso e tende a rendere più difficoltosa e difettosa l'identificazione del bordo dell'ombra.

Quindi il primo risultato, quello della media tra 3 Nov e 8 Feb entrambi a mezzodì, che dà 22 Dic a mezzanotte, è affetto da un errore casuale di circa 12 ore, dovuto sia alle diverse posizioni di zero dello strumento, sia alle diverse condizioni atmosferiche.

Questo procedimento per calibrare bene la meridiana volante a libro, lo potremo applicare per una meridiana esterna permanente sul campo di calcetto, o addirittura per le letture alla meridiana di piazza s. Pietro con l'obelisco Vaticano.



Fig. 4 il libro è sostituito dalla palestra del Liceo Morgani, il davanzale dal campo di calcetto dell'ITIS Galileo Ferraris a Roma. Foto post meridiano del 12 febbraio 2021 con la linea meridiana simulata.



Fig. 5 Lo spigolo della Palestra del Morgagni è lo gnomone, e la sua ombra descrive un'iperbole sul campo di calcetto. Questa foto è al passaggio meridiano del 15 Febbraio 2021.



Fig. 6 Gli studenti alle prese con le misure antimeridiane il 15/2.



Fig. 7 Percorso dell'ombra ogni quarto d'ora: si verifica il rallentamento progressivo della velocità dell'ombra.

Referenze

- G. De Donà, *Gerbertus 1*, 251 (2010)
- C. Sigismondi, [Filmato Una meridiana sul davanzale \(2 Nov 2020\)](#)
- C. Sigismondi, [Filmato del Transito del 3 novembre 2020](#)
- C. Sigismondi, [Filmato del Transito del 6 novembre 2020](#)
- C. Sigismondi, [Filmato del Transito dell' 8 febbraio 2021](#)
- C. Sigismondi, [Filmato del Transito del 9 febbraio 2021](#)
- C. Sigismondi, [Filmato del Transito dell'11 febbraio 2021](#)
- C. Sigismondi, [Foto del transito del 12 febbraio 2021](#)

Tracciamento della linea meridiana

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 5th 2021, accepted March 6th

Abstract The method used to trace the meridian line in the soccer field is here described. Meridian transit instant: ephemerides from Stellarium 0.20.2 calculated for the Sun at azimuth 180° for the geographical coordinates of the place (obtained with google maps). The meridian line orientation has been recovered by tracing the shadow's edges of the gnomon at the meridian transit from 15 February to 3 March. The height of the gnomon is obtained on the 100 inches of difference between 15 Feb and 3 Mar meridian distances. The positions of all zodiacal signs by solving the equation $\text{sen}\delta = \text{sen}\epsilon \cdot \cos\lambda$ for $\lambda = 0^\circ \pm 30^\circ \pm 60^\circ$, transforming into meridian height for that place $h = \delta + \text{colatitude} + \text{solar radius}$, and using the height corrected by atmospheric refraction $h' = h + 60'' \tan(90 - h)$. The addition of the solar radius accounts for the type of gnomon, which exploits the shadow of a building, which starts from the upper limb of the Sun.

Sommario La meridiana è tracciata collegando i punti meridiani del bordo dell'ombra dal 15 Febbraio 2021 al 3 marzo, punti per cui gli istanti di passaggio del Sole al meridiano sono stati calcolati con Stellarium 0.20.2, ed è prolungata fino ai due solstizi risolvendo l'equazione $\text{sen}\delta = \text{sen}\epsilon \cdot \cos\lambda$ per $\lambda = 0^\circ \pm 30^\circ \pm 60^\circ$, calcolando le altezze meridiane per il luogo $h = \delta + \text{colatitudine} + \text{raggio solare}$, e correggendo per la rifrazione cassiniana $h' = h + 60'' \tan(90 - h)$. L'aggiunta del raggio solare tiene conto del tipo di gnomone, che sfrutta l'ombra di un edificio, che è allineata col lembo superiore del Sole.

Introduzione: altezza dello gnomone e triangoli rettangoli

Questa meridiana è in piano, su un campo da calcio, e bisogna conoscere l'altezza dello gnomone e la posizione del piede della sua perpendicolare sul piano della meridiana. Abbiamo misurato la posizione di 10 transiti meridiani tra il 15 Feb (F) e il 3 Mar (M) 2021 e il segmento meridiano FM ci consente di calcolare l'altezza GH dello gnomone con una buona precisione ± 8 cm (usando più dati). $FM = 254$ cm e l'angolo $FGM = 5^\circ 52'$, $GH = 969 \pm 8$ cm.



Il piede dello gnomone risulta poi all'interno del muro di cinta di 34 cm. Per cui a tutte le distanze calcolate dal piede dello gnomone vanno sottratti questi 34 cm, nel tracciamento.

Soluzione dell'equazione meridiana per i segni zodiacali

Occorre calcolare l'altezza meridiana corrispondente alle declinazioni dei 12 segni zodiacali, con l'obliquità dell'eclittica pari a 23°26.2' (anno 2021). L'ingresso dei segni zodiacali corrispondono alla posizione del Sole con longitudine eclitticale $\lambda=0^\circ\pm30^\circ\pm60^\circ\pm90^\circ$ e declinazione $\delta \mid \text{sen}\delta=\text{sen}\varepsilon\cdot\text{cos}\lambda$. Poiché nella nostra meridiana misuriamo l'ombra, bisogna aggiungere all'altezza meridiana del Sole il raggio solare, per considerarne il lembo superiore. Infine la correzione di Cassini $h'=h+60''\tan(90-h)$ per l'atmosfera, che sposta di +2-3 cm i segni d'autunno e inverno. Tabella: PC= Parti Centesime dell'altezza.

PC segni zodiacali		Distanze metriche [cm]		dal muro di cinta [cm]	
88,8	♈♉	867,0	h=976.6	833,0	0=-34cm
58,0	♊♋	566,8	1298,9	532,8	1264,9
39,3	♌♍	383,9	1816,0	349,9	1782,0
32,8	♎♏	320,5	2095,6	286,5	2061,6



Fig. 2 La posizione dei Pesci-Scorpio (misurata il 18 febbraio 2021 h 12:24) a 12.65 m dal muro fissa l'altezza dello gnomone a 976.6 cm.

L'equinozio e le parabole osculatrici

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 4th 2021, accepted March 5th, updated April 16th

Abstract The parabolae fit the solar daily hyperbolae. Obtained by drawing the umbra profile of the gnomon during the mornings from 15 February to 13 April 2021, on the soccer field of Galileo Ferraris school in Rome, they have their aperture's coefficients going to zero along a linear fit, with the zero on 20 March at 1:42 h TMEC, 9 hours before the true equinox.

Sommario I fit parabolici delle iperboli solari, ottenute segnando a terra l'ombra dello gnomone sul campo da calcetto della scuola G. Ferraris di Roma, hanno i coefficienti di apertura che decrescono linearmente dal 15 feb al 13 apr 2021, con zero il 20 mar h 1:42, 9 ore prima dell'equinozio.

Introduzione Il percorso giornaliero del limite dell'ombra di uno gnomone solare, su un piano, è un ramo d'iperbole, eccezion fatta per i giorni degli equinozi, in cui è una retta. Il piano può avere qualsiasi inclinazione, ma quello orizzontale, rispetto allo gnomone verticale, offre la possibilità di avere una geometria simmetrica rispetto alla linea meridiana (Fig. 1)

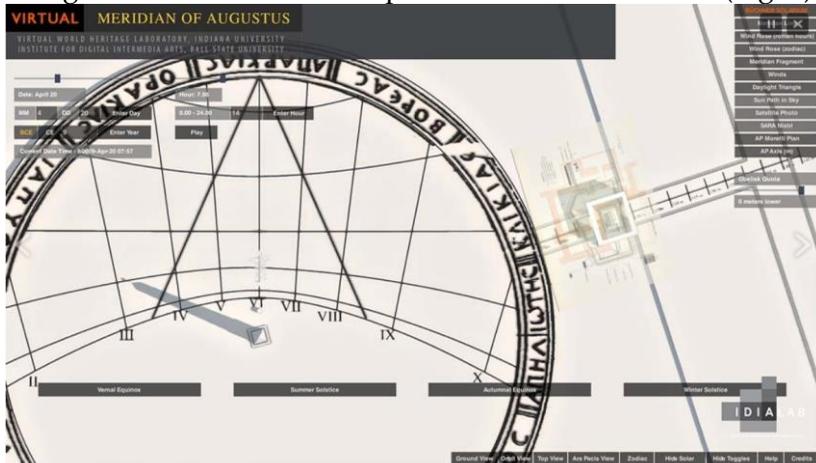


Fig. 1 Schema della meridiana di Augusto al Campo Marzio.

Lo **Gnomone** è l'insieme meridiana+oggetto che produce l'ombra, che per noi è lo spigolo della palestra del Morgagni.

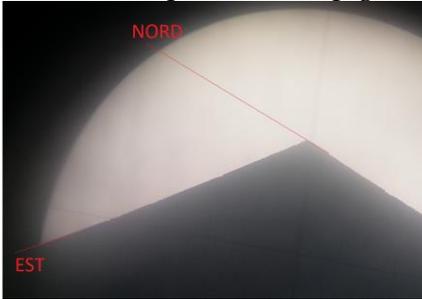


Fig. 2 Spigolo-gnomone foto al telescopio 25x. Questo edificio produce l'ombra sul campo da calcetto, e misuriamo la posizione dell'ombra dello spigolo, segnando col gesso il suo bordo.

Misure sul campo da calcetto dell'ombra

Il campo è orientato quasi 7° rispetto al Nord-Sud. Le coordinate dei punti sono state misurate cercando il mm di precisione, allineando a occhio il metro perpendicolarmente agli assi del campo, supposti tra loro perpendicolari.

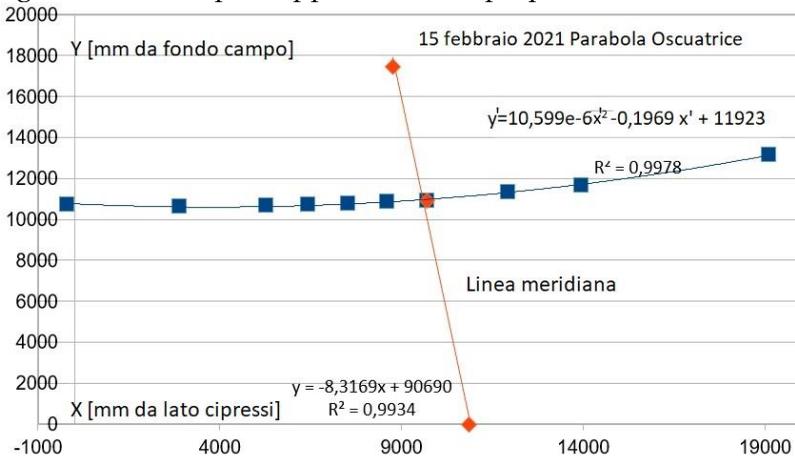


Fig. 3 Punti presi il 15 febbraio, parabola di fit con la nuova origine nel punto meridiano del giorno e linea meridiana.

Attorno ad ogni punto meridiano è stata effettuata una rotazione di -6.8594° , per poi far passare il fit parabolico attraverso i dati giornalieri (residui dal fit con rms ± 10 mm).

Ogni parabola ha un termine quadratico del tipo $y=ax^2$; il

coefficiente di apertura a più si riduce a zero più la parabola è larga e si allontana poco dall'orizzontale. Invece più a è grande, più la parabola è stretta. I coefficienti di apertura delle parabole osculatrici con asse la meridiana sono rappresentati, giorno per giorno, in Fig. 4 e seguono un andamento lineare.

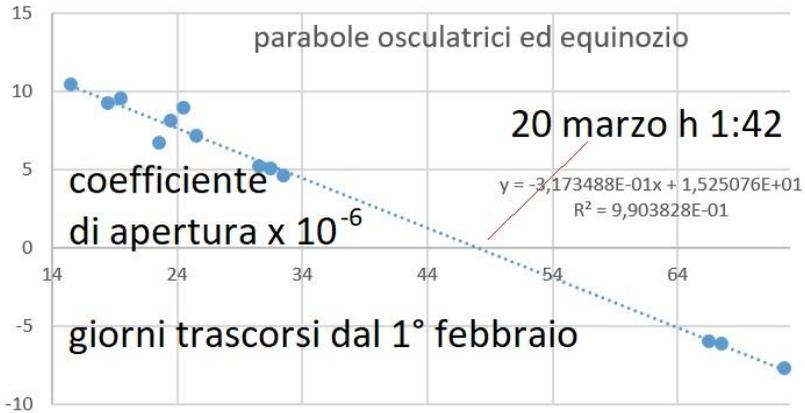


Fig. 4 Dal 15 febbraio al 13 aprile le parabole di fit si sono rovesciate il 20 marzo, 9 ore prima del vero equinozio.

Equinozio e coefficiente di apertura delle parabole osculatrici

La retta di fit per i coefficienti di apertura delle parabole osculatrici (delle iperboli) differisce di 1 ora nell'intercetta a $y=0$ con tutti i dati, quando tolgo i due dati più scostati. L'incertezza è $\sigma \sim 1$ ora sulla stima dell'istante dell'equinozio in cui si annulla la curvatura delle parabole. Le date sono intese tutte al mezzodì locale. L'equinozio vernale 2021 è il 20 marzo alle 10:37, 9 ore dopo la nostra stima basata su 13 serie di dati.

Altezza dello gnomone dai punti meridiani

L'iperbole solare raggiunge il punto più vicino allo spigolo-gnomone al momento del meridiano. Calcolando con Stellarium 0.20.2 l'istante del passaggio meridiano per ogni giorno e per la posizione geografica dello spigolo, abbiamo tracciato 10 punti meridiani dal 15 febbraio al 3 marzo, e

abbiamo calcolato il valore della tangente dell'angolo zenitale del bordo superiore del Sole, che spuntava da sopra lo spigolo e determinava il limite tra ombra e penombra sul campo.

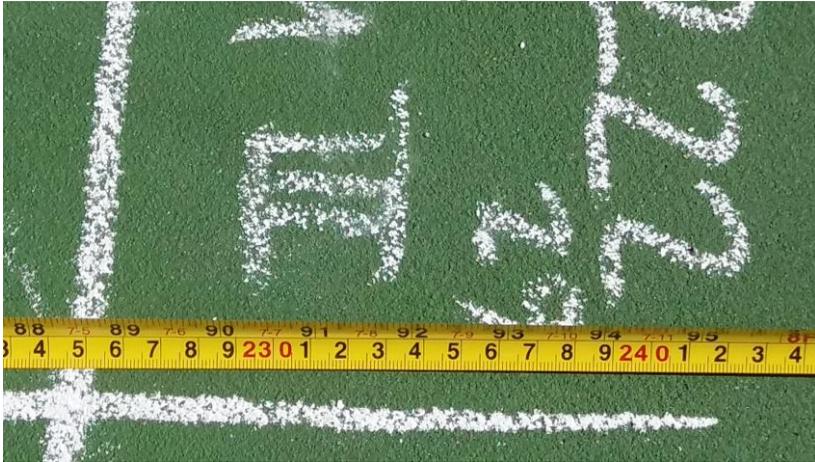


Fig. 5 Le linee d'ombra al meridiano il 1 marzo h 12:22:29 si incrociano a 2253 mm dal punto omologo del 15/2 h 12:24:00.

L'altezza dello gnomone risulta 9 m 69±8 cm. Le "parti centesime" ossia $100 \times \tan(z)$ del bordo superiore del Sole negli "anni cardines" sono –per il 2021- Equinozi 88.7 Solstizio Estivo 32.8 e Invernale 214.5, che con questa altezza gnomonica diventano Equinozi 8.59±0.07 m Estate 3.18±0.03 m Inverno 20.78±0.17m dal piede della perpendicolare, che a sua volta è "dentro il muro di cinta" di 0.34 m, da sottrarre ai valori appena scritti per tracciare le linee limite a 284, 825 e 2044 cm dal muro di cinta lungo la direzione meridiana.

Errori di misura

Lo spessore del gesso nel tracciare la linea è forse il più semplice "errore" da identificare, ma viene assorbito –a mio avviso- dal concetto di **errore soggettivo** che include la valutazione "a occhio" del punto di inizio dell'ombra geometrica. L'ombra infatti inizia dopo una fase di penombra che sul nostro campo ha un'ampiezza che va da circa 24 cm al

solstizio invernale fino a 10 cm a quello estivo e 13.5 cm agli equinozi. Noi abbiamo misurato con penombre tra 17 e 14 cm.

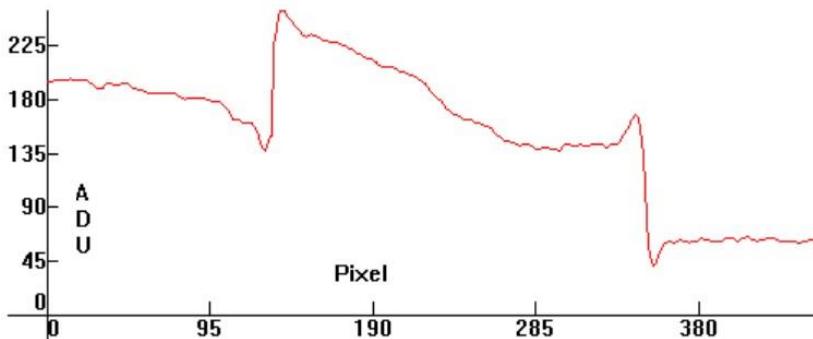


Fig. 6 La penombra sul dischetto del calcio di rigore, sotto l'istogramma di intensità luminosa ricavato con IRIS. Ai bordi del dischetto c'è un picco di luminosità dovuto al software di edge finding applicato all'immagine digitale in automatico. La penombra ha raggiunto di disco del rigore il 18 febbraio alle 10:49 e permette di vedere dimensioni e decrescita lineare.

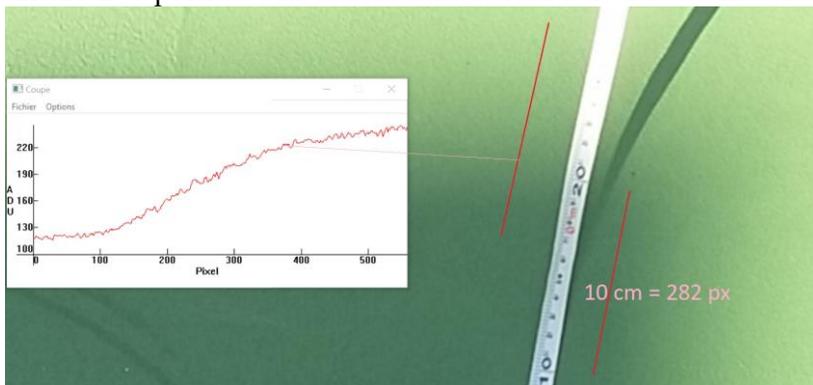


Fig. 7 Penombra con IRIS il 18 febbraio, circa 13 cm.

La consistenza delle varie misure fatte durante i giorni di osservazione, sempre dallo stesso osservatore, ha permesso una incertezza sulle misure –valutata con lo spread attorno alla media degli scarti dal fit parabolico- di una decina di millimetri. Cambiando gli osservatori ogni volta lo spread sarebbe aumentato notevolmente.



Fig. 8 Il campo al mattino del 1 marzo.

Referenze B. Fischer, J. Fillwalk, <https://idialab.org/virtual-meridian-of-augustus-presentation-at-the-vaticans-pontifical-academy-of-archeology/> (2013)

C. Sigismondi, *Lo Gnomone Clementino*, *Gerbertus* 7, 14 (2014)



Fig. 9-10-11 Foto durante le misure



IMG_20210215_142403



IMG_20210215_142425

Al centro dell'orbita solare non c'è niente

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 5th 2021, accepted March 6th

Abstract The orbit of the Sun in Ptolemy's system is circular, and the Sun moves itself with constant velocity. To account for the different duration of the four seasons the center of the orbit is shifted of $e=0.034$ times the radius from the Earth, which is then eccentric. The center of the motion is empty.

Sommario L'orbita del Sole nel sistema di Tolomeo è circolare e percorsa a velocità costante. Per rendere conto della diversa durata delle stagioni, la Terra da cui le osserviamo, deve essere spostata di $e=0.034$ volte il raggio dell'orbita dal centro del moto circolare, che resta, pertanto, vuoto.

Introduzione Eccentrici ed Epicicli

Il moto dei pianeti nella cosmogonia greca conosce epicicli ed eccentrici da diversi secoli avanti Cristo. Apollonio di Perge dimostrò all'inizio del III sec. a. C. che un moto a epiciclo è equivalente a quello circolare uniforme visto da un punto eccentrico. Il moto a epiciclo più semplice da pensare è quello che la Luna fa intorno al Sole nel nostro sistema Copernicano, solo che al posto della Terra non dovrebbe esserci nulla.

Astronomia e preposizioni greche e latine Epiciclo significa "cerchio sopra". Epi=sopra (il deferente). Perigeo significa "vicino alla Terra". Peri=presso. Apogeo significa "lontano dalla Terra". Apo=da. Eccentrico significa "(fuori) dal centro". E, ex, de=da in Latino. Deferente "che porta fuori" dal latino fero=portare, è il raggio vettore del centro dell'epiciclo, cioè quello che lo porta "fuori" dal centro di tutte le orbite, che dovrebbe essere la Terra nel sistema di Tolomeo, ma che alla fine non è centro di nulla, perché tutto è portato fuori. Il sistema di Tolomeo contava in tutto 7 pianeti (corpi che si muovono rispetto alle stelle): Luna, Mercurio, Venere, Sole, Marte, Giove e Saturno e 78 cerchi (7 deferenti e 71 epicicli).

L'orbita del Sole è la più semplice, ed è trattata nell'Almagesto libro terzo. Veniva studiata preferibilmente con una linea meridiana, su cui si misuravano le ombre al mezzodì durante tutto l'anno. Due stagioni iniziano quando l'ombra arriva al massimo e poi torna indietro tropico=svolta invernale, e quando arriva al minimo e poi riprende a crescere tropico=svolta estiva. Le altre due quando il Sole arriva a metà altezza sopra l'orizzonte Sud rispetto ai tropici, cioè all'equatore celeste, e sono gli equinozi. Per il 2021-22 abbiamo preso i dati di IMCCE per calcolare la durata delle stagioni:

	Pr	Es	An	In
Durata [d]	92,75	93,66	89,86	88,78
Frazione	478,6	483,3	463,7	459,2

$365,25 : 62832 = 300$

Fig. 1 Durata in giorni [d] e frazione delle stagioni, e lunghezza in cm dell'arco di cerchio di raggio 3 metri, del centrocampo.

L'estate è la stagione più lunga perché contiene l'apogeo (6 luglio), in cui la velocità angolare del Sole si riduce, mentre l'inverno è più breve contenendo il perigeo (2 gennaio).

Simulazione dell'orbita solare al cerchio di centrocampo



Fig. 2 I 4 settori delle stagioni si uniscono a due a due con linee incrociate 11 cm fuori dal centro. L'eccentricità $e = 11/300 = 0.037$.

Il problema pratico da affrontare per fare questa simulazione è la misura curvilinea degli archi. Il ragazzo di spalle è seduto

sul solstizio invernale e l'incrocio delle due rette perpendicolari tra loro indica un punto a sinistra e in basso rispetto al dischetto di centrocampo. Le due rette sono quelle tra i solstizi e quelle tra gli equinozi. Il segmento tra il centro del disco e l'incrocio di queste rette è parte della linea degli apsidi (perigeo in basso, e apogeo in alto tra le due ragazze). L'orbita è percorsa dal Sole in senso orario.

Torta quattro stagioni con la geometria cartesiana

Per ottenere un risultato esente da misure sperimentali diventa molto comodo usare la geometria cartesiana, e quindi le coordinate degli "anni cardines" sulla circonferenza goniometrica, che per noi è stata quella di raggio 3 metri del centrocampo. Fissando l'equinozio di Primavera nel punto (1,0), alla destra del cerchio in figura, le coordinate degli altri punti sulla circonferenza hanno valore $(\cos\theta, \sin\theta)$ con θ l'angolo proporzionale alla durata della stagione. $0^\circ, 91.42^\circ, 183.73^\circ, 282.3^\circ, 360^\circ=0^\circ$. Le coordinate (X,Y) sono dunque: inizio Primavera P(1,0) Estate S(-0.02473, 0.999694) Autunno A(-0.99788, -0.06507) Inverno I(0.040114, -0.9992). La retta passante per PA è $y=0.032567x-0.032567$ (linea dei nodi) e $y=-30.8281x+0.23744$ quella per SI (linea dei solstizi). Sono due rette tra loro perpendicolari, perché il prodotto dei due coefficienti angolari è -1.00398 (-1 dovrebbe essere).

Il punto di intersezione tra queste due rette è E(-0.00875,-0.03228), distante dall'origine $e=0.033447$, l'eccentricità tolemaica, che è il doppio di quella kepleriana $e_k=0.016723$. L'angolo che il punto EC forma con l'origine, è $\varphi=-74.83578^\circ$ che corrisponde a 75.927 giorni prima dell'equinozio vernale 2022, che sarà il 20 marzo alle 16:30 TMEC, cioè il 3 gennaio 2022 h 16, che cade 16 ore prima delle effemeridi (timeanddate.com) che è il valore "vero" nella teoria di Keplero-Newton-Einstein. Analogamente il giorno

dell'afelio dovrebbe cadere –secondo questo modello, basato sull'anno tropico Giuliano di 365.25 giorni, 182.625 giorni prima, il 5 luglio all'1 TMEC (quasi 24 ore prima delle effemeridi). L'anno anomalistico (tra due perielii consecutivi) dura di più dell'anno tropico, ma in questa approssimazione non ne abbiamo tenuto conto. Fig. 3 Apsidi 2021-2025 (TMEC).

2021	2 gennaio 2021	14.50	147.093.163 km	6 luglio 2021	0.27	152.100.527 km
2022	4 gennaio 2022	7.52	147.105.052 km	4 luglio 2022	9.10	152.098.455 km
2023	4 gennaio 2023	17.17	147.098.925 km	6 luglio 2023	22.06	152.093.251 km
2024	3 gennaio 2024	1.38	147.100.632 km	5 luglio 2024	7.06	152.099.968 km
2025	4 gennaio 2025	14.28	147.103.686 km	3 luglio 2025	21.54	152.087.738 km

La durata dell'anno anomalistico e le distanze degli apsidii cambiano da un anno all'altro. Ma il valore medio cresce lentamente di un giorno ogni 77 anni, come correttamente individuarono gli arabi già nel VIII-XII secolo.

Il vero sistema tolemaico al proprio centro non ha la Terra, che è solo il punto di osservazione di tutti i fenomeni, ma un punto vuoto. Rispetto ai manoscritti più antichi dell'Almagesto, tradotti dal Greco in Arabo, e poi recuperati nel mondo occidentale da traduzioni dall'Arabo in Latino fatte nella Spagna del califfato di Cordoba e a Toledo, ci si accorse che i parametri originali delle varie orbite dovevano essere rivisti. Da ciò i lavori degli astronomi-traduttori medievali di Tolomeo come Campano da Novara, Georg Purbach (Vienna), Johannes Müller (Königsberg), Giovanni Bianchini (Bologna), Jean des Murs (Parigi), fino a Tycho Brahe che nel 1563 osservando una congiunzione Giove Saturno decise che era ora di riformare l'astronomia anche con nuove e più accurate osservazioni. Dalla sua grande opera Johannes Kepler arriverà ad ipotizzare le orbite ellittiche per Marte (1609) e gli altri pianeti. In un fuoco dell'ellissi c'è il Sole, nell'altro niente.

Copernico nel 1543 aveva pubblicato il *De Revolutionibus Orbium Coelestium* che in Italiano si traduzione “sulle rivoluzioni (rotazioni) delle sfere celesti”. Alla parola Rivoluzione, anche quella Copernicana, si dà un significato diverso oggi... come scardinamento di ciò che era prima, la Terra al centro sostituita dal Sole al centro. In realtà Copernico mise al centro non il Sole, ma sempre il punto eccentrico... vuoto, e conservò le orbite circolari, riducendole a 54 tra epicycli e deferenti. Keplero pure lasciò un centro vuoto, ipotizzando che l'altro, occupato dal Sole, fosse sede di una “vis” una forza, di un'*anima motrix*, un'anima capace di dare movimento...Galileo riguardo queste orbite era a favore del cerchio, pur essendo convinto che il Sole era centro dei moti. Sarà Newton nel 1687 a pubblicare i *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* (a spese di Halley, segretario della Royal Society di Londra) con cui dimostra che una forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza produce orbite ellittiche (ma anche circolari, paraboliche o iperboliche), ossia sezioni coniche.

I segni zodiacali sono i dodici settori uguali in cui è divisa l'orbita circolare del Sole attorno al punto eccentrico E, così come le quattro stagioni sono i quattro settori ampi esattamente 90° visti da E. Ogni segno zodiacale abbraccia 30° dal punto E, che corrispondono a durate leggermente diverse l'uno dall'altro: più brevi quelli dalla parte di E, più lunghe quelli dalla parte opposta. Così come i due equinozi avvengono col Sole alla stessa declinazione 0° così i segni zodiacali a due a due vengono incominciati alla stessa declinazione. Il centro della Terra, l'orbita solare e il punto E appartengono allo stesso piano, e gli equinozi sono all'intersezione del piano dell'equatore terrestre con l'orbita (eclittica è il nome dell'orbita perché solo lì avvengono le

eclissi). I due equinozi distano tra loro 180° in longitudine eclitticale λ , così come ogni segno dista 30° l'uno dall'altro. Declinazione e ascensione retta sono coordinate riferite alla proiezione dell'equatore e del polo terrestre in cielo. È facile per noi immaginarci al centro della Terra, ed è naturale vedere il campo come il piano dell'equatore e il polo sulle nostre teste. L'eclittica è inclinata di $\varepsilon=23^\circ 26'$ rispetto a questo piano e culmina nel solstizio in Cancro, e all'opposto al Capricorno. I segni a due a due hanno le stesse altezze. Ma ciò vale anche se il centro dell'orbita non coincide più con E, il punto da cui il moto uniforme viene visto rallentare in estate e accelerare in inverno? Per i segni zodiacali questa differenza non c'è. L'eclittica è considerata un cerchio massimo il cui centro è il centro della Terra, come se il Sole fosse all'infinito, così come l'equatore celeste, quello galattico e tutti i meridiani celesti. Le declinazioni dei segni zodiacali sono $\text{sen}\delta=\text{sen}\varepsilon\cdot\text{cos}\lambda$, $\lambda=30^\circ, 60^\circ$

Conclusioni

Il parametro di eccentricità dell'orbita terrestre e può essere misurato convenientemente con una meridiana, poiché occorre la durata delle quattro stagioni, e quindi gli istanti di solstizi ed equinozi. Usando il sistema di Tolomeo di un'orbita circolare eccentrica alla Terra, percorsa a velocità costante, si ricava per $e=0.033447$; facendone la bisezione si ottiene il valore kepleriano, poiché la definizione di eccentricità di un'ellissi è la metà della distanza tra i fuochi, e questa distanza nel modello di Tolomeo è assimilabile alla distanza OE tra il centro del cerchio e l'incrocio degli assi delle stagioni (linea dei nodi e linea dei solstizi). In questo esempio abbiamo usato i dati dalle effemeridi IMCCE per gli "anni cardines" 2021-22.

Referenze Theodore S. Jacobsen *Planetary Systems from the Ancient Greeks to Kepler*, University of Washington Press (1999)
C. Sigismondi, *Lo Gnomone Clementino*, Gerbertus 7, 48-49 (2014)

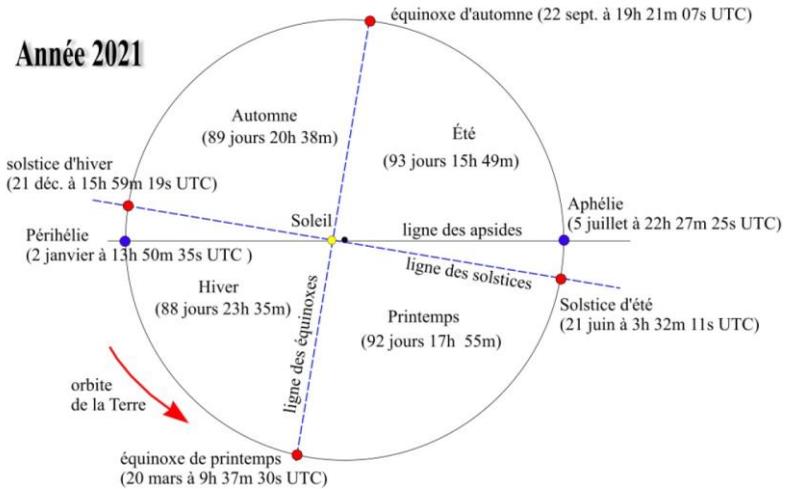


Fig. 2 Effemeridi IMCCE (Patrick Rocher) al secondo a confronto (sotto) con le effemeridi timeanddate.com (TMEC) al minuto, con l'aggiunta delle distanze chilometriche.

2021	2 gennaio 2021	14.50	147.093.163 km	6 luglio 2021	0.27	152.100.527 km
2022	4 gennaio 2022	7.52	147.105.052 km	4 luglio 2022	9.10	152.098.455 km
2023	4 gennaio 2023	17.17	147.098.925 km	6 luglio 2023	22.06	152.093.251 km
2024	3 gennaio 2024	1.38	147.100.632 km	5 luglio 2024	7.06	152.099.968 km
2025	4 gennaio 2025	14.28	147.103.686 km	3 luglio 2025	21.54	152.087.738 km

Poiché l'anno anomalistico è maggiore dell'anno tropico, l'orbita terrestre non è un'orbita chiusa, ma questo è stato dedotto dalla rotazione degli apsidi, scoperta gradualmente nel secondo millennio dell'era cristiana prima dagli arabi e poi dagli europei.

Al centro dell'orbita solare non c'è niente

L'ingrandimento di uno strumento astronomico

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 1st 2021, accepted March 2nd

Abstract The magnification of a visual telescope is the ratio F/f of the focal length F of the objective lens/mirror and the one of the eyepiece f . In the case of projection either through a lens/telescope either a pinhole, the ratio is F/d where d is the distance of the eye/detector from the projected image. The angular resolution $\theta=\lambda/D$, with D objective's diameter, projected as θF should not exceed the pixel dimension on the focal plane.

Sommario L'ingrandimento di un telescopio visuale è il rapporto F/f tra la lunghezza focale dell'obbiettivo F e quella dell'oculare f . Nel caso di proiezione da una lente/telescopio o da un foro stenopeico, l'ingrandimento è il rapporto tra le distanze F/d , con d distanza occhio(rivelatore)-immagine. La risoluzione angolare $\theta=\lambda/D$ con D diametro d'obbiettivo non deve proiettarsi su una dimensione maggiore del pixel sul piano focale.

L'Eliometro in Toscanelli, Danti, Cassini e Bianchini

Prima a Bologna in s. Petronio (1577) poi alla Torre dei Venti in Vaticano (1580) padre Egnazio Danti realizzò due celebri meridiane a camera oscura, che riprendevano l'idea di Paolo Toscanelli (1475) nella Cattedrale di s. Maria del Fiore a Firenze, dove un foro stenopeico sulla lanterna della cupola a 90 m di quota illuminava il pavimento della navata della s. Croce con un'immagine di circa 90 cm di diametro. Giandomenico Cassini restaurò lo gnomone del Danti nel 1655 chiamandolo Eliometro, proprio perché avrebbe misurato posizione e diametro del Sole. Bianchini (1701) perfezionò ulteriormente lo schema dei predecessori realizzando lo Gnomone Clementino in s. Maria degli Angeli in Roma. Posizione del Sole (altezza meridiana e longitudine eclittica) e diametro erano misurati con precisione, il diametro si portava dietro l'incertezza della penombra, variabile con le condizioni

meteorologiche a causa del diverso contrasto Sole-cielo con cielo azzurro e con cielo velato da umidità.

Sul pavimento delle "camere oscure" (Chiese) si formano immagini del Sole vere e proprie, il cui pixel è dato dalla dimensione del foro stenopeico. La distanza focale ideale per focali sarebbe quando la risoluzione angolare dovuta alla diffrazione attraverso un foro di apertura D , proiettata a distanza F , cioè di dimensione θF pari a $\lambda F/D$ diventi uguale a D , da cui $F=D^2/\lambda$. Nessuno di questi strumenti raggiungeva la focale ideale, tuttavia le macchie solari più grandi allo Gnomone Clementino di Roma sono state visibili (es. la macchia AR 2786 osservata tra Novembre e Dicembre 2020).

Ingrandimento

Si fa sempre riferimento a dimensioni angolari.

Il Sole ha un diametro angolare di circa $1/100$ di radiante, ossia poco più di mezzo grado, $32'$. Questo rapporto è lo stesso tra il suo diametro lineare e la distanza Terra-Sole.

Con uno specchio diaframmato ad un piccolo cerchietto si può riprodurre l'immagine stenopeica dei grandi gnomoni, dentro una stanza, o un'aula. L'asse minore dell'ellissi solare è $1/100$ circa della distanza "focale", ossia la distanza tra specchio e schermo. Se osserviamo l'immagine proiettata sul muro (schermo) da dove si trova lo specchio, la sua dimensione angolare è uguale a quella del Sole visto dallo stesso punto. Non c'è ingrandimento. Ma se ci avviciniamo ad una distanza d dallo schermo vediamo l'immagine solare da vicino, avere una dimensione angolare F/d volte maggiore di quella in cielo. Esempio con $F=8$ metri ho un'immagine di circa 8 cm, se la guardo da 20 cm di distanza ho $800/20=40$ ingrandimenti.

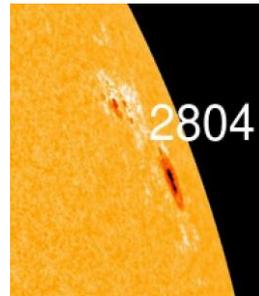
Risoluzione spaziale dell'immagine

La definizione appena data mostra che con il metodo della proiezione posso ottenere ingrandimenti a piacere. Però c'è il

limite del contrasto luminoso, per cui questo metodo si può applicare –nella pratica- solo al Sole, che emette luce in abbondanza. Inoltre c'è il limite del “pixel di risoluzione” che è dovuto all’ottica ondulatoria per i telescopi, e alla dimensione del foro stenopeico (ottica geometrica) per gli gnomoni. Se stiamo osservando con un telescopio da 38 mm di diametro, il pixel a 550 nm vale $\theta = \lambda/D = 1.45e-5$ radianti, cioè 3”. Se stiamo osservando con un foro stenopeico di 8 mm questo pixel vale 14”. Il pixel geometrico è dato dal foro stesso, e vale 8 mm in questo caso. A 8 metri di distanza dal foro questo pixel è 1/10 dell’intero diametro solare, 3.2’, un valore molto più grande del pixel dovuto all’ottica ondulatoria. La situazione migliora formando l’immagine più lontano, ma occorre proiettarla in una camera oscura per non perderla per la sua debolezza rispetto alla luce ambiente.

Caso della macchia AR2804 il 1 marzo 2021 alle 12 TMEC

La macchia in questione è grande, ma già vicinissima al bordo Ovest del Sole, ed è stata appena intravista proiettando a 1.4 m un’immagine di 33 cm di diametro dal cannocchiale topografico Officine Galileo di 38 mm su un foglio, in una camera oscura improvvisata con dei giacchetti alle ore 12. Nel pomeriggio del 1 marzo alle 16 col



telescopio Newtoniano da 76 mm di diametro e focale 350 mm e oculare da $f=2.5$ mm che fa 140x, quella macchia non sono riuscito ad avvistarla. Questa foto è del 28/2 dal satellite SDO, per capire come mai non era visibile neanche col telescopio “equinoziale” di Cuevas a s. Maria degli Angeli nella cupola d’ingresso. La turbolenza atmosferica locale sfuocava il bordo immagine di 5 mm su 330 di diametro, ossia 30” su 32.5’.

I telescopi solari della cupola di s. Maria degli Angeli

Sono tre lenti montate insieme a filtri colorati e prismi, nella lanterna della Cupola d'ingresso alla Basilica. Queste lenti proiettano sul pavimento le immagini del Sole. Le tre lenti sono tre telescopi solari, inseriti nella vetrata "Divinity in Light", creata nel 2000 dall'artista Narcissus Quagliata e dall'astronomo Salvador Cuevas Cardona, entrambi di Città del Messico. La frase di Giovanni Paolo II *La scienza porta dall'immanente al Trascendente* è pure inserita come dedizione dell'opera. Grazie all'ambiente raccolto di questa cupola in muratura, di 19.6 metri di diametro, già delle Terme di Diocleziano, abbiamo quasi le



condizioni di camera oscura. Ciò nonostante la macchia non era già visibile il 28/2 alle 11:42. Le righe sono separate di 8.8 mm, l'immagine è 21 cm di diametro, seconda solo a quella dello Gnomone Clementino. Il bordo dell'immagine non è netto, ampio 1 mm, corrisponde a 10". Le lenti di Cuevas hanno un diametro di 60 mm, che darebbero luogo ad un pixel di 2". Il peggioramento a 10" è dovuto sia al fuoco non perfetto, ma soprattutto alla turbolenza atmosferica presso la lente.

Referenze

C. Sigismondi, *Astronomia solare e ottica con il foro stenopeico Gerbertus 5*, 13-20 (2014)

La statistica di Poisson e le gocce di pioggia

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*
(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)
Submitted March 9th 2021, accepted March 10th

Abstract Four pluviometers of 7cm diameter, at the corners of 4m x 2m rectangle, have gathered in two days, 8 and 9 march 2021, the average rainfall of two months for Rome. It permitted to consider the different quantities of water as Poissonian noise, and to evaluate the typical dimension of a rain drop.

Sommario Quattro pluviometri di 7 cm di diametro sono stati disposti ai vertici di un rettangolo 2x4 m. Nei due giorni 7/8 e 8/9 marzo 2021 hanno raccolto l'equivalente di due mesi della precipitazione annuale media per Roma. Ciò ha permesso di considerare le differenti quantità di acqua come rumore Poissoniano, e valutare così le dimensioni delle gocce di pioggia.

Introduzione: il pluviometro e il re Sejong il Grande

Considerare la precipitazione meteorica su un vaso cilindrico come rappresentativa di quanto accade su un'area molto più vasta, come quella di un'intera regione, è proprio il principio su cui si basa il pluviometro. Re Sejong il Grande (1397-1450, fig 1) introdusse il pluviometro in Corea per meglio governare l'agricoltura e prevedere le piene dei fiumi, come il grande Hangang che passa per Seoul.



Noi con quattro bicchieri di vetro di 70 mm di diametro disposti ai vertici di un rettangolo di 4x2m a 1.22 m dal muro Nord della scuola, abbiamo raccolto la pioggia della prima decade di Marzo 2021 con lo scopo di studiare l'effetto dell'ombra pluviometrica in funzione della direzione e velocità del vento e della distanza da un edificio.

Dati I dati raccolti sono suddivisi in 3 gruppi e controllati con altri due pluviometri in funzione dal 2017 VLG e VSC: prima settimana 1-7 marzo ore 19:30; Notte 7/8 marzo; Notte 8/9 marzo. Anche la rete regionale Arisial offre riscontri diretti.

Orientamento	SW	SE	NE	NW
diam. [mm]	70	69,5	69,5	69,35
08-mar [g]	178,3	181,1	187,9	185,2
8/9 mar solo	244,7	237,5	227,4	236,6
09-mar [g]	423	418,6	415,3	421,8

Tab. 1 Acqua piovana cumulata fino all'8 e tra 8 e 9 marzo [g].

Calibrazione della bilancia La quantità di pioggia cumulata è stata misurata con la bilancia OHAUS con sensibilità del decigrammo, è stata ricalibrata per gli errori sistematici con i pesi campione usati per la bilancia a piatti delle Officine Galileo di Firenze fino alla portata di 1.1 kg.

Analisi statistica Le precipitazioni della notte tra 8 e 9 marzo sono state separate dagli altri dati, perché conosciamo direzione e velocità del vento 5-8 m/s da Nord da meteoblue.com, e l'angolo di pioggia di 15° osservato da me alle 3:43 AM da Nord verso Sud su via della Giuliana. Il pluviometro di Nord Est è dietro una scala di ferro che gli chiude parzialmente la visuale a Nord, e non lo consideriamo perché in parziale ombra pluviometrica, gli altri tre li consideriamo rappresentativi della stessa quantità di pioggia, e le loro varianze Poissoniane, ossia proporzionali alla \sqrt{N} , con N numero dei conteggi medi attesi. Media e varianza dei tre pluviometri per la notte 8/9 Marzo danno 239.6 ± 4.44 g.

Il sistema di Poisson l'acqua cumulata è $Nm=239.6$ g, con m la massa di una singola goccia di pioggia. La varianza Poissoniana è $m\sqrt{N}=4.44$ g. Le due equazioni a sistema danno $N=2912$ e $m=82.3$ mg. In confronto con le gocce da 45 ± 1 mg misurate in laboratorio e create con una pipetta contagocce,

questi goccioloni, condensatisi in aria, sono di massa doppia.

Conclusioni La precipitazione media dei tre pluviometri è stata 63.0 ± 0.5 mm nella notte 8/9 marzo, un decimo di quella media annuale per Roma. Confermata dagli altri pluviometri nella regione. L'omogeneità dei dati di 8/9 marzo è stata constatata con l'osservazione diretta (stesso vento, e su quattro pluviometri uguali) uno dei quali –in parziale ombra pluviometrica- è stato scartato, e verrà utilizzato per lo scopo originario dell'esperimento, ossia quantificare l'effetto del vento con l'inclinazione della pioggia e l'ombra pluviometrica di un oggetto. Gli altri tre pluviometri hanno fornito dati consistenti tra loro (entro un sigma) che sono stati utilizzati per risalire al numero di conteggi di gocce di pioggia.

Queste gocce sono risultate di 82 mg, circa il doppio della massa di gocce ottenute in laboratorio con un contagocce. Sempre in laboratorio abbiamo verificato che col contagocce si possono realizzare anche gocce di massa doppia facendone coalescere due prima che cadano, mentre risulta molto difficile passare a far coalescerne tre insieme. Le condizioni fisiche che si determinano quando le gocce si condensano nelle nubi sono certamente differenti, anche se la tensione superficiale che dispone l'acqua in forma sferica è la stessa.

Il buon funzionamento dei quattro pluviometri è confermato dai dati di quelli regionali della rete ARSIAL e quelli personali VGL, VSC, i quali, come quelli disposti a scuola, non sono automatici, e pertanto possono rilevare solo dati cumulativi ad ogni lettura. Come annotazione finale riportiamo anche l'osservazione di sabbia del Sahara e di cenere vulcanica dell'Etna raccolta nel fondo del pluviometro l'8/3 e lì caduta con le piogge tra il 5 e l'8 marzo (corrispondenti a 78 mm VGL e ARSIAL).



Fig. 2 campione di cenere dell'Etna (<2 mm) recuperata nei pluviometri e ingrandita 40 x al microscopio.



Fig. 3 Siméon-Denis Poisson (1781-1840)

Referenze

C. Sigismondi, [346 Cenere dell'Etna a scuola](#) video (2021)

G. Pretor-Pinney, *Cloudspotting*, Guanda (2006)

<http://www.arsial.it/portalearsial/agrometeo/E6.asp>

<http://www.zafzaf.it/pluvio/pluvio.html>

La calibrazione di due bilance elettroniche del Laboratorio di Fisica Galileo Ferraris

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 10th 2021, accepted March 11th

Abstract Two digital scales with sensitivity 0.1 g and 0.01 g have been calibrated by using standard weights of Officine Galileo of Florence of 50, 100 and 200 g. The calibrations curves are linear (for the 0.01 g) and parabolic fits. A noticeable example of old and analogic helping digital.

Sommario Due bilance con sensibilità 0.1 e 0.01 g del nostro laboratorio sono state calibrate con i pesi campione delle Officine Galileo di Firenze. Le calibrazioni sono una retta (per 0.01 g) e una parabola per la 0.1 g. È un bell'esempio di come il vecchio e caro analogico completa e aiuti il digitale.

Introduzione: dalla bilancia a piatti alla bilancia digitale

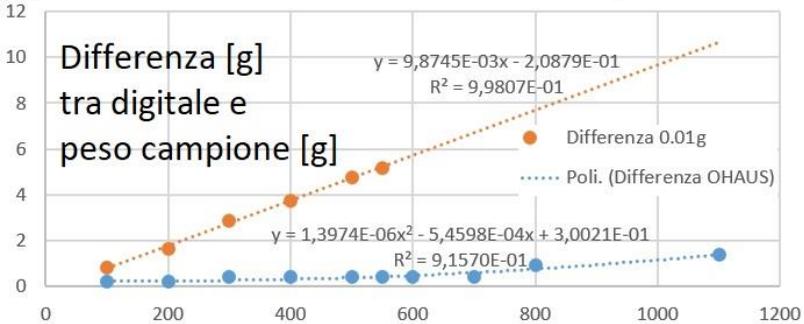
La misura di una massa molto piccola sembrerebbe appannaggio di strumenti molto sofisticati, elettronici... che quasi come per miracolo forniscono un numero che leggiamo sul display. La vecchia bilancia a piatti, che è anche il simbolo della Giustizia, non sembra uno strumento così preciso, né tantomeno in grado di effettuare misure microscopiche. Si tratta di uno dei tanti luoghi comuni che nascono dalla mancanza di esperienza oltre che di nozioni operative di fisica. A proposito della misura di masse di qualche grammo, necessaria per la ricognizione arcivescovile del Miracolo Eucaristico di Lanciano del 1574 ho scritto un articolo nel 2016: sfruttando le leve, sul cui principio si basa la bilancia, è possibile "pesare" qualunque massa pur di tenerla in equilibrio e poterne misurare i bracci (della leva).

Altra cosa apparentemente molto poco ortodossa, e certamente pochissimo industriale, è la realizzazione di masse campione sulla scala del milligrammo: si tratta di triangolini

di carta stagnola, ritagliati in modo che –conoscendo la densità superficiale del foglio- abbiamo l'area corrispondente alla massa voluta. Le bilance elettroniche, invece, sono basate sulla piezo-elettricità, per cui una pressione su una giunzione metallica genera una differenza di potenziale elettrico.

L'analogico aiuta il digitale

Non conviene fidarsi ciecamente di nessuno strumento, se occorrono misure estremamente accurate, come quelle che abbiamo fatto sulla statistica delle gocce d'acqua in cui occorre conoscere la massa complessiva dell'acqua piovana raccolta entro qualche goccia di precisione, visto che il risultato finale atteso è la massa media di una goccia d'acqua. Per questo abbiamo trovato alcune incongruenze confrontando le misure di capacità fatte con cilindri di vetro graduati con quelle di massa alle bilance elettroniche, in contraddizione tra di loro. Usando i pesi campione li abbiamo confrontati con le letture digitali, e le due curve di calibrazioni sono in fig. 1.



La bilancia a 0.01 g ha una calibrazione lineare, mentre quella OHAUS a 0.1 g è calibrata con una parabola.

Ringraziamenti Agli studenti misuratori della 2AT e della 1FT
Referenze

C. Sigismondi, Gerbertus 9, 21-26 (2016)

<https://treccani.it/enciclopedia/piezolettricit/a/>

Manuale bilancia OHAUS CT 1200-S 1989 ([pdf](#))

Astrometria e Meccanica Celeste alla Meridiana Clementina e calibrazione della linea d'equatore

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*
(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)
Submitted March 8th 2021, accepted March 12th

Abstract The vernal equinox of 2021 occurs 2 hours before the meridian transit at the Clementine Gnomon in Rome. This is an opportunity for calibrating the line of the celestial equator with a precision better than one part over 10000, with a single observations, possible each 12 years.

Sommario L'equinozio di Primavera del 2021 capita 2 ore prima del transito meridiano alla Meridiana Clementina. Questa è un'opportunità per calibrare la posizione della linea dell'Equatore Celeste sul pavimento della Basilica con una precisione di ± 2 mm su 20 metri, con una sola osservazione alle 10:37:30 TMEC, possibile solo ogni 12 anni.

Introduzione: Astrometria e meccanica celeste alla Meridiana

La Meridiana Clementina è l'unico strumento storico del suo genere al Mondo che è utilizzabile con finalità scientifiche. La Meridiana di Giandomenico Cassini a Bologna del 1655 non è fruibile quotidianamente, né si possono fare foto; le Meridiane del Duomo di Milano 1782 (De Cesaris) e di Palermo 1801 (Piazzi) non sono graduate con la scala delle tangenti; la Meridiana di Saint-Sulpice a Parigi 1649 (Le Monnier) ha il foro oscurato; la Meridiana di Jacques Cassini all'Observatoire de Paris 1711 si può visitare, ma ha una sola lente che mette a fuoco l'immagine solo per qualche giorno.

Il database delle osservazioni fatte con il nuovo setup del foro stenopeico da 25 mm di diametro e 6.11 mm di spessore in opera dal 27 ottobre 2018, è prezioso perché quando la Meridiana non fosse più utilizzabile per un motivo qualsiasi, è l'unico modo per vedere come si potevano utilizzare questi strumenti per verificare la teoria Newtoniana e per definire,

indipendentemente da questa la rifrazione atmosferica e il moto della Terra attorno al Sole, con la misura dell'eccentricità dell'orbita. Questo database è disponibile in parte su youtube 2018-2020, e in parte su un dominio di icra.it, in attesa di una sistemazione definitiva.

La meccanica celeste è un campo molto vasto dell'Astronomia, la missione su satellite GAIA, dopo quella HIPPARCOS, è finalizzata allo studio della dinamica della Galassia a partire dalla conoscenza della posizione delle Stelle fino al micro arcosecondo. A Santa Maria degli Angeli possiamo misurare effetti atmosferici, precessionali e anche relativistici grazie alla grande precisione ottenibile con lo strumento ben calibrato (Sigismondi, 2021).

Dal 2018 usiamo un foro stenopeico di 25 mm, che ha consentito di osservare anche le macchie solari più grandi, durante l'autunno inverno 2020/21. Senza lente non ci sono aberrazioni ottiche, in particolare sui 47° di altezza meridiana tra l'inverno e l'estate, per cui l'orbita del Sole (e quindi della Terra) è conoscibile con elevata precisione.

Nell'aula romana delle Terme di Diocleziano, Michelangelo realizzò la Basilica (1561-1564) e Francesco Bianchini (1701-1702) la Meridiana lunga 45 metri. Video girati a 30 e 60 fps consentono, analizzati con Quicktime7.1, risoluzioni temporali di 30 e 60 Hz, poi con il programma IRIS si possono fare istogrammi di intensità.



Fig. 1 L'immagine del Sole il 2 febbraio 2021 presso una delle otto stelle del cammino di Sirio sul pavimento della Basilica.

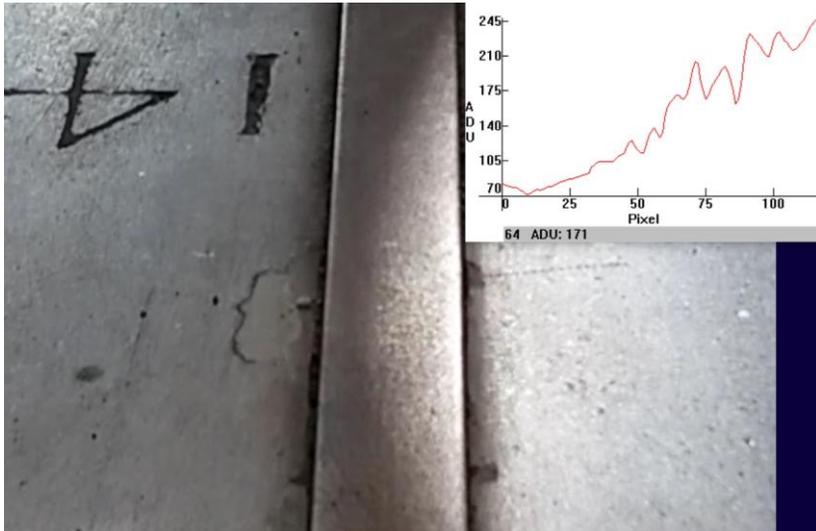


Fig. 2 La penombra il 14 feb 2021 al 1° contatto meridiano, con l'istogramma d'intensità preso sulla linea di ottone larga 3 cm.

Calibrazione astrometrica della meridiana con le effemeridi

Le effemeridi del Sole sono disponibili su Stellarium 0.20.2, e sui siti SPA, Horizons NASA e IMCCE. Le osservazioni e le effemeridi insieme servono a controllare le misure geometriche prese con il LASER, la stazione totale e il metro. Nulla sfugge all'astrometria: dagli errori del distanziometro LASER fino alla variazione secolare dell'obliquità dell'eclittica, ricordandoci che la meridiana è stata pensata *AD ANNOS OCTINGENTOS ANNOS*, per effettuare comparazioni su scale temporali di secoli. L'immagine del Sole al solstizio estivo del 1702 è stata fissata nel bronzo sul pavimento della Basilica presso il riquadro del Cancro (nostra scoperta del 2018), e gli istanti degli *ANNI CARDINES* del 1703 sono scolpiti nella pietra di una lapide nel presbiterio, presso il Capricorno.

L'equinozio di Primavera del 2021 e l'anno tropico medio

L'equinozio vernale del 1703 fu calcolato per il mercoledì 21 marzo 1703 alle 9:03 dopo la mezzanotte locale, con i dati osservativi presi a questa meridiana (transiti del Sole e della stella Sirio per calcolare la coordinata eclittica λ). Quello del 2021 il 20 marzo è alle 10:37:30 TMEC, secondo l'IMCCE.

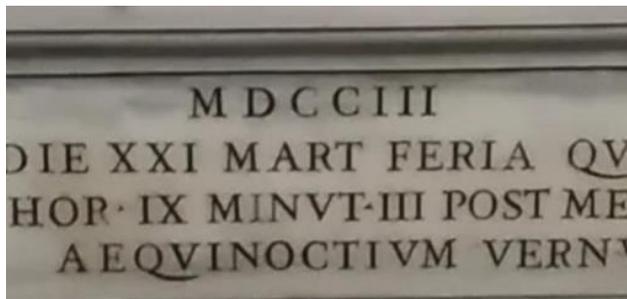


Fig. 1
Lapide con
gli ANNI
CARDINES
del 1703.
AEQ.
VERNVM

Per calcolare l'anno tropico medio con incertezza ± 10 min/319 dal numero di anni trascorso, cioè ± 2 s, occorre valutare l'istante dell'equinozio nel 2021, ma non possiamo osservare Sirio alla meridiana, come nel 1703, perché la finestra sopra il foro stenopeico non si apre più. Quindi fino ad ora abbiamo stimato l'istante dell'equinozio interpolando i dati dei transiti meridiani rispetto alla linea dell'equatore, presa per buona. Quest'anno prendiamo le effemeridi per trovare la posizione della retta dell'equatore sul pavimento, rispetto a quella ideale. Simon Newcomb trovò che l'anno tropico medio è funzione lineare del tempo T misurato in secoli giuliani dal 1900 (Barbieri, 1999 e 2020).

Calibrazione dell'equatore: gli studi precedenti

Il Sole passa vicino alle quattro stelle (tre grandi e un dischetto di bronzo) della retta dell'equatore celeste sul pavimento della Basilica. In passato abbiamo verificato che la linea tra le quattro stelle è retta, che forma un angolo retto con la linea

meridiana (test del teorema di Pitagora) e che forma con la proiezione del vero equatore celeste un angolo di 2' (settembre 2019). La presente *proposal* per il 20 marzo 2021 h 10:37 si fonda sul fatto che l'equinozio vernale in tempo reale capita ogni 12 anni sul pavimento della Basilica (il Sole attraversa il pavimento da circa 2 ore prima del transito).

Nelle osservazioni del 2 e 5 febbraio 2021 sulle stelle del pavimento della Basilica poste sul cammino di Sirio, abbiamo già verificato che la loro posizione differisce da quella teorica, anche considerando l'effetto refrattivo e quello precessionale da oggi al 1701, o al 1750 se consideriamo le eventuali modifiche apportate dal Vanvitelli durante l'installazione del pavimento marmoreo.



Fig. 3 Sole nei Pesci ♋ il 18/2 h 12:15.

Il significato in astrometria del segno zodiacale è legato all'orbita solare divisa esattamente in 12 parti uguali a cui corrispondono longitudini $\lambda_{\text{♋}} = 330^\circ$ e declinazioni $\text{sen}(\delta_{\text{♋}}) = \text{cos}(\lambda_{\text{♋}})\text{sen}(\epsilon)$ con $\epsilon_{2021} = 23^\circ 26.2'$. $\lambda_{\text{♋}}$ è la longitudine eclitticale dell'ingresso nei Pesci, che nel settecento veniva

misurata per confronto diretto (interpolazione lineare) col transito meridiano (anche osservato in serie di più giorni) di una stella (ritengo che fosse sempre Sirio, visto che Bianchini la osservò in tutte le stagioni dell'anno, anche di giorno).

È presente anche l'effetto di rifrazione atmosferica, tale che

h senza atmosfera = colatitudine + δ

h corretta Cassini = h s.atm. + $60'' \tan(90^\circ - h$ s. atm.)

Oggi tanto l'equinozio vernale $\lambda=0^\circ$, quanto tutti gli altri segni zodiacali, possono essere "osservati" solo dalla posizione dell'immagine del Sole sulla meridiana e non dal confronto tra i tempi di passaggio sulla meridiana del Sole e di Sirio.

Ma il 20 marzo 2021 una foto alle 10:37:30 può fissare la posizione dell'immagine del Sole all'istante dell'equinozio vernale (il calcolo di IMCCE è la predizione più accurata al Mondo) e così appuriamo esattamente dove passa la proiezione dell'equatore (per il centro dell'immagine solare).

Alle 12:17:38 il passaggio meridiano avverrà col centro dell'immagine del Sole $1'40''$ a Nord dell'equatore, così la retta reale dell'equatore si può tracciare e confrontare direttamente con quella delle stelle collocate da Bianchini nel 1702 e ricollocate da Vanvitelli nel 1750. Dalla separazione tra le due rette presa nella posizione dell'equinozio 2021 si può risalire alla deviazione rispetto alla vera linea EST-OVEST delle stelle sul pavimento. Nell'ipotesi che Bianchini abbia mutato la direzione originale della Meridiana Clementina dopo l'intervento in corso d'opera di Giacomo Filippo Maraldi, rispetto alle sue misure fatte con la stella Polare tra il settembre 1700 (prima dell'elezione di Clemente XI) e il gennaio 1701, potremmo trovare che l'equatore conserva ancora l'orientamento della meridiana "boreale".

Referenze

C. Sigismondi, Gerbertus 7, 3-81 (2014) e [ECU 2021](#) (Febbraio 2021)

Cenere dell'Etna nel cielo di Roma

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 8th 2021, accepted March 17th

Abstract Volcanic ashes from Etna have been gathered in the week 1-8 March 2021 at the rain gauges of Rome. Their visual analysis at the optical microscope confirms the silicon and magnesium composition, typical of the Earth's mantle. The sunset of 23 February was through the volcanic cloud.

Sommario Ceneri vulcaniche dell'Etna sono state raccolte nella settimana 1-8 marzo 2021 nei pluviometri di Roma. L'analisi visiva dei campioni al microscopio ottico conferma la natura di silicio e magnesio, tipica del mantello terrestre. Il Sole al tramonto del 23 febbraio ha attraversato la nube vulcanica, rimanendone estinto quanto all'orizzonte nei giorni di foschia.

Introduzione: ceneri vulcaniche e dinamica dell'atmosfera

L'Etna è il vulcano attivo più grande d'Europa e le sue eruzioni sono una caratteristica del territorio siciliano. La dinamica dell'atmosfera, come porta la sabbia del Sahara fino ai cieli di tutta Europa, e nelle piogge romane, ha trasportato anche le ceneri dell'Etna fino a Roma. Le notizie dell'eruzione si sono presto diffuse nella rete con le immagini della nube di SO₂ ripresa dal satellite Sentinel insieme a quelle dei tramonti del 23 febbraio 2021. Dalle riprese video (Lega Navale Ostia e Eumetsat, meteoblue) ho determinato l'altezza del Sole 10.2° e 7.6° al bordo della nube vulcanica alle 17:00 e 17:15 e la lunghezza dell'ombra della 54 km e 76 km: l'altezza della nube era 9.9±0.2 km. Le altre elaborazioni meteoblue non indicavano la presenza di umidità, eccetto a livello del mare. Il colore della luce solare filtrata era rossastro. La pressione a livello del mare alta: 1036 mb, e determinava un anticiclone.

Campione di cenere vulcanica dal pluviometro

Subito dopo le piogge del 7/8 marzo 2021 abbiamo constatato la presenza nei pluviometri di qualche pezzetto nero oltre che granelli di sabbia. Dopo che è stata prospettata la sua origine vulcanica li abbiamo presi con pinzette e osservati al

microscopio ottico. Sulla carta assorbente l'aspetto sembra proprio di cenere, e al microscopio ottico con illuminazione da luce artificiale e luce solare appare un colore verdastro con inclusioni simili a pezzi di vetro.

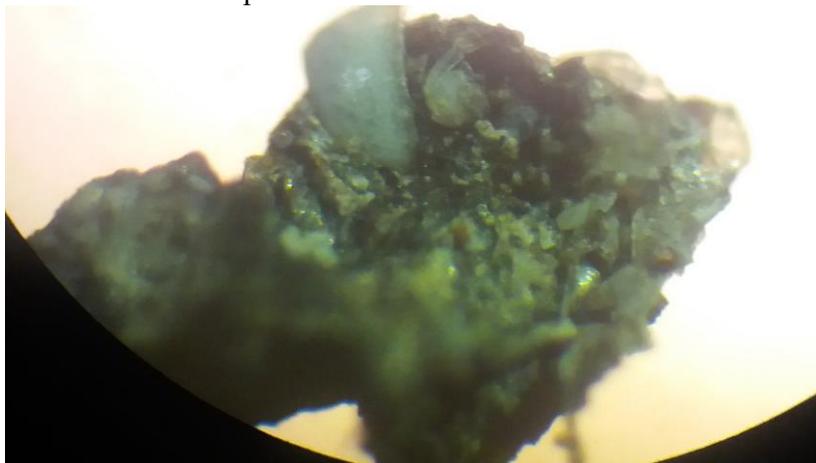


Fig. 1 Campione di 2 mm rinvenuto in un pluviometro l'8/3.
Tramonto a Ostia il 23 febbraio 2021 attraverso la nube etnea



Fig. 2 Ore 17:33 il Sole a 3°08' già oscurato quanto all'orizzonte con foschia mostra la luce trasmessa di colore rossastro.

Referenze B. Raso <http://www.meteoweb.eu/2021/02/eruzione-etna-nube-cenere-tirreno-centro-nord-meteo/1555729/#1> (26/2/2021)
C. Sigismondi, Tramonto del 23 febbraio 2021 commentato (Lez. 325)
<https://www.leganavaleostia.it/webcam-ponente/> (registrato da web)

Tramonti sul mare, riflessi dalla palla dorata sulla cupola di s. Pietro

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*
(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)

Submitted March 8th 2021, accepted March 24th

Abstract The golden ball over the dome of St. Peter's in the Vatican reflects the Sun until its disappearing behind the geometrical horizon of the Thyrrhenian sea. The timing of the events proves with the ephemerides that the light comes from the depressed horizon at 137 m above sea level.

Sommario La palla dorata sopra la cupola di S. Pietro riflette la luce del Sole fino al tramonto sull'orizzonte del mare, come si prova col confronto tra istanti di sparizione ed effemeridi, inclusa la depressione dell'orizzonte.

Keywords: Geometrical Optics, Ephemerides, Sunset, Horizon, Timing.

Introduzione: la palla dorata sopra il Cupolone

Già a Firenze sul Duomo la palla in rame dorato fu sistemata da Andrea del Verrocchio, e, secoli dopo, nel 1822 fu dotata di un parafulmine. Pure sulla cupola michelangiotesca, completata sotto Sisto V nel 1590, oggi c'è un parafulmine. Al telescopio sono visibili i tiranti della croce che la sormonta, e il riflesso dell'oro è evidente dalle fotografie e all'occhio.



Fig. 1 La palla alle 14:33 del 23 marzo 2021 e alle 18:18 del 17.

Timing del tramonto riflesso dalla palla del Cupolone

La doratura della palla sopra la cupola consente di proteggerla meglio dagli agenti atmosferici e restituisce una buona riflettanza, circa il 65% per una superficie non levigata con precisione ottica. Questa condizione consente di osservare il tramonto fino all'ultimo guizzo di luce sull'orizzonte marino. Osservazioni al cannocchiale fatte dal colonnato il 2/9/2020 mi hanno mostrato che l'istante di sparizione 19:40:46 era ben percepibile. Il lembo del Sole in quel momento era $-26'$ sotto l'orizzonte geometrico (orizzontale topografica), la depressione geometrica in minuti d'arco è $d=\sqrt{h[m]}=\sqrt{137}\sim 12'$, quindi rimarrebbe una rifrazione atmosferica di $R=26'-12'=14'$ troppo piccola. Generalmente dalla Lega Navale $h=11.7$ m, troviamo il lembo superiore del Sole $42'$ sotto l'orizzontale, che con depressione $d=3.4'$, dà una rifrazione netta $R=38.6'$. A 137 m di quota ci aspettiamo una rifrazione totale lungo la linea di vista superiore di $\sim 30'$, anche se questa è molto variabile con le condizioni meteo di pressione lungo la visuale.

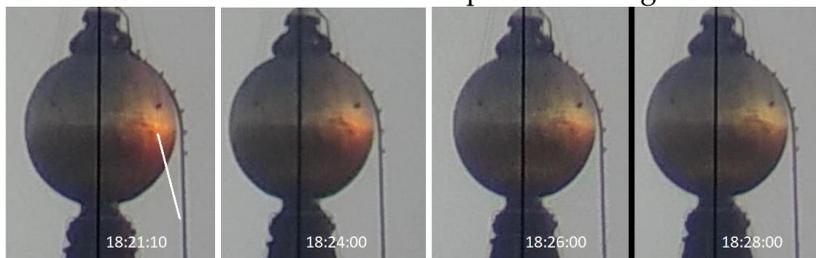


Fig. 2 Fotogrammi ripresi esattamente da Nord il 23 mar 2021. La sparizione del 23/3/21 è avvenuta alle 18:26:04, col lembo superiore $37'$ sotto l'orizzontale (in assenza di atmosfera, calcolato con Stellarium 0.20.2 per il Vaticano). La rifrazione R vale circa $37'-12'=25'$, anche qui inferiore di circa $15'$.

La posizione del riflesso del Sole nella figura 2 è proprio quella che si ottiene dalla geometria dello specchio sferico. Le riprese sono a Nord sul meridiano della Cupola, e il Sole è a Ovest.

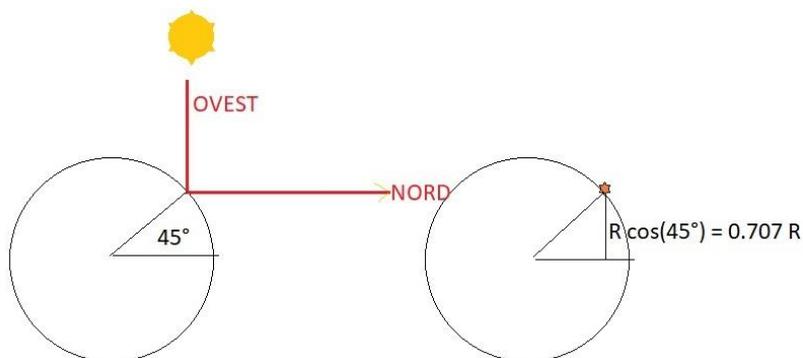


Fig. 3 Riflesso del Sole a Ovest, visto esattamente da Nord.

Ancora il 23 nov 2020 alle 16:44:24 si poteva distinguere il momento della sparizione della luce riflessa dal Sole sulla palla dorata; con $d=12'$ e altezza del lembo superiore del Sole senza l'atmosfera $h=45'$, risulta una rifrazione $R=33'$, anche qui $10'$ inferiore al valore atteso.

Geometria dell'orizzonte Ovest dalla cupola di s. Pietro

La distanza lineare tra il cupolone e il mare è di 24 km.



Fig. 4 La visuale a Ovest è a 24 km dal mare, a Maccarese.

La distanza tra il punto di vista e l'orizzonte geometrico **per la terra sferica** è $\sqrt{2Rh}=41.8$ km con $R=6378$ km e $h=0.137$ km.

Dunque il punto estremo all'orizzonte è 17.8 km dalla riva, e sarebbe visibile da $h=0.0248$ km (risolvendo $\sqrt{2Rx}=17.8$), cioè con $h=24.8$ metri sulla riva. Ciò significa che un ostacolo alto 25 metri sulla riva del mare (albero, edificio...) può ostacolare la visuale dalla palla dorata del Cupolone di s. Pietro. L'altezza limite di questo ostacolo crescere spostandoci nell'entroterra.

Riflettanza dell'oro: dato sperimentale della palla dorata

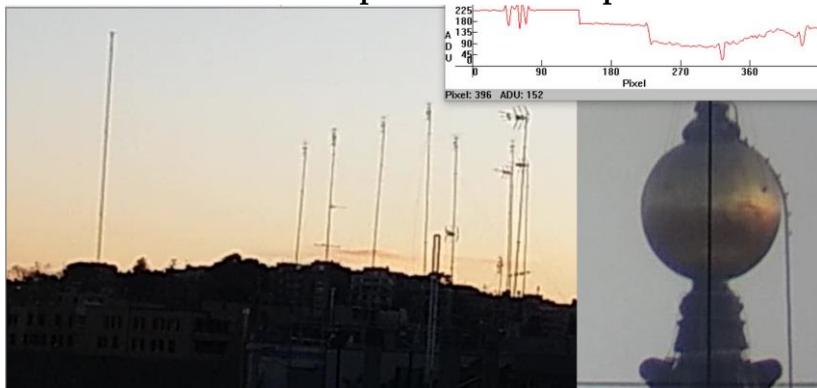


Fig. 5 Analisi con IRIS del cielo e del suo riflesso sulla palla.

La fotometria è stata fatta comparando due fotogrammi con la stessa esposizione ISO e EV, uno della palla e l'altro del cielo da questa riflesso. L'intensità del massimo del riflesso è 152 unità di conteggio, rispetto a 226 del cielo. La riflettanza della superficie dorata è dunque attorno al 67%, inferiore al valore di una superficie d'oro perfettamente liscia (87%) e omogenea.

Conclusioni è abbastanza improbabile trovare edifici molto alti vicini al mare nel litorale laziale, a eccezione dei tre grattacieli di Torvaianica alti 12 piani, ci sono dei rilievi di alcuni metri, come si può percepire lungo la via Cristoforo Colombo verso Ostia. Quindi la linea di vista col mare dalla cupola di s. Pietro è presumibilmente libera. La rifrazione Gaussiana, che alza lievemente la visuale tra due oggetti alla stessa quota, non dovrebbe originare i 10' che mancano all'appello includendo rifrazione media e depressione, forse è foschia, e mancano osservazioni simultanee dal mare.

La rappresentazione del Cielo tramite la riflessione sulla superficie dorata è icastica, indica che la croce sommitale è la *Salus Mundi*, la salvezza del Mondo, il Cosmo tolemaico.

Referenze J.M. Bennet, E.J. Ashley, *Applied Optics* 4, [221](#) (1965)

Una pinna equinoziale per la stella polare

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 18th 2021, accepted March 19th

Abstract A triangle rectangular made of cardboard, with sides 9 and 10, is oriented toward the meridian Sun in Rome, having 10 as vertical side. The Sun's rays are oriented as the hypotenuse. Posing the 9 as vertical side and looking at North along the hypotenuse, the Polar star is aimed. Such simple object helps to teach the concepts of latitude, altitude, zenithal angle, tangent and cotangent, and to locate the Polaris in the skies more and more polluted by artificial light.

Sommario Un triangolo rettangolo di cartoncino tagliato con lati proporzionali ai numeri 9 e 10 è orientato verso il Sole meridiano di Roma, con 10 come lato verticale. I raggi del Sole sono orientati esattamente con la sua ipotenusa. Ponendo 9 come lato verticale e guardando al Nord lungo l'ipotenusa si può traguardare la stella Polare. Questo semplice oggetto ci introduce ai concetti di Latitudine, Altezza, Angolo zenitale, tangente e cotangente, e ci permette di localizzare la Polare in cieli sempre più soggetti all'inquinamento luminoso.

Keywords: meridian transit, equinox, latitude, Polaris (Northern star), altitude, zenithal angle, tangent.

Costruzione del triangolo equinoziale per Roma

Prendete un foglio e tracciate due lati perpendicolari di 10 cm e di 9 cm (oppure 20 quadretti e 18 quadretti, comunque nella proporzione 10:9) ritagliate il triangolo rettangolo e ponete il lato da 10 in orizzontale e quello da 9 in verticale e guardate lungo l'ipotenusa. State osservando ad un'altezza esattamente di 42° sopra l'orizzonte, ossia la latitudine di Roma e di Pescara. A sera, quando è buio, andate nel punto più adatto per guardare ESATTAMENTE in direzione Nord e 42° gradi sopra l'orizzonte. Quella è la Stella Polare. Vedrete che non è luminosissima, ma è sempre lì, tutta la notte, a qualunque ora, mentre le altre sorgono e tramontano e si spostano. Questo

esperimento serve a identificare il luogo da cui osservare la Polare, anche quando ancora è giorno. Studieremo lo spreco di luce che viene orientata verso il cielo, rendendo difficile l'osservazione delle stelle più deboli. Per i prossimi 200 anni, nonostante la precessione degli equinozi, questo metodo sarà ancora molto preciso, perché la nostra latitudine resta costante, ma la declinazione della Polare cambia lentamente, e sarà più vicina al Polo Nord Celeste nel 2100, a 31', per poi riallontanarsene a velocità costante.



Fig. 1 La pinna in cartoncino esposta il 19 marzo 2021 in meridiano: l'ombra della pinna coincide esattamente con la sua base corta e i raggi del Sole sono paralleli all'ipotenusa a Nord.

L'altezza dell'equatore celeste al meridiano è complementare a quella della stella Polare sull'orizzonte Nord, pari alla latitudine del luogo. Per Roma abbiamo quasi 42° di latitudine, e 48° di colatitudine. Vale la relazione $\tan(42^\circ)=0.90$



Fig. 2 Transitio meridiana del 18 marzo 2021 a S. Maria degli Angeli, Roma. La relazione $100 \cdot \tan(42^\circ)=90$ è scolpita presso la linea dell'equatore celeste, perpendicolare alla meridiana (su).

Un clinometro fisso La pinna così realizzata può essere posta su un davanzale per traguardare l'altezza della stella Polare; forma con l'orizzonte l'angolo giusto per trovare, esattamente a Nord, la Polare, una volta posta nella direzione Nord Sud e con il lato più lungo (10) come base.

La Polare e l'inquinamento luminoso L'osservazione della stella Polare è un passo significativo per un debuttante nel mondo dell'Astronomia. Personalmente lo devo a mia zia Magda (1926-2020) che nel maggio del 1980 me la indicò. Il cielo suburbano di Lanciano era ancora abbastanza preservato dall'inquinamento luminoso, almeno in direzione Nord, per cui mi mostrò tutta l'Orsa Minore. Oggi delle sette stelle dell'Orsa Minore, solo due sono visibili all'occhio nudo, mentre le altre è quasi impossibile vederle; la più debole è di quinta grandezza. Per monitorare la luminosità artificiale del cielo notturno si può usare la carta AAVSO della Polare, oppure una carta qualsiasi o Stellarium (app), con l'accortezza di contare le stelle del "Carro Minore" osservabili. Se ne vedete sette siete sotto un cielo montano e cristallino; alle magnitudini riportate nella carta AAVSO sotto indicata va aggiunta l'estinzione atmosferica standard di +0.35 magnitudini (per le normali condizioni di trasparenza del cielo di Roma 1 massa d'aria=0.235 magnitudini e senza umidità). Anche per Pescara (stessa latitudine) vale lo stesso discorso. Quando c'è umidità dal mare la trasparenza può peggiorare, e la cometa NEOWISE del luglio 2020, era visibile da Roma e non in riva al mare di Ostia. Di difficile avvistamento sono Anwa Farkadaim ossia η Ursae Minoris che è di magnitudine 5, estinta a 5.3, e Polus ossia 32 Camelopardalis di 5.3 estinta a 5.6. L'occhio può vedere la 6, senza luci in faccia o cielo chiaro.

Referenze C. Palagiano, L'Orientamento, Gerbertus 14, 3-18 (2021).
Carta Polus e Polare: <https://app.aavso.org/vsp/chart/X26378AJJ.png>

Trama tessile della reliquia del Velo di Maria

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 16th 2021, accepted March 21st

Abstract The study of textile relics includes color preservation and reticular density. During the feast of St. Joseph 2021 for the first time the relics of the mantle of him and of the veil of the Virgin Mary have been exposed in public in the Basilica of St. Joseph in Rome and a photo is used to evaluate the texture of such 2000 years specimen.

Sommario Lo studio delle reliquie tessili include la preservazione delle tinte e la trama tessile; il primo per una loro migliore conservazione, il secondo per compararlo con la tecnologia usata all'epoca della sua fabbricazione. Durante l'ostensione del manto di S. Giuseppe e di parte del velo della Vergine Maria in occasione delle feste di S. Giuseppe 2021 alla Basilica di S. Giuseppe in Roma ho preso delle foto per misurare la trama del velo della Vergine.

Introduzione: tessuti bimillenari

La storia delle reliquie è molto complessa anche restando nel seno della sola Chiesa Cattolica. La venerazione verso un santo, così come l'affetto verso un proprio caro, porta a conservare oggetti ad esso appartenuti, e a tramandarli. Per evitare falsificazioni e imposture, la disciplina di questo tema nel medioevo è stata particolarmente scrupolosa, come mostra la vicenda della Sindone appena dopo la sua comparsa a Lirey a metà del XIV secolo e la diatriba tra il vescovo Pierre d'Arcy, ordinario del luogo, e il papa avignonese Clemente VI. A Roma nella Basilica di S. Anastasia al Palatino sono conservati in una doppia teca il manto di S. Giuseppe e il velo della Madonna, riportate a Roma da S. Girolamo alla fine del IV secolo.

Queste reliquie hanno dunque 2000 anni. Farò dunque alcune considerazioni sulla conservazione dei colori e sulla trama del Velo della Vergine, esposto tra due vetri, come è il Volto Santo di Manoppello (Chieti), di cui pure ho una conoscenza da vicino.

Colori del Manto di S. Giuseppe e del Velo della Madonna

Il manto appare di colore marrone chiaro ed è ripiegato, dentro la teca di vetro, un reliquiario del 1600. Il velo della Madonna, la porzione esposta, è fatto a strisce orizzontali e di colori rosso, canapa e blu. È evidente che queste reliquie non sono state esposte mai in

modo prolungato, altrimenti i raggi del Sole ne avrebbero cancellato rapidamente i cromatismi. E, a maggior ragione, lo avrebbero fatto le moderne luci artificiali (neon e led), selettivamente più aggressive.



Fig. 1 Il velo della Madonna da 25 cm a 3x.

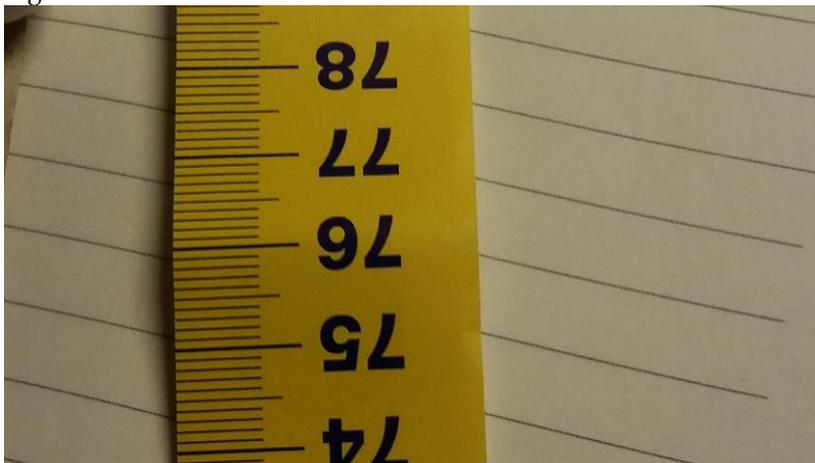


Fig. 2 Foto di un metro alla stessa distanza e stesso ingrandimento.

Spaziatura della trama del velo Confrontando le due fotografie prese in condizioni analoghe posso ricavare la spaziatura della trama color canapa: 120 pixel=20 fili (fig. 1); 220 pixel=10 mm (fig. 2), da cui la trama risulta di 3.67 fili al mm. I fili color giallo e rosso hanno 16 px di larghezza, ossia 0.73 mm.

Effetto prismatico dell'atmosfera all'orizzonte

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 11th 2021, accepted March 26th

Abstract In astronomy photographs capture and fix information, more than being nice and aesthetic compositions. To put into evidence a detail of an instrument or of a phenomenon, we have to bear in mind the difference between vision's psychology and camera's vision. The example of prismatic effect of the atmosphere in roman sunrises with red/blue rims is considered and the use of a diaphragm on the objective is described.

Sommario In astronomia le fotografie fissano le informazioni da analizzare, più che bei soggetti da eternare. Se vogliamo mettere in evidenza una caratteristica di uno strumento o un fenomeno, distinguiamo la psicologia della nostra visione da ciò che la camera fotografica riprende. Levate del Sole tra i monti Prenestini con bordi blu e rosso presentano il problema della sovraesposizione, risolto con un diaframma sull'obbiettivo.

Introduzione: il bordo blu-verde e quello rosso del Sole

Come cogliere un fenomeno tanto elusivo, eppure quotidiano?



Fig. 1. La levata del Sole il 25 mar 2021 da monte Guadagnolo. Il fenomeno del *blue rim* è durato circa 3 decimi di secondo, e solo sul lato destro del profilo del Sole. Il lato sinistro è già sovraesposto (ISO100; EV=-2; 4x, telescopio rifrattore OG 25x). La pressione 1024 mb e la temperatura al suolo è 7 °C a Roma.



Fig. 2 Levata del 26 marzo, si noti la *ghost image* nella 3° foto: riproduce il diaframma di 7 mm ai 38 mm; 1.8x EV=-2, 100 ISO

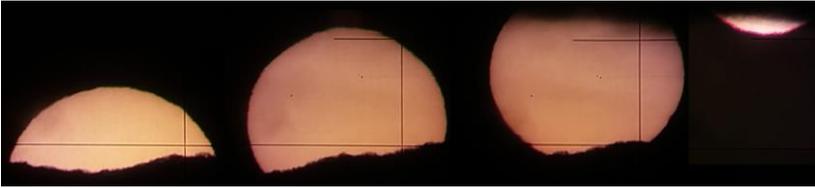


Fig. 3 Levata 26 mar 2021, red rim inferiore, e cromatismo laterale, con l'immagine leggermente verde a destra.

Nelle foto 2 e 3 il diaframma è eccentrico 10 mm verso alto-destra guardando dall'oculare all'obbiettivo. Il rapporto delle aree $(7/38)^2=3.4\%$ ci dà la riduzione di intensità operata dal diaframma, che corrisponde a 3.7 magnitudini= $2.5 \cdot \log(0.034)$.

Nonostante aver imposto EV=-2 e ISO 100 nella modalità PRO resta WB automatico, senza il quale il colore viene innaturale, ma resta anche un automatismo latente che prova ad aggiustare la luminosità come si vede confrontando le foto 2 e 3, ottenute dallo stesso video. Evidentemente i settings foto non sono identici su video sullo smartphone Samsung J5 (2015), e il video imposta in automatico anche un allargamento del campo di vista rispetto alla foto di circa 1.25 x (focale 0.8x).

Cromatismo strumentale vs atmosferico

La luce attraversando le componenti ottiche di uno strumento **subisce sempre** una separazione cromatica, anche solo per diffrazione attraverso un foro stenopeico (vuoto, come il diaframma posto davanti all'obbiettivo). Il cromatismo laterale dell'immagine del Sole è di questo tipo, mentre quello verticale è dovuto all'atmosfera, che è anch'essa una componente ottica, ma esterna allo strumento. Vicino all'orizzonte l'effetto cromatico è massimo e l'atmosfera si comporta come un prisma. Il 26 marzo la pressione di 1025 mb non mostrava gradienti lungo la linea di vista, ma questa attraversa atmosfera a diverse quote e quindi a diverse densità, che decrescono allontanandosi da noi, e si comporta

come un cuneo prismatico con una punta verso l'alto. Poiché la densità dell'atmosfera cresce verso il basso, il suo effetto prismatico, che è un effetto cumulativo lungo la linea di vista, si manifesta proprio dal basso verso l'alto; quando lo vediamo lungo altre direzioni, è strumentale.

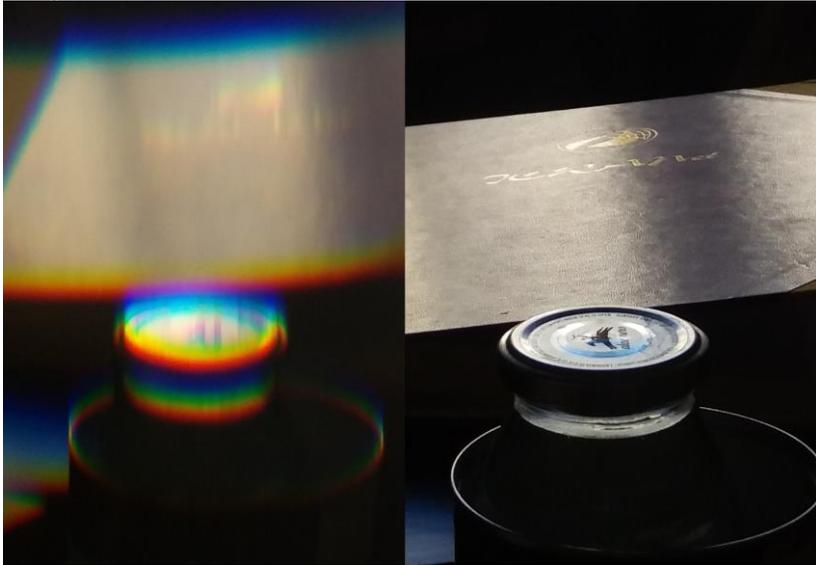


Fig. 4 Foto fatte con e senza prisma, sotto l'orizzontale.

Il prisma con una punta in verticale e davanti all'obbiettivo permette di vedere sotto l'orizzontale gli oggetti, così come l'atmosfera fa con il Sole all'orizzonte marino. Questo prisma ha un angolo di circa 60° (sezione equilatera). È evidente il *red rim*, bordo rosso sotto e bordo verde/blu *green-blue rim* sopra, sia sul tappo di bottiglia in primo piano che sul libro dietro.

Orizzonte e orizzontale topografica Distinguiamo pertanto i due concetti dicendo che l'orizzonte è un luogo geometrico all'infinito osservato, l'orizzontale topografica è nella direzione del piano perpendicolare al filo a piombo, e può essere pure dentro una stanza. Se vedo un oggetto sotto l'orizzontale dei miei occhi questo è ad esempio sul pavimento o sul tavolo. Al

mare si può osservare anche il Sole sotto l'orizzontale.



Fig. 5 La Luna col Newton 25cm f/4 dell'ITIS G. Ferraris, Roma
La foto della Luna mostra un *blue rim* in basso, segno di un cromatismo strumentale, anche se sarebbe il polo Nord lunare e verso l'alto in cielo. Non è effetto atmosferico perché la Luna era già abbastanza alta nel cielo pomeridiano il 13 feb 2019.

Conclusioni con un prisma equilatero davanti all'obbiettivo della camera ho riprodotto gli effetti di *red* e *blue rim*, sotto e sopra gli oggetti luminosi, osservato pure sul Sole all'orizzonte di cui spiego le tecnica di ripresa con diaframma su obbiettivo.

Referenze C. Sigismondi, [test lunare del Newton 25cm/f4](#) 13/2/2019

Gli orologi a ore italiane del Clavio sul Collegio Romano

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*
(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)

Submitted March 25th 2021, accepted March 30th

Abstract Christopher Clavius (1538-1612) was a Jesuit father, mathematician and astronomer, coauthored the Gregorian reformation of the calendar. He was called *the second Euclid*; among his publications, we have the Gnomonics (1591). The vertical sundial at *Italic Hours*, i.e. *after sunset* was described in the second book, and realized in the façade of the Collegio Romano in Rome, where Clavius taught Mathematics and Astronomy from 1567 for forty years. Here this noteworthy instrument four centuries old is measured, described and simulated using an online applet by F. Martinelli.

Sommario Cristoforo Clavio (1538-1612) era un padre Gesuita matematico e astronomo, chiamato *il secondo Euclide*, insegnò per un quarantennio dal 1567 matematica e astronomia al Collegio Romano e partecipò alla riforma Gregoriana del Calendario (1582). Tra le sue numerose pubblicazioni c'è la Gnomonica (1591) in otto libri. La Meridiana Verticale declinante a Ore Italiane è descritta in dettaglio nel secondo libro e fu realizzata sulla facciata (e sull'antifacciata) del Collegio Romano. Questo strumento, di oltre 400 anni, è misurato, descritto e simulato utilizzando telefoto e il calcolatore web di meridiana di Martinelli.

Introduzione: Clavio tra Copernico e Galileo



Fig. 1 Il Collegio Romano (1584) costruito dalla Compagnia di Gesù per volontà di Gregorio XIII *Religionis ac Bonis Artibus*.

Cristoforo Clavio era un gesuita della prima ora. S. Ignazio di Loyola che fondò nel 1540 la Compagnia di Gesù aveva già individuato nei suoi statuti l'aspetto della contemplazione della natura come opera di Dio, e quindi dello studio scientifico come aiuto a completare questa contemplazione. Alla *Ratio Studiorum* dei gesuiti il contributo di Clavio fu determinante (Gionti, 2018) e, mentre a tutti era data una formazione anche matematica di base, alcuni, più versati, continuavano la specializzazione per insegnarla a loro volta. Fu chiamato per questo *il Secondo Euclide*, per aver curato l'edizione latina del trattato geometrico classico. In Astronomia il suo *Commentario alla Sfera del Sacrobosco* (1570) vide numerose edizioni e presentava la materia in modo sistematico e rigoroso, come il trattato di Euclide. Introdusse in Algebra l'uso del segno =. Clavio contribuì alla *Rivoluzione Copernicana* accogliendo le nuove ipotesi con senso critico, e Galileo con stima e rispetto reciproco. Osservò al suo telescopio dalle terrazze del Collegio Romano, e morì nel 1612. **Gli orologi ad ore italiche *ab occasu Solis*** Questi orologi furono utilizzati dal XII fino al XIX secolo. Clavio ne tratta nel



Fig. 2 L'orologio Sud Est con le ore fino alle 24, il 29/3 h 13:40.

secondo libro della Gnomonica (1591). Hanno la particolarità che le linee orarie non convergono in un punto. La lettura dell'orario va fatta a partire dal punto finale dell'ombra dell'orto-stilo, ossia lo gnomone perpendicolare alla parete verticale dove sono tracciati. L'orologio verticale può essere declinante, ossia il piano della parete deviare dalla retta Est-Ovest. Per il Collegio Romano ho preso come dati -17.2° , considerandolo parallelo alla via del Corso, l'antica via Lata romana, misurata da me già con il Sole (Sigismondi, 2007).

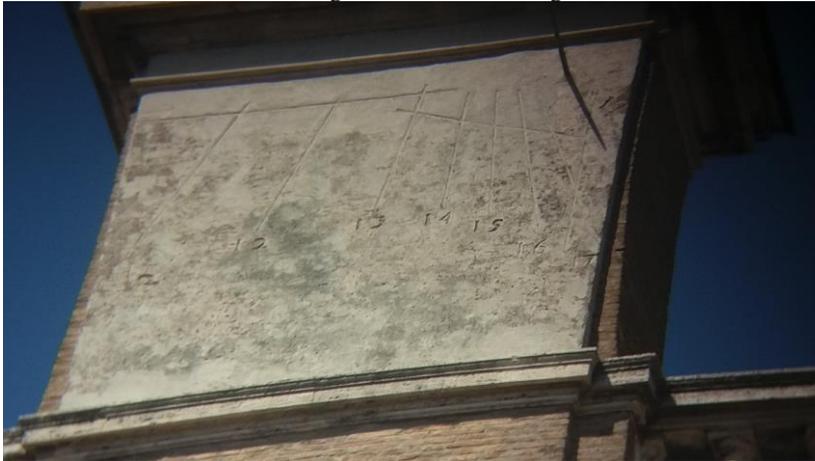


Fig. 3 L'orologio occidentale, il 29 marzo 2021 h 13:41.

La linea orizzontale in figura 2 è quella del tramonto (ore 24) e quella della 3 è l'alba. La linea obliqua è l'equinoziale, percorsa dalla punta dello stilo all'equinozio. La linea verticale a sinistra dello stilo in entrambe le figure 2 e 3 è la meridiana. Le linee e le scritte si intravedono solo al cannocchiale. Questo foto sono con 7x ottico e 3x digitale. La prima linea oraria della fig. 3 è quella delle $11 \frac{1}{2}$ descritta da Clavio in una nota della Gnomonica II libro pag. 234 e nello *scholium* (chiosa, annotazione) alla proposizione 10 a pag. 40. Questo orologio funziona al mattino, quando l'ombra dell'ortostilo è sopra esso, mentre quello di destra (occidente) al pomeriggio nei

mesi tra l'equinozio autunnale e quello di primavera.

Clavio ha provveduto anche ai mesi estivi complementari, realizzando due orologi gemelli nelle facciate a Nord, retrostanti, di questi due orologi, visibili dal cortile interno.

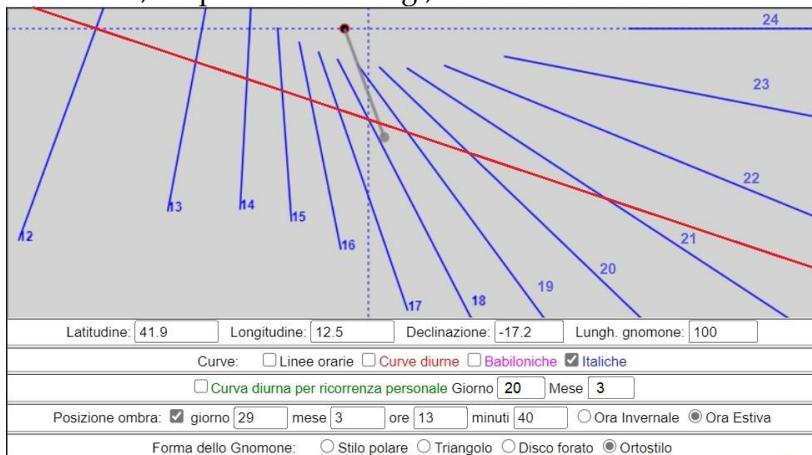


Fig. 4 Orologio con gli stessi parametri di quello di Clavio.

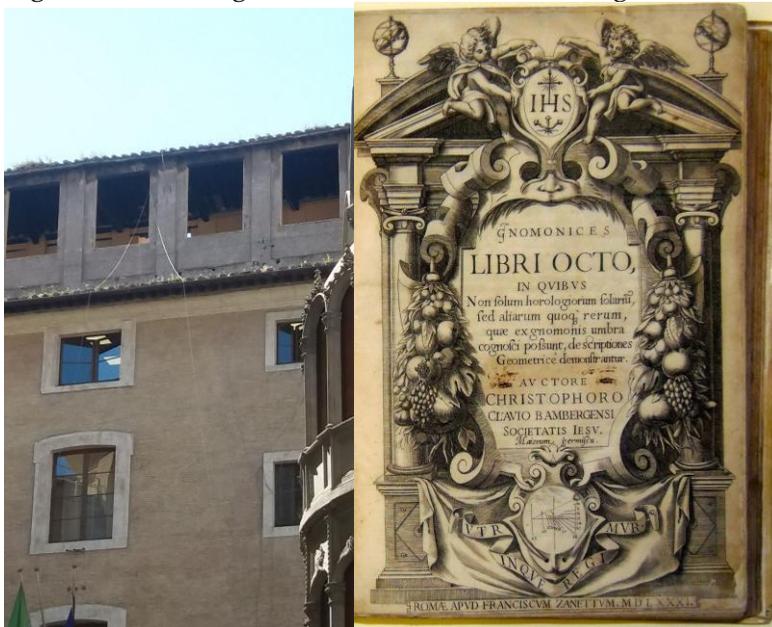
La simulazione qui sopra è fatta con l'applet di Franco Martinelli su http://fram.interfree.it/meridiane/italiche_babiloniche.htm e riproduce molto bene le Figg. 2 e 3 che ne sono rispettivamente la parte destra e sinistra.

Conclusioni Gli orologi del Clavio al Collegio Romano, due sulla piazza e due sul cortile interno, sono la *summa* della sua opera di Gnomonica dove sistematizzò la materia con il rigore della geometria euclidea e la sintesi dell'astronomia antica (Vitruvio, Tolomeo) e medievale (sia arabi che latini). Inoltre ne testimoniano in modo visibile l'opera instancabile che fece di Roma il trampolino per diffondere nel Mondo la nuova astronomia, con una opportuna fusione di nuovo e antico.

A Roma si formò il pensiero matematico-scientifico che potesse servire oltre che la contemplazione anche l'azione: gli allievi di Clavio, Grassi, Scheiner, Riccioli, Kircher... fondarono metà degli osservatori astronomici ora nel Mondo.



Fig. 5 Altra immagine alle 14:47 del 30/3. Orologio Sud Est.



Figg. 6 e 7. Le logge di Galileo sopra l'ingresso della Biblioteca (Est) ora sede del Ministero dei Beni Culturali. Antiporta delle *Gnomonices libri octo* di Clavio, stampato a Roma 1591. Il logo in basso contiene proprio un orologio verticale a ore italiane.

Gli astronomi gesuiti erano molto richiesti per la loro opera cartografica, come mostra l'esperienza di Matteo Ricci, altro allievo del Collegio Romano, giunto dall'Imperatore cinese.

Un restauro conservativo dei quattro orologi, dopo quattro secoli onorerebbe Clavio, la Storia della Scienza e Roma.



Fig. 8 L'orologio di controfaçciata Nord Est solo per le ore estive 21, 22 e 23 precedenti il tramonto; infatti non ha la linea meridiana verticale, ma solo l'equinoziale. La foto presa prima del tramonto nell'inverno 2012, anno del quarto centenario di Clavio, non ha l'ombra dello stilo, perché la luce del Sole in inverno batte sul semipiano dietro, quello che dà sulla piazza.

Referenze C. Clavio, *Gnomonices Libri Octo*, Roma (1591)

J. M. Lattis, *Between Copernicus and Galileo*, Un.Chicago Press (1995)

F. Martinelli (2019) http://fram.interfree.it/meridiane/italiche_babiloniche.htm

G. Gionti (2018) Marcel Grossmann XV, Roma A. Secchi Bicentennial

C. Sigismondi (2012) [IV Centennial Clavius Meeting](#) ESOP XXXI

C. Sigismondi, *Effemeridi*, UPRA, Roma (2007)

R. Lay, M. C. Beltrano, C. Sigismondi, [Il Collegio Romano da Clavio ai Nostri giorni](#) (2012) Celebrazioni del quarto centenario, sito della Chiesa del Gesù.

Segnature di raggi cosmici su spettri e immagini

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Paolo Ochner *paolo.ochner@unipd.it*

(Università di Padova e INAF Osservatorio Astrofisico di Asiago)

Submitted March 31th 2021, accepted April 1st

Abstract A cosmic ray signature appeared in the spectrum of the SN in NGC 3310 AT2021gmj at the Galileo Telescope of Asiago. Cosmic rays are always present in the images of SOHO coronagraph C3. Their position is not an “image” and it relays on the energy transmitted to the detector in that pixel. For the spectrum an emission-line feature appears, less wide than the spectral resolution. For the coronagraph the trails left from cosmic rays are also related to their direction of motion, projected on the plane of the image. The Parker theory on the solar wind and the 11-year modulation of cosmic rays signatures density on SOHO images is mentioned.

Sommario La segnatura di un raggio cosmico è comparsa nello spettro della SN AT2021gmj osservata al Telescopio Galileo di Asiago il 31 marzo. I raggi cosmici sono sempre presenti nelle immagini del coronografo C3 di SOHO. La loro posizione non è un’immagine ed è legata all’energia trasmessa al rivelatore in quel pixel. Per lo spettro che dà informazioni unidimensionali (la lunghezza d’onda λ corrisponde all’ascissa e l’intensità $I(\lambda)$ ci mostra le varie righe spettrali) il “cosmico” è una riga stretta, più della risoluzione spettrale dello spettrografo. Per l’immagine al coronografo un’informazione bidimensionale della direzione di provenienza può conservarsi. Un cenno alla teoria di Parker sul vento solare e alla modulazione undecennale del campo magnetico solare sull’arrivo dei raggi cosmici galattici o extragalattico viene fatto.

Introduzione: I raggi cosmici Sono delle particelle che giungono dallo spazio con velocità molto elevate, senza che se ne conosca la sorgente di provenienza. All’ingresso in atmosfera possono generare delle cascate di particelle secondarie che possono perdere la direzione originaria. Si possono percepire ad occhio nudo come un punto luminoso istantaneo, su immagini al telescopio e su spettri, o come strisciate di bollicine in una camera a nebbia. Senza entrare nel dettaglio della loro fisica in interazione con la materia cerchiamo di cogliere alcuni aspetti di ottica ed energetica.

Un raggio cosmico nello spettro di una supernova

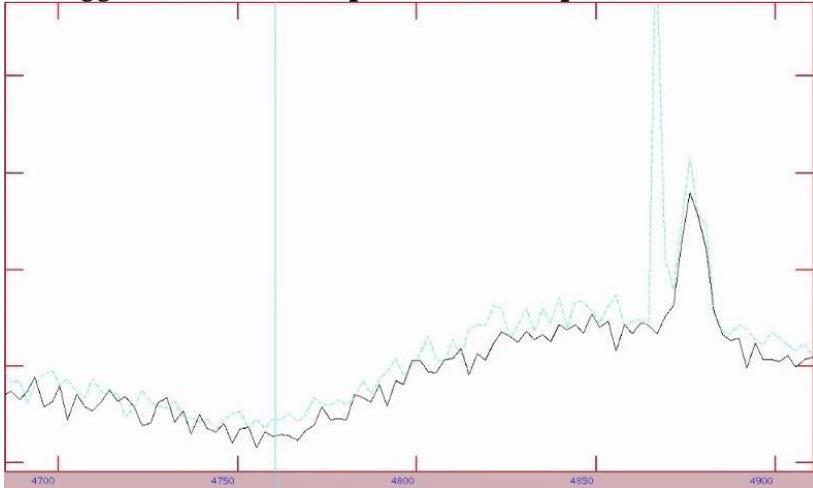


Fig. 1 Segnatura di raggio cosmico come picco verde a sinistra della riga H β dell'Idrogeno; sono due spettri sovrapposti.

La riga H β in un laboratorio in quiete rispetto al gas che emette questa radiazione, è la seconda riga della serie di [Balmer](#) con $\lambda=4861$ Å. Per la Supernova SN AT2021gmj in NGC 3310, scoperta il 17 marzo 2021, l'**effetto Doppler** dovuto alla velocità relativa tra noi e la sorgente ha spostato la riga a $\lambda=4878$ Å. Poiché $\Delta\lambda=17$ Å verso il rosso (λ maggiori) l'oggetto è in allontanamento da noi. Lo spostamento verso il rosso *red shift* $z= \Delta\lambda/\lambda=3.497/1000$ corrisponde a $v=cz=1049$ km/s. Questa velocità è la composizione tra la recessione cosmologica della galassia ospite NGC 3310 (legge di Hubble-Lemaître $v=H_0d$, con $H_0=81$ km/s/Mpc, da cui –se la velocità fosse solo dovuta all'espansione dell'Universo, $d=1049/81=12.95$ Mpc) e l'espansione della fireball della SN (che tipicamente vale sui 1000 km/s, per cui l'espansione non dovrebbe essere lungo la linea di vista). **Fluttuazioni statistiche** nei conteggi fotonici in questo spettro ottenuto al telescopio Galileo di Asiago, sono riconoscibili come dei piccoli zig-zag ampi un pixel.

Il rapporto Segnale/Rumore della riga $H\beta$ è molto maggiore delle fluttuazioni dove vale 1. Il **Rumore statistico** è la radice quadrata dei conteggi del fondo. Il raggio cosmico dello spettro verde, che è stato il primo di mezz'ora di tempo d'integrazione, ottenuto dalla Supernova, ha dato un segnale anche più forte di $H\beta$, ma non ha l'allargamento della riga tipico della risoluzione spettrale del nostro spettroscopio, o – eventualmente- dell'allargamento termico della sorgente che lo emette, che è l'altra causa di allargamento delle righe spettrali, intrinseca alla sorgente e non dovuta al rivelatore.

Passando nel rivelatore dello spettroscopio, il raggio cosmico ha rilasciato casualmente, proprio presso il pixel che corrisponde alla lunghezza d'onda di $H\beta$ la sua energia. Se fosse parte della segnatura di $H\beta$ bisognerebbe capire 1) perché è circa 10 Å di meno del resto di $H\beta$; 2) perché nel secondo spettro di uguale durata nell'acquisizione non compare più 3) perché la sua larghezza è solo di un pixel.

Questa terza questione è proprio l'indizio più chiaro che quel segnale è giunto al rivelatore senza aver subito la dispersione che produce, attraverso la fenditura e il prisma, lo spettro, ma è andato a colpire quel pixel proveniendo genericamente da quella direzione. Quanto a 2), ammesso che esistesse 1) una riga di λ 10 Å inferiore, bisognerebbe pensare che la sua intensità abbia fluttuato del 100% in mezz'ora, poco plausibile. È vero che lo studio delle SN oggi viene condotto con sempre maggiore risoluzione temporale, per identificare segnature relativistiche di contrazioni temporali sul segnale osservato, che comprimono fasi di giorni e ore in segnali di frazioni di secondi, ma comunque si tratta di considerazioni che hanno solo valore didattico, quando l'esperienza degli Astronomi ci risolve il problema.

Effetto Doppler sull'altra riga spettrale, la H α

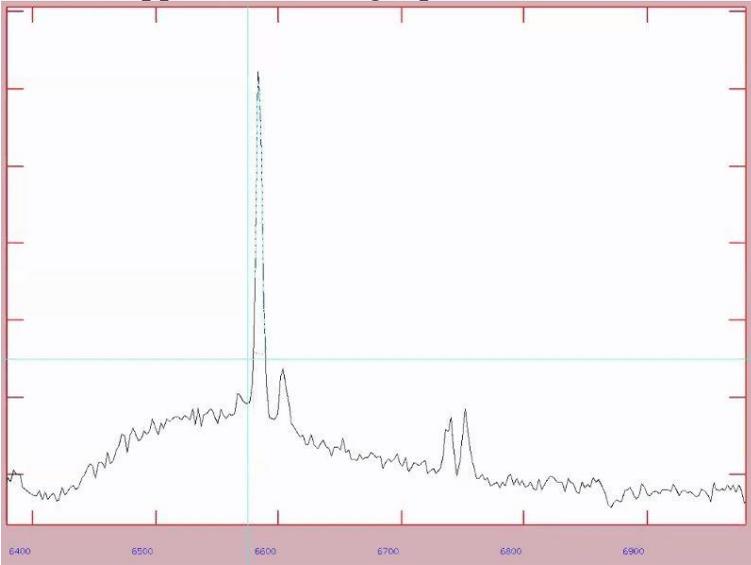


Fig. 2 la riga H α della stessa SN il 31 marzo h 20:30UT.

Il baricentro di questa riga è a $\lambda=6593 \text{ \AA}$, mentre a riposo $\lambda_{H\alpha}=6562.8\text{\AA}$, quindi abbiamo un redshift $z=\Delta\lambda/\lambda=20.2/6562.8=3.078/1000$ che corrisponde a $v=cz=923 \text{ km/s}$. L'oggetto è lo stesso e alla stessa distanza cosmologica da noi, ma le velocità di recessione (allontanamento) lungo la linea di vista sono differenti. Siccome la determinazione del baricentro della riga è statisticamente piuttosto accurata, il problema di interpretare questi dati si sposta su modelli spaziali di esplosioni anisotrope, dove diversi processi fisici corrispondenti a diverse righe ed energie termiche o cinetiche in gioco, avvengono in punti diversi della "palla di fuoco" fireball in espansione. Non entriamo in queste discussioni, ci basta mostrare quanti problemi si aprono da considerare dati molto accurati. L'Osservatorio Astrofisico di Asiago dal 1942 ha avuto un ruolo determinante nell'Astrofisica mondiale sullo studio e l'interpretazione di questi questi fenomeni.

Fotometria differenziale dall'immagine di guida della SN



Fig. 3 La SN AT2021gmj il 31/3/21 a destra ed il 21/3 nel riquadro più scuro e dettagliato ([Virtual Telescope](#)) e tutto a destra l'immagine di repertorio su [SIMBAD](#) di NCG3310.

L'immagine della camera di guida del Telescopio Galileo da 122 cm di diametro di Asiago è quella centrale con la galassia già saturata; la linea nera trasversa è la fenditura dello spettroscopio, prima che la SN vi sia posta per farne lo spettro. Il riquadro a sinistra è la foto della SN fatta col Virtual Telescope il 21/3, mentre a destra la SN non compare, e sul catalogo online di tutti gli oggetti astronomici come stella c'è solo la 2MASS J10384767+5331445 con magnitudine B=16.1 ed R=15.2. La "stella" sotto la galassia non è catalogata, e forse è una nube HII della galassia stessa, piuttosto che una stella della nostra galassia, ma è evidentemente al limite delle possibilità del catalogo... del resto stelle di quella magnitudine nella nostra galassia ce ne possono essere miliardi.

Se assumiamo queste due immagini "genericamente" nella banda visibile dello spettro, come fossero misure visuali, con l'occhio umano come rivelatore, dopo il percorso della luce nel telescopio, la stella indicata dalla freccia è la Supernova, poco

più intensa della stella/HII posta in basso e meno di quella 2MASS in alto, del riquadro. Nel campo della camera di guida del T122 Galileo la SN appare **relativamente più brillante** di entrambe le due stelle (che appartengono alla nostra Galassia) avendo leggermente superato quella di sopra. Nei 10 giorni tra le due immagini la SN ha aumentato la sua luminosità. Il metodo di valutazione visuale della magnitudine fu sviluppato nell'ottocento da Argelander, e richiede la conoscenza delle magnitudini delle stelle di confronto. Quindi possiamo dire che la SN ha eguagliato la magnitudine di 2MASS, che però nel nostro catalogo è solo B o R, e la banda V è intermedia tra le due. Valutando la magnitudine di 2MASS così a $V=15.65$, troviamo anche quella della Supernova il 31 marzo. Nel sito delle LATEST SUPERNOVAE gestito dalla Purdue University, alla scoperta il 20 marzo $12''.6$ E e $18''.2$ N del centro di NGC 3310 a magnitudine 15.1 questa supernova è passata alla 15.8 il 25 marzo e noi valutiamo 15.65 il 31 marzo. È una SN di tipo II con $z=0.0033$ mentre lo z della galassia ospite è $z=0.003312$ (da dati di repertorio).

L'incertezza sulla nostra misura fotometrica del 31 marzo è di qualche decimo di magnitudine, anche perché la banda fotometrica non è ben definita. Anche l'incertezza sul redshift a seconda delle righe ci vengono valori tra 0.0034 e 0.0031 compatibili, in ordine di grandezza con quelli pubblicati.

Qui si è trattato di un'analisi preliminare, per delineare solo alcuni principi di fisica.

Energia cinetica di un protone del vento solare

Sono raggi cosmici di origine solare, viaggiano a tipicamente a 400 km/s, qual è la loro energia cinetica in elettronvolt [eV]? Innanzitutto la scelta dell'unità di misura in un problema di Fisica è funzionale all'ambito di lavoro. Nelle cosiddette alte energie, e Fisica delle Particelle elementari conviene l'eV,

sapendo che un elettrone ottico (che interagisce con i fotoni visibili) scambia energie di 0.3-1 eV. L'energia cinetica non relativistica è $\frac{1}{2}mv^2$, la massa a riposo $E=mc^2$ del protone è circa 1 GeV (l'elettrone ha massa 0.511 MeV e il protone è 1837 volte quella dell'elettrone). Il rapporto tra energia cinetica e massa a riposo è $\frac{1}{2}(v/c)^2=9\cdot 10^{-7}$. Quindi l'energia cinetica del protone è $9\cdot 10^{-7}\cdot 1\text{GeV}=90\text{ eV}$. Questa energia viene ceduta dal protone al rivelatore quando ci sbatte sopra...dove ciò avviene. L'energia di 90 eV ceduta dalla particella non è visibile, perché la lunghezza d'onda cade nei raggi X ($E=h\cdot v$, legge di Einstein).

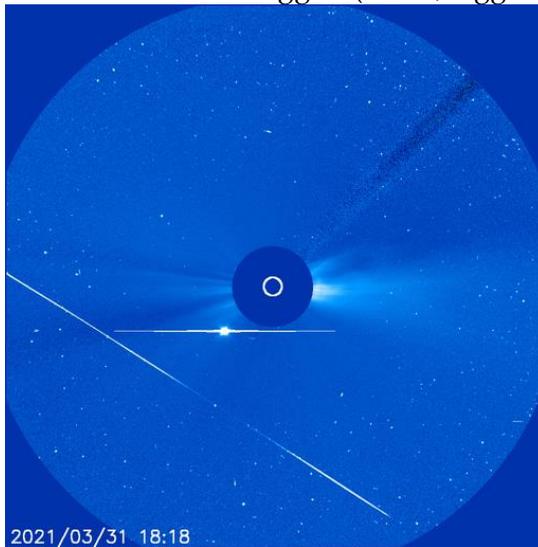


Fig. 4 Un raggio cosmico lascia una traccia diagonale, e Venere in congiunzione superiore al Sole, sversa fotoni lungo i pixel della stessa riga. La corona mostra i suoi streamers equatoriali. Venere è nei Pesci e $\delta\text{ Psc } m_v=4.44$ è la stella "a ore 10" dal Sole. Normalmente i raggi cosmici visibili dal coronografo C3 di SOHO, quello a campo largo, sono sempre presenti in una singola immagine e la loro apparizione e traccia è del tutto casuale. Se i rivelatori del C3 sono sensibili alle energie

trasmesse dai protoni solari, quando arrivano “ventate” del vento solare abbiamo delle tracce parallele. Se consideriamo che un protone del vento solare possa anche essere animato dalla velocità di rotazione del Sole (circa 2 km/s alla fotosfera) abbiamo che la composizione tra velocità del vento e velocità tangenziale potrebbe avere un rapporto di 2/400. Sapendo che 1/100 radianti è il diametro del Sole, le traiettorie (invisibili se non nell'intersezione col piano del rivelatore) provengono dalla stessa direzione e lasciano tracce analoghe, si parla di radiante dei raggi cosmici in una tempesta solare? Sembra di sì

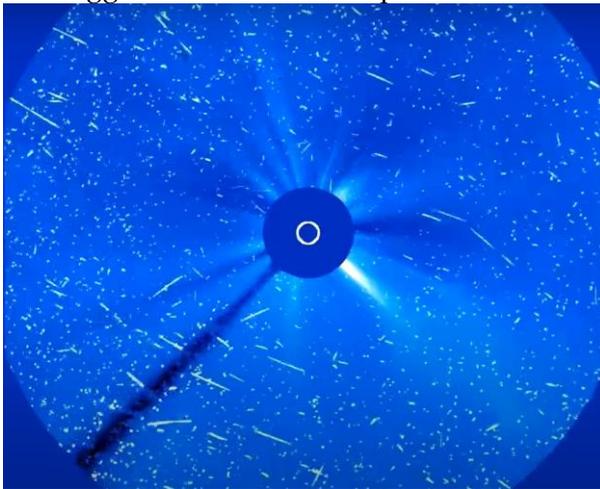


Fig. 5 La tempesta solare del 23 gennaio 2012: tracce parallele.

Conclusioni i raggi cosmici sono particelle elementari dallo spazio profondo, la cui radiazione secondaria può arrivare anche a Terra. Non possono essere focalizzati dalle ottiche e interagiscono direttamente con il rivelatore con punti o tracce.

Referenze

B. Rossi, *Raggi Cosmici*, Mondadori, Milano (1971)

C. Sigismondi, *Astronomia di Posizione per Muoni*, UPRA (2008)

<https://www.rochesterastronomy.org/supernova.html#2021gmj>

<https://soho.nascom.nasa.gov/data/Theater/> (25-31 marzo 2012 C3 e C2)

<https://www.youtube.com/watch?v=sZe692fyxOw> (23 Gennaio 2012)

Velocità in caduta dei pollini di platano e cipresso

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Alessandro Travaglini *travagli@uniroma2.it*

(Università di Roma, Tor Vergata) *lorenzo.ricciardi2000@virgilio.it*

Lorenzo Ricciardi (Università di Roma Tre)

Submitted March 31th 2021, accepted April 1st

Abstract The free fall in air of a microscopic sphere is calculated for a parametric radius, and it is applied to the observed velocities of the cypress' pollens 20 cm/s and to the observed falling distances of platans' ones 1 km.

Sommario La caduta libera in aria di una sfera microscopica è calcolata per un raggio parametrico ed applicata sulle velocità osservate per i pollini di cipresso (20 cm/s) o alle distanze di caduta, entro 1 km, dai platani.

Introduzione: alberi millenari e i loro pollini



Fig. 1 e 2 Affreschi botanici nell'Oratorio del Caravita a Roma. I due alberi di cui studiamo i pollini hanno vita molto lunga

anche negli ambienti cittadini, dove raggiungono dimensioni ragguardevoli. Il cipresso è simbolo di eternità, con il suo slancio verticale, e lo troviamo anche nello stemma di Papa Leone XIII. A Roma i viali alberati a platano più celebri sono i Lungotevere e le vie del quartiere Prati e Ostiense, e ovunque sia evidente l'impronta urbanistica dei Savoia, per il loro grande effetto scenografico raggiungendo i 30 metri d'altezza. Le piante hanno già circa 120 anni, come da stima diretta su un tronco appena segato. Le alberate di viale delle Milizie e Viale Giulio Cesare, sono di fine 'ottocento inizio novecento.





Fig. 3-4 Tronco segato a via Barletta, Roma il 17 gennaio 2021. Tutti questi alberi appartengono alla specie *Platanus hispanica*, mentre all'orto botanico di largo Cristina di Svezia è possibile ammirare due esemplari vetusti, di circa 400 anni, della specie autoctona del nostro paese, *Platanus orientalis*.

Modello sferico del polline in caduta libera

Nel modello semplicissimo di polline come una sfera di raggio r μm e coefficiente di viscosità dell'atmosfera β si vede subito che il tempo di caduta della sferetta è proporzionale all'altezza dell'albero e inversamente alla dimensione del polline. Sperimentalmente abbiamo valutato che il polline di **cipresso** cade (quando non c'è vento, ed è rarissimo vederlo in queste condizioni) a $v=20$ cm/s. Il suo diametro va da 21 a 31 μm . Il raggio è $r=13\pm 5$ μm . Per il **platano** il diametro del granulo, che è debolmente oblato (cioè che il diametro equatoriale è maggiore del polare) misura Equatoriale 22,1-24,2 μm e il Polare da 18,2 a 21,1 μm ; leggermente più piccolo del cipresso. Nella caduta libera in aria la forza di gravità va in equilibrio con la resistenza dell'aria: $F = m \cdot g$ gravità $F = \beta \cdot v^2$ attrito aria $m \cdot g = \beta \cdot v^2$ da cui $v \sim (gr^3)^{1/2}$. Si noti che se la legge di attrito fosse $F = \beta \cdot v$, come nel regime fluidodinamico di Stokes, la

velocità di caduta all'equilibrio sarebbe $v \sim \rho r^3$.

La dipendenza dalla densità è lineare/radicale, ed è ragionevole considerarla per tutti pollini pari a quella dell'acqua, mentre la dipendenza da r è a legge di potenza e ne analizziamo la generalizzazione. Se il polline di cipresso cade a 20 cm/s, quello di platano che è mediamente poco più piccolo dovrebbe cadere più lentamente. Sospinto da un vento trasversale il cipresso si diffonde a molti chilometri, senza limiti, mentre il platano la concentrazione si riduce notevolmente oltre un chilometro di distanza dalla fonte. Esistono dei lavori che descrivono la caduta dei granuli pollinici di platano. Misero delle piastre a distanze crescenti da alcuni platani. Il 98% del polline ricadeva nel raggio di un km. A conferma di ciò i rivelatori di polline in aria di Tor vergata hanno pochissimi granuli, di più se ne trovano all'Ospedale san Pietro e ovviamente molto alta è la quantità rilevata a Cipro che li ha molto vicini. Il polline di platano, "è poco mobile", rimanendo sostanzialmente nei paraggi della sorgente. Quindi per chi è allergico un buon consiglio è quello di tenersi alla larga, se possibile, dalle zone dove i Platani sono presenti.

Supponendo un vento teso di 20 m/s, senza turbolenze, per fare 1 km di traverso impiega 50 s, che a 20 cm/s corrisponde a 10 m di dislivello. Quindi da un platano alto 20 metri possono cadere pollini a 40 cm/s e spargersi fino ad 1 km. Ma perché il polline di platano dovrebbe cadere più velocemente avendo le stesse dimensioni medie di quello del cipresso? È un problema di fluidodinamica, dovuto alla forma nanoscopica?

L'aerodinamica della pallina da golf è soggetto di uno studio di qualche decennio fa apparso su Scientific American: la pallina da golf, con le sue conchette sparse sulla superficie, veleggia meglio di una pallina sferica e raggiunge distanze maggiori. Quindi il polline di platano deve avere meno

irregolarità/rugosità di quello di cipresso per “cadere” subito, oppure la forma gli conferisce un *drag coefficient* minore.

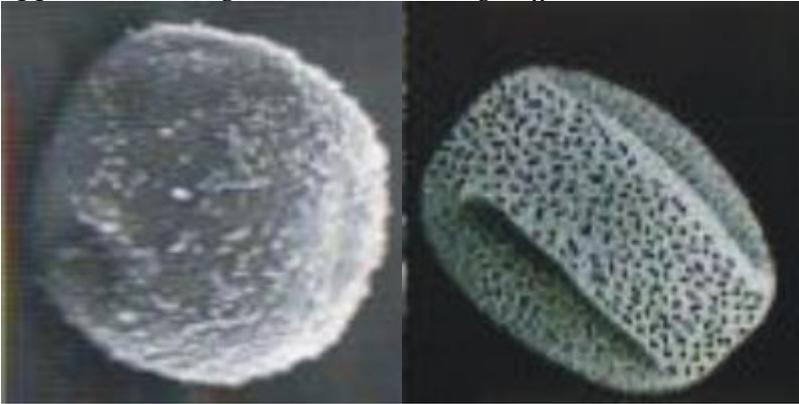


Fig. 5-6 Pollini di cipresso e platano al microscopio elett. 2500x

Conclusioni Cipresso e platano hanno pollini simili (diam. 20 micron) e cadute differenti, il cipresso resta volentieri in aria, il platano cade subito ed è considerato poco volatile (<1km). Un polline in caduta libera cade in moto laminare (legge di Stokes, resistenza proporzionale alla velocità, non legge di Bernoulli~ v^2) rispetto all'aria circostante. Per il cipresso vale "**la regola del 20**": il polline in caduta libera in aria va a circa 20 cm/s (osservati), e ha un diametro di 20 micron (osservati): cade in moto laminare, cioè tende ad offrire il profilo di maggior attrito, di maggior sezione d'impatto, come fa un piattino in acqua, che va a fondo scendendo in orizzontale.

La proporzionalità tra raggio e velocità a regime del polline con $v \sim r^{3/2}$ considerando la velocità di caduta libera "a regime" dopo qualche istante di accelerazione, quando la forza di gravità è eguagliata dall'attrito, non rende ragione della grossa differenza di “caduta” dei pollini di platano rispetto ai cipressi. Solo se consideriamo un regime ad alto numero di Reynolds, quindi flusso non laminare, ma turbolento, per i pollini in caduta libera, il coefficiente di drag dell'aria è [0.38](#)

per la sfera ideale, ed è minore per un ellissoide come dovrebbe essere il platano; [qui](#) vale circa 0.08, e quindi ciò potrebbe spiegare perché il polline di platano cada vicino alla fonte: non subisce attrito dall'aria come il polline di cipresso, o ne subisce tra $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{5}$. Questo valore dei coefficienti di attrito viscoso per ellissoidi è confermato anche da [un'altra fonte](#), dove per rapporti 1:1.25 il coefficiente arriva a 0.13 da valori inferiori per rapporti 1:5, quindi l'ellissoide più è oblato più sfilava veloce, più tende alla sfera più oppone resistenza al flusso "Euleriano" che gli arriva contro durante la caduta libera, in cui l'oggetto cade offrendo il profilo di maggiore coefficiente d'attrito (Miedema, 2021 §4.5). Altra causa di attrito è la **struttura microscopica** (o nanoscopica) dell'esina del polline (la sua "buccia"). Se ha "dimples" come la palla da golf, va più lontana che se non ne avesse. Sicuramente l'esina ha strutture rugose alla superficie, ma a 2500x le immagini dell'atlante consultato non mostrano granché. Infine c'è la **densità** o la distribuzione asimmetrica della massa nel polline, che possono orientarne la caduta ed aumentarne la velocità. Morale: l'ellissoide ha meno attrito viscoso della sfera ad alti numeri di Reynolds, che però non si applicano al polline in caduta libera; l'esina corrugata può avere più resistenza aerodinamica della superficie liscia, e se il polline di platano è più denso di quello del cipresso o la sua massa è asimmetrica può cadere più velocemente perché più pesante e offrendo un profilo di minore resistenza. La caduta è stabilizzata non essendo le velocità tali da generare turbolenze, regime laminare di Stokes

Referenze http://web.tiscali.it/asmaeallergia/atlante_polline.htm (2002)
<https://www.scientificamerican.com/article/how-do-dimples-in-golf-ba/> 2005
<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/shaped.html>
Sape A. Miedema, [Slurry Transport](#), LibreTexts (2021) cap. 4
https://www.engineersedge.com/fluid_flow/ellipsoid_surface_drag_14047.htm
Schwendemann, A. B., et al., Am. J. of Botany **94**(8), 1371 (2007)
Sosnoskie, L. M., et al., Weed Science **57**, 409 (2009)

VY Canis Majoris da Roma: fotometria e fondo cielo

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 31th 2021, accepted April 6th

Abstract The red hypergiant VYCMa is a Southern star, is observed as 8.5 magnitude at 20.5° altitude in Rome on Easter 2021. The limiting magnitude at that altitude and azimuth is ranging between 8.5 and 9.2, with a mag loss of 0.67 for airmass and ≤ 1.33 for light pollution. In April 2020 light pollution was ≤ 1.03 mag at 35°. The light curve of the star is discussed.

Sommario L'osservazione di VYCMa da Roma a 20.5° di altezza, alla magnitudine 8.5 aveva la magnitudine limite tra 8.5 e 9.2 con un telescopio da 3''f/5, da confrontare con la 9.8 il 30 Aprile 2020 a 35° per R Leo, con lo stesso strumento, per valutare l'inquinamento luminoso del cielo notturno. La curva di luce di VY CMA dall'AAVSO è brevemente discussa.

Introduzione: fotometria al telescopio per l'AAVSO

Dal 1997 osservo le stelle variabili e dal 1999 sono *contributing observer* dell'AAVSO al fine di rendere utile alla comunità scientifica internazionale un'attività personale: ho quasi 2500 osservazioni trasmesse a quel sito. La vita in città, Roma, con orizzonti limitati dalle case, rende queste osservazioni difficoltose, ma non più difficili che se fossi in Osservatorio. Dal 2011 ho scelto di seguire delle stelle variabili luminose, visibili a occhio nudo α Ori, δ e α Sco per non interrompere le osservazioni e i contributi al database di AAVSO: una buona motivazione evita l'abbandono; nel 2019-2021 le mie osservazioni di Betelgeuse sono state consultate ogni giorno!

Dal 2015 ho ripreso le osservazioni col telescopio per le Novae nel Sagittario, tornando ad utilizzare lo Schmidt Cassegrain da 20 cm lasciandolo montato in sala e aprendo solo la serranda e la finestra per osservare, senza tirarlo fuori: il suo peso me ne aveva scoraggiato l'utilizzo per molto tempo. Lasciarlo dentro una stanza ha limitato il disturbo delle luci da fuori. Nel 2020 ho inaugurato l'astronomia da davanzale con un piccolo telescopio Newtoniano da 3'' e 35 cm di focale, che pesa mezzo chilo: con questo mi sono spinto fino alla decima magnitudine

e a fare conoscenza con R Leonis, R Hydrae, VY Canis Majoris. Oltre alla soddisfazione di dare un contributo alla fotometria di queste variabili, soprattutto [VY CMa](#) che è irregolare, ho la possibilità di monitorare l'inquinamento luminoso dalla città.

Fotometria di VY CMa il metodo di Argelander per valutare la luminosità di una stella variabile prevede due stelle non variabili di confronto, di magnitudine nota. Su aavso.org si può generare una carta per ogni campo stellare desiderato fino alla magnitudine 18. Per [VY CMa](#) basta un campo di 2° fino alla 10 come per [R Leo](#), dopo aver raggiunto –al telescopio- il campo desiderato e le stelle più brillanti. Non uso puntatori automatici quindi faccio sempre la procedura passo-passo di confronto tra ciò che vedo all'oculare e ciò che ho sulla mappa. Con Stellarium 0.20.2 ho la simulazione di qualunque zona del cielo fino alla magnitudine 9-10, ma AAVSO e simbad mi garantisce la fotometria. **Per VY CMa attorno alla Pasqua 2021 la magnitudine è 8.5** e le stelle di riferimento sono proprio di 8.4 e 8.6. L'osservazione al telescopio con oculare f=9 mm a 39x ha mostrato stelle fino alla 9.2 come la CD-25 4447, che possiamo considerare prossima alla magnitudine limite, ossia la confusione col fondo cielo per la vista ad occhio nudo. Per un telescopio di 3" ossia 76.5 mm di diametro la magnitudine limite a occhio nudo è la 11.2, quindi a Roma ad altezza 20.5°, $2.85 \text{ masse d'aria} = 1/\sin(20.5^\circ)$, perdiamo circa 2 magnitudini. Per R Leonis ad h=35° 1.74 masse d'aria, la magnitudine limite era 9.8, con una perdita di 1.4 mag. Sottraendo l'effetto di estinzione dell'atmosfera (valutato a 0.236 mag/airmass in atmosfera limpida e di giorno col Sole) si avrebbe per la magnitudine limite per l'occhio nudo riportata allo zenit 4.67 (2021 VYCMa) e 5.01 (2020 RLeo) anziché 6.0.

Considerazioni comparative sulla curva di luce di VY CMa

L'iper gigante rossa in questione è classificata come *Red*

Supergiant in *simbad*, per AAVSO la sua magnitudine va dalla 6.5 alla 9.6. Per il catalogo delle stelle variabili [GCVS](#) è variabile di tipo SRC come Betelgeuse, ma il suo periodo è 956 giorni, ben più lungo, con escursione di 3.1 magnitudini, maggiore che α Ori. La curva di luce mostra 3.5 mag.

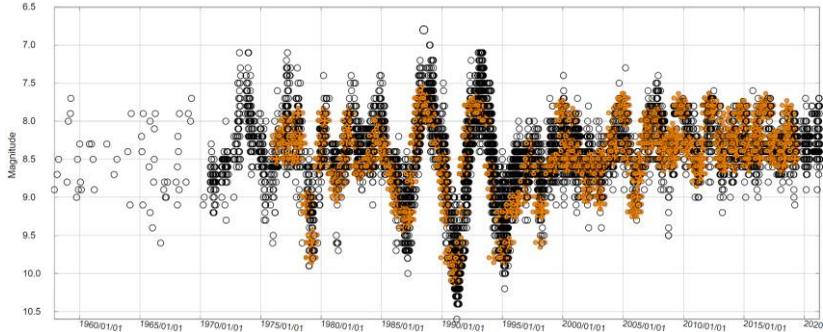


Fig. 1 curva di luce di VY CMa dal 1958 al 2021.

Nel 1988 e nel 1993 i due grandi massimi più recenti e nel 1991 il minimo più profondo. In arancio le 1252 osservazioni di Peter Williams (Australia) durate 43 anni fino al 2019. I dati di un singolo osservatore sono molto preziosi perché possono essere omogenei per studiare bene la stella, oppure possono mostrare l'effetto dell'invecchiamento della retina, che però è minimo nel caso di fotometria differenziale come quella che trattiamo qui. Il periodo principale di 956 gg non è valutato sulle oscillazioni del 1984-1995 che, facendo una media tra "inter-massimi" e "inter-minimi", danno un periodo di 1484 ± 21 gg. Il regime di oscillazione di VY CMa sembra cambiato dopo queste grandi oscillazioni e pervenuto ad un nuovo periodo con minore oscillazione. È difficile valutare la modulazione di un periodo secondario, come per Betelgeuse, perché forse è più lungo dell'estensione dei dati osservativi riguardanti questa stella.

Da dove nasce la definizione di *Ipergigante*

Premesso che la superficie di una stella è al di fuori della

risoluzione angolare degli attuali strumenti, è possibile con metodi interferometrici valutare alcuni diametri stellari. Per VY CMA il raggio è stimato pari a 7 Unità Astronomiche o 1420 ± 120 volte quello del Sole. Le osservazioni di questo tipo sono complesse e non possono essere fatte per tutte le stelle visibili, sono perciò il risultato di un progetto di ricerca mirato, che prende le mosse da alcune caratteristiche spettrali, che si ottengono anche su tante stelle contemporaneamente, dalle curve di luce, che invece sono frutto di singole osservazioni fotometriche dedicate (come quella qui descritta). Se una stella oscilla più lentamente di un'altra, è probabile che la sua inerzia sia maggiore, per cui se abbiamo un rapporto $425:1484 = 1:3.5$ tra il periodo di Betelgeuse e quello di VY CMA durante le grandi oscillazioni 1984-1995 oppure $425:956 = 1:2$ preso negli ultimi 30 anni, può significare che la stella VY CMA sia più grande di α Ori.

Un oscillatore di frequenza $\omega = 2\pi/T \sim \sqrt{K}$, dove K è la costante di Hooke, che per una sfera autogravitante può dipendere dalla gravità superficiale $g = GM/r^2$ (legge di Newton), da cui $\sqrt{K} \sim 1/r$, per cui il rapporto tra le frequenze di Betelgeuse e di VY CMA, a parità di massa, starebbe come quello dei loro raggi, con VY CMA tra 2 e 3.5 volte più grande della Supergigante di Orione. Un raggio maggiore significa temperatura fotosferica maggiore, e anche del nucleo, per cui uno stadio avanzato dell'evoluzione stellare per questa stella rossa, ora quieta...ma giustamente ricordata come candidata a Supernova del tipo Core-Collapse, a collasso del nucleo: quelle di tipo II.

Referenze

<https://www.youtube.com/watch?v=iDSzn7-9v5c>

R. M. Humphreys, et al., *Astron. J.* **161**, 98 (2021) [pdf](#)

M. Wittkovski, et al., *Astron. & Astrophys.* **540**, L12 (2012) [pdf](#)

Analogo della craterizzazione lunare: vettore d'impatto

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted March 31th 2021, accepted April 8th

Abstract The ejecta of impact craters Tycho, Aristarchus and Proclus are studied through “ground analogues” obtained by bird’s dejections. The direction of the ejecta are parallel to the velocity vector of the bird and its height combines free fall velocity with that velocity to obtain the opening angle of the ejecta. A case of vertical fall is also discussed. The Reynolds number regime of the fall is also considered.

Sommario Gli ejecta dei crateri lunari d’impatto Tycho, Aristarco e Proclo sono studiati attraverso degli analoghi terrestri ottenuti dalle deiezioni di gabbiani. La direzione degli ejecta è parallela al vettore velocità dell’uccello, ma la quota di espulsione determina la componente verticale della velocità che si somma vettorialmente a quella dell’uccello determinando l’angolo di apertura degli ejecta. Un caso di caduta verticale e il regime del numero di Reynolds nella caduta sono discussi.

Introduzione: Tycho Aristarchus e Proclus

Tycho è il cratere con raggera più grande della Luna, visibile bene al plenilunio, quasi a occhio nudo, i raggi si dipartono simmetrici in tutte le direzioni; è nell’emisfero Sud al centro.

Aristarchus è nel lato orientale della Luna a Nord dell’Oceano delle Tempeste, il punto più brillante della Luna. Proclus è nel lato Occidentale (primo quarto) presso il mare delle Crisi, e appare come un ventaglio brillante sullo sfondo più antico e più scuro. Tutti sono crateri relativamente “recenti” formatisi tra un miliardo e 300 milioni di anni fa, rispetto alla superficie più scura, bucherellata da micrometeoriti e resa pertanto sempre più scura con l’andar del tempo.

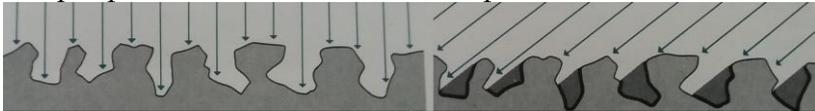


Fig. 1 Modello geometrico per l’albedo lunare (Guérin, 1967).

Le superfici più “giovani” sono proprio quelle più chiare degli ejecta, e si possono identificare a vista sul nostro satellite, anche con un piccolo telescopio.

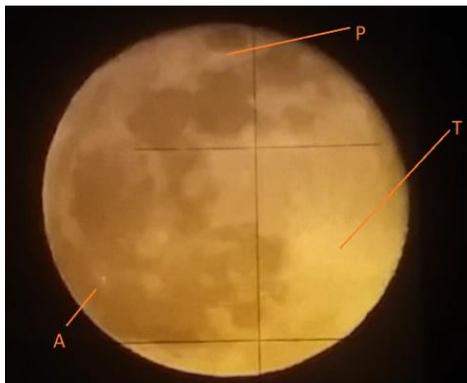


Fig. 2 Luna piena di Pasqua 2021 e le iniziali dei tre crateri.

Analogo a terra: deiezioni di gabbiani in città



Fig. 3 Ejecta lunghi 180 cm per 35 di larghezza: 11° di apertura. Un pezzo è caduto 10 cm sopra: si è rotto in volo?

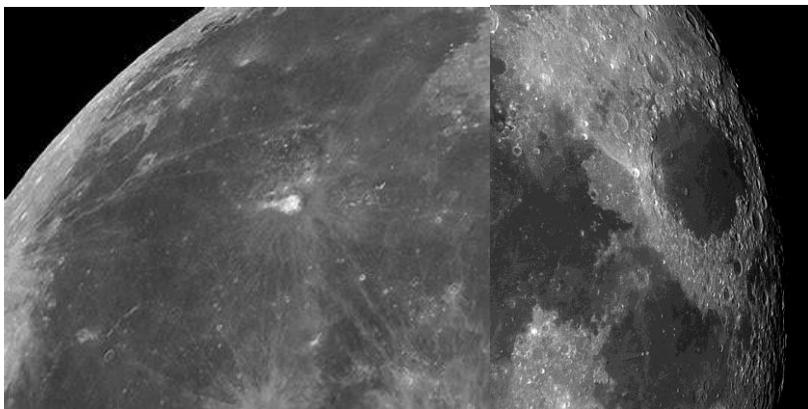


Fig. 4-5 Aristarchus e Proclus: crateri giovani e direzionali.

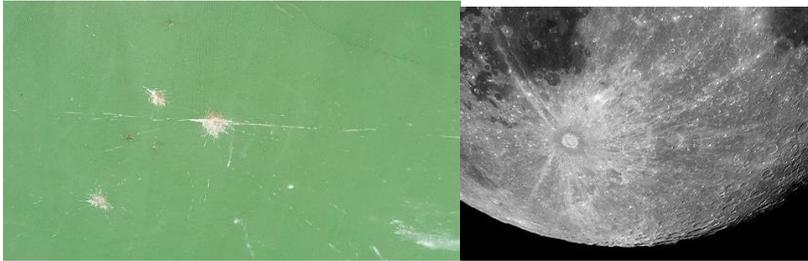


Fig. 6-7 Ejecta simmetrici analogo del cratere Tycho.

Valutazione della velocità di impatto supponiamo il gabbiano a 50 m di altezza. La velocità di caduta libera da lì è $v=g \cdot t$, con il tempo t ricavato dall'equazione $h=\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$, da cui $t=\sqrt{(2s/g)}$ e quindi $v=\sqrt{(2hg)}=31$ m/s [~ 113 km/h]. Se il gabbiano volava 10 m/s, l'angolo d'impatto con il terreno era pari a $\alpha=90^\circ-z$, con $z=\arctan(10/31)\sim 18^\circ$; $\alpha\sim 72^\circ$. Questo angolo si riduce se l'altezza di volo è inferiore. A 25 metri d'altezza (appena sopra i cipressi che circondano il campo) la velocità di caduta libera è $v=22$ m/s, combinata con $v=10$ m/s dà $\alpha\sim 66^\circ$.

Prendendo un valore intermedio tra le velocità di caduta verticale di 26 m/s, combinato con 10 m/s da una velocità d'impatto di 28 m/s, circa 100 km/h, difficilmente replicabile sperimentalmente con "gavettoni".

L'angolo di apertura di 11° - 22° degli ejecta è legato al rapporto tra le velocità di "esplosione" a terra del materiale in caduta, dalla compattezza simile all'acqua e la velocità trasversa d'impatto. Questa resta sempre 10 m/s, ossia quella del volo dell'uccello, che viene conservata nella caduta libera, sia pure in regime turbolento. Ad 1.8 m dall'impatto gli ejecta si sono allargati tra 18 e 36 cm nello stesso tempo, cioè tra 1 e 2/10 della presunta velocità trasversa, che se assunta pari al doppio, cioè 20 m/s, comunque implica fino a 4 m/s di velocità di allargamento degli ejecta. Questi partono da una goccia di circa 3 cm di diametro, con una certa coesione, che a circa 30 m/s impatta al suolo; esplose in 1 ms (tempo di

attraversamento di quel diametro a 30 m/s); di conseguenza l'energia cinetica si trasforma, in un urto anelastico, nella strisciata di materiale su quel triangolo isoscele ampio 11° e altezza 180 cm. Per le cadute in verticale, invece, la lunghezza è circa 120 cm in entrambe le direzioni, ed è dovuta alla sola componente di caduta libera. Se la distanza degli ejecta dal punto d'impatto è proporzionale all'energia cinetica, con l'aggiunta della componente trasversale abbiamo $v_{25^2} + v_t^2 \sim 180$, mentre la sola componente verticale $v_{25^2} \sim 120$, da cui $v_t^2 \sim 60$, da cui deduciamo una velocità di volo di circa $v_t \sim 8$ m/s, consistente con i dati in letteratura.

Urto anelastico e bilancio dell'energia totale

La deiezione arrivando a terra perde tutta l'energia cinetica, che in parte va a disgregare in molti pezzi rompendo un legame, in parte ridistribuisce la materia a distanze variabili dal punto d'impatto. Queste distanze sono simmetriche al punto d'impatto in caso di caduta in verticale, mentre si dipanano conservando la direzione del vettore d'impatto per caduta obliqua. Supponendo l'altezza di deiezione pari a 25 metri, ossia appena sopra la quota dei cipressi che circondano il campo, viene stimata una velocità di volo di 8 m/s dal confronto con ejecta simmetrici associati a una caduta verticale

Conclusioni: un analogo non realizzabile con droni abbiamo studiato impatti inclinati a 65° - 72° e velocità dell'ordine dei 30 m/s ossia oltre 100 km/h. Lanci di gavettoni o droni non arrivano a tanto. L'"esplosione" al suolo avviene in un millisecondo, tempo in cui si rompe l'energia di legame dell'amalgama fino a quel momento in caduta libera, forse già in rottura per effetto della caduta in regime turbolento (secondo frammento in fig. 3). Con una componente trasversa di 8 m/s gli ejecta si dispongono nella direzione del vettore d'impatto e l'angolo di apertura è già molto stretto, solo 11° .

Prospettiva e foreground: la cupola di san Pietro a Roma

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 8th 2021, accepted April 9th

Abstract The Dome of st. Peter's in Vatican is subjected to a famous perspective effect: when compared with the foreground it appears to go farther, at approaching at it. The angular effect is explained: the comparison is done between angles that do not change at the same way, because they are at very different distances, e.g. two trees are separated by 4 m and located at 100 m, with the Dome of 50 m diameter is behind at 1600 m; the trees are separated by 2.3° , the dome is 1.78° wide; when the distance of the trees is 200 m they are at 1.14° while the Dome is $5/170 \text{ rad}=1.68^\circ$, but appears 1.46 times the trees' separation, while before it was only 1.29 times, then it "enlarged" becoming slightly smaller, because the reference angle changed. This optical illusion is due because we do not consider the distances of the objects in foreground differently from the background, being our eye "focus" already at infinity, with a clear effect of paradox.

Sommario La Cupola di san Pietro in Vaticano è soggetta a famosi effetti prospettici: quando è comparata con oggetti che si trovano davanti nella linea di vista sembra avvicinarsi quando ci si allontana per una comparazione tra angoli visivi non cambiano allo stesso modo.

Introduzione: Cupola vista da Villa Pamphili



Fig. 1-2 a sinistra la Cupola con gli alberi a 200 m di distanza, a destra avvicinando gli alberi a 100 m, e mantenendo gli alberi di foreground (sfondo vicino) alla stessa apertura angolare.

La foto scattata più vicino agli alberi e alla Cupola è presso la strada sterrata, mentre quella lontana ha il ragazzo che gioca a pallone. Paradossalmente nella foto presa da più vicino la Cupola quasi sparisce. Le due foto, in originale, hanno lo

stesso campo di vista e nessuno zoom ottico. Focale 4 mm e f/stop 1/1.7 poco più di 1/2000 s di esposizione. La fig. 1-2 mostra come percepiamo con l'occhio rispetto alle distanze angolari tra gli alberi se consideriamo queste "fisse" o che aumentano un po' ma allo stesso ritmo del background, che in realtà è molto più lontano. Due alberi separati da 4 m e posizionati a 100 m (foto di destra) mentre la Cupola ha 50 m di diametro ed è a 1600 m; gli alberi sono separati di $2.3^\circ = \arctan(4/100)$, la Cupola è larga $1.78^\circ = \arctan(50/1600)$. Nella foto di sinistra, gli alberi sono a 200 m e sono separati da 1.14° mentre la Cupola è $5/170 \text{ rad} = 1.68^\circ$, ma appare 1.46 volte la separazione tra gli alberi, mentre prima era solo 1.29 volte, quindi si è "allargata" diventando leggermente più piccola. Questo perché i riferimenti angolari sono cambiati più rapidamente, perché in foreground (alberi più vicini a noi).



Fig. 3-4 Le due foto (G. De Felice Proia) senza *resize*: la Cupola ha la stessa dimensione angolare mentre gli alberi di foreground si sono separati di molto. La visione coglie questa situazione come un rimpicciolimento della Cupola perché essa, a destra, non occupa più lo spazio angolare tra i due alberi, anche se il suo diametro angolare è aumentato.

Referenze: la Cupola di s. Pietro vista da via Piccolomini

C. Sigismondi, *Se mi allontano si avvicina*, 2018 Parte I <https://www.youtube.com/watch?v=giZLSJivJ6I> Parte II: <https://www.youtube.com/watch?v=QuBAp7N1Wj4> (2018)

Luna e basi lunari nel futuro dell'esplorazione spaziale

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*
(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)
Submitted April 19th 2021, accepted April 20th

Abstract The text of an interview on the Moon exploration and history of lunar bases is reported, with the original questions of Marco Amato about our satellite of a 13 years old student. After the Apollo epopee, the perspectives toward Mars are also considered, by quoting the GW Bush and DJ Trump declarations.

Sommario Il testo di un'intervista sulla Luna, e la storia delle esplorazioni è reso con le domande originali di Marco Amato. Le prospettive verso Marte sono trattate alla luce delle dichiarazioni dei presidenti GW Bush e DJ Trump, come seguito dell'epopea degli Apollo, conclusa nel 1972.

Passato, presente e futuro dell'esplorazione lunare

1) Quali caratteristiche differenziano un astronomo antico da uno dei giorni d'oggi?

Gli antichi da avanti Cristo fino al 1850 circa si sono occupati di astronomia di posizione, cioè di determinare con accuratezza le posizioni e i moti degli astri (Sole, Luna, pianeti e stelle) mentre dal 1850 -con padre Angelo Secchi tra i pionieri al Mondo nell'Osservatorio del Collegio Romano- si è cominciata a studiare la fisica degli astri tramite l'analisi della loro luce: la spettroscopia. Così si sono cominciate a conoscere le temperature superficiali delle stelle, e a immaginare i processi che avevano luogo al loro interno.

Oggi l'astronomia di posizione è fatta tramite satelliti spaziali (GAIA si chiama la missione in corso) e serve a capire la distribuzione della materia nella Galassia; questo risultato si affiancherà agli studi sulla materia oscura per capire come è distribuita la massa nell'Universo, mentre gli studi astrofisici continueranno non solo nella luce visibile, ma in tutti i canali possibili dai raggi gamma ai raggi X all'ultravioletto, al

visibile, all'infrarosso, alle microonde e alle onde radio, fino alle onde gravitazionali (la cosiddetta astrofisica multicanale).

2) Che ricerche poteva svolgere un astronauta sulla Luna negli anni passati e come venivano svolte queste ricerche?

Le missioni lunari erano state preparate accuratamente scegliendo gli obiettivi da conseguire dopo lunghe osservazioni anche spettroscopiche della superficie lunare.

Gli astronauti furono sulla Luna dal 1969 al 1972 e l'ultima missione Apollo XVII vide sbarcare proprio un geologo, Scott, che andò in giro a prelevare i campioni da studiare poi nei laboratori a Terra. Scott e gli altri astronauti avevano fatto le prove in vari deserti del Mondo, dove le condizioni ricordavano quelle della Luna, e anche gli astronauti non geologi di formazione, avevano studiato un po' di geologia per riconoscere un campione interessarlo e poi prenderlo. Ciò fecero anche Armstrong e Aldrin, i primi due uomini sulla Luna e così gli altri equipaggi, sempre di due persone, più un terzo che restava in orbita attorno alla Luna.

La domanda che ci si poneva era sempre come si è formata la Luna, e cosa ci possiamo trovare (metalli preziosi, energia... le solite cose)

3) Cosa è cambiato ai giorni d'oggi? Come era una base lunare ai tempi rispetto a quella di oggi?

Oggi le sonde spaziali hanno ottenuto mappe lunari molto dettagliate di tutti gli aspetti geologici e mineralogici.

Le basi lunari degli anni 69-72 erano costituite dal modulo LEM che assomigliava ad un ragno posato sulla Luna. Furono utilizzate solo per poche ore, poi l'equipaggio ripartiva.

Erano piuttosto strette: il minimo indispensabile per circa 10 giorni tanto quanto durava il viaggio di andata e ritorno dalla

Terra alla Luna.

Oggi le basi lunari non sono realmente tali, perché non sono abitate: le sonde automatiche non hanno bisogno di shelters e stanno lì all'aperto finché funzionano. Conosco solo la cinese Chang'e 5 che è allunata nella faccia nascosta della Luna qualche anno fa, ed è servita una sonda orbitante per mantenere il contatto radio con la Terra.

4) Pensa che la Luna avrà un ruolo fondamentale nel futuro delle esplorazioni?

Tutti i programmi spaziali americani hanno sempre avuto la Luna nel mirino, come fase intermedia nell'esplorazione umana del sistema solare. Non mi spingerei molto avanti:

già l'amministrazione G.W. Bush nel 2001 aveva annunciato che gli Stati Uniti avrebbero raggiunto Marte nel 2030. D. J. Trump ha rimesso in ballo la Luna come fase intermedia per il 2025, e tutti i libri di viaggi spaziali che ho consultato fino ad ora trattano la Luna come stazione intermedia per i viaggi spaziali.

Il suo vantaggio, se ho capito bene, è che una volta giunti lì è relativamente facile ripartire per via della ridotta gravità, ma in alternativa leggevo anche che una stazione spaziale potrebbe fungere da spazioporto dove assemblare la navicella per lo spazio profondo. Per ora i problemi anche solo per arrivare su Marte con l'uomo sono ben complessi e di là da essere risolti: ci vorrebbe un'astronave ben corazzata contro i raggi cosmici per non farlo morire di radiazioni dopo un mese di viaggio...e poi c'è la questione del cibo... e della psicologia, per cui furono inventati gli esperimenti sociali del "grande fratello" costringendo un equipaggio a stare in spazi stretti per 2 anni...il tempo minimo di andata e ritorno dal Pianeta Rosso...poi il grande fratello è diventato un programma

televisivo e tutti si sono dimenticati perché esisteva...

Giovanni Fabrizio Bignami che fu direttore dell'Agenzia Spaziale Italiana ha scritto Oro dagli Asteroidi ed Asparagi da Marte, indicando a cosa potrebbero servire le future esplorazioni: trovare metalli preziosi, economicamente utili...e allo stesso tempo cercare di sopravvivere producendo qualcosa anche nello spazio. Tutto ciò sembra slittare in avanti di cinque anni in cinque anni... tanto che la visione al telescopio della Luna viene sempre più trascurata, pensando che tanto ci siamo già stati, mentre sono quasi 50 anni che l'uomo non ci mette più il piede. Per cui le missioni Apollo furono straordinarie, e altrettanto straordinaria è l'osservazione al telescopio del nostro caro satellite. Con uno strumentino davvero piccolo, un Netwoniano di 76 mm di diametro e 350 mm di focale ho fatto due mesi di osservazioni lunari, che ho registrato in audio al telescopio. Se volete divertirvi ad ascoltarle le trovate al link delle Lezioni Lunari (2020)

<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1QC5hCUcfTjdE3tlWb9peF37hY-6gKAQ4>

è un'esplorazione al telescopio di 19 milioni di chilometri quadrati, che ogni mese ci si presentano con varie fasi e angolazione di luce. Buon ascolto!

Referenze

C. Sigismondi (2020) Lezioni Lunari [Drive](#) con audiolezioni, registrate in tempo reale durante le osservazioni.

G. F. Bignami e A. Sommariva, Oro dagli asteroidi e asparagi da Marte, Mondadori Università (2015)

<http://www.giovannibignami.it/news/ultimi-articoli.html>

<https://astrogeology.usgs.gov/maps/moon-apollo-image-processing>

https://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/clementine/images/img3_lg.gif

Una delle mappe della missione Clementine: il Ferro sulla Luna

La Pasqua di Gerberto: algoritmi ed approssimazione nella teoria lunare

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 19th 2021, accepted April 20th

Abstract On the Easter day of 999 Gerbert was crowned as pope Sylvester II. We examine how to compute this day now with accurate astronomical algorithms. The problems of the Easter computus are shown.

Sommario Gerberto fu incoronato papa il giorno di Pasqua del 999. Come si può calcolare questa data tanto indietro nel passato, quando il computo era solo manuale e basato su una periodicità fittizia?

Keywords Moon theory, Easter Computus, rotation of apsides.

Introduzione: la Pasqua nel 999 AD e antiche controversie

Per calcolare oggi la data della Pasqua si usa l'algoritmo di Nicea (325 AD) **Pasqua = Domenica dopo Plenilunio dopo o il 21 marzo**. Le tre condizioni risolvono 1. la controversia con le chiese di Asia di tradizione giovannea in cui la Pasqua era celebrata di Luna piena come quella ebraica (s. Policarpo vescovo di Smirne e discepolo dell'Apostolo Giovanni, venne a Roma e celebrò con papa s. Aniceto la Pasqua secondo quella tradizione e la fase Luna XIV capitò di Venerdì). Aniceto lasciò fare, ma nei decenni successivi si chiarì che era da evitarsi 1. Che la Pasqua cristiana fosse coincidente con quella Ebraica; 2. Che non fosse di Domenica; 3. Che fosse prima dell'equinozio di Primavera. La Luna XIV è il giorno di Luna piena, i quartodecimani (quarto decimo = quattordicesimo) erano coloro che volevano mantenere il legame con l'algoritmo ebraico, e anche la data. Papa s. Vittore (188-189) ne condannò la dottrina e la pratica, e solo l'abilità diplomatica di s. Ireneo (vescovo di Lione, ma nativo di Smirne e discepolo di s. Policarpo) riuscì ad evitare la scomunica delle chiese di Asia (minore). A Nicea, per sancire una regola universale fu indetto

il Concilio Ecumenico (universale) presieduto da Costantino Imperatore. Il papa Silvestro mandò il suo legato, e tutti i vescovi della Chiesa Cattolica (universale) parteciparono.

La terza parte dell'algoritmo stabilisce che l'equinozio ecclesiastico sia il 21 marzo, cioè la data dell'equinozio vernale (primaverile) nell'anno tropico 325, slittata dal 25 marzo al tempo della riforma del calendario da parte di Giulio Cesare (46 a.C.). Il problema della dipendenza, anche psicologica, dal calendario ebraico era risolto, perché il 14 del mese lunare di Nisam (Pasqua ebraica) può capitare anche qualche giorno prima del 21 marzo. Se usiamo l'algoritmo "astronomico" per conoscere la data della Luna piena occorre verificare che la longitudine eclitticale della Luna sia pari a quella del Sole $+180^\circ$. Questo accadeva il 2 aprile 999 alle 5:38 AM (Stellarium 0.20) ed era domenica; poiché questa data poteva essere la stessa di Luna XIV ebraica l'algoritmo della Pasqua con la condizione "dopo" il plenilunio fissava la data della Pasqua alla domenica successiva 9 Aprile 999.

Lunazione media e lunazione vera e Luna ecclesiastica: Stellarium è un software per planetario abbastanza accurato; Horizons della NASA è ancora più accurato, essendo usato anche per la navigazione spaziale e per le occultazioni lunari e asteroidali, fenomeni che poi verificano la bontà del modello teorico (nel programma) al centesimo di secondo. Dato che la Luna orbita a 1 km/s attorno alla Terra, questa precisione corrisponde a 10 m nella sua posizione. Per la NASA questa precisione è necessaria nel presente, per la meccanica celeste il problema si sposta al passato anche remoto e al futuro, per verificare eventi astronomici di cui abbiamo cronache e datazioni e moti secolari impercettibili, sfuggiti alla teoria gravitazionale più semplice. Ma per il calcolo della Pasqua liturgica questi algoritmi non esistevano, e la data bisognava

conoscerla con largo anticipo in tutta l'Ecumene. Perciò il papa di Roma affidò alla Chiesa di Alessandria questo calcolo, poi ebbe anche a Roma i computisti, poi in Aquitania e poi ne sorsero anche in Hibernia (Irlanda). Per questo che nella storia abbiamo vari computi pasquali: quello di Demetrio, quello di Ippolito, quello di Vittorino di Aquitania, quello di san Colombano. Quest'ultimo, in particolare, faceva notare come l'algoritmo niceno aveva dei casi estremi di **Pasqua tenebrosa**, ossia in Luna XXI (fu nel 999 e pure ora 2021) in cui la notte di Pasqua non avrebbe visto la luce Luna fino a mezzanotte, diversamente dalla notte della Risurrezione di Cristo, con la Luna quasi piena. Questa controversia non fu accolta, seppure la pratica di s. Colombano, a Bobbio, futura sede di Gerberto come abate, determinava una data differente per la Pasqua, rispetto al resto del mondo cattolico.

Terminus Paschae La Pasqua è la festa centrale del Cristianesimo: senza la Risurrezione sarebbe solo una buona filosofia. La festa della Pasqua cristiana tardò alquanto a distinguersi da quella giudaica, e con alti e bassi questo processo durò oltre due secoli, e sul marmo della Meridiana di s. Maria degli Angeli (1702) troviamo la testimonianza dell'algoritmo messo a punto al Concilio di Nicea, presieduto da Costantino Imperatore (325). Il *Terminus Paschae* inizia il 22 marzo, il giorno dopo l'equinozio ecclesiastico (ossia il 21 marzo). Questo significa che se pure fosse capitata la Luna piena il 21 marzo e domenica lo stesso giorno, non poteva essere Pasqua proprio perché sarebbe coincisa con la Pasqua ebraica: l'algoritmo è $\text{Pasqua} = \text{domenica} > \text{Luna piena} \geq 21 \text{ marzo}$. Nel 1582 la riforma Gregoriana del Calendario ha rivisto il computo lunare, oltre ad aver rifasato il calendario civile con l'equinozio astronomico, ma lasciando la stessa regola nicena per la determinazione della Pasqua.

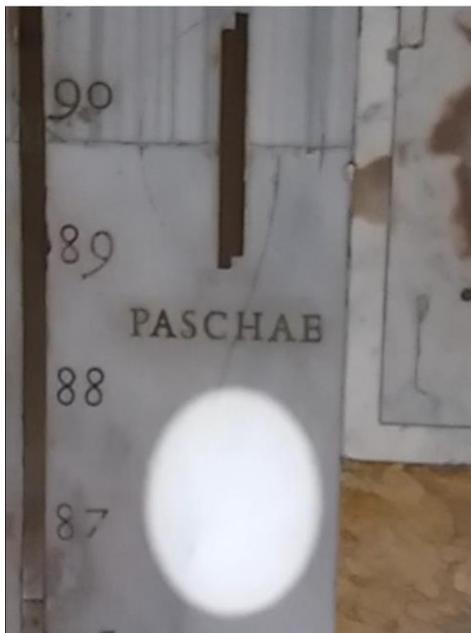


Fig. 1 Foto presa il 22 marzo 2021 sulla meridiana Clementina con l'immagine del Sole presso la scritta (TERMINVS) PASCHAE alle 12:19:34, la linea orizzontale sotto il numero 90 rappresenta l'equatore celeste, appena valicato dal Sole provenendo dall'emisfero australe, nell'equinozio vernale.

La Luna in meccanica celeste La periodicità di un fenomeno garantisce la prevedibilità, e questo è stato sempre il fine della redazione dei calendari. Se i calendari sono lunari, sono legati alle fasi del nostro satellite naturale, se solari sono legati alle stagioni e alla rivoluzione della Terra attorno al Sole. La Pasqua è una festa "lunisolare" per la presenza del 21 marzo. Va notato che la Luna di Pasqua sorge proprio vicino se non proprio all'azimut dove sorge il Sole, sull'equatore celeste, determinando proprio le massime escursioni delle maree nell'anno (maree equinoziali). Questo fenomeno era noto agli antichi, e fu spiegato compiutamente solo da Newton nel 1687.

Luna media: conviene calcolarla su lunghi periodi, gli antichi Caldei scoprirono il SAROS (così nominato da Halley) di 18 anni e 10/11giorni e 8 ore, e il ciclo di Metone di 19 anni. Quest'ultimo fu adottato sia dagli ebrei che dalla Chiesa Cattolica, perché è preciso e semplice: dopo 19 anni la Luna torna in fase lo stesso giorno dell'anno, completandosi 235 lunazioni esatte. C'è una differenza di un giorno ogni 307 anni da correggere per la differenza di quasi 1 ora e mezzo tra il ciclo di Metone e i 19 anni esatti. Di questa differenza ci se ne accorse al trascorrere del tempo... ma fino a questo punto abbiamo sempre, implicitamente, considerato circolare il moto della Luna attorno alla Terra. Se vale questo, ed è questa l'idea dietro gli algoritmi pasquali, si può calcolare la data della Pasqua in un qualsiasi momento del futuro a patto di avere tempo di calcolo sufficiente.

Moto circolare uniforme versus seconda legge di Keplero

La Luna ha un'orbita ellittica, ed è piuttosto evidente la sua ellitticità: le quattro fasi infatti non sono equispaziate. Basta prendere un buon calendario per accorgersene. Vale la seconda legge di Keplero, e, a occhio, si può valutare in quale settimana cade il perigeo, e in quale l'apogeo (dove la Luna è più lenta nel cielo e quindi impiega anche più tempo a passare da una fase all'altra). In capo a 18.6 anni l'asse del perigeo-apogeo, ossia la linea degli apsidi, compie una rotazione completa nello spazio, e la conseguenza è che la Luna torna a sorgere nello stesso punto del cielo e nella stessa fase rispetto al ciclo precedente. Questa rotazione degli apsidi è una risonanza fisica dovuta all'orbita della Luna attorno alla Terra e al Sole (di fatto la Luna orbita attorno al Sole... facendo una sinusoide, se non vedessimo la Terra come centro del suo "epiciclo"). Come si vede 18.6 anni di rotazione degli apsidi, 18.03 anni del SAROS e i 19 anni di Metone sono parenti

stretti. Per la nostra discussione sulla Luna ecclesiastica non ci resta che valutare quale possa essere l'errore massimo tra la Luna piena ecclesiastica pasquale, cioè dopo l'equinozio, e quella reale. La cosa si può fare a tavolino senza consultare troppe effemeridi: la Luna al perigeo ha la velocità angolare massima, quella all'apogeo minima, calcolo la differenza tra queste due velocità supponendole uguali a 1 km/s, ma a distanze di 356 mila e 412 mila chilometri e ho 34.76'/ora contro 30.04'/ora, la Luna ecclesiastica va alla velocità media a 384 mila chilometri: 32.23'/ora. Lo scostamento dalla velocità media può arrivare a 2.5'/ora al massimo, ma per quante ore? Se contiamo sette giorni interi la Luna vera si separa di 7° dalla Luna teorica (ecclesiastica) $7 \times 24 \text{h} / 32.23' / \text{h} = 420' = 7^\circ$.

7° corrispondono a circa mezza giornata di orbita lunare, visto che in 29.53 giorni compie 360° (orbita sinodica) quindi la differenza tra Luna teorica e Luna vera è trascurabile.

Il preciso potrebbe dire che l'istante di Luna piena, quando la sua longitudine eclittica è opposta a quella del Sole (+180°) potrebbe cadere prima della mezzanotte di Gerusalemme della domenica, e quindi tecnicamente il plenilunio sarebbe di sabato e il giorno dopo può essere Pasqua...ma la Luna ecclesiastica ha evitato questioni di ore, fino ad ora. Una riforma in tal senso è stata pensata recentemente, ma le cose liturgicamente vanno ancora bene così.

Referenze

- C. Sigismondi, Gerbertus 9, 109 [Calcolo dell'Epatta della Luna](#) (2016)
- C. Sigismondi (2020) Lezioni Lunari [Drive](#) con audiolezioni, registrate in tempo reale durante le osservazioni.
- G. Giudice (2020) Il Calcolo della Pasqua, in Gerbertus2020 [ICRANet](#)
- P. Y. L. Warne (2016) <https://www.urbisetorbis.org/epatta/>
https://pt.wikipedia.org/wiki/Controv%C3%A9rsia_da_P%C3%A1scoa
<http://calendario.eugeniosongia.com/calendarioperpetuo.htm>
<https://www.upra.org/approfondimenti/abstract-conferenza-diploma-studi-sindonici-la-cronologia-della-pasqua-i-tempi-segnati-dagli-astri/>

La stima del raggio di curvatura delle iperboli solari

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 19th 2021, accepted April 20th

Abstract The solar hyperbolae are drawn on the soccer field by following the gnomon's shadow path with the gnomon nearly 10 m tall. On April 19th a series of points each 5 minutes have been drawn during more than one hour: their rms is below 3 mm with respect to the parabolic fit. Here the method of estimating the curvature radius of the parabola/hyperbola with the osculating circle is shown. The aim is to obtain a result immediately visible on the field with a first degree equation involving the Pitagora's theorem: $R^2+d^2=(R+h)^2$, which is linear in R , our incognita.

Sommario Le iperboli solari proiettate sul campo da calcetto mediante l'ombra di uno gnomone alto 10 m (lo spigolo della palestra adiacente) sono riconoscibili come tali solo graficando i loro punti al computer. Qui mostriamo come in circa un'ora di osservazioni abbiamo tracciato un settore di iperbole di cui è possibile valutare il raggio di curvatura R risolvendo l'equazione di primo grado in R : $R^2+d^2=(R+h)^2$ che rappresenta il teorema di Pitagora applicato sulla retta tangente lunga d e separata h dall'iperbole dopo un certo numero di punti (almeno 3).

Keywords Hyperbola, Parabola, Osculating circle, Gnomonics.

Introduzione: le iperboli solari estive che abbracciano il Sud



Fig. 1 la sequenza di punti dalle 10:46 alle 12:00 del 19 aprile. L'area di rigore del campetto ha raggio di curvatura 6 m, e i punti dell'iperbole solare si allineano con una curvatura di raggio oltre 100 m con la concavità rivolta verso Sud sotto a dx



Fig. 2 il metro materializza la retta tangente all'iperbole, questa si discosta dall'iperbole di circa 8 cm dopo 428 cm, e curva chiaramente in modo da avere il Sud nella sua concavità



Fig. 3-4 l'iperbole e la retta tangente dopo 25 minuti, e l'equazione scritta da risolvere per il raggio di curvatura $R=x$.

L'equazione $R^2+d^2=(R+h)^2$ risulta lineare in R , e di facilissima soluzione. Per l'iperbole solare del 19 aprile su tutti i punti $R=11445$ cm e $1/R=8.737 \cdot 10^{-5}$ in buon accordo con quanto trovato dai fit al computer. La valutazione dell'ordine di grandezza di questo parametro è stata fatta "sul campo" e con matematica molto semplice. È una tipica situazione di "Fisica sul pacchetto di sigarette" nello stile di Ettore Majorana e di Enrico Fermi, caposcuola della Fisica romana e premio Nobel.

Referenze L. Fermi, in S. Caporali (2020) [Il genio di Ettore Majorana](#)

C. Sigismondi, Gerbertus 14,33(2021) F. Guerra,N. Robotti 2013 [Majorana](#)

La misura del numero di Wolf e la stima dell'area percentuale delle regioni attive del Sole

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 20th 2021, accepted April 20th

Abstract The Wolf number is $R=10G+m$, but since about 20 years its measurement was not included in real time experiences for young students, because of long periods of blank Sun. On April 20, 2021 with 4 groups and tens of spots, the Wolf number exceeded 50, becoming a subject of an immediate lab test after its definition. The percentage of the area occupied by active regions has been evaluated, in order to estimate the variation of the total solar irradiation during the solar cycle of some %.

Sommario Il numero di Wolf $R=10G+m$ dopo quasi 20 anni è tornato sui 50 con 4 gruppi e numerose macchie il 20 aprile 2021, così da rimettere il calcolo all'ordine del giorno di esercitazioni di laboratorio di astrofisica solare. Un altro studio riguarda la percentuale dell'area di regioni attive sulla superficie solare e un bilancio energetico del Sole attivo rispetto al quieto, al fine di valutare la variazione ciclica di TSI, Total Solar Irradiation.

Keywords Total Solar Irradiation, solar cycle, Wolf number, active region

Introduzione: attività solare e regioni attive

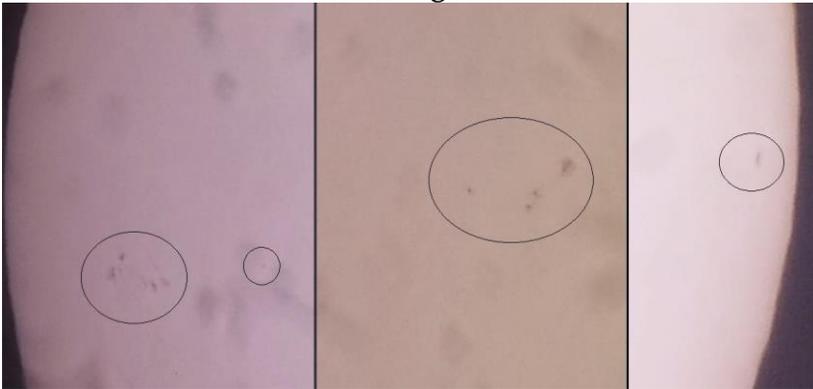


Fig. 1 il Sole 20 aprile 2021 alle 9 UT al Newton 25 cm f/4 della ditta Urania di Roma, dell'ITIS G. Ferraris con oculare originale a $f=10$ mm, filtro in Mylar $\varnothing 7$ cm, il confronto col [disegno](#) fatto alla Specola Solare di Locarno ci ha fatto individuare anche la macchia isolata a sinistra del collage dei *best frames* del video; R-54



Fig. 2 la foto della macchia vicino al bordo, trattata con IRIS mettendo le soglie di visibilità tra 150 e 250, e poi tracciando l'istogramma lungo la linea gialla, mostra l'effetto Wilson.

Il fotogramma in fig. 2 è confrontato con la foto del satellite SDO fatta [lo stesso giorno](#). Si vede la regione attiva più chiara (plage) e l'asimmetria radiale della macchia: dalla penombra si scende nella macchia, che essendo verso il bordo del Sole appare come un imbuto di cui vediamo l'incavo più lontano.

Le regioni attive quanta area occupano? Se consideriamo 14 macchie uguali vediamo, in fig. 1, che occupano mediamente 7×7 pixel. Il raggio solare, col metodo del fit di un cerchio con paint risulta $r=1520$ pixel. L'area del disco solare è $\pi \cdot r^2$, e il rapporto percentuale delle macchie sul totale è circa $700/2.3$ milioni $\sim 3/10000$. La plage della AR 2818 in fig. 2 è 20×90 pixel cioè quasi $8/10000$ dell'area del disco solare, presa come 10000.

Termodinamica delle regioni attive con la legge di Wien sappiamo che la fotosfera è a circa $T \sim 6000$ K, la legge di Stefan Boltzmann afferma che la radianza di una superficie a data T è proporzionale a T^4 , per cui le macchie che sono a $T \sim 4000$ K emettono i $(4/6)^4$ di pari area di fotosfera, e le plages più chiare sono a $T \sim 10000$ K emettono i $(10/6)^4$ di pari area fotosferica.

Quando ci sono macchie c'è una pari area di plages, così che il bilancio energetico netto è positivo. Quantitativamente con 3 decimillesimi di area fotosferica occupata da macchie e 8 da plages abbiamo la seguente somma per la TSI: $9986 \cdot 1 + 3 \cdot (4/6)^4 + 8 \cdot (10/6)^4 = 10046$, pertanto l'emissività del Sole con macchie il 20 aprile 2021, supera del 4.6‰ quella del Sole "blank".

L'ingresso del Sole nel Toro alla Meridiana Clementina

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 20th 2021, accepted April 20th

Abstract The ingress in Taurus occurs when the ecliptical longitude of the center of the Sun is exactly 30° at declination $11^\circ 28' 11.9''$. This occurred on April 19, 2021 20:32 UT according to the ephemerides. For the latitude of the pinhole of Santa Maria degli Angeli meridian line in Rome $41^\circ 54' 11.2''$ the meridian altitude of the Taurus' ingress is 59.57665° , included the atmospheric refraction. The observations of the meridian transits of 17, 18 and 20 April have been used to obtain the ingress time on Apr 19 20:29 UT, compatible with a ± 0.4 mm of zero calibration of the present pinhole. The Clementine star of August 20, 1702 is exactly at 30 minutes from the transit.

Sommario L'ingresso del Sole nel Toro avviene quando la sua longitudine eclittica vale 30° e la declinazione $11^\circ 28' 11.9''$ il 19 aprile 2021 alle 22:32.

Alla meridiana di S. Maria degli Angeli in Roma le misure meridiane del 17, 18 e 20 aprile, confrontate con l'altezza meridiana 58.57665° (p. cent. 58.724) corretta per la rifrazione dell'ingresso del Toro e calcolata per la latitudine del foro stenopeico $41^\circ 54' 11.2''$, hanno ottenuto l'ingresso alle 22:29, compatibile con un errore di calibrazione dello zero pari a ± 0.4 mm.

La stella Clementina risulta a 30 min e 9 s dall'istante del transito meridiano

Introduzione: i segni zodiacali alla Meridiana Clementina



Fig. 1 il Sole 20 aprile 2021 alle 12:54:35 nel riquadro del Toro.

Accanto alla meridiana Clementina, l'astronomo Francesco Bianchini fece mettere i segni zodiacali, calcolandone le posizioni per il 1701, con i valori dell'obliquità $23^\circ 28' 40''$ dell'epoca.



Fig. 2 Il Sole nel riquadro della Vergine alle 13:17:15. Il fregio di Vanvitelli ostacola la formazione dell'immagine già 15 cm dentro.



Fig. 3 Il Sole al meridiano, parte cent. 58 e 30° di distanza zenitale.

Misure in meridiano e dei riquadri zodiacali

Le posizioni Nord e Sud dei lembi solari sulla meridiana sono state decurtate della penombra, e degli effetti asimmetrici, sempre lungo il meridiano, di cui soffre il foro stenopeico: una sporgenza di 2.5 mm a Nord e un ombreggiamento a Sud dovuto al suo spessore di 6.22 mm, l'ombreggiamento cambia con la stagione e ora vale 3.6 mm. Il foro è largo 25 mm, ma il 20 aprile 2021 il foro effettivo risulta libero solo per 18.9 mm, il centro effettivo è decentrato di 0.55 mm verso Nord, e anche l'immagine solare meridiana subisce questo spostamento.

Le posizioni e gli istanti del passaggio meridiano del Sole ottenuti il 17, il 18 e il 20 aprile $58,7513^\circ$; $59,0987^\circ$ e $59,7870^\circ$ sono stati confrontati tra loro per ottenere l'istante in cui il centro del Sole attraversava la declinazione $11^\circ 28' 11.9''$ di ingresso nel Toro a 59.57665° , che è risultato alle 22:29 del 19 aprile, con 3 minuti di anticipo sulle effemeridi. Dai dati si vede anche come l'aumento di declinazione giornaliero stia diminuendo gradualmente allontanandosi dall'equinozio.

Misura della stella Clementina

La visita di papa Clemente XI il 20 agosto 1702, mentre si stavano ultimando i lavori della meridiana, fu ricordata con una targa speciale sulla meridiana ADVENTVS SS. D. N. CLEMENTIS XI P.M., scritta riportata su due ellissi che rappresentano la dimensione del Sole quel giorno, 260 mm di asse meridiano. Accanto alle due ellissi ci sono, simmetriche, due stelle, che però non sono sul centro delle ellissi, leggermente più spostato verso il Capricorno, e poi c'è una stella a mezz'ora dal passaggio meridiano, e un'altra ad un'ora. Non ci sono altre stelle, mentre per Sirio il percorso è di una stella ogni quarto d'ora da 2 ore e mezzo prima del transito. Lo scopo di questa misura del 20 aprile è quello di verificare che la stella indichi mezz'ora prima del transito del 20 agosto 1702.

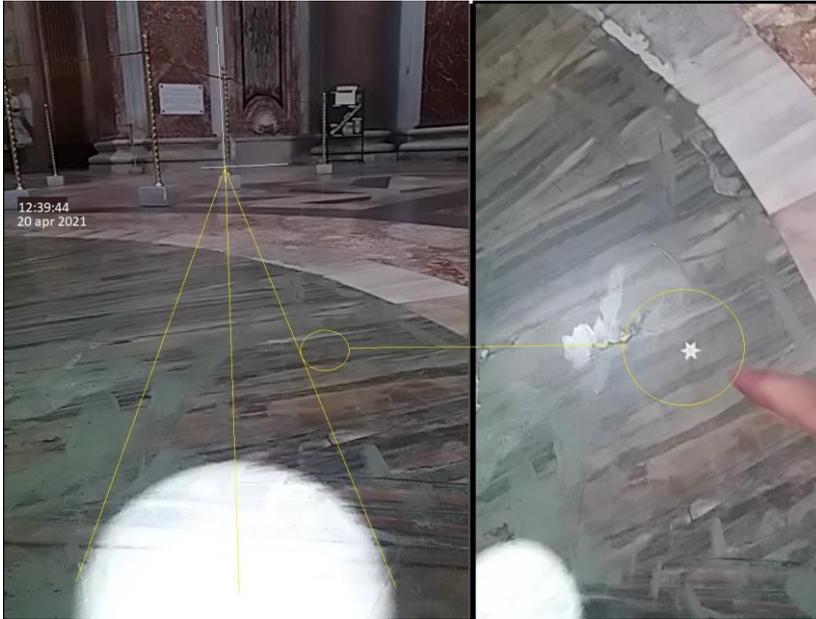


Fig. 4 Allineamento del Sole con la Stella Clementina del 20 agosto 1702, alle 12:39:44. La stella risulta circa $16'+8'=24'=3/4$ del diametro solare fuori asse. Questa distanza angolare il 20 aprile 2021 alle 13:05 veniva percorsa in 1m 45s, quindi l'allineamento del centro del Sole con la stella era alle 12:37:59, ad azimut $165^{\circ}10'48''$. Lo stesso azimut, il 20 agosto 1702 (verificato con Stellarium 0.20.2) corrisponde al centro del Sole 30 min e 9 s prima del transito meridiano per quel giorno. Se il calcolo lo facessi per il 20 aprile 2021 mancano 30 min e 54 s, ma la velocità angolare del Sole in cielo cambia con la data. Si noti che la meridiana Clementina accusa un ritardo di circa 10 secondi al 20 agosto/24 aprile rispetto alle effemeridi moderne, perché è deviata verso Est di circa $5'$, ma la stella Clementina sembra essere in controtendenza rispetto alla deviazione della meridiana, come se il suo posizionamento fosse stato fatto con una meridiana leggermente differente, e in un secondo momento la meridiana principale sia stata deviata.

Il teorema delle Sole riflesso dalle finestre

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 25th 2021, accepted April 26th

Abstract The Sun is occasionally reflected by far windows toward our room: the properties of such reflections reflect the spherical geometry of the celestial sphere. It is a seasonal phenomenon, like the sunrises and sunsets from different azimuth and the different length of the daytime. In the assumption of Sun as fixed star, only in a given day, when we see a reflection T hours before meridian, we know the direction of the Sun T hours after meridian, once knowing the North-South direction. The angular height of the reflecting window is the same of the Sun, and this will be the altitude T hours *Post Meridiem* (after the meridian transit). The angular diameter of the Sun is also the maximum errorbar for these predictions.

Sommario Il riflesso occasionale del Sole da una finestra è un evento stagionale tanto quanto il sorgere e tramontare del Sole da diversi azimut, e la diversa durata del dì. Facciamo l'ipotesi che il Sole sia "localmente" una stella fissa, ossia che durante una giornata non cambi le sue coordinate celesti, e questo è vero fino allo spostamento angolare massimo pari al suo diametro. La direzione di provenienza della riflessione del Sole da una finestra (verticale) al mattino, T ore prima del transito meridiano, riflessa simmetricamente rispetto alla direzione meridiana (Nord-Sud), ci restituisce la posizione del Sole T ore dopo il meridiano al pomeriggio, alla stessa altezza angolare sopra l'orizzonte, entro al massimo un diametro solare.

Introduzione: la sfera celeste, da un orizzonte limitato

La vita in città mette a dura prova la capacità di notare fenomeni astronomici per via dell'inquinamento luminoso di orizzonti molto limitati. Tuttavia il Sole riesce a manifestare il suo moto annuale attraverso luci e ombre che se vengono osservate con un orologio alla mano, rivelano le sorprendenti simmetrie della meccanica (della sfera) celeste. Le finestre delle case sono verticali e di vetro, un vetro la cui planarità non è di qualità ottica, ma sufficiente a formare un'immagine del Sole abbastanza ben definita: le ombre di oggetti vicini sono nette, e la ghost image è quasi perfettamente circolare.

In questo modo abbiamo, per la legge della riflessione, che **l'altezza angolare del Sole e quella del suo riflesso sono uguali.**



Fig. 1 Luce del riflesso del Sole alle 8:08:50 del 25 aprile 2021, getta ombre nette tanto da riconoscere dei dettagli.



Fig. 2 Riflesso del Sole e sua ghost image, da 60 m di distanza. La ghost image non è perfettamente circolare come quella del Sole diretto, ma sufficientemente simmetrica, per poter valutare in 48 pixel il suo diametro. La posizione mediana di Sole e sua ghost image dovrebbe essere l'asse ottico del sistema, ed è a 83 pixel dal centro della foto ossia 55', grazie al diametro della ghost image=a quello angolare del Sole=32'.

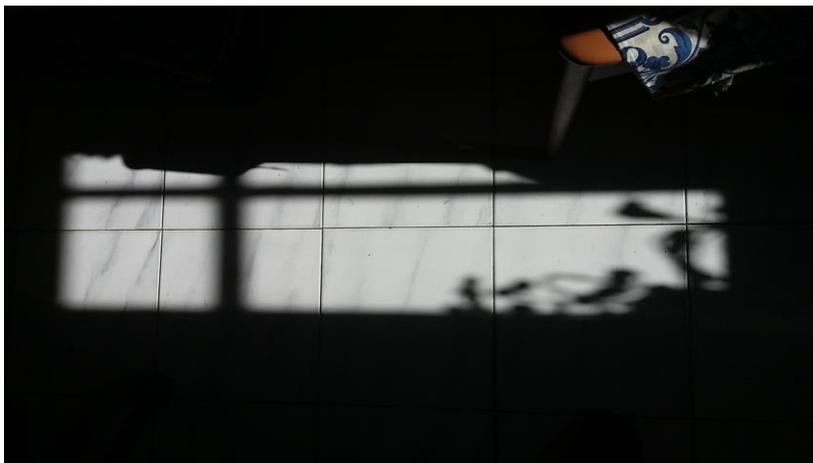


Fig. 3 Sole diretto alle 17:08:29 del 25 aprile, nella stessa stanza. La direzione della luce è parallela alle piastrelle del pavimento. Il *teorema delle finestre* afferma che la luce del Sole raggiungerà la stessa direzione della figura 1 più tardi.

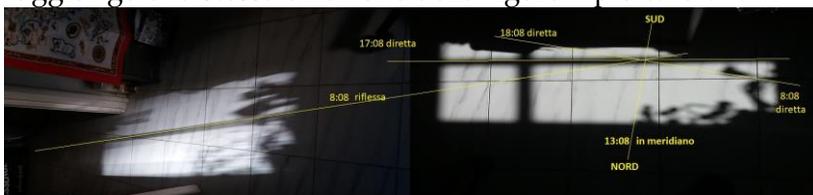


Fig. 4 Simmetrie delle luci dirette e riflesse, nella stessa stanza. Conoscendo la direzione meridiana, e sapendo l'istante del transito che per il 25 aprile 2021 era le 13:08, per simmetria da quel momento si può sapere che come il Sole era visibile con quell'altezza di 20° alle 8:08, 5 ore prima del meridiano, così lo è con la stessa altezza alle 18:08, 5 ore dopo. Le piastrelle di questa stanza aiutano a verificare gli allineamenti (e le foto sono fatte in modo di tenere una fila di piastrelle parallela con il reticolo digitale 3 righe x 3 colonne bianche, che mantengo sempre visibile sullo schermo durante lo scatto delle foto). La conoscenza dell'ora del transito meridiano è essenziale per cercare la simmetria dopo il meridiano.



Fig. 5 alle 18:39:55 il Sole torna visibile, oltre l'angolo calcolato, dopo aver superato l'ostacolo della casa di fronte, con $h = 14^\circ$.

Posizione della finestra riflettente parallela alla ricevente

Questa condizione del teorema è essenziale per poter avere la simmetria disegnata in figura 3. Più frequente è il caso in cui la finestra che riflette non sia parallela alla nostra, in questo caso possiamo aspettarci che, da un'altra finestra parallela a quella, il Sole ci venga riflesso nella stessa ora simmetrica rispetto al transito meridiano di quella della prima osservazione.

Simmetrie durante l'anno, riflessi da finestre verticali

Nel mio caso ho registrato riflessi del Sole verso il tramonto invernale, e il tramonto tra le case attorno al solstizio estivo.

Sapendo che il Sole riflesso da una verticale conserva sempre la stessa altezza sopra l'orizzonte, se la finestra è approssimativamente perpendicolare alla nostra (strade tra loro perpendicolari), può accadere la situazione del Sole a uguale altezza, ma azimut differenti, speculari.

Le immagini che seguono sono del Sole a 14° a dicembre e 19° a giugno 2020, sono prese seduto dalla stessa sedia, ovviamente non può fotografarsi il Sole dietro la casa a giugno aspettando che scenda sotto i 14° . L'angolo formato dalla via

della casa di fronte che riflette a dicembre non è 90° con la mia finestra, forma un angolo di 82° , riducendo la simmetria: a giugno è 3 giorni prima del solstizio a dicembre 8 giorni dopo.



Fig. 6 Riflesso del Sole al tramonto del 29 dicembre 15:02:23 e immagine diretta del Sole al tramonto del 19 giugno 18:50:44.

È chiaro che una simmetria maggiore, quasi completa, la si raggiunge con finestre parallele e perpendicolari, come si possono trovare nelle strade perpendicolari tra loro.

Tolleranze angolari di questo teorema, moto sull'eclittica

Il Sole non è una stella fissa, e anche le stelle fisse, a rigori, non orbitano perennemente sullo stesso percorso per effetto della precessione degli equinozi. Da un giorno all'altro il Sole si muove di 1° circa in longitudine eclittica e trasformando

questo cambiamento in altezza e azimut possiamo usare il **teorema del Danti per l'equinozio: il Sole cambia la sua declinazione di 1'/h attorno agli equinozi**. Attorno ai solstizi non c'è variazione di declinazione, ma resta sempre quella in longitudine eclittica che agli equinozi corrisponde ad una differenza di azimut alla levata pari al grado proiettato sull'orizzonte secondo la formula $1^\circ \cdot \cos(90^\circ - \lambda \pm \varepsilon) = (0.3^\circ - 0.9^\circ) / \text{di}$. Il segno + corrisponde alla primavera e il - all'autunno, in mezzo ci sono tutti i valori intermedi. Questi sono gli estremi per Roma a $\lambda = 41.9^\circ$, l'obliquità dell'eclittica vale $\varepsilon = 23.45^\circ$ per tutto il Mondo, per qualche secolo ancora. Questo cambio di azimut giornaliero va considerato in media su circa 12 ore di durata della luce del Sole, quindi i valori sono di 12' in declinazione e $0.15^\circ - 0.45^\circ$ in azimut, quindi meno di un diametro solare che vale circa $32' \sim 0.54^\circ$.

Astigmatismo delle immagini riflesse poiché il Sole è riflesso da vetri non perfettamente piani, la sua immagine può soffrire di un lieve astigmatismo. Anche le ombre generate da tale riflessione (se provengono da un solo vetro di riflessione) sono astigmatiche. Abbiamo l'esempio di una croce latina, che fa ombre diverse sul lato lungo e sul transetto. Lo spessore dei suoi bracci è 9.5 mm, quindi se la sorgente luminosa è il Sole che ha diametro angolare circa 0.54° l'ombra della croce si mescola con la penombra a partire da un metro di distanza dalla croce stessa. Le foto che seguono sono a due e 0.4 metri.



Fig. 7 Ombra di una croce a 2.08 m e a 0.4 m: notare i contorni.

L'ombra in fig.7 è da luce solare diretta, mentre l'ombra di fig.9 è da luce riflessa da un vetro leggermente piegato, astigmatico.



Fig.8 Il vetro a 73 m di distanza riflette il Sole alle 8:13 del 26/4. Verso la fine del fenomeno quando resta solo una parte del Sole ad essere riflessa (*nearly pointlike source*) le ombre sono molto definite: lo stelo della menta di montagna, spesso 2.5 mm è visibile chiaramente nell'ombra a 1704 mm di distanza, così come tutti i dettagli della croce montata sul vetro, con bracci di spessore 9.5 mm proiettati a 2809 mm.



Fig. 9 La stessa croce proiettata a 4983 mm di distanza mostra il solo braccio verticale, per l'astigmatismo della sorgente.



Fig. 10 La croce proiettata dal Sole diretto a 3315 mm.

La foto mostra l'ombra quando la sorgente è perfettamente circolare. Per astigmatismo intendo che la sorgente non è circolare, ma allungata. Ciò è prodotto dalla deformazione del vetro delle finestre, per cui il Sole appare oblungo, si vede bene esaminando la ghost image del riflesso.



Fig. 11 la sorgente è sdoppiata (da 2 vetri) e la loro curvatura è leggermente diversa. La separazione tra le due immagini verdoline è quella più larga ogni 3 vetri.

Astigmatismo: quando l'immagine riflessa del Sole è più allungata in direzione verticale, il braccio orizzontale della croce tende a sparire perché la penombra nella direzione su-giù arriva subito a cancellarlo, viceversa nella direzione orizzontale. Tutte le ghost images che ho esaminato mostrano allungamenti verticali.



Fig. 12 23 aprile 2021: inizio del fenomeno alle 8:01, si notano le ghost images sul cielo blu, che sono due strisce verticali. In questo caso la duplice sorgente produce ombre doppie sovrapposte con un dato sfasamento, ma queste ombre hanno pure astigmatismo che tende a cancellare le ombre delle parti orizzontali degli oggetti, come nel caso del braccio laterale della croce. La ghost image del Sole diretto è sempre circolare, e per questo non considero quella immagine astigmatica, influisce allo stesso modo

sui due bracci della croce. Casomai è da considerare l'angolo di inclinazione della luce rispetto alla croce per i dettagli.

Nell'immagine seguente mostro una ghost image del Sole il 17 aprile 2021 alle 12:46 durante un alone a 22°; l'immagine è circolare, salvo la parte in ombra del tetto del palazzo.



Fig. 13 Ghost image del Sole (speculare) a destra ingrandita 10 volte. Serve a misurare l'alone a 22° , sapendone il diametro.

Il Sole infatti ha un diametro angolare di circa $32'$ e la ghost image può non essere sovraesposta, perché è il risultato di almeno una riflessione interna al sistema ottico della telecamera, quindi almeno il 10% meno splendente del Sole. Ritengo che siano almeno 3 le riflessioni portando all'1‰ l'intensità luminosa completa. Il colore verde è dovuto al trattamento antiriflesso delle lenti, che funziona quasi sempre, eccetto quando abbiamo il Sole pieno, che ha sempre così tanta luce da essere comunque abbagliante, e visibile la sua ghost image, non voluta dai costruttori, ma da me sfruttata largamente in tutti gli esperimenti di ottica con le fotocamere.

Ombre e penombre col Sole pieno o parziale nella foto 13 il Sole sarebbe parziale, più lo riduciamo più tende a diventare una sorgente puntiforme. Le ombre prodotte da una sorgente puntiforme –cioè con raggi paralleli tra loro- sono nettissime, a differenza di quelle prodotte dal Sole pieno che si cominciano

a confondere appena ci si allontana dall'oggetto che produce l'ombra. In altre parole le ombre prodotte da un pezzetto di Sole vengono da luce fortemente collimata, mentre le ombre da tutto il Sole vengono contemporaneamente prodotte da raggi che possono convergere fino a 0.54° ossia $32'$.

In aggiunta normalmente tali ombre vengono osservate all'aperto dove la luce del cielo contribuisce a disturbare la visione dei contorni. Le ombre che abbiamo descritto qui sono prodotte in una stanza, con poca luce del cielo concorrente, quindi si possono studiare quasi come fossero in camera oscura. Le distanze misurate e riportate in calce ad ogni foto, come distanza focale, rispetto allo spessore della croce o dello stelo della menta di montagna, fanno capire quale sia il livello di convergenza della luce in questione.

Gambo della menta: 2.5 mm ben visibile a 1704 mm. Angolo di apertura o convergenza dei raggi $\theta < \arctan(25/1704) = 5'$. Significa che la sorgente doveva essere più piccola di questo angolo per permettere di vedere lo stelo proiettato.

Braccio della croce: 9.5 mm non visibile a 3315 mm $\theta > 10'$ come di fatto era il Sole pieno ($32'$). Poi se il braccio verticale della croce era visibile ancora a 5m ciò poteva essere solo se $\theta < 6.5'$, ma la stessa apertura angolare non consentiva di vedere quello orizzontale per via dell'astigmatismo che deforma il Sole nella direzione verticale (cfr. le ghost images di fig.12 e fig. 13).

Costanti della fisica e moti secolari la cd. precessione degli equinozi è un moto costante dell'asse terrestre risultato di un'azione combinata di Sole e Luna sul rigonfiamento equatoriale della Terra. È spiegata nella teoria del corpo rigido. Anche la rotazione terrestre costante nel tempo è prevista da tale teoria per una Terra perfettamente sferica e senza altre influenze. In questa approssimazione l'orbita Kepleriana avverrebbe con l'asse della Terra sempre inclinata allo stesso

modo sul piano dell'orbita. Il moto di precessione conserva questo angolo. Un altro moto dell'asse, dovuto ad altre concause, modifica questo angolo in un tempo di 42 mila anni, tra 22° e 24° circa. Da quanto detto la precessione non modifica il percorso del Sole nel cielo rispetto all'orizzonte, ma va a modificare solo il percorso delle stelle, che cambiano tutte la loro longitudine eclittica λ , di un tanto all'anno, 50", mantenendo fissa la loro latitudine eclittica β . Il passaggio dalle mutate coordinate eclittiche a quelle altazimutali, che sono quelle che noi percepiamo rispetto all'orizzonte, avviene mediante un'opportuna trasformazione di coordinate, ma poiché questa non riguarda il Sole non ce ne occupiamo. **Ombre e luci nelle età dell'uomo** questi allineamenti non avvengono tutti i giorni, anche se in un solo giorno è possibile considerare il Sole come stella fissa, dopo qualche giorno l'allineamento si perde e la riflessione non accade più, fino alla prossima stagione. Normalmente, trattandosi di riflessioni speculari, basta attendere il giorno simmetrico rispetto al solstizio e l'ora simmetrica rispetto al meridiano per avere di nuovo lo stesso fenomeno. Quindi queste riflessioni del 26 aprile alle 8:08 ce le aspettiamo di nuovo il 18 agosto 5 ore prima del transito meridiano alle 8:14. Oppure in luce diretta (se non ci sono case davanti) nel pomeriggio come già detto.

Dopo passerà un anno prima che si ripetano di nuovo, e così via... nella giovinezza si fa caso a tante altre cose nella fretta di assaporare tutto della vita, ma poi, pian piano si cominciano ad apprezzare tanti dettagli che prima ci erano sfuggiti, se si ha la possibilità di vivere a lungo nello stesso luogo.

E le stagioni si ripetono con le loro luci... tutte uniche nel loro genere, perché mai l'anno civile ripete esattamente l'anno tropico, soprattutto se le riflessioni mettono in evidenza angoli piccoli, al primo d'arco. Buon divertimento meditativo!

Referenze C. Sigismondi, [arxiv-1107.0820](https://arxiv.org/abs/1107.0820) (2011) *Pinhole Astronomy*

L'abbagliamento da luci artificiali: misure quantitative

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 18th 2021, accepted April 28th

Abstract The LED light is largely used for its relative economy: with less energy with respect to neon and filament light, the same illuminance is reached and surpassed. Used in abundance in the interiors as well as outdoor it is changing the spectrum of city lights reflected by the clouds and the atmosphere, while indoor they produce an excess of luminance in a few colors, blended to obtain white light. Here I show how to use the properties of the photos' details to compare these light with sunlight.

Sommario Le luci a LED sono usate per la loro relativa economia: con meno energia rispetto alle luci al neon o a incandescenza, ottengono la stessa luminanza, se non di più. Usate in abbondanza ormai sia all'esterno che negli interni, stanno cambiando lo spettro della luce riflessa dal cielo notturno, così come causano frequenti abbagliamenti negli interni per l'eccessiva intensità concentrata in pochi colori, mescolati per ottenere il bianco. Mostro come comparare queste luci con quella solare.

Keywords Light, LED, luminance, ISO, shutter, photography.

Introduzione: abbagliamento dalla strada agli interni



Fig. 1 Questa foto è scattata in automatico a ISO 200 f=4mm a f/1.9 e 1/17 s di tempo di posa, in condizioni simili all'occhio umano; si vede la ghost image in cui appare la matrice di LED.

La luce ripresa da questa foto è un array di LED abbagliante. Una luce simile non sarebbe tollerata in autostrada, perché simile a quella dei fari abbaglianti contro, tuttavia è montata in una chiesa per aggiornare l'impianto d'illuminazione: 3 corpi così nella navata centrale. Roba da mettersi gli occhiali da Sole e la visiera. Quando luminanze del genere erano raggiungibili solo con i fari a incandescenza, ricordo la sensazione che si provava quando venivano accesi nella Basilica di San Pietro: "una fucilata alle pupille!" dissi una sera che stava per entrare papa Giovanni Paolo II ad una messa per gli studenti universitari prima del Natale; erano gli anni novanta e i miei occhi avevano trent'anni di meno. Devo aggiungere che non è difficile scoprire fenomeni di pura violenza nei confronti di tutti e cinque i sensi: volume troppo alto o troppo basso, odori e profumi troppo intensi e pure sgradevoli o addirittura allergenici... In questo articolo provo ad usare dei concetti di fotometria per quantificare l'ingiuria di certe luci. Provo una sensazione fastidiosa interna all'occhio quando vedo delle vetrine troppo illuminate da strisce di led o degli ambienti, spesso dei negozi, con eccessiva illuminazione. Sono convinto che chi sta lì dentro tutto il giorno prima o poi pagherà il conto...e per gli ambulanti ci sono le luci pendenti, proprio ad altezza occhi...altre fucilate nelle pupille, ma lascio agli oculisti il compito di nominare tutte le patologie accennate.

La sensibilità della pellicola oggi è concetto digitale, ma si può dire che 1 s a 100 ISO raccolgono la stessa luce che $\frac{1}{2}$ s a 200 ISO e così via. Se il rapporto focale/diametro $f/D=1.9$ l'area di raccolta è quattro volte quella di $f/D=3.8$. Un altro dato disponibile nelle "proprietà" del file, "dettagli" è la luminosità 0.68 senza unità di misura. Facciamo il confronto con la luce solare riflessa da un pavimento bianco, con luminosità 10.05, più forte, ma osservata da un occhio già adattato alla luce

pomeridiana.

Abbagliamento da riflesso

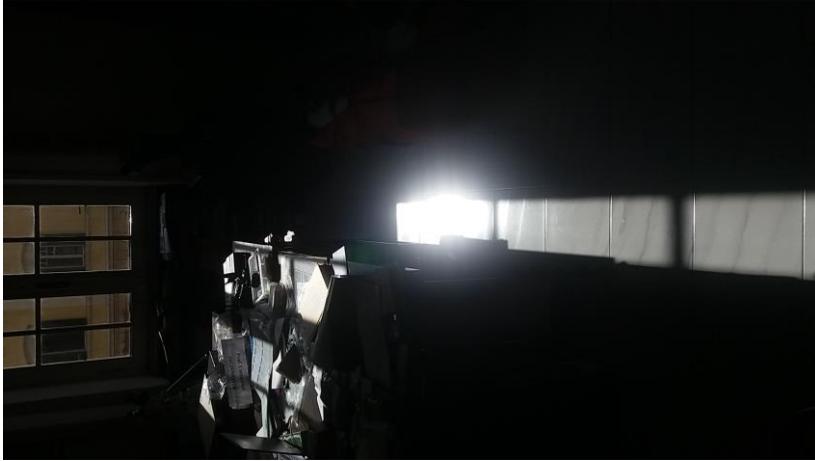


Fig. 2 La luce solare riflessa dal pavimento bianco: $f/1.9$, 64 ISO, $f=4$ mm, $1/3114$ s e luminosità 10.05.

Compariamo questi dati con la fig. 1, gli ISO sono $200/64=3.125$ f/D sono uguali e con i tempi di posa otteniamo $1/183.17$ volte.

Le due foto mostrano entrambe un abbagliamento, perché la sorgente luminosa è satura, sovraesposta, ossia bianca senza informazioni di intensità al suo interno. La seconda ha raccolto $1/572.43$ dei fotoni della prima per via dell'ISO e del tempo di posa più ridotti. Calcolando il logaritmo di questo rapporto e moltiplicandolo per 2.5 (legge di Pogson) ottengo 6.89, che sarebbero le magnitudini di differenza se le due foto fossero identiche. L'informazione sulla luminosità invece mi dà un rapporto di 10.05 a 0.68 cioè 1:14.78. Il settaggio automatico della fotocamera ($f/1.9$ fisso) si è predisposto per ricevere $1/572$ di fotoni, ma la luminosità totale era solo 15 volte di più.

Qual è, dunque, la situazione più abbagliata? È la prima, tant'è vero che si vede la ghost image, che manca nella seconda foto. In altre parole l'iride automatica della fotocamera si era ridotta (non ristretta perché $f/1.9$ è fisso) ad $1/572$ della capacità di

ricevere luce che aveva nell'interno della chiesa, ma la luce totale è aumentata di solo 15 volte. Facendo il procedimento al contrario la macchina, per l'interno, si è regolata quanto all'esposizione facendo una "media ponderata" delle sorgenti nel campo su posizioni ben precise del campo di vista, aumentando la sua capacità di ricevere fotoni di 572 volte, perché l'interno è generalmente scuro, ma la sorgente luminosa solo 15 volte più debole, risultando l'immagine abbagliata.

Abbagliamento dal Sole diretto



Fig. 3 Il Sole il 26 aprile 2021 a piazza della Repubblica: $f/1.9$ $1/11936$ s $f=4$ mm ISO-64. Luminosità 11.96, senza ghost image. Il tentativo è sempre quello di vedere se questo programma di gestione delle foto fornisce le informazioni dell'esposimetro con cui l'esposizione della foto e l'ISO vengono regolati automaticamente. Alla terza foto presa in condizioni di illuminazione ancora differenti abbiamo capito che i parametri mobili sono 3: ISO, esposizione, e la luminosità, anche se sono tra loro correlati. Il Sole pieno di fig. 3 ha una capacità recettiva pari a $1/37300$ di quella di ISO-200 e 1 s, $1/2194$ volte quella della foto 1. La luminosità invece è solo $11.96/0.68=17.6$

volte maggiore. Anche col Sole pieno la fotocamera riduce la sua ricettività di 2194 volte a fronte di 17.6 volte più luce. Se vediamo al contrario il processo, con una luce 17.6 volte inferiore la camera tende ad aprirsi come dovesse accoglierne molta di meno, cioè 2194.

Questa è proprio la situazione di telecamera abbagliata, ossia raccoglie più luce di quanta se ne aspetta.

La telecamera segue l'occhio, adattandosi, per quanto può, rapidamente ai cambiamenti di luce. Ma non riesce a farlo negli interni scuri.

L'occhio pure non riesce ad adattarsi velocemente allo scuro, c'è una lentezza nel farlo per l'iride che si allarga ma non istantaneamente, e per la rodopsina che si forma sulla retina in circa 20 minuti per osservare oggetti proprio molto deboli.

Nel caso di una chiesa, più scura dell'esterno, l'iride si allarga, e così i punti luce abbaglianti non perdonano.

Neanche gli occhiali da Sole risolverebbero il problema, ma solo una visiera che nasconde all'occhio la luce.

Sorgenti di luce puntiforme e esposimetro con media pesata

La luce del Sole e dei fari viene da una zona limitata del campo di vista, che un esposimetro che rileva la luminosità in tutto il campo di vista può non cogliere. Se la media è ponderata su 9 punti, un reticolo 3x3, può darsi che in questo reticolo non capiti il Sole e neanche il suo alone luminoso. Ecco perché la camera è completamente sovraesposta nella direzione del Sole. L'automatismo poi fa il resto, rimanendo in ogni caso il Sole sovraesposto, eccetto quando attraversa uno strato molto spesso di umidità, quando anche ad occhio nudo lo si può guardare senza fastidio.

Pieno Sole

Ecco due immagini del Sole e dell'alone a 22° attorno ad esso, con e senza occultamento parziale del disco della fotosfera.

Nella foto dietro il palo circa 1/3 del diametro solare è visibile, in termini di area 1/4, mentre a destra il Sole è completo, e la luminosità totale arriva a 16.39.



Fig. 4-5 ISO-64 1/17904 s f/1.9 f=4 mm e Lum.=12.57 a sinistra con occultamento parziale del Sole, e a destra 1/71615 s Lum.=16.39 col Sole senza occultamenti.

Referenze

<https://www.treccani.it/enciclopedia/fotometria/>

Ignizione e focale delle lenti: ottica e termodinamica

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 24th 2021, accepted April 30th

Abstract The use of a lens to burn the paper with the solar image is an experience that all students love to repeat. The optical properties of various lenses, and the thermodynamics of the solar image open to some interesting considerations, included the new generation solar telescopes.

Sommario Bruciare la carta con Sole e lente d'ingrandimento è un'esperienza molto gradita agli studenti. Le proprietà ottiche delle lenti e la termodinamica del calore trasmesso sulla carta, aprono a considerazioni interessanti per i telescopi solari, anche di ultima generazione.

Keywords Sunlight, focal length, primary focus, heat transfer, paper.

Introduzione: 451 °F con lenti, filtri e diaframmi

Si legge che la temperatura di ignizione della carta è 451°F ossia 230 °C: la carta prende fuoco “spontaneamente”. Con una lente semplice convergente si può fare l'esperienza quotidiana di tale fenomeno. Nel 2018 lo abbiamo fatto applicando alle lenti filtri di colori diversi (blu, verde e rosso monocromatici), sperimentando qualitativamente che la lente blu < rossa < verde come “potenza di fuoco”, con una lente da 70 mm di diametro e $f=150$ mm. Ora usiamo pure una lente da 45 mm di diametro e $f=500$, diaframmando la prima a 45 mm.



Fig. 1 “banco ottico” e immagine focale del LED del telefonino. Lenti e diaframmi, e giornale su cui era messo a fuoco il Sole.

Focale e diaframma: proprietà generali con il Sole quando è a fuoco, l'immagine ha diametro $\sim f/100$, perché il diametro angolare del Sole è circa $1/100$ radiante. Con le due focali, indipendentemente dal diaframma, le immagini solari sono di 1.5 mm e 5 mm. In quella più piccola è concentrata tutta l'energia raccolta dalla superficie libera della lente. Abbiamo diaframmato la lente da 70 mm a 45 mm con la carta, e poi anche metà e un quarto dell'apertura libera con un foglio di carta aggiuntivo che tagliasse in due e poi in quattro il disco libero. Solo in questo modo si è potuto ottenere dei casi in cui fosse evidente la proporzione Area lente : Energia raccolta, perché il nostro indicatore era "a soglia", ossia l'ignizione, che in tutti casi esaminati era quasi istantanea con la lente da $f=150$ mm, e pure con quella da $f=500$ mm, sul nero del giornale.

Assorbimento e riflettanza della carta stampata cambia se proiettiamo l'immagine sul nero e sul bianco. La luce riflessa, però, è sempre abbagliante, e solo quando la lente di $f=500$ mm viene diaframmata a $1/2$ e a $1/4$ si riesce a vedere senza abbagliamento anche le cose in *foreground* (nel caso una rete tra noi e il Sole). Con $f=500/1/2$ la carta ha preso fuoco dopo 16s, a quel punto tutti hanno capito che con $f=500/1/4$ ciò sarebbe avvenuto dopo 32s di illuminazione. Ovviamente le condizioni sperimentali non erano identiche, perché la lente tenuta a mano non punta sempre la stessa area della carta, e 38s sono stati necessari nel secondo esperimento. Ci interessa comunque l'ordine di grandezza dei tempi, per fare dei conti di energetica. Altezza del Sole: ore 13 del 30 aprile: 63° e 1.12 masse d'aria di estinzione, cielo velato e con cirri. La carta era posta a terra in orizzontale, quindi l'asse ottico dell'immagine si scosta $\theta=27^\circ$ dalla verticale. L'energia incidente sulla carta rispetto a quella sulla lente è ridotta del fattore $\cos\theta=0.89$, mentre è amplificata del fattore aree $(d/f/100)^2=10000(d/f)^2$.

Con i diaframmi $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{4}$ il rapporto diventa $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{8}$ del valore a lente libera $(d/f)^2=0.0081$. Supponendo che con le condizioni del cielo velato ricevessimo circa 600 W/m^2 dal Sole, sulla carta, attraverso la lente si concentravano $600 \cdot (2500 \text{ e } 1250 (d/f)^2) \text{ W/m}^2$, cioè $600 \cdot (20 \text{ e } 10) \text{ W/m}^2$, cioè 12 kW/m^2 e 6 kW/m^2 .

Termodinamica dell'ignizione: l'energia trasmessa dal Sole

L'intensità di energia ricevuta per irraggiamento dal Sole e concentrata attraverso la lente non è stata tutta assorbita, perché il forte calore tendeva anche a riscaldare l'aria vicino alla carta che si sollevava, portando via energia al sistema.

Considerando il tempo trascorso nei due casi la carta ha assorbito 192 e 228 kJ/m², prendiamo 200 per cifra tonda; calcolando l'area dell'immagine $\pi r^2 \sim 20 \text{ mm}^2$, l'energia trasmessa alla carta e all'aria circostante è stata $200 \cdot 2 \text{ mJ} = 0.4 \text{ J}$.

Ricordiamo che il Joule [J] è l'unità di misura dell'energia, e che 4.18 J equivalgono ad una caloria, 1 cal, l'energia necessaria ad alzare di 1°C la massa di 1 g d'acqua. Quindi 1/10 di caloria è sufficiente a portare 20 mm² di carta (1 mg) e l'aria circostante a 451°F. Sembra poco? Quell'energia è concentrata, e la carta è leggerissima ed ha una capacità termica molto inferiore a quella dell'acqua. Tuttavia il calore della luce del Sole la porta alla temperatura in cui ha inizio la combustione C+O₂, che poi si può sostenere da sé consumando tutta la carta circostante: è l'energia del fuoco, un'energia di origine "chimica", che non è altro che un riarrangiamento della struttura atomica di carta e aria circostante, con rilascio della differenza tra le energie di legame finale ed iniziale degli elettroni in gioco. L'energia totale la abbiamo valutata all'incirca 0.4 J per un'area di 20 mm². Per avere una mole di ossigeno a pressione atmosferica dovremmo avere 22.4 litri, ossia 22.4 milioni di mm³, quindi possiamo stimare in 1 milionesimo di mole di O₂ coinvolto nel fenomeno studiato.

Col numero di Avogadro $A=6.02 \cdot 10^{23}$ andiamo a valutare il numero di molecole $N \sim 6 \cdot 10^{17}$, l'energia ricevuta per molecola, è pari a $4/6 \cdot 10^{-17} \sim 0.6$ eV.

Fisica classica e fisica dei quanti... chi innesca la fiamma?

L'elettron Volt [eV] è un'unità di misura usata molto in fisica atomica, la luce visibile arriva ad avere fotoni di energia fino a 0.3 eV. I fotoni da 0.6 eV sono ben ultravioletti... e sono capaci di generare modifiche alla struttura molecolare. Normalmente si parla di quelle al DNA, qui invece abbiamo visto quelle operate dalla combustione "spontanea".

Ma entriamo in un problema di quantistica... posso avere foto ultravioletti concentrando solo fotoni visibili? No. Per la spiegazione dell'effetto fotoelettrico Einstein prese il Nobel nel 1921. Però la somma di tante energie ha portato all'innesco della fiamma... come conciliamo la cosa?

Calcoliamo l'energia media dei fotoni di un corpo nero a $451^\circ F = 506$ K. Per la legge di Wien $\lambda_{max} \cdot T = 2898 \mu m \cdot K$

Da cui $\lambda_{max} = 5.72 \mu m$, che corrisponde ad un'energia di 0.22 eV. Questo valore è molto simile a quello ottenuto sopra con i calcoli dell'ordine di grandezza.

Ignizione: la carta raggiunge e mantiene la temperatura se il trasporto dell'energia depositata lì con la lente non è più rapido. Se ci fosse un forte vento, per esempio, l'aria riscaldata sarebbe immediatamente spostata e se ne dovrebbe continuamente riscaldare dell'altra. Ciò rallenterebbe il processo di ignizione. Ma in condizioni normali, senza vento, l'aria calda si solleva, ma la sua inerzia non permette uno smaltimento rapido del calore, e la combustione si innesca.

Referenze

https://en.wikipedia.org/wiki/Wien%27s_displacement_law

<https://lasercalculator.com/photon-energy-calculator/>

Misure angolari di aloni con la ghost image del Sole

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 17th 2021, accepted May 7th

Abstract The greenish Sun's ghost image has its real angular diameter. In the photos of several haloes occurred in Rome between April and May 2021, occurred also in similar atmospheric conditions of the Scheiner's halo (1629), the solar ghost images are intentionally produced, and used as reference rods in the photos of haloes, parhelia and coronae.

Sommario L'immagine riflessa del Sole tra le superfici ottiche della camera fotografica è molto meno intensa di quella diretta, e appare di colore verdino. Questa immagine mantiene il diametro angolare reale del Sole, che viene perso, invece, nella zona saturata dal Sole stesso, molto più grande per Sole reale. Per questa proprietà la usiamo come metro angolare campione per le misure di aloni e corone solari.

Keywords Halo, Corona, Parhelium, Ghost Image.

Introduzione Roma e l'alone di Scheiner (1629)

Si può ritenere che la moderna scienza dell'ottica atmosferica abbia avuto i suoi inizi a Roma quando il padre Gesuita Christopher Scheiner (McAlpine, 2011) riportò la notizia di sorprendenti aloni e parelii multipli che ritroviamo nei carteggi con Christiaan Huygens, Marin Mersenne, René Descartes e altri scienziati del tempo (Tape et al. 2008).

L'osservazione del diametro angolare dell'alone osservato dallo Scheiner il 20/3/1629 (Gassendi, Whalley, 1981 e Riikonen, 2000) ha suscitato l'ipotesi che sia prodotto da cristalli di ghiaccio Ic cubico, che si creano solo a temperature tra i 180 e i 240 K.

Ci sono state varie discussioni sull'attendibilità della misura del raggio dell'alone di 28°, che troviamo in letteratura (cfr. le Referenze), angolo che avvalorava l'ipotesi del ghiaccio Ic, invece del normale ghiaccio Ic responsabile dell'alone a 22° e dei pareli, e del circolo parelico. Nel presente articolo mostro come effettuare la misura dell'apertura di un alone solare,

sfruttando la presenza della ghost image del Sole nella foto.

La Ghost Image del Sole è prodotta da almeno due riflessioni

1. sulla lente obbiettivo 2. sul vetro di protezione della camera.

È verde per il trattamento antiriflesso delle lenti; è speculare.

Compare quando il Sole è leggermente fuori asse, e la si può “mandare” su una zona più oscura della foto, come un muro.

Le fotocamere degli smartphone hanno diametri $d=2$ mm, e una risoluzione angolare di $50''$; il Sole ha un diametro medio di $32'=1920''$, quindi può essere ripreso al meglio con $1920/50=38$ pixels ottici effettivi. Usare più megapixel per avere dischi solari con più pixel di diametro non aumenta la risoluzione, perché la diffrazione della luce è quella che fissa la risoluzione angolare. Nella foto in fig. 2 il diametro del Sole nella *ghost image* è di 16 pixels, la foto è 1152×2048 pixels, per sfruttare al meglio la risoluzione angolare potrebbe essere spinta a raddoppiare i pixels nelle due direzioni, comunque il contrasto che l'alone ha col fondo cielo non migliorerebbe, e l'apertura dell'alone è abbastanza ben definita attorno ai 22° .



Fig. 1 l'alone solare del 3 maggio 2021, senza *ghost image*.

Normalmente in una foto di questo tipo è molto difficile vedere la *ghost image* dallo schermo, occorre ripeterla a vari

angolazioni, e poi scegliere la foto riuscita all'ombra.



Fig. 2 Aloe e *ghost image* alla sinistra del luce sovraesposta del Sole, che appare gigante perché la camera è a ISO-64 come valore minimo della sensibilità, troppo per la fotosfera.

Il Sole reale è di 16 pixel di diametro, l'alone è abbastanza diffuso su una corona circolare di quasi 2° , quattro diametri solari. Si nota che nella fig. 1, senza *ghost image*, l'alone iridescente e il suo contorno bianco circoscritto sono visibili.

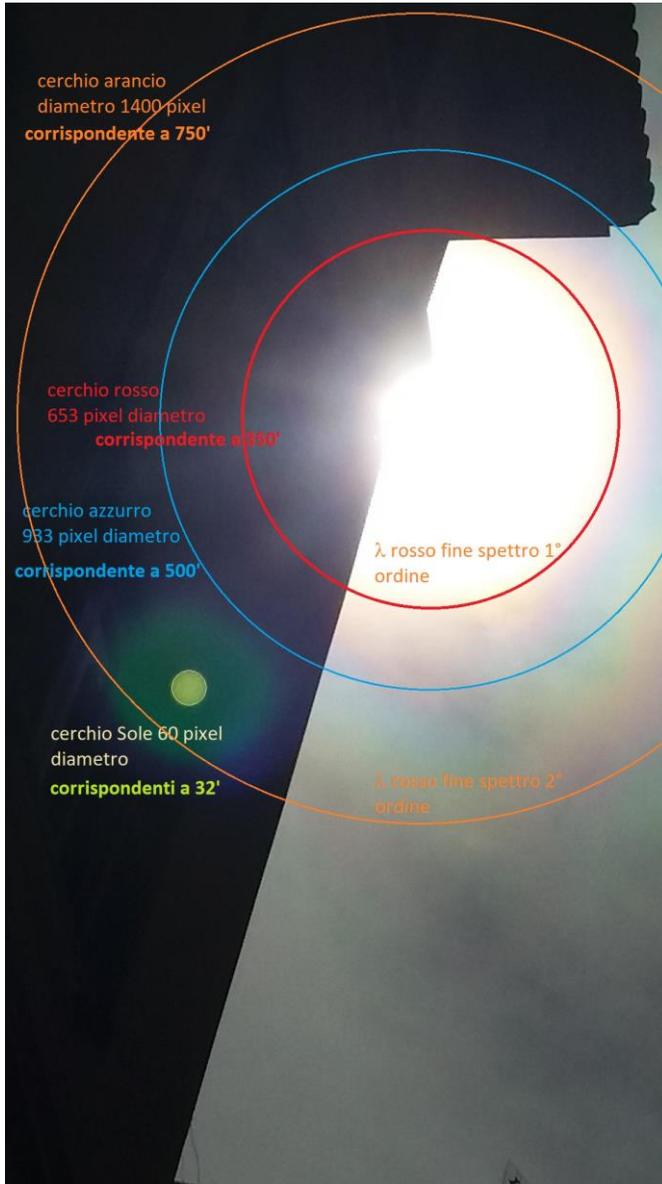


Fig. 3 la corona solare del 17/4/2021 a Roma. Le distanze angolari dei tre cerchi sono di 6°, 8° e 12.5°.

Coronae solari e diametro delle goccioline La causa delle cosiddette *coronae* sono nubi di goccioline di dimensioni abbastanza uniformi. Si possono avere diametri compresi tra i 10 μm e i 40 μm . Goccioline più piccole producono per diffrazione *coronae* più ampie; la diffrazione è la stessa da una sferetta opaca e da un'apertura dello stesso diametro (che produce i dischi di Airy), per il principio di Babinet.¹ Seguiamo questo procedimento *fisico*: il diametro angolare del primo anello di diffrazione in secondi d'arco è $\theta = 140'' \cdot [1000 \mu\text{m}/\varnothing] \cdot [\lambda/550 \text{ nm}]$.² Da questa ricavo per il primo anello con particelle di diametro tra 10 e 40 μm $\theta_{10} \sim 4^\circ \cdot [\lambda/550 \text{ nm}]$ e $\theta_{40} \sim 1^\circ \cdot [\lambda/550 \text{ nm}]$. Nel rosso $\lambda \sim 650 \text{ nm}$, quindi gli angoli aumentano del 20%. Benché il primo anello si intraveda solo nelle foto dove non c'è la ghost image, la spaziatura tra anelli dello stesso colore permette di valutare questo angolo. Quindi in luce rossa il primo anello lo troveremmo a 4.8° , gli altri a 9.6° , 14.4° e 19.2° per $\varnothing = 10 \mu\text{m}$, e con $\varnothing = 40 \mu\text{m}$, la sequenza degli anelli sarebbe quattro volte più piccola: 1.2° , 2.4° , 3.6° e $4.8^\circ \dots$. Nella fig. 3 sono visibili il 2° e il 3° anello, mentre il 1° è immerso nella regione satura dell'immagine, troppo vicino al Sole. Il 2° anello è a $350' = 5.8^\circ$, quindi il 1° sarebbe a 2.9° ; la dimensione delle goccioline che hanno prodotto l'immagine di fig. 3 è $[4.8^\circ/2.9^\circ] \cdot 10 \mu\text{m} = 16.6 \mu\text{m}$. La spaziatura tra l'anello rosso, il secondo 2° anello rosso, e il l'anello colorato di blu che è l'inizio del 3° anello rosso è di $500' - 350' = 150' = 2.5^\circ$, compatibile con i 2.9° stimati prima per l'apertura del 1° anello che si ripete negli altri: $[4.8^\circ/2.5^\circ] \cdot 10 \mu\text{m} = 19.2 \mu\text{m}$. Dalle due stime abbiamo un diametro medio $\varnothing = 17.9 \pm 1.3 \mu\text{m}$.

¹ Questa spiegazione, molto fisica, la prendo dal sito di Les Cowley ed io la applico *in toto* alle *coronae* <http://www.atoptics.co.uk/droplets/corform.htm>

² Si noti che usando il primo minimo dei dischi di diffrazione di Airy la formula, usata per i telescopi, diventa $\theta = 100'' \cdot [1000 \mu\text{m}/\varnothing] \cdot [\lambda/500 \text{ nm}]$.

Si può stimare la dimensione media delle goccioline dal rapporto tra il diametro degli anelli e quello del Sole (*ghost image*).³ Le *coronae* sono prodotte dalla diffrazione della luce da parte di goccioline. Utilizzando il primo anello rosso (meglio) o l'anello rosso esterno delle *aureolae* valgono le formule:

$\text{Ø}[\mu\text{m}] = 250 / \text{diametro rosso } 1^\circ \text{ anello in unità di diametri solari}$

$\text{Ø}[\mu\text{m}] = 120 / \text{diametro dell'aureola in unità di diametri solari}$

Nella figura 3 i diametri dei due anelli sono disegnati in rosso a 350' $\text{Ø}[\mu\text{m}] = 120 / [350/60] = 20.6 \mu\text{m}$ e in arancio a 750' $\text{Ø}[\mu\text{m}] = 250 / [750/60] = 20 \mu\text{m}$; la media vale $\text{Ø} = 20.3 \pm 0.3 \mu\text{m}$.

Il 1° procedimento *fisico* e la *formula operativa* hanno prodotto risultati simili: 18 e 20 μm per le gocce d'acqua diffrangenti. Anche i pollini producono *coronae*, ellittiche se i pollini non sono sferici, con l'asse maggiore in verticale, perpendicolare alla loro disposizione geometrica in caduta libera, a Sole basso.

Referenze W. Tape et al., *Applied Optics* **37** H72 (2008)

E. Whalley, *Science* **211** 389 (1981)

K. McAlpine, *The seven suns of Rome*, *Nature News* (2011)

M. Riikonen et al., *Applied Optics* **39** 6080 (2000)

C. Sigismondi, Arco Circumzenitale parelico del 16 aprile 2021 a Roma; Misure della Corona solare (iride) del 17 aprile 2021; Alone del 3 maggio 2021; Aloni iridescenti riflessi in acqua del 3 dicembre 2020; Raccolte di foto, video e misurazioni.

https://en.wikipedia.org/wiki/Circumscribed_halo

<http://www.atoptics.co.uk/halo/fnum.htm>

http://www.virtuelles-kupferstichkabinett.de/de/?action=zoom_single&id=26395

(24/1/1630, pareli e circolo parelico, osservati da C. Scheiner SJ a Roma)

<https://atoptics.wordpress.com/tag/pollen-corona/>

³ Queste formule le prendo dal sito di Les Cowley, sostituendo alla Luna la *ghost image* del Sole. <http://www.atoptics.co.uk/droplets/cordrsz.htm>

Misure della durata dell'anno con tre transiti meridiani

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted May 8th 2021, accepted May 10th

Abstract The meridian transits of 8 may 2020, 8, 9 and 10 may 2021 allow to calculate the length of the tropical year, with an uncertainty of 1 mm on each transit's solar position. Being +16' the daily shift Northward 8-9 may and -4' the yearly shift 2020-2021 in solar altitude at the meridian, $\frac{1}{4}$ of the day is necessary to overlap ideally the image of the Sun of 2021 with the one of 2020. The measures of 3 may 2019 and 2-3 may 2021 confirm a 5 minutes accuracy obtained in the tropical year extrapolated over 2 years.

Sommario I transiti meridiani dell'8 maggio 2020, e dell'8, 9 e 10 maggio 2021 hanno permesso il calcolo della durata dell'anno tropico, grazie all'incertezza di 1 mm raggiunta con le misure meridiane di posizione del Sole. Tra l'8 e il 9 maggio il Sole si alza di 16', e tra il 2020 e il 2021 si è abbassato di 4', che vengono quindi colmati in $\frac{1}{4}$ di giorno solare, cioè 6 h.

Keywords Tropical year, Meridian line, linear interpolation.

Introduzione: la meridiana Clementina e l'anno tropico

A S. Maria degli Angeli, e in generale in Meccanica Celeste, l'anno tropico viene misurato da un equinozio vernale all'altro, meglio se separati di alcuni secoli, così da minimizzare l'incertezza temporale sul suo valor medio. Così fece Francesco Bianchini (1662-1729) che costruì la meridiana, confrontando le sue misure del 1703 con quelle di Bernhard Whalter del 1500. Si parla, comunque, di anno tropico, ma non si prendono i solstizi (tropici veri e propri) perché la loro determinazione risultava più difficile, forse proprio per i problemi di aberrazione stellare alle stelle di riferimento, rispetto alle quali si calcolava la longitudine eclittica del Sole.

Quindi l'equinozio di primavera era calcolato a partire dai transiti meridiani prima e dopo, e con Bianchini, anche dalla differenza temporale del transito di Sirio con quello del Sole.

Tre transiti 8 maggio 2020, 8 e 9 maggio 2021 offrono i dati per calcolare la durata dell'anno tropico appena trascorso.

Incertezza della determinazione dell'anno tropico a partire da quella delle posizioni, si deduce un'incertezza di 1.4 mm (somma in quadratura di 1 mm per ogni misura) su un diametro di 227 mm al netto delle penombre, corrispondente a 31.7'. Giornalmente il Sole si alza ora di 16' cioè $[16/31.7] \cdot 227 = 114.6$ mm, che corrispondono quindi a 24 h. Fatte le proporzioni con 114.6 mm/dì, 1.4 mm corrispondono a meno di 18 minuti.

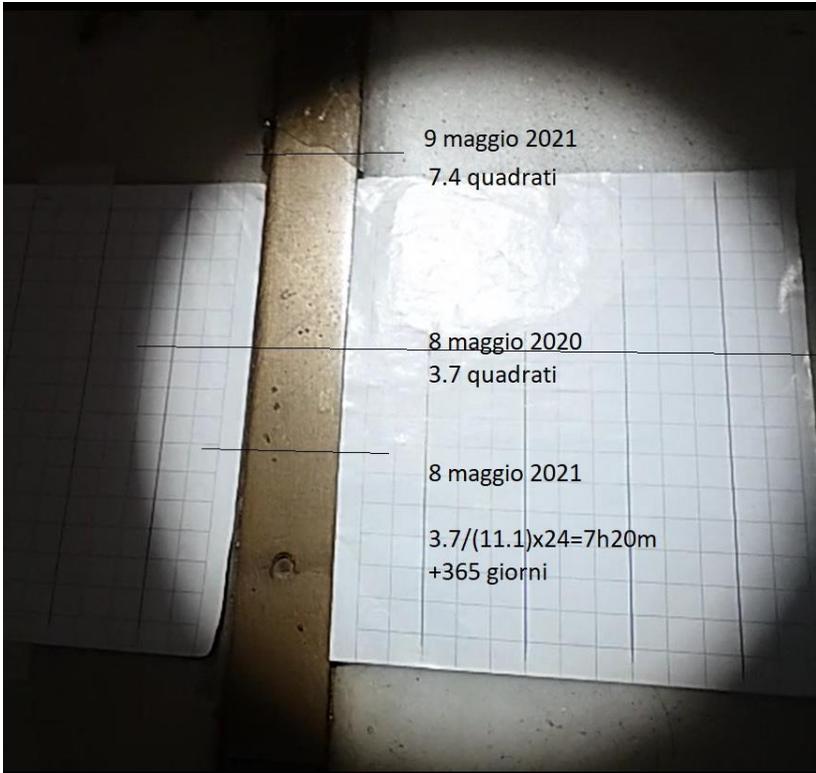


Fig. 1 fotogramma del passaggio meridiano del 8 maggio 2020, con sovrapposte anche le tracce dei passaggi del 2021, corrispondenti al centro del Sole. Le riprese video sono sempre finalizzate alla determinazione dell'istante del passaggio meridiano, mentre la posizione dei lembi è segnata a matita.

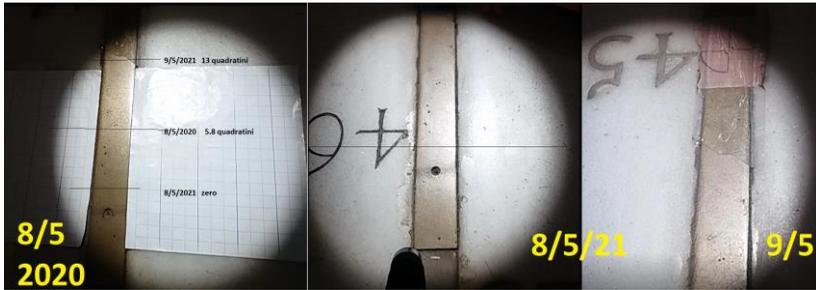


Fig. 2 Composizione di fotogrammi dei tre transiti, con data.

La carta a quadri consente una stima degli offset del centro dell'immagine, valutati sulle macchie presenti sulla linea di ottone; l'incertezza è data dalla prospettiva, per cui l'angolo di vista con il centro non è perpendicolare.

Interpolazione lineare da foto dalla fig. 1 ho le migliori stime sulla posizione del centro: ponendo a zero l'8 maggio 2021, nel 2020 l'immagine era 3.7 quadrati più su, e il 9 maggio 2021 11.1 quadrati più su. Nel 2021 alla velocità di 11.1 quadrati al giorno ci sono volute $3.7/11.1 \cdot 24 \text{ ore} = 7.5 \text{ ore}$ per coprire -il centro- la posizione dell'anno precedente, se immaginiamo un moto continuo del centro del Sole sopra la meridiana.

I dati millimetrici delle posizioni dei lembi del Sole che hanno una precisione nominale di 1 mm, non li ho presi al meridiano nel 2020, e tenevo la camera in mano per seguire i contatti successivi dell'immagine solare con i quadrati, poiché stavo valutando la turbolenza atmosferica avendo chiuso con un filtro UV il foro stenopeico, quindi eliminato l'effetto camino. Comunque ho preso dei dati a mezzo grado dal meridiano. Riporto prima in tabella i transiti del 2 e 3 maggio 2021 paragonati al 3 maggio 2019, riferiti al n° 50.

3 maggio 2019	N -245,5	S + 8	C=63.7675°
2 maggio 2021	N -179	S+ 70	C=63.6221°
3 maggio 2021	N -312	S-57,5	C=63.9172°

E su questi dati, per interpolazione, prima al bordo Nord e poi

al Sud, calcolo l'istante nel 2021 di sovrapposizione, considerando di 24 ore -6 secondi il giorno solare vero.

In 24 ore lo spostamento rilevato del bordo Nord è stato di 133 mm, quello del bordo Sud di 127,5 mm. La differenza è data dalle condizioni meteorologiche, per cui il contrasto Sole/cielo cambia leggermente, e a questo l'immagine prodotta dal foro stenopeico è alquanto sensibile. Meglio è lavorare sul centro del Sole. Lo spostamento dal 2 maggio 2021 per sovrapporsi alle posizioni del 3 maggio 2019 è di 66.5 mm a N e di 82 mm a S. Rapportando agli spostamenti giornalieri 2-3 maggio 2021 questi corrispondono rispettivamente a 12 ore e 15.4 ore. In media 14.2 ± 1.2 ore. Il numero di giorni interi trascorsi sono $365+365$, perché in mezzo c'è stato il bisestile. Due anni tropici sono durati 365.3 giorni ciascuno, 7.1 ± 0.6 ore in più dei 365 giorni. L'effetto meteorologico ha comunque influito; usando il centro calcolato del Sole, l'interpolazione resituisce 365.24635 d, cioè 365d e 5 ore 54 m 45 s. L'anno tropico medio 2019-2021 dalle effemeridi IMCCE è di 365 d 5 h 49 m 45 s, con una differenza di soli 5 minuti da quello misurato. Rispetto al rif.45

8 maggio 2020	S+294 mm	N+49 mm	C=65.3793°
8 maggio 2021	S+322 mm	N+71 mm	C=65.3212°
9 maggio 2021	S+210 mm	N-38 mm	C=65.5785°
10 maggio 2021	S+95.5 mm	N-149.5 mm	C=65.8428°

Conclusioni la misura dell'anno tropico 2020-2021 è 365d 5h 25±35 min, col valore vero entro 1σ . La campagna astrometrica IGEA (2018-2021) mostra una precisione di 5 minuti su due anni: secondo le aspettative di Francesco Bianchini nel 1703.

Referenze C. Sigismondi, transito meridiano del [8 maggio 2020](#), [8 maggio 2021](#), [9 maggio](#) e [10 maggio](#) 2021 (video).

IMCCE <https://promenade.imcce.fr/fr/pages4/439.html>

C. Sigismondi, IGEA campaign at the Clementine gnomon <https://www.preprints.org/manuscript/202105.0092/v1> (2021)

L'eclissi del 10 giugno 2021 e il diametro solare

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma*)

submitted May, 1st 2021 accepted May 14th, 2021 sigismondi@icra.it

keywords: *Solar diameter, eclipse, ephemerides*

Abstract The diameter of the Sun is measurable with km accuracy during solar eclipses. The case of June 10, 2021 is examined and frame among a series of experiments aimed to monitor the solar diameter's variations.

Sommario Il diametro del Sole è misurabile con una precisione del chilometro durante le eclissi solari. Il caso dell'eclissi del 10 giugno 2021 è inquadrato nell'ambito di una serie di esperimenti dedicati alle variazioni del diametro solare.

Introduzione: eclissi, didattica e diametro solare

Già dal 2016 sia con l'Osservatorio Astrofisico di Asiago, che con il Centro Internazionale di Astrofisica Relativistica ho voluto portare la ricerca nella scuola (Sigismondi, 2016). Da allora più di mille studenti hanno partecipato ad esperienze di questo tipo erogate dai due enti.

Per ICRANet una traccia solo dell'ultimo anno sono i sei eventi organizzati da me in fondo alla pagina di questo sito dal 2019 è qui (ICRANet, 2021)

Le ultime scuole di Asiago ASYAGO, Asiago School for Young Astronomers with Galileo Observations sono sul sito (Siviero, 2021); durante la scuola viene adoperato il telescopio Galileo nella cupola principale dell'Osservatorio, che fu il maggiore d'Europa quando fu costruito. Le prossime due scuole saranno il 10-11 e il 14-15 giugno in streaming. Per permettere a più studenti di partecipare in diretta in occasione dell'eclissi parziale di Sole.

Le date le ho indicate io, che dal 1999 mi occupo di astrometria solare prima all'Osservatorio di Monte Mario, poi a Yale, poi all'Università di Nizza, Istituto di Astrofisica di Parigi, Locarno e Rio de Janeiro, agganciandomi ad un progetto di ricerca pluriscolare.

La misura accurata del diametro solare nel corso degli anni, era stato, infatti, l'obbiettivo forse più ambizioso della ricerca all'antico Osservatorio del Campidoglio, che ha funzionato nel periodo 1829-1937, per volontà di papa Leone XII che lo aveva fondato per l'Università di Roma La Sapienza, creata da Bonifacio VIII nel 1306. L'altro osservatorio nel Mondo che seguiva lo stesso progetto con lo stesso ampio respiro era Greenwich.

L'eclissi serve a misurare il diametro solare con una precisione chilometrica, per cercare di capire meglio il ruolo del Sole nel riscaldamento globale/cambiamento climatico.

Oltre al discorso teorico che viene approfondito in particolare dall'Accademia Nazionale dei Lincei con le lezioni Lincei per la Scuola 2020-2021, di portano avanti anche le osservazioni quantitative, che nella competenza degli astronomi sono specificamente le misure astrometriche del diametro solare con eclissi e transiti planetari.

Senza dati la scienza diventa dogma...e questo nel nostro Laboratorio di Fisica ho il piacere di mostrarlo quotidianamente ai miei studenti.

Missioni osservative astrometriche per eclissi/(transiti planetari)

Dal 1999 ho realizzato diverse osservazioni astrometriche in cui l'allineamento del Sole e di un altro corpo celeste, lungo la linea di vista e fuori dall'atmosfera, permettesse di calcolare il diametro del Sole per confronto con le effemeridi. Lo studio dei transiti meridiani è stato fatto in modo robusto alla meridiana Clementina di S. Maria degli angeli (1702) e al telescopio Gregoriano di Locarno, il più grande dell'Europa continentale. Di seguito la lista di transiti planetari ed eclissi totali, parziali e anulari e transiti osservate.

Monaco di Baviera 11.8.1999 (totale)

Roma, ITIS Armellini 7.5.2003 (Mercurio)

Roma, Monteverde 8.6.2004 (Venere)

Valoria la Buena, Spagna 3.10.2005 (anulare)

Zawayet al Mahtallah, Egitto 29.3.2006 (totale)

Centro Spaziale di Kourou, Guyana Francese 22.9.2006 (anulare)

Istituto Ricerche Solari di Locarno, Svizzera 1.8.2008 (parziale)

Istituto Ricerche Solari di Locarno, Svizzera 4.1.2011 (parziale)

Osservatorio Solare di Huairou, Pechino 6.6.2012 (Venere)

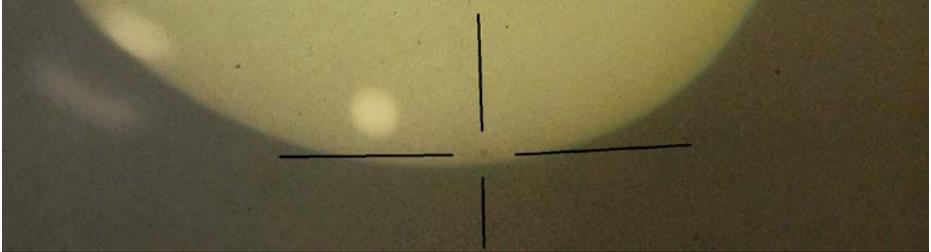
Roma, La Sapienza, Fisica ICRA terrazza C301 9.5.2016 (Mercurio)

Pescara, ICRANet Emiciclo, 11.11.2019 (Mercurio)

Roma, Monte Mario, 21.6.2020 (parziale)

Le misure del diametro del Sole in queste eclissi sono state oggetto di numerose pubblicazioni su riviste sempre a diffusione internazionale.

Nelle pagine successive le foto dell'evento del 9 maggio 2016 alla Sapienza, nella terrazza della stanza C301 dell'ICRA a Fisica, col compianto prof. Flavio Nuvolone (all'ombra nella prima foto), durante il convegno gerbertiano ARDENTIBUS STELLIS durante il transito di Mercurio sul Sole, che si vede in fondo alla pagina tra le croci; foto e trattamento di enhancement per evidenziare Mercurio: prof.ssa Valeria De Felice Proia.





In queste due foto: l'autore il 9 maggio 2016 e la foto composizione dell'eclissi del 21 giugno 2020 osservata sul meridiano tra Monte Mario e la Cupola di S. Pietro. Per la prima volta questa eclissi è stata registrata a 30 fps in un unico video, sincronizzato con UTC al centesimo di secondo. I risultati del diametro solare ed il metodo utilizzato sono descritti in Sigismondi, Cicillini e Caldarella (2020).

Eclissi del 10 giugno 2021

Nell'eclissi del 10 giugno 2021 l'ombra della Luna comincerà a toccare il suolo al Nord di Roma, verso la latitudine di Firenze, e per osservarla e misurarla direttamente occorre riprendere in video tutte le fasi di questa "veloce" eclissi parziale. Le condizioni geometriche sono simili a quella del 21 giugno 2020, un anno draconico prima, e saranno ottimali per avere un dato scientificamente valido. Le effemeridi disponibili sono quelle di Stellarium 0.20.2 sufficientemente testato tra Ottobre 2020 e oggi con i passaggi meridiani alla meridiana di S. Maria degli Angeli, dopo che calsky.org, il miglior servizio online, ha cessato di funzionare.

Referenze

- C. Sigismondi, <https://www.youtube.com/watch?v=OOVxOIsEDoU> (2016)
http://www.icranet.org/index.php?option=com_content&task=view&id=1308&Itemid=1005 ICRANet single meetings website (vis. 14.5.2021)
A. Siviero www.astro.unipd.it/siviero/ASYAGO/index.html (14.5.2021)
C. Sigismondi, E. Cicillini, C. Caldarella, Gerbertus 13, 87 (2020)

Costantino Sigismondi

L'altezza del Terminillo misurata da via Piccolomini

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma)

submitted October, 19th 2020 accepted May 15th, 2021 sigismondi@icra.it

keywords: *Use of a level, didactic experiment, model, sigma, error theory, Terminillo.*

Abstract The quote of mt. Terminillo is evaluated by composite photos at the level's eyepiece, to have the mountain's angular altitude, with the standard errors' theory applied. The instrumental field of view is 34' and the height is $80 \pm 7'$ at 80 km.

Sommario L'altezza del Terminillo è valutata con l'uso di un livello e della sua altezza angolare sopra l'almucantarato zero di 9/100 di radiante, con foto all'oculare.

Introduzione: il Terminillo dietro la Cupola di san Pietro

Da via Nicolò Piccolomini a Roma c'è una famosa vista della Basilica di San Pietro che spunta dal verde. Sulla sinistra del Cupolone si staglia, nelle giornate più serene, il monte Terminillo, 2219 m, in linea d'aria a 79.1 km.



Vediamo come operare con il livello e con la via Piccolomini per conoscere la quota del Terminillo.

Da GPS troviamo 73 m slm. A cui aggiungiamo 50 cm, dove è stato posto il livello.



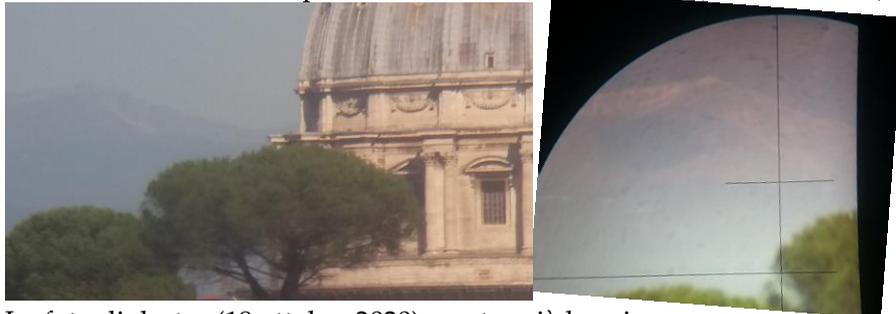
La base del Cupolone

corrisponde a 73.5 m slm, come dal telescopio a livello.

quota di

Altezza angolare del Terminillo

Con la trigonometria, usando il mignolo 16 mm alla distanza di 720 mm (braccio teso) come traguardo, la vetta del Terminillo dista $16/720=2/90$ di radiante dalla base del Cupolone. Nella foto sotto, tale base corrisponde con la base della foto. Il picco del Terminillo è a sinistra (9 ottobre 2020).



La foto di destra (19 ottobre 2020) mostra già la prima neve.

Data la distanza lineare (da google maps) con la vetta del Terminillo di 79.1 km, l'altezza della vetta –senza rifrazione atmosferica- risulterebbe $79.1 \cdot 2/90 = 1757.8$ m a cui sommiamo 73.5 m ottenendo 1831.3 m.

Poiché la Terra è sferica, a 79.1 km, per la curvatura, la base della montagna non è sull'orizzontale ma sotto l'almucantarato zero.

Con il raggio terrestre di 6378 km la quota zero dei 73 m slm di via Piccolomini, corrispondono a 490 m sul livello del mare sul Terminillo, che sopravanza di 1831.3 questa quota. Sommando le due quote ottengo 2321.3m come quota finale, sempre senza la rifrazione, che tende ad alzare un po' quello che si osserva.

Correzione di Gauss per la rifrazione

La formula della correzione per rifrazione è compresa in quella per la curvatura della Terra.¹ $E = (1-k) \cdot D^2 / R$

Gauss valutò $k=0.13$ ad Hannover, Monti e Selvini hanno trovato $k=0.08$ al mezzogiorno locale, e le misure fatte il 19 ottobre sono alle 14:45, quasi due ore dopo il mezzodì. Si può assumere $k=0.1 \pm 0.02$ ed $E=441.5$ m.

Da questo la quota finale risulta $2272 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$. Lo scarto dalla quota vera è di circa 50 m, per valutare a occhio dell'altezza angolare del Terminillo.

È chiaro che in questa misura a occhio abbiamo sottovalutato molti fattori di errore e il risultato è a 5σ dal valore atteso.

¹ <http://www.topografia.it/CaseHistory/qualitarilievi/k.htm>

Le tacche del mirino del livello distano 17.07' come da calibrazione in laboratorio. Il mirino ha solo tre tacche, poiché normalmente viene impiegato per stabilire l'orizzontale topografica.

Il Terminillo svetta a 4.71 di queste tacche dall'orizzontale, cioè 80.4', con altezza totale stimata di 2365 m.

La valutazione angolare è stata fatta confrontando le foto digitali di fig. 1 e fig. 2 accostandole tra loro. L'incertezza è circa di 2 pixel su 31 per ogni tacca da 17'. Su tutta l'altezza del monte 146 pixel con un'incertezza di altri 2 pixel, propagando gli errori avrei: $c=a/b=146/31=4.71$ e l'errore relativo è $\Delta c/c=\Delta a/a+\Delta b/b$ ossia 6.45%+1.37%. Il 7.82% di 2365 m è 185 m, così che il valore vero della quota 2219 m rientra in un sigma dalla quota stimata: 2365±185 m; e 2219 m è a 0.8σ. Rispetto al valore *a occhio* questo dato è molto più attendibile e l'incertezza di ±185 m più realistica.

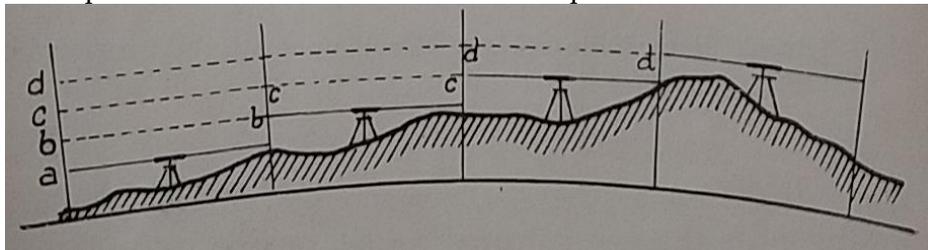


Fig. 3 principio della livellazione (da A. Mori, 1969).

Quando in un esperimento si ottiene un risultato vicino entro σ dal valore vero si può giudicare ben fatto l'esperimento. In alternativa, si può giudicare buono il modello interpretativo dei dati, se l'accordo è entro σ , e questa è la situazione che normalmente capita in astrofisica.

La livellazione in topografia viene svolta (fig. 3) trasportando dislivelli al millimetro su distanze dell'ordine dei 100 m. Su 80 km, la propagazione dell'errore prevedrebbe 800 mm, sebbene i caposaldi topografici sono calibrati al millimetro. L'Idrometro di Ripetta ad es. serve a misurare il livello del fiume Tevere, ed è stato ricalibrato insieme ai caposaldi stabiliti dall'Istituto Geografico Militare; la massima variazione accertata nella ricognizione tecnica (Andreucci, 2010) è 26.5 mm per Ponte Umberto.

Lo zero idrometrico di Ripetta, riferimento storico rispetto al quale sono state valutate le piene degli ultimi secoli, risulta 440 mm sopra il livello medio del mare.

La quota dell'Everest e del K2 ritornò all'attenzione negli anni ottanta, quando dalle prime misure satellitari il K2 fu stimato 8884 ± 25 m. Ardito Desio (1897-2001) che aveva guidato nel 1954 la spedizione italiana che conquistò la vetta del K2, ritornò nel 1987 a misurarne la quota con tecnologie più avanzate, e anche quella dell'Everest. Sempre le misure sono date al centimetro, ma sia per questioni di zero (geoide) sia per la neve sommitale, la quota della roccia non è mai più precisa del metro.

Si noti che la questione, che ricordo di avere inteso all'epoca, oggi è riportata su internet, ma con molti errori... di trascrizione. L'astronomo che fece le prime misure satellitari fu George Wallerstein (University of Washington) e nel commentare i risultati del controllo della spedizione Desio/CNR dichiarò *"Mine was done with a secondhand receiver, while theirs was made with first-rate equipment," he says. "I guess it proves that in this business there's no place for amateurs."* (Time, 2 nov. 1987)

Questo episodio ci fa capire l'importanza della teoria degli errori. Desio trovò 8872 per l'Everest e 8616 per il K2. Altre campagne di misura sono riportate su [wikipedia](https://it.wikipedia.org) con dati al centimetro, ma senza fonti primarie, da controllare una per una, come ho potuto fare col caso K2, dove era errato il cognome dell'Americano, identificato solo grazie al fatto che è astronomo. George Everest (1790-1866) a cui il Peak XV fu dedicato, era topografo.

Conclusioni le nostre misure sono solo angolari, da Google Maps prendo le distanze; 6378 km è il raggio della Terra assunta sferica. La rifrazione su 80 km sposta di poco il risultato. La precisione con cui ho determinato l'angolo della vetta del Terminillo sopra l'orizzontale è $80' \pm 7'$; ancora lontana dalla risoluzione angolare teorica di $\pm 0.1'$ dell'ottica, ossia ± 3 m, ma le misure angolari sono ottenute raccordando foto diverse fatte all'oculare senza allineamento esatto tra gli assi ottici di camera e cannocchiale, con possibili errori di parallasse entro qualche minuto d'arco. La calibrazione del campo di vista, in laboratorio, è fatta entro $\pm 0.1'$.

Referenze Alberto Mori, *Le carte geografiche*, Goliardica, Roma (1969).

Alessio Andreucci (2010) *Fiume Tevere, rilievo di alta precisione della quota dello zero idrometrico dell'idrometro di Ripetta*

http://www.idrografico.regione.lazio.it/Documenti/Rilievi/Livellazione_idrometro_TEVERE_RIPETTA.pdf; Time, 2 nov 1987 *Science: King of the Mountains*

<http://content.time.com/time/subscriber/article/0,33009,965872,00.html>

Ardito Desio, *Everest = 80FT. Higher*, Sky & Telescope **74**, 581 (1987)

Recensioni di libri: Giulio Verne Intorno alla Luna

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma*)

submitted and accepted May 16th, 2021 sigismondi@icra.it

keywords: *Jules Verne, Moon, Physics of XIX century, aether, caloric theory.*

Abstract The romance of Jules Verne *Around the Moon* 1869, is discussed (not spoiled) in view of the present knowledges after Moonlanding of 1969-72. The kinetic theory of heat, the caloric fluid theory, the theories on the plutonic origins of the surface details of the Moon, and the celestial mechanics underlying the text are shown.

Sommario Il romanzo di Giulio Verne *Intorno alla Luna*, 1869, è presentato in relazione alle moderne conoscenze della Luna, dopo gli sbarchi del 1969-72. La teoria cinetica del calore, il fluido calorico, l'etere cosmico e l'origine plutonica della superficie lunare, insieme alla meccanica celeste dell'epoca sono le basi del testo.

Introduzione: un romanzo tecnico di fantascienza avvincente

Ogni capitolo del romanzo di Verne è strutturato come un passaggio logico per poter affrontare il successivo, e si può dire che contenga un problema scientifico che l'autore ci motiva a risolvere insieme ai tre arditi protagonisti di un viaggio *impossibile*. Lo spirito americano viene colto in pieno proprio nella frase in cui Verne dichiara che l'aggettivo *impossibile* è escluso dal loro vocabolario. Esattamente 100 anni dopo, anzi più precisamente 101, quel tipo di viaggio fu possibile, con il famoso Apollo XIII (11-17 aprile 1970), ma anche già con Apollo VIII (21-27 dicembre 1968) e Apollo X (18-26 maggio 1969) senza incidenti né sbarco sulla Luna. L'argomento tecnico viene affrontato anche con un'equazione, in cui viene presentato l'equilibrio tra la gravità terrestre e quella lunare per un proiettile lanciato dall'una all'altra: il teorema delle "forze vive" che oggi è più noto, forse, col nome di teorema dell'energia cinetica (cap. IV).

Eccetto il problema della fortissima accelerazione del proiettile, che deve passare da uno stato di quiete ad uno di velocità di fuga dalla Terra con uno sparo, e con viventi al suo interno, tutto il resto della fisica e dell'astronomia presentato da Verne è fatto in modo realistico, aggiornato e ben documentato.

Poco ci manca che Verne pubblicasse anche la bibliografia consultata, visto che spesso e volentieri cita gli autori di lavori scientifici a lui contemporanei. Vale la pena di ricordarne alcuni: Padre Secchi, citato più volte, è autorevolissimo astronomo romano che si è pronunciato anche su osservazioni lunari ad alta risoluzione (quella della luminosità dei monti Doerfel e Leibnitz presso il polo Sud lunare); Warren de la Rue con le sue

ipotesi circa l'atmosfera lunare, che noi sappiamo egli cercava anche durante le eclissi di Sole insieme a Secchi; sullo stesso tema si era pure pronunciato l'inglese Nasmyt, che oggi è ricordato solo per l'ottica di un telescopio da lui concepito. È puntualissima anche la storia della selenografia che Verne tratteggia, partendo da Galileo, Heveliusz, Riccioli, Cassini, (Philippe de) La Hire fino a Beer e Mædler che nel 1830 pubblicarono la loro *Mappa Selenografica* (cap. X) di cui i protagonisti del romanzo (e lo stesso Verne) erano muniti. L'accuratezza documentaria, anche solo in questo caso, è da professionista bibliotecario.

Le sezioni coniche nella teoria delle orbite è pure affrontata nel cap. XV.

L'etere cosmico è la teoria che fa da sostrato al moto nel vuoto; dell'etere viene riportata persino la rigidità capace di farlo vibrare alle frequenze della luce visibile nel cap. V, dove viene iniziato anche il problema della temperatura nello spazio secondo le teorie di Fourier e Pouillet, poi ripreso più avanti con un esperimento *impossibile*, ma effettuato con *licenza poetica* (cap. XIV).

Le difficoltà di una *attività extraveicolare* o EVA, come verrebbe descritta oggi, sono pure presentate in modo sempre ragionevole (cap. VI), così che le *licenze poetiche* siano ridotte al minimo.

La descrizione della Luna è superba e nel cap. XII sono riportati anche i dettagli dell'orografia, con precisione del metro, da rivedere poi nel secolo successivo. Nel cap. XVI Verne presenta i tre metodi per misurare le altezze delle montagne lunari: 1. Dell'ombra proiettata (che usò già Galileo) 2. Dei raggi tangenti tirati dal terminatore al picco illuminato, 3. Col micrometro per i monti al lembo lunare, metodi che Beer e Mædler, *i più grandi selenografi che siano mai vissuti*, hanno applicato per ben 1095 rilievi lunari.

La Luna presentata da Verne e la selenografia è molto intelligente, non è solo una presentazione di una selezione di aspetti lunari che lui avrà anche ammirato al telescopio, e nei libri che ne parlavano.

Tra l'altro introduce anche un nuovo telescopio riflettore "*front view*" senza specchio secondario in mezzo, per avere un'immagine più nitida. Immagino che si tratti del telescopio *Herscheliano* come viene definito in qualche sito. Nel romanzo uno degli osservatori che usa questo strumento realizzato sulle Montagne Rocciose rischia di fare la fine dell'Abate Piazzi quando visitò Herschel e al suo telescopio cadde, rompendosi un braccio.

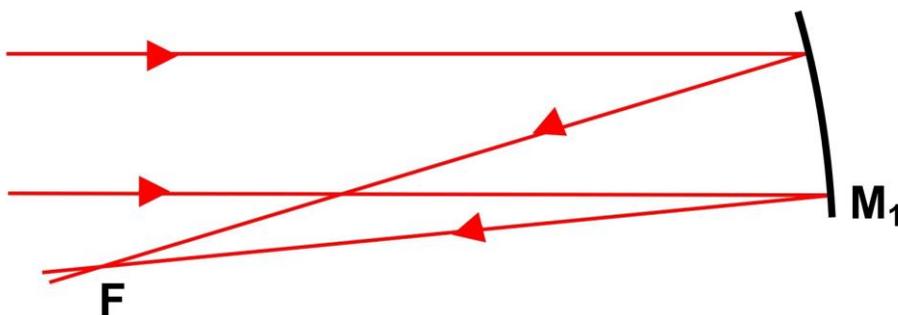


Fig. 1 Schema ottico Herscheliano, lo specchio primario M_1 è inclinato ed il fuoco F è fuori asse del tubo del telescopio, parallelo ai raggi incidenti. L'oculare viene posto al fuoco primario F . Questo era lo schema ottico del telescopio delle Montagne Rocciose costruito, nel romanzo, per seguire da Terra l'impresa.

L'Etere e il calorico sono le due teorie dominanti della fisica raccontata da Verne, che è a perfetta conoscenza della meccanica celeste più avanzata, che due decenni prima della pubblicazione di *Dalla Terra alla Luna* (1865) e del suo seguito *Intorno alla Luna* (1869) aveva trionfato nella scoperta di Nettuno (1846) fatta a tavolino dal direttore dell'Osservatorio di Parigi Urbain Joseph Leverrier e confermata al telescopio a Berlino pochi giorni dopo. Le parole di Arago ancora risuonano con autorità nel libro di Verne *Nessuna azione esterna alla Luna ha contribuito alla produzione del suo rilievo*. François Arago (1786-1853) era stato anche primo ministro francese nel 1848 e la sua statua è proprio davanti all'Observatoire de Paris, nel Boulevard a lui dedicato, quindi si capisce il suo ascendente sul mondo scientifico dell'epoca. Arago aveva proposto nel 1850 anche l'esperimento di misurare la velocità della luce in acqua, aria e vetro, poi realizzati da Fizeau e da Foucault. Questo esperimento è un caposaldo nella teoria della luce e precede di oltre vent'anni quello di Michelson del 1887 in cui l'ipotesi dell'etere cosmico, supporto per la vibrazione delle onde anche nel vuoto, in quiete assoluta, cominciò a traballare.

Era un mondo in cui il ruolo della Francia era preminente e antitetico a quello dell'Inghilterra e della Germania, con l'Italia e l'Olanda in posizioni di retrovia e l'America in forte espansione.

Per la teoria termodinamica la citazione del calorico nel cap. XV potrebbe

essere un errore di traduzione, perché nel cap. VI dice espressamente che il calore è movimento di molecole. Per il calore solare viene citata l'ipotesi del momento, ossia che il Sole è scaldato dalla caduta continua di meteoriti e quindi dalla trasformazione di energia cinetica in termica. Un po' meno chiara, a mio avviso, è la teoria delle eclissi dove può essere in agguato qualche errore di traduzione. Infatti che sulla Luna si vedano eclissi totali di Sole è ovvio, ed è strano che ciò sia negato in due punti, da uno che conosce la meccanica razionale, anche del problema dei tre corpi.

Albedo della Luna e della Terra, e origine della superficie lunare

Anche l'albedo della Terra viene presentata in modo da sortire dei dubbi: si dice che la Terra dalla Luna appare di 2° ed è vero, 16 volte la Luna vista da noi ed è vero, poiché la Luna è 0.5° e il rapporto angolare 1:4 diventa 1:16 in termini di area, ma poi la Terra è 13 volte più luminosa della Luna piena, come se la sua albedo fosse uguale. Invece la Terra ha albedo 0.39, cioè riflette il 39% in media della luce solare, mentre la Luna solo il 5%. Quindi la Terra risulta molto più luminosa della Luna piena nella notte lunare, qualcosa come 125 volte la Luna piena da noi. Da approfondire perché i dati, sempre accurati, che presenta Verne, qui differiscono; l'origine è forse nella storia della scienza dell'epoca. Così come è quella l'ipotesi di origine plutonica dei rilievi lunari, già sostenuta da Arago e in voga nel secolo XIX. Oggi sappiamo tutti che i crateri lunari e i monti "anulari" al loro interno sono prevalentemente di origine meteoritica.

Conclusioni mio padre ci lesse, da piccoli, ogni sera, un episodio del Giro del Mondo in 80 giorni. Oltre quattro decenni dopo ho capito quanto Verne sia avvincente, leggendo questo testo d'un fiato, in un sol giorno. È un ottimo complemento alle osservazioni telescopiche della Luna.

Referenze G. Verne, *Intorno alla Luna*, Libreria editrice (2020)

L. Fregonese, *Onda o corpuscolo? L'esperimento "cruciale" di Foucault* (2015)
<https://www.primapagina.sif.it/article/308/onda-o-corpuscolo-l-esperimento-cruciale-di-foucault#.YKFoLIdxc2w>

P. Bettonagli, *L'abate Giuseppe Piazzi e l'astronomia stenopeica applicata alla meridiana del Duomo di Palermo*, UPRA ISF Tesi, (2021)

C. Sigismondi, *Lezioni Lunari* (2020) la Luna al telescopio durante il mese lunare
<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1OC5hCUcfTjdE3tIWb9peF37hY-6gKAO4>

Data di ultima neve sul Terminillo e cicli climatici

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma*)

submitted October, 19th 2020 accepted May 19th, 2021 sigismondi@icra.it

keywords: *Satellite observations, snow, Terminillo. Climate cycles, solar cycles*

Abstract The snow on the top of Mount Terminillo lasts until the months of May-June. Sentinel & Landsat satellite daily images are studied from the year 2000, and the problems of this sampling are discussed.

Sommario La neve sulla vetta del Terminillo dura fino ai mesi di Maggio-Giugno, come risulta dalle immagini giornaliere dei satelliti Sentinel & Landsat a partire dall'anno 2000. I problemi di questo tipo di campionamento sono presentati e discussi.

Introduzione: il Terminillo, la montagna di 2000 m più vicina a Roma

Visibile nelle giornate più serene dal Gianicolo e da altri punti di Roma, con i suoi 2219 m è uno dei rilievi maggiori dell'Italia centrale, l'unico che sia "a portata di mano" dalla Capitale.

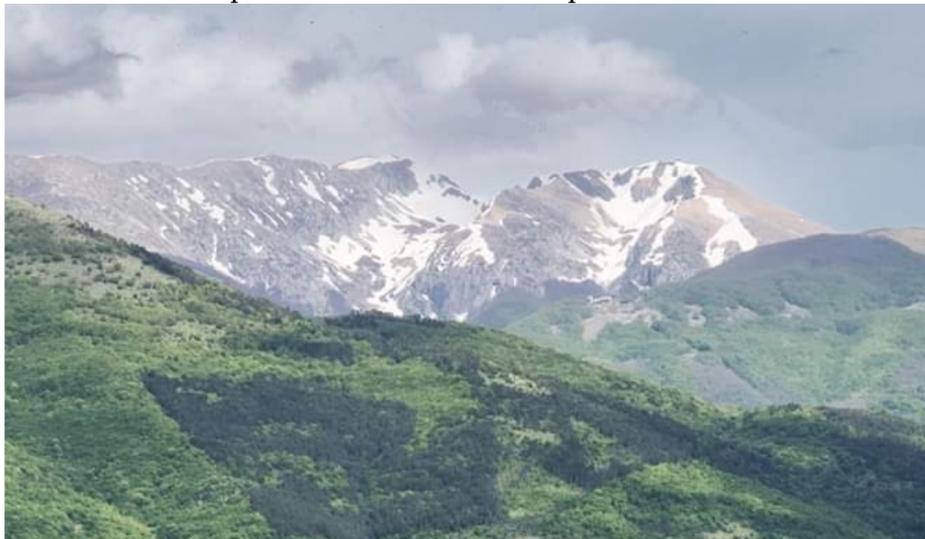


Fig. 1 il Terminillo visto dal Reatino (17 maggio 2021 ore 15) foto di Ilario Caluisi durante il passaggio del Giro d'Italia.

La neve riflette anche il 90% della luce solare, e la sua fusione avviene principalmente per il contatto con il terreno circostante e con l'aria più calda. Le nubi interferiscono nell'azione del Sole, e trovare neve a quote vicine ai 2000 metri è cosa normalissima fino a Giugno. Abbiamo pensato di studiare la data di ultima visibilità della neve sul Terminillo e di metterla in correlazione con l'attività solare delle macchie.

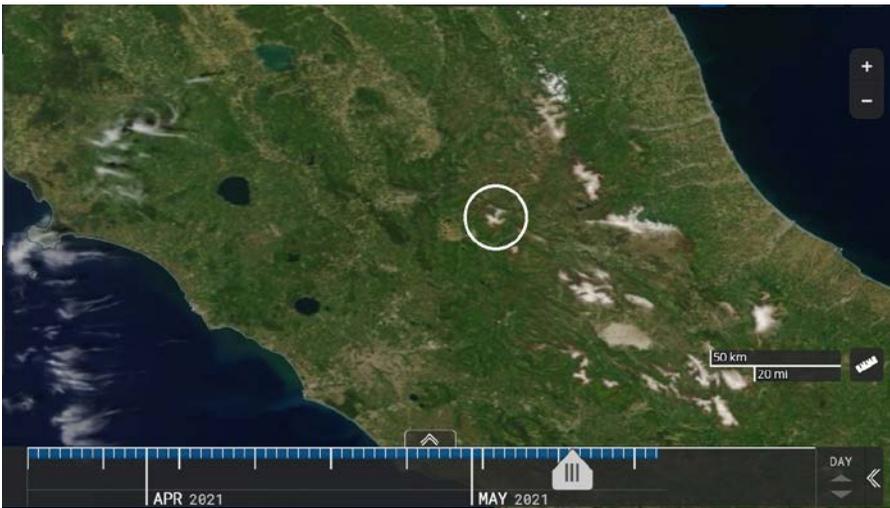


Fig. 2 Il Terminillo visto il 10 maggio 2021 dal Satellite senza nubi.

Le immagini da satellite sono disponibili grazie al progetto HLS Harmonized Landsat Sentinel-2 con passaggi sopra lo stesso luogo determinati dalle orbite di 99 minuti. I passaggi sono presi tutti prima del passaggio meridiano locale (tarda mattinata). Per ogni giorno è disponibile una sola immagine, e spesso sopra le vette delle montagne, più che in altre zone della zona d'Italia centrale, troviamo le nubi.

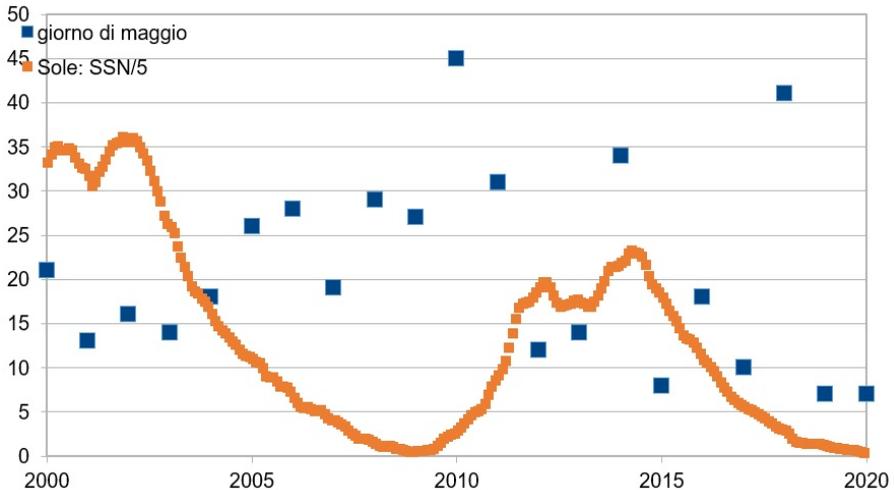


Fig. 3 Date di maggio dell'ultima neve vista sul Terminillo da satellite HLS a partire dal 2000, a confronto col l'attività solare SSN (SIDC-BE).

Sembra che il 2010 e il 2018 siano anni in cui la neve è rimasta più a lungo in cima, rispetto agli altri anni, e il 2019-2020 invece gli anni di sparizione più anticipata. Sono annate di precipitazioni meteoriche ridotte, che sono anche in relazione col ciclo solare di 11 anni delle macchie (SSN è il Solar Spot Number del SIDC)? Sappiamo che il ciclo solare XXV è appena cominciato a fine 2020, il XXIII è terminato con un minimo a zero macchie nel 2009-11.



Fig. 4 ingrandimento della fig. 3 fino a 30 metri per ciascun pixel con funzione snapshot dell'applicazione del sito EOSDIS Worldview.

Discussioni le immagini da satellite sono a risoluzione 1 pixel=30 m, quindi non permettono la stessa risoluzione della foto di fig. 1.

In secondo luogo c'è una sola foto al giorno dell'area in questione e soltanto il 10% delle giornate è sgombro dalle nubi al momento della foto, che è presa nell'ora più vicina al mezzodì, quando l'evaporazione è massima e si formano le nubi orografiche sulle montagne.

Facendo scorrere le immagini da un giorno all'altro è possibile tenere d'occhio l'area sommitale del Terminillo anche quando le nubi la coprono almeno in parte, ma la precisione con cui si distingue l'ultima data di copertura nevosa resta comunque incerta. L'assenza di vegetazione (scura, fig. 5) determina una riflettanza che può trarre in inganno quando la neve residua occupa meno di un pixel di 30m x 30m. Quindi abbiamo due tipi di incertezza: una temporale, a causa delle nubi frequentissime al mezzodì locale e presso le montagne, e l'altra spaziale quando la neve occupa un'area inferiore al pixel.



Fig. 5 Il Terminillo l'11 luglio 2020. Sulla vetta –a destra del segnale– non c'è vegetazione, e la riflettanza della superficie è maggiore delle zone limitrofe. Negli altri giorni le nubi confondono spesso la situazione, creando punti brillanti proprio presso la vetta, che simulano la presenza della neve. Se si potesse avere un controllo diretto sul luogo (come la foto in fig. 1 o le foto da Roma al telescopio nei giorni sereni) i dati sarebbero “più puliti”, comunque un'idea della variazione annuale o addirittura decennale ce la possiamo fare dalla fig. 3.

Certamente ogni anno differisce da un altro, e si possono vedere annate più nuvolose di altre. Il lavoro sul Terminillo può essere ripetuto per la Majella, e per il Gran Sasso che sono a simile latitudine.

Ringraziamenti ad Ilario Caluisi che ha monitorato il Terminillo nel 2021: la neve si avvia a restare per tutto il mese di maggio, dopo una primavera particolarmente ricca di nevicate. Alla classe 1BT 2020/21 dell'ITIS Ferraris RM

Referenze <https://earthdata.nasa.gov/esds/harmonized-landsat-sentinel-2>
<https://worldview.earthdata.nasa.gov/?v=9.885483847129588,41.260146376045974,14.641168420423103,43.52652730550616&t=2021-05-10-T06%3A23%3A02Z>
<https://svs.gsfc.nasa.gov/4745> video sulle orbite dei satelliti polari Landsat 8 e 9 e Sentinel 2a e 2b e sulla loro copertura giornaliera del globo terrestre.
http://sidc.be/silso/DATA/SN_ms_tot_V2.0.txt dati mensili macchie solari SIDC

Intervista al Professor Galileo Galilei

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma*)

Submitted April 15th 2020 and accepted May 19th, 2021 sigismondi@icra.it

keywords: *Galileo Galilei, History of Science*

Abstract *Illustrissimi* is a book written by Albino Luciani, after pope John Paul I, with texts of imaginary interviews with historical persons. The impossible interviews were broadcasted by the Italian Television in 1974-75, and their subjects were also famous history persons. Following these examples, the figure of Galileo Galilei is drafted with respect to his contemporary scientific and social framework.

Sommario *Illustrissimi* di Albino Luciani (papa Giovanni Paolo I, 1978) e le interviste impossibili della RAI sono stati modelli di ispirazione a questo testo galileiano, dove storia, società e scienza del suo tempo vengono tratteggiati.

S- Professor Galileo, lei era un personaggio all'università di Padova seguito da tutti...

G- rispetto a voi del 21esimo secolo la mia attività di insegnamento era destinata a gente che se lo poteva permettere a differenza della scuola dell'obbligo. Il corso di matematica era molto frequentato e salivo sulla cattedra dal quale riuscivo ad arringare la folla di medici, matematici, letterati. A Padova sapevano che ci sarebbe stato interesse a seguire una mia lezione e grazie alla mia oratoria attraente.

S- E' stato anche un maestro privato di Cosimo De Medici?

G- Desideravo sdebitarmi da un punto di vista culturale dedicandogli i pianeti che avevo trovato intorno a Giove, gli astri medicei. Avevo chiesto consiglio se chiamarli cosmici o medicei. Cosmici anche se richiama il nome Cosimo, indica qualcosa di riferito al cielo e all'ordine, perciò li chiamai Medicei in modo che nessuno avesse il dubbio che fosse riferito ai Medici. Fu piacevole fargli lezione.

S- Cosa ci dice riguardo alla scoperta del telescopio?

G- Il nome *telescopio* venne dopo, così come *satelliti* con i loro nomi pagani. *Telescopio* venne dal mondo tedesco. Io lo avevo chiamato *Perspicillum* o *Cannone*. Invenzione da *invenio* significa 'trovo'. Nel libretto uso la parola '*invenire*'. Io ho trovato (nel suo significato latino) delle soluzioni tecniche che mi hanno permesso di ingrandire gli oggetti nitidamente fino a 900 ingrandimenti in termini di area (30 ingrandimenti lineari). A Venezia mi facevano le lenti sempre molto pulite e precise perciò utilizzai i vetri di migliore qualità. Ho avuto un vantaggio in termine di tempo, che mi permise di essere il primo a osservare i dettagli della Luna, del Sole, di Giove, di Saturno e di Venere, e anche della via Lattea, della nebulosa, di Orione e delle Pleiadi.

S- Cosa ci può dire riguardo alla Luna?

G- La Luna noi tutti pensavamo che fosse 'spessa, solida, lucida e pulita'. Anche se si vedevano delle macchie erano state date varie interpretazioni ad esse anche teologiche. Era fuori discussione che la Luna fosse una sfera liscia. Il perché aveva delle macchie era una questione quasi secondaria. La Luna era il limite del mondo delle cose celesti e quello delle cose terrestri. Stando nel mondo delle cose celesti doveva essere perfetta (come dicevano i seguaci di Aristotele). Quando puntai il *Perspicillum* sulla Luna, agosto 1609, cominciai a vedere delle superficie molto corrugate, con montagne che si illuminavano prima delle pianure. Poi continuai a osservare la Luna, che cambia in continuazione luogo e quindi ora. Il problema era che a un certo punto dovevo cambiare finestra in quanto le mie finestre sulla strada davano verso Nord, dove non ci sono pianeti. Perciò dovevo o sporgermi verso l'esterno per guardare verso Ovest o verso Est oppure utilizzare le

Costantino Sigismondi

finestre del cortile interno. Quella traversa di Via San Francesco, che oggi prende il mio nome, ma abitavo lì quando ero a Padova... La Luna, invece, da una notte all'altra cambia orario, sono circa 50 minuti di tempo di differenza, di ritardo, quindi ogni notte a parità di posizione di osservazione della Luna bisognava osservare con 50 minuti di ritardo, nel giro di 7 notti il ritardo diventava 6 ore. 6 ore diventano osservazioni a mezzanotte, poi all'alba, poi in pieno giorno. E sapere che anche altri ci stavano lavorando mi ha preso molte energie. Quando ho scoperto i *pianeti medicei* intorno a Giove ero già provato dalle osservazioni lunari, tanto che inizialmente pensavo di pubblicare l'*avviso* soltanto riguardo alla Luna, ma così avrei permesso ad altri di avere l'anteprima ciascuno sui suoi oggetti.

S- Si riferisce alla diatriba sulle macchie solari, che ancora oggi ci si chiede chi sia stato il primo tra Galileo e Scheiner?

G- E' un esempio. Le macchie solari erano davvero vicine al Sole e ciò era già venuto in evidenza.

S- Galileo lei ha avuto gravi problemi alla vista, li attribuisce all'osservazione del Sole?

G- Si può verificare che il telescopio, come il mio ad una lente, non dà tutti i dettagli che si vorrebbe a causa dell'aberrazione cromatica. Questo fa sì che l'osservazione richieda un sacco di tempo. Per il Sole osservavo al tramonto, ma anche usavo la proiezione, perché se avessi osservato il Sole al tramonto al telescopio non sarei diventato cieco intorno ai 70 anni, ma molto prima. La debolezza di vista è dovuta ad altre cause che la medicina vostra di oggi avrebbe potuto limitare.

S- Perché la Luna è rimasta oggetto della sua attenzione anche molto dopo l'annuncio astronomico?

G- La Luna era un tema di insegnamento molto complicato. Era un oggetto affascinante sia dal punto di vista fisico che meccanico, il moto lunare. Già Tolomeo aveva trovato un'irregolarità nel moto lunare che Keplero spiegò con un'orbita ellittica. Io però non pensavo fosse ragionevole sostenerla. Avevo trovato un'altra irregolarità nell'apparenza della Luna e anche su quella volevo avere tutto il primato. E questo è quel movimento che avevo chiamato librazione: la faccia della Luna non è fissa verso l'osservatore terrestre ma un pochino riesce a muoversi a destra e a sinistra. La prima evidenza fu possibile con quel telescopio. Perciò cercai di realizzare i primi micrometri mettendo dei fili all'oculare e utilizzandoli come traguardi, ma anche con altri trucchi.

S- Cosa intende per trucchi professore? Ci può dare un'idea?

G- Un mio carissimo amico, maestro ed estimatore, il padre Cristoforo Clavio, mi raccontò dell'osservazione a Coimbra (21 agosto 1560). Osservò l'eclissi di Sole divenire totale e disse che durò lo spazio di un *Miserere*. Qualche anno dopo (1589) avevo capito e anche pubblicato che uno dei sistemi per misurare il tempo poteva essere il battito del cuore e con questo ho scoperto la legge dei pendoli, con i lampadari della cattedrale di Pisa. E lui mi disse 'Messere, anche il *Miserere* è uno strumento di misura'. Sono 8 lettere e se io ho un contatto in un campo di vista che in quel caso era l'occhio nudo che guardava a Luna andare davanti al sole, e appena ho il contatto inizio *MI-SE-RE-RE* e per esempio all'ultima sillaba compare una luce, io ho misurato 6 lettere su un totale di 8. Questo mi diede l'idea ma al posto del *Miserere* utilizzai l'*Ave Maria*, per osservare la Luna. Allora guardavo quella macchia

Costantino Sigismondi

scura, in seguito chiamata 'cratere', vicino al lembo orientale della luna, che poi venne chiamata dal Padre Riccioli 'Grimaldi'. Iniziavo l'*Ave Maria* quando Grimaldi mi finiva dietro alla casa, di fronte. La recitavo e avevo 52 lettere fino al primo termine, fino a '*mulieribus*' era lo spazio tra il bordo di Grimaldi e il bordo di Riccioli, poi fino a '*fructum*' era lo spazio fino al lembo orientale. Questa è stata l'invenzione che feci con cui misurai, senza dover utilizzare sistemi troppo complicati di micrometri che non riuscivo mai a realizzare in modo per me soddisfacente, riuscii a misurare la fase della librazione lunare e a vedere le variazioni nel corso dei mesi. Ci sono voluti anni per venire a capo di questo fenomeno in maniera soddisfacente. Era una landa sì desolata di cui io ero il primo esploratore.

S- Professore, abbiamo citato la selenografia del padre Riccioli, lei ritiene di aver avuto un posto onorevole tra i crateri lunari?

G- Mi fa una domanda dove il sentimento dell'invidia, che non ci deve più appartenere, potrebbe essere un po' troppo sollecitato. Effettivamente ci sono dei crateri ben più grandi. Io posso rispondere così: sono nel pieno dell'Oceano delle Tempeste, l'Oceano delle Procelle, e mentre nel pieno della zona craterizzata meridionale troviamo il padre Clavio con il suo grande cratere, diciamo con il poeta latino '*parvum sed aptum mihi*' e fermiamola così.

S- Professore sarebbero tante le domande ancora da fare, da formulare, le domande inevase ma ci dobbiamo salutare. La devo ringraziare per questa opportunità che mi ha dato.

G- Anch'io ringrazio di essere stato interpellato e di aver potuto dare alcune idee anche inedite, in un secolo come il mio ad un secolo come il vostro.

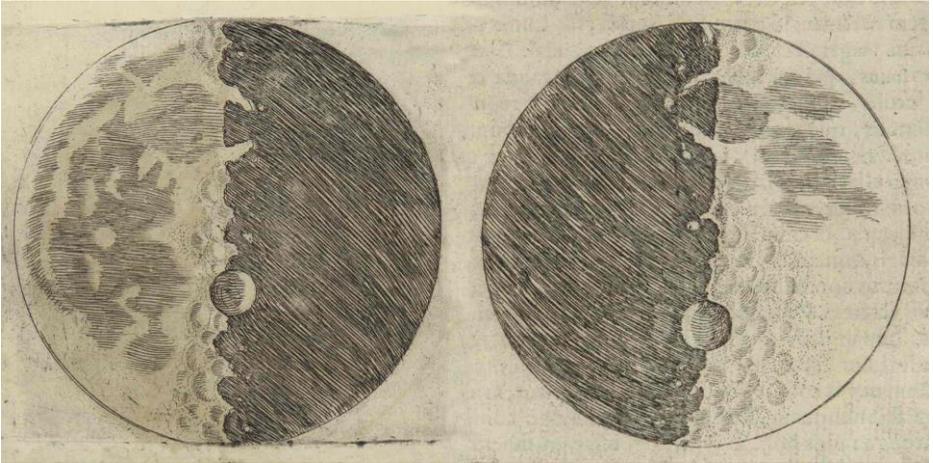


Fig. 1 Disegni di Galileo della Luna all'ultimo (sinistra) e al primo quarto (a destra). I disegni sono degli schemi, non riproducendo esattamente quello che Galileo osservava, come si vede dal cratere sotto il centro, che è spostato leggermente più in basso al primo quarto rispetto all'ultimo. Dal disegno Galileo voleva far capire che i crateri e le montagne vengono illuminate dal Sole in modo radente presso il terminatore, e così se ne potevano valutare le altezze, proprio come si fa per le montagne terrestri.

Ringraziamenti ad Aurora Delli Roccoli per la trascrizione del testo.

Referenze

C. Sigismondi, *Intervista a Galileo Galilei* (audio, 2020)

<https://drive.google.com/file/d/10HMUwhL03ajVJbzA3fwwFSISZ2RqapgH/view?usp=sharing>

C. Sigismondi, *Lezioni Lunari* (audio, 2020)

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1QC5hCUcfTjdE3tlWb9peF37hY-6gKAO4>

C. Sigismondi, *Incontri Celesti, vita del padre Clavio in cinque atti*, arXiv:1106.2517 (2011)

Ingresso del Sole nei Gemelli alla Meridiana Clementina

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted May 20th 2021, accepted May 25th

Abstract The ingress in Gemini occurs when the ecliptical longitude of the center of the Sun is exactly 60° at declination $20^\circ 08' 50.6''$. This occurs on May 20, 2021 19:39 UT according to the ephemerides. For the latitude of the pinhole of Santa Maria degli Angeli meridian line in Rome $41^\circ 54' 11.2''$ the meridian altitude of the Gemini's ingress is 68.25092° , included the Cassini atmospheric refraction. The observations of the meridian transits of 20 May, with the Sun at $h=68.183^\circ \pm 0.05^\circ$ and 22 May 2019 at $h=68.5783^\circ$ have been examined. To obtain the ingress time in Gemini 2021 the extrapolation at declination's change of $0.20297^\circ/\text{day}$ brings to 19:48 UT of 20 May 2021 or to 19:21UT using the interpolation, and 21 May 2019 at 7:41 UT (at 7:59 UT from ephemerides), estimates made considering the daily motion. Both cases are $\pm 5''$ with respect to the ephemerides, and the pinhole shift is 0.2 ± 0.9 mm North.

Sommario L'ingresso del Sole nei Gemelli avviene quando la sua longitudine eclittica vale 60° e la declinazione $20^\circ 08' 50.6''$ il 20 maggio 2021 alle 21:36. Le misure alla meridiana Clementina del 20 maggio 2021 e del 22 maggio 2019 e 2021 vengono esaminate per interpolare ed estrapolare gli istanti d'ingresso del Sole nel segno dei Gemelli. Lo shift del pinhole e i riferimenti sulla meridiana risultano accurati entro 0.2 ± 0.9 mm.

Anno tropico e segni zodiacali alla Meridiana Clementina

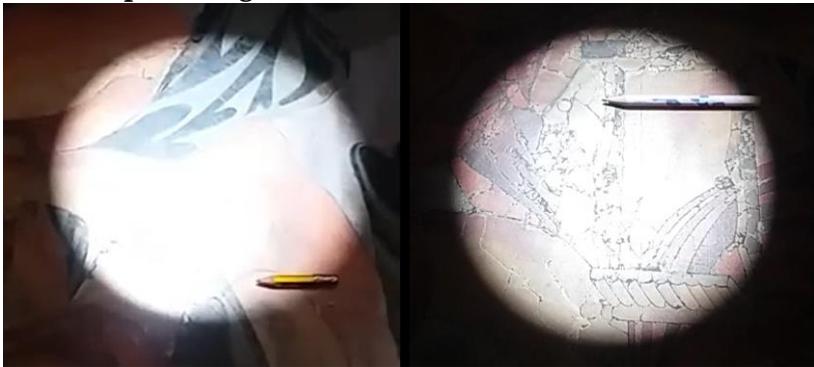


Fig. 1 Sole il 22 V 2019 e il 20 V 2021 riferito ai Gemelli del 1702. La matita indica la posizione dell'ingresso nei Gemelli al 1702, che è esattamente al centro del riquadro del segno zodiacale.

Il passaggio meridiano è stato alle 13:06:49.6 e alle 13:06:44.3 rispettivamente nel 2019 e nel 2021. L'anno tropico stimato da questi due passaggi è 365 d 6 h \pm 10 min, assumendo per entrambi i giorni una velocità in declinazione di $+0.2^\circ/\text{dì}$, ed un'incertezza sulle singole misure di $\pm 0.05^\circ$ verificata il 20 maggio 2021. Confrontando la stima dell'istante d'ingresso del Sole nel segno dei Gemelli per il 2019 e per il 2021 troviamo +13 min e -16 min rispettivamente, il che suggerisce uno shift sistematico nullo, cioè di -2 ± 14 min, cioè 0.2 ± 0.9 mm a Nord.



Fig. 2 il Sole 20 maggio 2021 alle 12:52:50 nel riquadro dei Gemelli. Accanto alla meridiana Clementina, l'astronomo Francesco Bianchini fece mettere i segni zodiacali, calcolandone le posizioni per il 1701, con i valori dell'obliquità $23^\circ 28' 40''$ dell'epoca.

Nel 2019 il 22 maggio l'istante esatto del transito è stato oscurato dalle nubi, ma la posizione si può confrontare con il 2021, stessa data: 68.4778° ('19) e 68.5790° ('21). Con la velocità di $11.4'$ al dì in declinazione, la differenza tra '19 e '21 di $6.072'$ è percorsa in 12h46m, da sottrarre a (365+366)giorni, dà un anno tropico medio pari a 365d 5h 36m30s, inferiore di 13 minuti al valore gregoriano.



Fig. 3 Sole eclissato dal fregio del Vanvitelli e in meridiano il 20 maggio 2021.

L'immagine del Sole ricorda la forma dello Yin e dello Yan, ma con curvature opposte, perché tagliata da punti diversi del fregio.

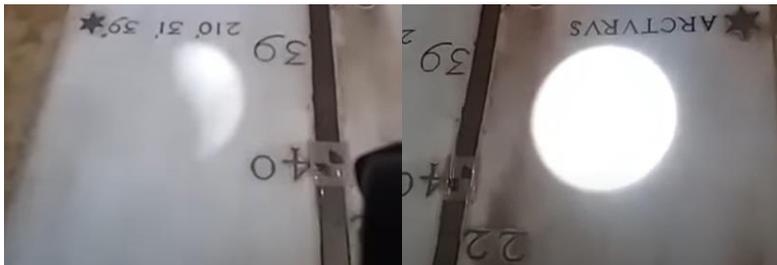


Fig. 3 Il Sole eclissato e in meridiano, il 22 maggio 2019.

La stessa situazione della fig. 3 il 22 maggio 2021: l'immagine del Sole del 2021 (fig. 4) è più "avanti" di 41.3 ± 1.7 mm, e poiché lo spazio percorso in un giorno è 76.2 mm, questo spostamento corrisponde a $13\text{h } 00\text{ min} \pm 32\text{ min}$, da sottrarre a $365+366$ giorni per trovare la durata di due anni tropici. Si ottiene $365\text{d } 5\text{h } 30\text{ min} \pm 16\text{ min}$, come anno tropico medio tra il 22 maggio 2019 e il 22 maggio 2021. Questo risultato entro 1.2σ comprende il valore dell'anno medio gregoriano, e quello dell'anno tropico reale tra la primavera/estate 2019 e gli stessi "cardines" del 2022.

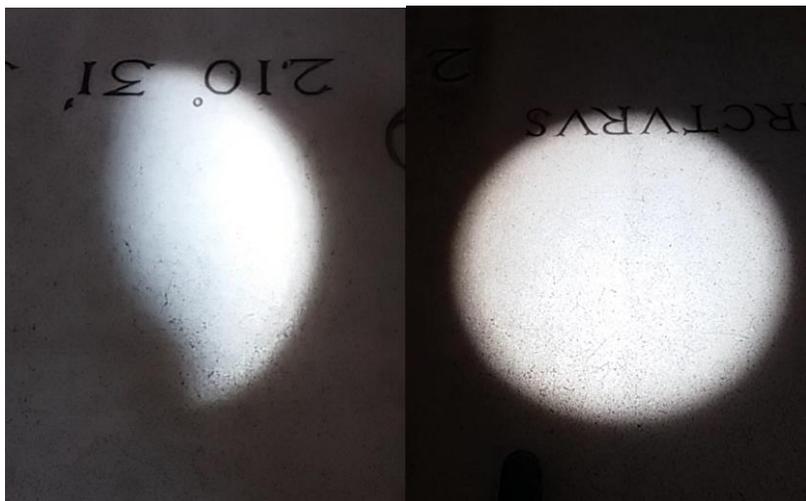


Fig. 4 Sole prima del meridiano e dopo il 22 maggio 2021.

Conclusioni La meridiana Clementina è stata verificata al millimetro in tutti i segni zodiacali (Sigismondi, 2021) e questo dei Gemelli è l'ultimo che si può fare per interpolazione lineare.

Il solstizio estivo nel Cancro non trova né la linea meridiana, sul corpo del Cancro riprodotto dalle mappe di Johannes Bayer del 1603 (*Uranometria*), né le tacche metriche regolarmente equispaziate. Quindi per il Cancro occorre utilizzare dei riferimenti "volanti", che è meglio disporre sui riferimenti solstiziali recentemente riscoperti.

I segni zodiacali invernali sono compatibili con uno shift del pinhole verso Sud di 4.4 mm, mentre dall'equinozio in su (Ariete, Toro e Gemelli) non è necessario includere uno shift parametrico. Questo può significare che lo spostamento parametrico del foro stenopeico è più probabile che sia in verticale, +2.0 mm, rispetto alle misure trigonometriche e LASER, particolarmente complesse.

Referenze C. Sigismondi, *IGEA observational campaign at S.M.A.*

<https://www.preprints.org/manuscript/202105.0092/v1> (2021)

<https://www.youtube.com/watch?v=jFi9esSFU-w&t=264s> ('19)

Altezza dei monti Velino, Guadagnolo e Cavo e rifrazione

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted May 21st 2021, accepted May 22nd keyword: refraction.

Abstract We describe measures of the quotes of Mt. Velino. Mt. Guadagnolo and Mt. Cavo by using a level made in Italy by Officine Galileo and some cards of 0.25 mm thick, to find the angular height above the horizon. The proportion between the right triangle of sides 7, 8.5 and 10 cards and 65 mm give the angular heights of Velino, Guadagnolo and Mt. Cavo respectively at 82, 39 and 25 km. The Earth's curvature at these distances includes the atmospheric refraction with $k=0.12$ at noon. The total station measurements to obtain angles accuracy of $\pm 0.001^\circ$ are also used.

Sommario L'altezza di monti Velino, Guadagnolo e Cavo è ottenuta a partire dall'altezza angolare sopra l'orizzontale, dal tetto dell'IIS Caffè a Roma 87 m slm e le distanze lineari da google maps (82, 39 e 25 km). L'altezza angolare è misurata con un livello delle Officine Galileo e dei cartoncini da schedario di 0.25 mm di spessore e 65 mm di lunghezza posti sotto il livello. La curvatura della Terra e la rifrazione sono anche calcolati.

Altezza angolare con i cartoncini essendo tutti uguali ne misuriamo lo spessore di 30, 7.5 mm col calibro ventesimale, e ricaviamo per ciascuno 0.250 ± 0.005 mm. La base del livello è un triangolo equilatero con un vertice che punta la montagna che osserviamo e la base costituita dagli altri due punti, che fa da perno quando si mettono sotto il vertice i cartoncini, fino al centro del triangolo di base. Prima di infilare i cartoncini il livello è posto "in bolla", così che i cartoncini descrivano sempre l'innalzamento angolare rispetto all'orizzontale.

La "leva" su cui agiscono i cartoncini è lunga 65 mm, per cui l'angolo di alzo è $n_cards \cdot 0.25/65$ radianti = $nc \cdot 13.2'$.

Montagna	Velino	Guadagnolo	Cavo
Cards	7	8.5	10
angolo	$1.54^\circ \pm 0.11^\circ$	$1.87^\circ \pm 0.11^\circ$	$2.20^\circ \pm 0.11^\circ$
Distanza [km]	82.1	39.2	25.3
quota app. [m]	2826 \pm 158	1489 \pm 75	1110 \pm 49
valore noto [m]	2487	1218	956

La quota finale tiene conto della curvatura sferica della Terra.

Distanza angolare dall'orizzontale con la stazione totale

Montagna	Velino	Guadagnolo	Cavo
Angolo	$1.35^{\circ} \pm 0.005^{\circ}$	$1.476^{\circ} \pm 0.005^{\circ}$	$1.90^{\circ} \pm 0.01^{\circ}$
Distanza [km]	82.1	39.2	25.3
quota app. [m]	2551 ± 7	1218 ± 4	977 ± 8
quota corr. [m]	2488	1203	971

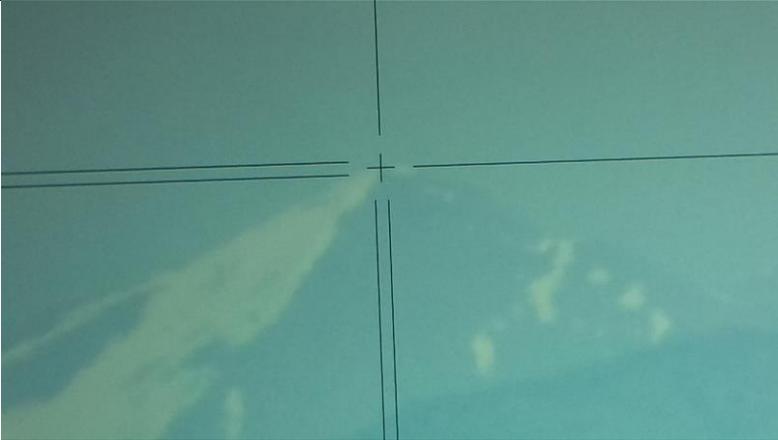


Fig. 1 La vetta del Velino vista da Roma con la stazione totale.

La montagna è illuminata dal Sole in modo uniforme, perché sono le 12:28 del 21 maggio 2021 e il Sole è a 67° di altezza. La neve rimasta sul versante Ovest riflette la luce del Sole, e permette di vederla da oltre 82 km di distanza a occhio nudo.

Discussione e conclusioni le misure con la stazione totale hanno una sensibilità di 0.001° e lo spostamento delle persone sulla terrazza bastava a mutare una lettura angolare di più.

I due metodi hanno mostrato risultati sempre per eccesso rispetto al vero, anche in termini di σ : un chiaro indizio dell'effetto della rifrazione atmosferica orizzontale. Abbiamo assunto 87 m slm la quota dello strumento. La rifrazione è di 2.6', dalla formula $E=(1-k) \cdot D^2 / 2R$ con $k=0.12$ per queste misure, e il Velino va a 2488 m, 1203 m Guadagnolo e 971 m Monte Cavo.

Metodo e geometria la prima operazione è applicare il teorema di Pitagora al Velino osservato da Roma, per includere la curvatura della Terra. La distanza di 82 km è presa lungo l'arco di cerchio, come distanza lineare misurabile a terra. Il dato è ottenibile da google maps con la funzione misura distanza. Da questo dato si ottiene l'angolo sotteso da questa distanza al centro della Terra, e quindi l'apertura del triangolo rettangolo COV Centro della Terra-Osservatore-intersezione tra l'orizzontale e la parete Ovest del Velino.

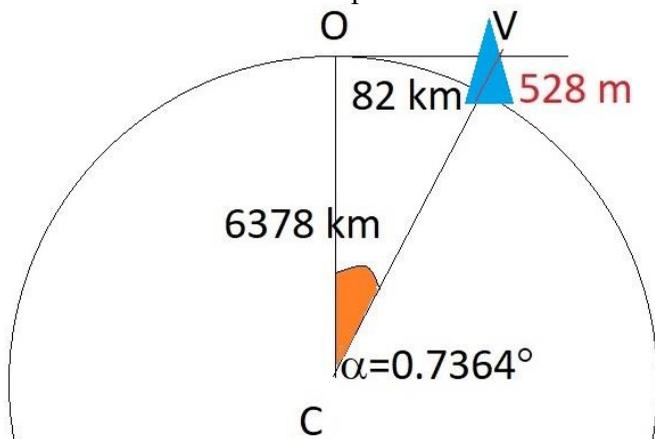


Fig. 2 Schema geometrico per il teorema di Pitagora con la Terra sferica. Il nostro punto O si trova 87 m sopra il livello del mare, da aggiungere per trovare l'altezza finale della vetta. La quota del Velino risulta così 2551 m slm, 64 metri più alta.

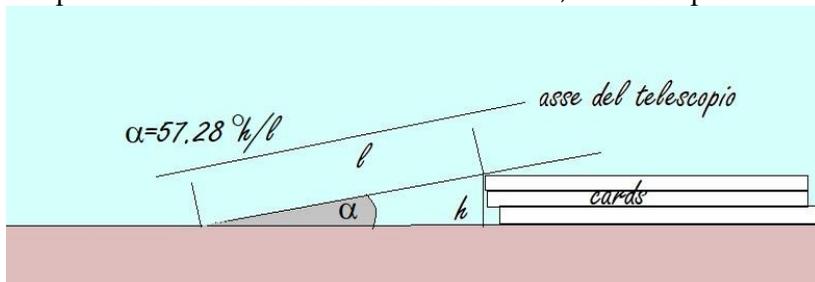


Fig. 3 Geometria delle cards usate per variare l'alzo del livello.

La rifrazione di Gauss è il fenomeno per cui si produce questo effetto: i raggi luminosi nella direzione del Velino sono innalzati di circa 2.6' dalla rifrazione nell'aria.

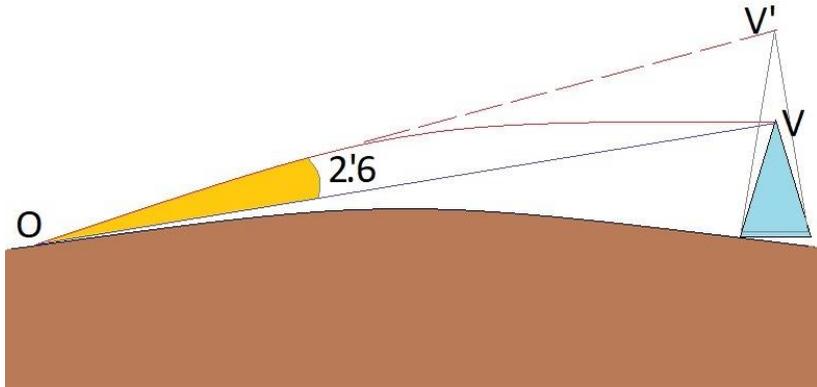


Fig. 4 Rifrazione atmosferica di Gauss: l'osservatore O vede la vetta V alzata in V'. Per il Velino ad 82 km da Roma l'angolo di rifrazione alle 12:28 del 21 maggio 2021 col Sole a 67° di altezza sopra l'orizzonte, temperatura dell'aria al suolo 25 °C. La formula di Gauss $E=(1-k) \cdot D^2 / 2R$ comprende sia la curvatura terrestre che l'effetto di rifrazione, includendo un parametro k che tiene conto di diverse rifrazioni.

Nella formula D è la distanza lineare, D=82 km per il Velino; R è il raggio terrestre pari a 6378 km; inserendo anche il raggio polare di 6356 km o un valore intermedio questo risultato non cambia, a parità di k, che quantifica la rifrazione atmosferica.

Secondo Gauss k=0.13 ad Hannover, mentre per Roma al mezzodì del 21 maggio abbiamo valutato k=0.12; altri autori mostrano che può scendere anche a k=0.08 in ore e luoghi differenti. E= 466 m, con un effetto di rifrazione, al netto della curvatura pari a 62 metri, che a 82 km fanno 155''=2.6'.

La rifrazione atmosferica e l'orizzonte del mare

La curvatura dei raggi luminosi tangenti l'orizzonte del mare

ha mostrato un andamento opposto quando la temperatura dell'aria era particolarmente fredda rispetto all'acqua. A Ostia la temperatura dell'acqua non scende mai sotto i 14°C, mentre, d'inverno, l'aria può arrivare anche a 0°C con forte vento dal quadrante attorno al Nord: Tramontana, Maestrale e Grecale (Bora). In queste occasioni ho misurato la depressione dell'orizzonte dal pontile a 3.4 m slm; la geometria sferica della Terra prevede una depressione pari a $d[\prime]=\sqrt{h[m]}=1.8'$ mentre i valori misurati andavano da 3' fino a 5': segno che la concavità dei raggi luminosi per la rifrazione era rivolta verso l'alto, dove cioè l'aria era più fredda e più densa rispetto a quella immediatamente sopra l'acqua. L'orizzonte marino è, per la curvatura della Terra, ad una distanza dall'osservatore pari a $\sqrt{[2Rh]}=6856$ m e la linea di vista ha al di sotto l'aria più rarefatta e calda. Nel caso del Velino visto da 82 km con la linea di vista che, pure in orizzontale, sale sempre più di quota (fig. 2) poiché la Terra è sferica, l'aria intercettata è –in media– sempre più rarefatta di quella sottostante, che è quindi più densa, per cui la curvatura dei raggi luminosi segue l'andamento di fig. 4, opposto a quello per l'orizzonte del mare autunno-invernale. Nel **Tramonto del Sole al mare** la linea di vista col Sole diventa tangente all'orizzonte e negli ultimi 6-7 km può cambiare di concavità dando luogo a miraggi, ed è un fenomeno abbastanza comune, ma dietro l'orizzonte la linea di vista –per la curvatura della Terra– si rialza proprio come accade per i primi 82 km verso il Velino, e la sua concavità è sempre rivolta verso il basso. La luce del Sole al tramonto attraversa regioni sempre più alte dell'atmosfera e risulta deviata –in media– di circa +36' se vista dal Pontile a 3.4 m slm, mentre dalla webcam della Lega Navale che sta a 11.7 m slm la deviazione media arriva +42'. In circostanze in cui lungo la linea di vista col Sole c'era alta pressione da 1034 mb al livello

del mare fino alle Isole Baleari, a 800 km da Ostia, abbiamo registrato rifrazioni in eccesso anche di 3'-4', fino ad un massimo di 8', col tramonto "in ritardo" anche di due minuti rispetto alle effemeridi standard. L'evento più estremo registrato ad Ostia è stato il 1 gennaio 2020 all'alba col Sole sorto 2 minuti prima e l'effetto geometrico chiamato Novaya Zemliya, in cui il Sole sorto nel Golfo di Gaeta è stato riflesso dall'atmosfera fredda pochi metri sopra l'Agro Pontino (sulla linea di vista col Golfo di Gaeta da Ostia), più fredda dell'aria soprastante, e poi ancora riflesso sull'aria sopra l'acqua come miraggio. L'effetto Novaya Zemliya, scoperto da Barents nel '500, si produce nel Mare Glaciale Artico con l'aria vicina al ghiaccio molto più fredda del resto dell'aria circostante, e consente di vedere sorgere il Sole oltre il circolo polare, delle settimane prima che la geometria sferica lo permetta.

L'epopea trigonometrica dell'Everest nel 1852 nel *Grand Trigonometrical Survey* si trovò che un picco dell'Himalaya non troppo distante angolarmente dal Kanchenjunga, il Peak XV, superava tutte le altre montagne e poteva essere la più elevata della Terra. I topografi inglesi, e gli stranieri in generale, non potevano accedere in Nepal, né in Cina, né in Tibet. Quindi l'Everest fu osservato da 250 km di distanza, con l'incertezza della rifrazione atmosferica, mai costante. Possiamo valutare che se a 82 km l'errore per rifrazione ammonta a circa 62 m, a tre volte questa distanza si può giungere anche a 200 m di differenza. Ciò giustifica i due anni di calcoli e controlli necessari prima di riconoscere il Peak XV come la maggiore montagna della Terra e dedicarla al primo sovrintendente generale della Survey of India, sir George Everest.

Referenze C. Sigismondi, *Gerbertus* 14, 163 (2021); A. Favaro, *A due passi dalla cima, La spedizione Italo-Nepalese all'Everest* (1980); R. Mantovani, *Everest, White Star*, (1996).

L'eclissi di Luna del 26 maggio 2021 da misure meridiane

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted May 29th 2021, accepted May 31st keyword: Lunar eclipse.

Abstract The lunar eclipse of May 26, 2021 was not observable from Rome, Italy. Its footprints are, nevertheless, present in the meridian data measured on the windowsill. At 23:34 UT of May 26, the Moon shadow cast by the gnomon of 293 mm was 641 ± 1.5 mm long; with the same apparatus the Sun casted a 109.5 ± 0.5 mm shadow at noon 11:07 UT of 29 May. The shadow's limit corresponds to the North limb of Moon and Sun; their centers are 16' lower. To have at least a partial eclipse the distance of the lunar limb from antihelion position should be $\leq 1.5^\circ$, the average radius of Earth's shadow at mean Moon's distance. On May 26th, the solar transit was at 11:07 UT, the Moon was in meridian 27 minutes after the local true midnight, i. e. the Moon passed the opposition of 7° , or 12 hours since its angular mean velocity is $0.5^\circ/\text{hour}$. The ecliptic is the orbit of the Sun, and $180+7$ days after, the Sun at the meridian is 25.8° above Rome's horizon. The Moon 12 hours after the opposition on May 26th is at 24.6° and its ecliptic latitude is $-1.2^\circ \pm 0.1^\circ$: indeed 12 hours before an eclipse occurred.

Sommario L'altezza meridiana della Luna e l'istante del suo transito sono stati misurati il 26 maggio 23:34 UT alla meridiana a libro posta sul davanzale. Il transito solare del 29 maggio 11:07 UT e la tabella di effemeridi sono usati per dedurre la posizione del centro della Luna sull'eclittica al momento dell'opposizione.

Introduzione: la meridiana sul davanzale è già stata descritta in questo volume (p. 19-30) e qui ricordo che lo gnomone è un libro di 293 mm di altezza. Il limite dell'ombra è visto nella posizione della proiezione del lembo Nord di Sole e Luna, anche se per la Luna la posizione è più incerta per il poco contrasto luminoso, a causa delle luci della città.

corpo celeste	transito UT	ombra [mm]	altezza [°]	lat. ecl. [°]
Luna	26 V 23:34	641 ± 1.5	24.565 ± 0.04	-1.0 ± 0.1
Sole	29 V 11:07	109.5 ± 0.5	69.51 ± 0.09	0° (def.)

Longitudine eclittica della Luna in meridiano rispetto al Sole per essere in opposizione dovrebbe transitare in meridiano 12 ore dopo, così $\lambda_{\odot} = \lambda_{\text{L}} + 180^\circ$, nel nostro caso transita 12h27m dopo. Vale la proporzione 24h:360°, per cui con 27m $\Delta\lambda = 6.75^\circ$.

Con la Luna l'istante meridiano è preso meno precisamente e sarebbe stato 31 m dopo, con $\Delta\lambda=7.75^\circ$.

La latitudine eclittica della Luna 8° dopo l'opposizione è pari alla differenza dell'altezza lunare con l'altezza meridiana del Sole 6 mesi e 8 giorni dopo -il Sole infatti percorre l'eclittica a circa $1^\circ/\text{giorno}$ - cioè il 5 dicembre: 25.6° . $\beta=24.6-25.6=-1.0^\circ$.

Dall'istante del transito lunare abbiamo la longitudine lunare $\Delta\lambda$ dopo l'opposizione, per confronto con quello dell'anti-Sole, e da $\Delta\lambda$ si ha la latitudine eclittica della Luna per differenza con quella del Sole 6 mesi $+\Delta\lambda$ giorni dopo. Con questi dati possiamo stabilire se c'è stata un'eclissi? Sì, con la velocità in β della Luna e quella in λ . La **condizione** per cui si abbia l'eclissi è proprio quando la latitudine della Luna $\beta=0^\circ$ e la longitudine $\lambda\mathbb{C}=\lambda\odot+180^\circ$, cioè è in opposizione al Sole \odot . Queste sono le condizioni per l'eclissi centrale, ma poiché l'ombra della Terra ha un diametro di circa 1.5° alla distanza della Luna, sia λ che β hanno una tolleranza di circa $\pm 1^\circ$. Con questa premessa la latitudine della Luna $\beta=-1.0^\circ\pm 0.1^\circ$ è già indizio di avvenuta eclissi. I calcoli fatti con le velocità angolari medie sembrano non andare d'accordo con queste conclusioni, né con i dati osservati della Luna, ma a causa della sua vicinanza alla Terra la parallasse diurna è grande, e β oscilla con periodo 1 giorno.



Fig. 1 La latitudine eclittica apparente della Luna tra il 21 e il 31 maggio. Le oscillazioni sono dovute alla parallasse diurna.

Referenze C. Sigismondi e P. Zanna, *Dungal Letterato e Astronomo, lettera a Carlo Magno sulle due eclissi di Sole dell'810* [ABob \(2004\)](#)

Variazione dell'illuminamento di una sorgente luminosa con la distanza

Michael Rotondo *michael.rotondo_2014@libero.it*

(IIS Campus dei Licei, M. Ramadù, Cisterna di Latina (LT))

Submitted July 23th 2021, accepted July 27th.

Abstract In this paper, after a historical introductory perspective on the inverse square law of light, encompassing the scholastic Dumbleton, the Jesuit de Aguilón, Johannes Kepler up to Bouguer and Lambert, we describe an educational proposal using cheap, easily available material and a smartphone. The need of a pinhole diaphragm, in order to obtain a pointlike source, emerges from the adopted experimental procedure. The proposal is a useful tool for a class of high school students. The estimate of the albedo of the Moon is considered, as example, in the appendix.

Sommario In questo articolo, dopo un'introduzione in prospettiva storica riguardante la legge dell'inverso del quadrato per la luce, considerando lo Scolastico Dumbleton, il padre Gesuita de Aguilón, e Keplero, passando poi per Bouguer e Lambert, si descrive una proposta educativa ricorrendo a materiale poco costoso, di facile reperibilità e uno smartphone.

La procedura sperimentale adottata evidenzia come sia necessario adottare un diaframma dotato di un piccolo foro al fine di avere una sorgente puntiforme. La proposta è un utile strumento per studenti delle scuole secondarie di secondo grado. In appendice si affronta la stima dell'albedo lunare.

Introduzione

E' esperienza comune il constatare che l'illuminamento prodotto da una data sorgente cambia se cambia la nostra distanza da essa. Ad esempio, un conto è guardare una lampadina accesa da un metro, un conto è guardare la stessa lampadina accesa da una distanza di dieci metri: nel secondo caso l'illuminamento prodotto dalla lampadina appare minore rispetto all'illuminamento prodotto nel primo caso.

Il fatto che l'illuminamento si riduca con l'aumentare della distanza è noto da tempo immemore ed ha condotto i filosofi naturali dell'antichità a riformulare i modelli cosmologici (esempi in tal senso sono dati da Tolomeo nell'Almagesto).

Tuttavia bisogna aspettare il 1349 per disporre di uno dei primi studi quantitativi e documentati riguardanti il decremento dell'illuminamento con l'aumentare della distanza, realizzato da John Dumbleton (Inghilterra ca. 1310-1349).

Egli riuscì a concludere che, sebbene l'illuminamento E decresca con l'aumentare della distanza d , E e d non sono grandezze fisiche legate da una dipendenza lineare inversa ovvero $E \neq a \cdot b \cdot d$, essendo a e b costanti positive.

Nel 1604 Johannes Kepler fu il primo ad indicare che l'illuminamento decade con il quadrato della distanza (J. Kepler, 1604).

Kepler non verificò sperimentalmente tale legge. Fu invece il Gesuita padre François de Aguilón (Bruxelles 1567-Anversa 1617) ad eseguire esperimenti aventi come obiettivo quello di verificare il tipo di legge in grado di descrivere il decremento dell'illuminamento con la distanza dalla sorgente (F. de Aguilón, 1613). In particolare de Aguilón costruì i suoi esperimenti basandosi su una legge qualitativa che ritroviamo in Galeno: *Lumen majus offuscat minus* (J. E. Morère, 1965). de Aguilón concluse che il decremento dell'illuminamento con la distanza dalla sorgente segue un andamento esponenziale non confermando quindi l'indicazione di Kepler.

Un passo decisivo fu fatto diversi decenni più tardi da Pierre Bouguer che, grazie al lavoro *Essay d'Optique sur la gradation de la lumière*, si guadagna il titolo di padre della fotometria (P. Bouguer, 1729).

Tramite fotometri da lui stesso realizzati e richiamanti l'originale idea di de Aguilón (fotometri che poi hanno preso il nome di *fotometri Bouguer*, in catalogo ancora agli inizi del XX secolo) Bouguer sperimentalmente conferma la legge enunciata da Kepler. Un'ulteriore conferma viene data nel

lavoro "*Photometrie sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae*" pubblicato nel 1760 da Johann Heinrich Lambert cosicchè la legge della dipendenza dell'illuminamento prodotto da una sorgente dall'inverso del quadrato della distanza diventa la legge fondamentale della fotometria (J. H. Lambert, 1760).

Proposta educativa laboratoriale

Descriviamo ora un'attività laboratoriale il cui scopo è quello di studiare la variazione dell'illuminamento prodotto da una sorgente luminosa al variare della distanza.

L'esperimento viene condotto senza considerare ipotesi particolari. L'unico prerequisito richiesto è la capacità di elaborare grafici a partire da un insieme di dati sperimentali.

A disposizione abbiamo:

- uno smartphone con sensore di luce ambientale (e con l'applicazione phyphox®)
- una sorgente di luce (ad esempio si può usare la luce proveniente dalla lampadina accesa di un lampadario)
- dieci o quindici libri (ad esempio si possono usare i volumi di un'enciclopedia)
- un flessometro
- foglio di cartoncino

Si realizza una pila di libri e la si sistema lungo la direzione verticale passante per la lampadina del lampadario (Fig. 1).

Si misura la luminosità di fondo dovuta alle riflessioni prodotte dalle varie superfici del luogo in cui si trova il lampadario bloccando con un foglio di cartoncino la luce diretta.

Si misura con il flessometro la distanza d tra la sommità della pila di libri e la lampadina.

Si sistema lo smartphone sulla sommità della pila di libri.

Si accende la lampadina e si attiva la presa dati usando lo smartphone e l'applicazione phyphox® selezionando l'esperimento "luce".

Trascorso un tempo dell'ordine di 5-10 secondi si toglie un libro dalla pila e si riappoggia sulla sua sommità lo smartphone senza interrompere la presa dati.

Trascorso un tempo dell'ordine di 5-10 secondi si toglie un secondo libro dalla pila e si riappoggia sulla sua sommità lo smartphone senza interrompere la presa dati. Si ripete quanto appena descritto per tutti i restanti volumi della pila. A questo punto i dati sperimentali vengono inviati ad un foglio di calcolo (Excel ad esempio) e analizzati.



Fig. 1 Materiale necessario per realizzare l'attività laboratoriale descritta nel testo (a sinistra); smartphone appoggiato sulla sommità della pila di libri in presa dati (a destra).

Raccolta dei dati sperimentali

Sullo schermo dello smartphone l'illuminamento (espresso in lux) prodotto dalla sorgente in funzione del tempo si presenta

come una scalinata discendente al crescere del tempo i cui gradini corrispondono all'illuminamento registrato durante gli intervalli di tempo di durata dell'ordine di 5-10 secondi.

Questo fatto è in accordo con la nostra esperienza: a mano a mano che ci si allontana dalla sorgente l'illuminamento da essa prodotto decresce. Per ogni gradino calcoliamo il valore medio dell'illuminamento e sottraiamo da esso il fondo. Per gradini da circa 10 s il valor medio coinvolge circa cento dati. Tenuto conto del fatto che l'applicazione del teorema del limite centrale richiede solitamente più di 30 dati, la presa dati adottata nell'esperimento descritto è sensata.

Un'ulteriore osservazione riguarda la deviazione standard dei campioni associati a ciascun gradino. Essa è dell'ordine di 1 lux. Visto che la sensibilità del sensore dell'illuminamento ambientale dello smartphone è di circa 1 lux si può concludere che l'errore sui valori medi è di 1 lux.

Si ottengono i valori della seconda colonna della Tabella 1:

Distanza dalla sorgente luminosa (cm)	Illuminamento (lux)
63,0±0,5	430±2
67,7±0,6	370±2
72,4±0,7	327±2
77,1±0,8	290±2
81,8±0,9	260±2
87±1	233±2
91±1	211±2
96±1	191±2
101±1	174±2
105±2	160±2
110±2	146±2
115±2	134±2
119±2	122±2
124±2	113±2
129±2	105±2

134±2	97±2
-------	------

Gli errori relativi sulle misure di distanza e di illuminamento sono stati tenuti vicini all'ordine dell'1% per non appesantire troppo la fase di presa dati.

Il corrispondente grafico cartesiano è riportato in Fig. 2.

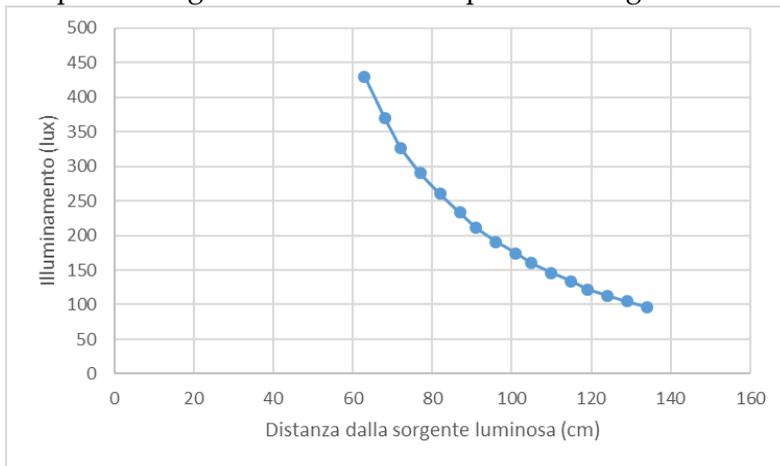


Fig. 2 Grafico cartesiano dell'illuminamento prodotto dalla lampadina in funzione della distanza che separa lo smartphone dalla lampadina stessa.

Analisi dei dati sperimentali

I punti del grafico di Fig. 2 non sono allineati. Ciò è sufficiente per concludere che $E \neq a \cdot b \cdot d$ confermando quanto ottenuto da Dumbleton presumibilmente mentre era al Merton College di Oxford, in Inghilterra e che viene riportato nel manoscritto *Summa logicae et philosophiae naturalis* del 1349 (cfr. J. Dumbleton, 1349) anno in cui muore improvvisamente.

I medesimi dati, d'altra parte, escludono quanto ottenuto da de Aguilón nel 1613 in Anversa e pubblicati nel libro quinto di *Opticorum libri sex philosophis juxta ac mathematicis utiles* (cfr. F.de Aguilón, 1613)?

Per rispondere al quesito posto notiamo che la migliore stima

esponenziale dei dati sperimentali della Tabella 1 è data da $E=1444e^{-2,06d}$. E' possibile verificare inoltre che i dati sperimentali della Tabella 1 appartengono alla curva di equazione $E=A\cdot(1/d^\alpha)$, essendo $A=(174\pm 3)$ lux·m $^\alpha$ e $\alpha=1,97\pm 0,04$ (legge dell'inverso del quadrato della distanza).

La legge $E=(174/d^{1,97})$ ricostruisce i dati sperimentali con un errore mediamente pari all'1% mentre la legge $E=1444e^{-2,06d}$ ricostruisce i dati sperimentali con un errore mediamente pari al 3%. Come si può vedere per le distanze tra sorgente e rivelatore considerate nell'esperimento, l'ordine di grandezza dell'errore medio è lo stesso. Questo è uno dei motivi per cui, a fronte di errori di misura più grandi di quelli or ora visti e per esperimenti con caratteristiche simili a quelle descritte sopra, è possibile confondere un andamento del tipo A/d^2 con un andamento del tipo Be^{-Cd} come accaduto a de Aguilón (de Aguilón è stato ritratto da Peter Paul Rubens (fig. 3) mentre esegue un esperimento riguardante proprio lo studio della variazione dell'illuminamento prodotto da una sorgente luminosa al variare della distanza. E' possibile osservare, dal disegno di Rubens, che le dimensioni dell'esperimento stesso non sono molto differenti da quelle descritte in questo articolo. La lampadina utilizzata per l'esperimento emette un flusso luminoso nominale $\Phi_{nominale}$ di 1055 lumen. E' possibile pertanto verificare se le misure effettuate tramite lo smartphone sono compatibili con la definizione di illuminamento: $E=(\Phi/S)$ essendo S l'area della sfera di raggio d .

Nel nostro caso occorre tener presente il fatto che il lampadario permette la distribuzione della luce all'incirca su metà di una sfera di raggio d . Dai calcoli si evince che il flusso misurato medio vale $\Phi_{misurato} = 1096$ lumen. Vi è pertanto una sovrastima del flusso pari al 4%. Tale discrepanza tra il flusso nominale e quello misurato è principalmente dovuta al fatto

che parte della luce prodotta dalla lampadina colpisce le pareti del lampadario e viene rilevata dallo smartphone in aggiunta alla luce che su esso giunge direttamente dalla lampadina.

Questo può essere tuttavia evitato dotando il lampadario di un adeguato diaframma con al centro un piccolo foro realizzando in tal modo una sorgente approssimativamente puntiforme.

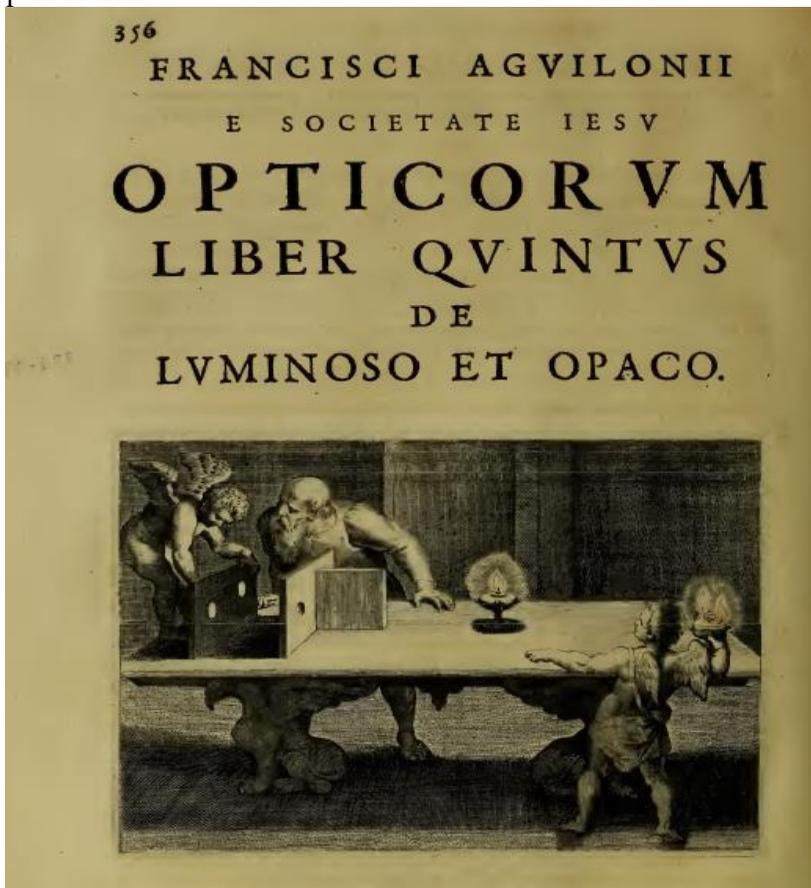


Fig. 3 Disegno di Rubens che ritrae de Aguilón nel mentre compie l'esperimento riguardante il decremento dell'illuminamento prodotto da una sorgente luminosa in

funzione della distanza. Esso fa parte della copertina del libro quinto di *Opticorum libri sex philosophis juxta ac mathematicis utiles*.

Osservazioni sulla legge dell'inverso del quadrato della distanza

La dipendenza dell'intensità dall'inverso del quadrato della distanza è una legge che si incontra non solamente nello studio dei fenomeni luminosi ma anche nello studio di altri fenomeni come i fenomeni gravitazionali (legge di gravitazione universale di Newton), i fenomeni elettrostatici (legge di Coulomb), i fenomeni termici, i fenomeni acustici, i decadimenti nucleari. Tuttavia, come visto, essa è la prima ad essere stata formulata con chiarezza ed è anche curiosamente quella che più facilmente può essere evidenziata con esperimenti a basso costo sfruttando materiale di facile reperibilità. Per intuire l'origine della legge si può ad esempio usare la torcia di un comune smartphone alla quale si adatta un diaframma con un foro di forma quadrata avente lato di lunghezza di 3 o 4 millimetri (Fig. 5).

La luce prodotta dalla sorgente così costruita può essere raccolta su uno schermo. L'esperimento va fatto in un ambiente poco illuminato. Scegliendo tre distanze d differenti (con la seconda doppia della prima e la terza tripla della prima) si disegnano sullo schermo i contorni dei quadrati luminosi prodottisi via via nei tre casi, ciascuno avente lato di lunghezza l_Q e area $A_Q=(l_Q)^2$.

La prima osservazione è che al raddoppiare della distanza tra la sorgente e lo schermo il lato del quadrato illuminato raddoppia e che, equivalentemente, al triplicare della distanza tra la sorgente e lo schermo il lato del quadrato triplica. In sostanza la stessa quantità di luce con l'aumentare della distanza si distribuisce su una superficie via via più grande.

D (cm)	l_Q (cm)	A_Q (cm^2)	I (cm^{-2})
48 ± 1	11 ± 1	120 ± 20	$(8 \pm 1) \cdot 10^{-3}$
96 ± 2	21 ± 1	440 ± 40	$(23 \pm 2) \cdot 10^{-4}$
144 ± 3	33 ± 1	1090 ± 70	$(92 \pm 6) \cdot 10^{-5}$

Tabella 2

Elaborando i dati della Tabella 2 si perviene alla conclusione che esiste una proporzionalità diretta tra l'intensità luminosa e l'inverso del quadrato della distanza (confronta la Tabella 2 e il grafico di Fig. 4):

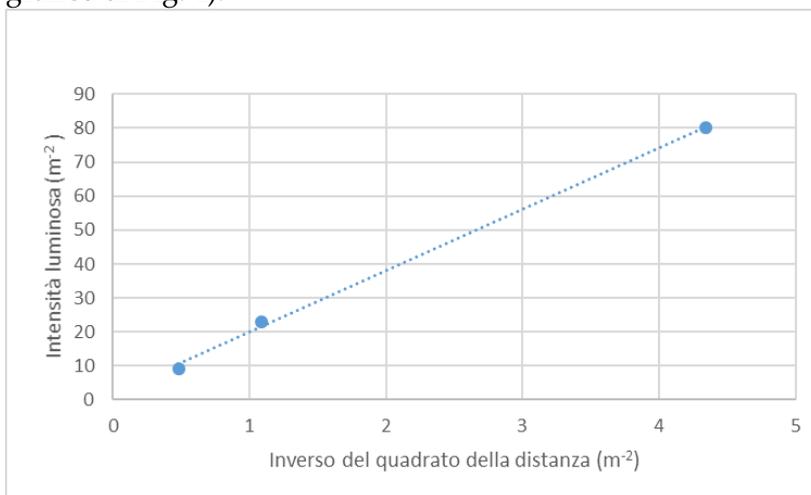


Fig. 4 Grafico cartesiano ottenuto usando i dati della Tabella 2. In particolare i dati riportati sull'asse delle ascisse sono stati ottenuti dalla prima colonna mentre quelli riportati sull'asse delle ordinate sono stati ottenuti dalla quarta colonna. E' evidente che l'illuminamento e l'inverso del quadrato della distanza dalla sorgente luminosa sono grandezze direttamente proporzionali.

Visto che la luce si propaga rettilinearmente l'esperimento appena mostrato implica che la luce emessa dalla sorgente S e uscente dal diaframma quadrato D_1 appartiene al tronco di piramide di Fig. 5.

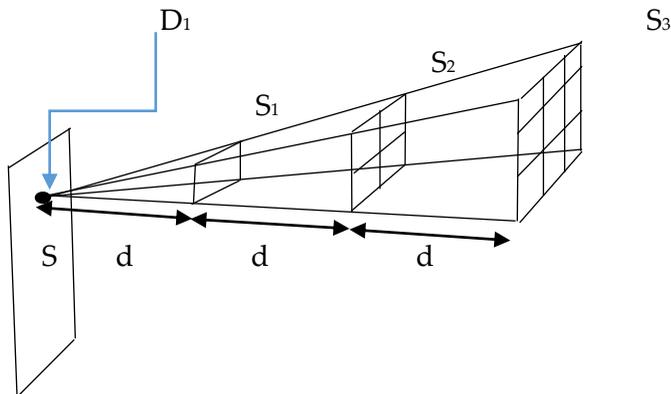


Fig. 5: Le successive sezioni della piramide sono ripartite in quadrati aventi la stessa superficie. Se il mezzo in cui si propaga la luce ne assorbe quantità trascurabili allora l'illuminamento risulta inversamente proporzionale al quadrato della distanza della superficie illuminata dalla sorgente S . Se invece il mezzo in cui si propaga la luce ne assorbe quantità non trascurabili allora il decremento dell'illuminamento segue la legge esponenziale di Bouguer-Lambert-Beer (M. Rotondo, 2020).

Si vede che il flusso luminoso uscente dal diaframma D_1 è uguale al flusso che attraversa la sezione S_1 del tronco di piramide che si trova a distanza $d=d_1$ da D_1 . Tale flusso è

anche uguale al flusso che attraversa la sezione S_2 del tronco di piramide che si trova a distanza $2d=d_2$ da D_1 e al flusso che attraversa la sezione S_3 del tronco di piramide che si trova a distanza $3d=d_3$ da D_1 . Se s_1, s_2, s_3 sono rispettivamente la semidiagonale del quadrato d'area S_1 , la semidiagonale del quadrato d'area S_2 , la semidiagonale del quadrato d'area S_3 si ha: $S_1=(2 \cdot s_1/\sqrt{2})^2$, $S_2=(2 \cdot s_2/\sqrt{2})^2$, $S_3=(2 \cdot s_3/\sqrt{2})^2$ e per il criterio di similitudine dei triangoli $s_1:s_2 = d_1: d_2$ e $s_1: s_3 = d_1: d_3$. Allora l'illuminamento in S_1 è $E_1=\Phi/S_1=\Phi/2(s_1)^2 \propto 1/(d_1)^2$, l'illuminamento in S_2 è $E_2=\Phi/S_2=\Phi/2(s_2)^2 \propto 1/(d_2)^2$, l'illuminamento in S_3 è $E_3=\Phi/S_3=\Phi/2(s_3)^2 \propto 1/(d_3)^2$ e così via.

Attività di approfondimento: applicazione della legge fondamentale della fotometria al calcolo dell'albedo della Luna

Come visto nell'introduzione la legge fondamentale della fotometria indicata da Kepler è stata sperimentalmente provata da Bouguer. Al tempo di Bouguer erano ben note le seguenti misure:

- a) distanza Terra-Luna = $d_{T-L} \approx$ trentacinque diametri terrestri
- b) raggio della Luna= $R_L \approx$ un terzo del raggio terrestre

Usando la legge fondamentale della fotometria si può mostrare che il rapporto tra l'illuminamento E_{Terra^S} prodotto sulla Terra dal Sole e l'illuminamento E_{Terra^L} prodotto sulla Terra dalla Luna è dato da

$$E_{Terra^S} / E_{Terra^L} \approx (d_{T-L} / R_L)^2$$

avendo assunto che la Luna sia una superficie, in prima approssimazione, lambertiana e che la distanza Terra-Sole = d_{T-S} sia molto più grande della distanza Terra-Luna = d_{T-L} .

Usando a) e b) riesce $E_{Terra^S} / E_{Terra^L} \approx 4,4 \cdot 10^4$ (in tal caso si trascura l'assorbimento dovuto all'atmosfera terrestre).

Bouguer riesce a stimare sperimentalmente che $E_{Terra^S} / E_{Terra^L} \approx 300000$. Supponendo che $E_{Terra^S} \approx 10^5$ lux e confrontando la stima di Bouguer con il calcolo svolto or ora, si trova che la quantità di luce solare intercettata dalla Luna e riflessa verso la Terra (albedo lunare) è pari a circa il 15%.

La stima per $E_{Terra^S} / E_{Terra^L}$ misurata da Bouguer non era molto dissimile da quella che si ottiene considerando i valori massimi per E_{Terra^S} e E_{Terra^L} (rispettivamente pari a 120000 lux (<https://en.wikipedia.org/wiki/Daylight>) e 0,32 lux (C. Kyba et al., 2017)): $E_{Terra, max^S} / E_{Terra, max^L} = 375000$. Confrontando la stima del modello idealizzato qui considerato con $E_{Terra, max^S} / E_{Terra, max^L}$ si ottiene un albedo lunare pari al 12% cioè il valore comunemente accettato (<https://www.universetoday.com/19981/moon-albedo/>).

Referenze

P. Bouguer, *Essay d'Optique sur la gradation de la lumière*, Paris, Claude Jombert, 1729.

F. de Aguilón, *Opticorum libri sex philosophis juxta ac mathematicis utiles*, Antuerpiæ, ex Officina Plantiniana: apud viduam [et] filios Ioannis Moreti, 1613.

J. Dumbleton, *Summa logicae et philosophiae naturalis*, 1349, manoscritto conservato presso la Royal Library di Londra e indicato come "Royal MS 10 B XIV".

J. Kepler, *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur*, Francofurti, apud Claudium Marnium, & heredes Ioannis Aubrii, 1604.

C. Kyba, A. Mohar, T. Posch, *How bright is moonlight*, *Astronomy & Geophysics*, Volume 58, Issue 1, 1 February, 2017.

H. J. Lambert, *Photometria, sive mensura et gradibus luminis, coloribus et umbrae*, Basel, Augustae vindelicorum: Sumptibus viduae Eberhardi Klett, Typis Christophori Petri Detleffsen, 1760.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Daylight>

<https://www.universetoday.com/19981/moon-albedo/>

J. E. Morère, *La photométrie : les sources de l'Essai d'Optique sur la gradation de la lumière de Pierre Bouguer, 1729* in: *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 18, n°4, pp. 337-384, 1965.

M. Rotondo, *Bouguer-Lambert-Beer law*, 2020

(<https://github.com/smartphysicslab/smartphysicslab/blob/smartphysicslab/english/beerLambert.zip>).

Calibrazione solstiziale della meridiana di Piazza s. Pietro

Costantino Sigismondi¹(¹ICRA/Sapienza e ITIS G. Ferraris, Roma)

submitted June 23, 2020 accepted July 30, 2021

Abstract

The Vatican Obelisk in 1817 has been used as gnomon for the largest complete meridian line of the World, inspired at the Augustus' horologium described in Plinius' *Naturalis Historia*, according to the original project of Egnazio Danti (1536-1586). While the instrument was built having as a model the meridian lines of St. Maria degli Angeli in Rome (1702) and other realizations in public spaces, there are only 7 zodiacal round marks of 60 cm of diameter, with the name and the ingress dates of the signs and a 6 cm star inside. In the present paper we investigate the position of the star in Cancer, with respect to the present solstice and the 1817 one, with larger Earth's obliquity. The trigonometrical computation and the measurements realized are described and motivated, to an entry level for young students, without loss of accuracy. The meridian transits of Antares, in quadrature with the Sun the last decade of July 2021 complete the winter solstice markers' calibration.

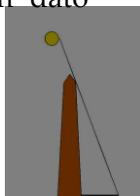
Sommario

All'Obelisco Vaticano nel 1817 è stata aggiunta da Pietro Maccarani direttore della Veneranda Fabbrica di S. Pietro, una linea meridiana -a sue spese- diventata la più grande meridiana al Mondo. È ispirata all'orologio di Augusto descritto da Plinio il Vecchio nella *Naturalis Historia* e al progetto del domenicano Egnazio Danti (1536-1586). Pur avendo come modelli la linea di S. Maria degli Angeli (1702) ed altre realizzazioni in spazi aperti, lungo la linea ci sono solo 7 riferimenti circolari di 60 cm di diametro, col nome e la data di ingresso dei segni e una stella di 6 cm presso il bordo meridionale di ciascun tondo. Qui studiamo la posizione di questa stella nel Cancro, rispetto al solstizio attuale e a quello del 1817, quando l'obliquità dell'asse terrestre era leggermente maggiore. I calcoli di trigonometria piana e le misurazioni realizzate in piazza sono descritte e spiegate per risultare comprensibili anche a giovani studenti, senza perdere di rigore e accuratezza nelle conclusioni storico-tecniche. I transiti meridiani di Antare l'ultima decade di Luglio 2021 completano la ricognizione del segnale solstiziale invernale.

Campagne osservative del 9 giugno -3 luglio 2020 e 17-30 giugno 2021

L'Obelisco Vaticano è stato oggetto del mio interesse da vari anni, con articoli riguardanti la sua altezza misurata con metodi trigonometrici e fotogrammetrici, sempre per la sua funzione gnomonica. In questo articolo possiamo precisare l'eccezionalità dello strumento che ne risulta, il più alto del Mondo, ispirato al modello dell'orologio di Augusto in Campo Marzio, descritto da Plinio nella *Naturalis Historia*.

Anche la deviazione della linea meridiana dal vero Nord è un dato



interessante per comprendere quale era il segnale orario di riferimento e come era trasportato da un luogo (dove c'era una meridiana) all'altro (dove se ne voleva costruire una).

A tal fine la meridiana è stata ripresa durante molti transiti meridiani, e quelli del 2020 sono tutti disponibili su youtube.

Il vantaggio del Solstizio è di avere l'ombra dello gnomone nel disco bianco marmoreo per quasi venti giorni a cavallo della data, e di poterla individuare con sufficiente precisione.

Il disco del Solstizio in Cancro 22 giugno

Ogni giorno la posizione dell'ombra della sommità dell'obelisco è stata localizzata al millimetro, e segnata con la matita all'ingresso e all'uscita dal disco di marmo bianco di diametro 597 ± 2 mm.

L'ombra del 23 giugno 2020 arrivava a 190 mm a Nord del centro della stella ed è prodotta dal bordo superiore del Sole.

La stella dista 10808 mm dalla verticale dello spigolo superiore del monolito, quello che fa da lato di base della piramide sommitale, che è invisibile da sotto lungo una linea di vista a $71^{\circ}31'$ (posizione del centro del Sole da effemeridi per il luogo $41^{\circ}54' N 12^{\circ}27'E$). Il bordo Nord del Sole si trovava a $71^{\circ}30'55.6'' + 15'44.2'' = 71^{\circ}45'39.8''$. In questi valori è inclusa la rifrazione dell'atmosfera. L'ombra complessivamente è lunga quasi 11 metri (10998 mm), superati il giorno dopo.

Vale l'equazione $h/ombra = \tan(71^{\circ}45'40'')$, da cui ricaviamo l'altezza dello spigolo superiore del monolito rispetto al livello del disco solstiziale:

$h = \text{ombra} \times \tan(71^{\circ}45'40'') = 33374$ mm. Questo dato è valido nel caso di meridiana in piano e parete dell'obelisco esattamente verticale. La piazza san Pietro non è un piano, e questa ipotesi perde validità per i segni zodiacali più distanti dall'obelisco.

Sopra lo spigolo c'è una piramide e poi i tre monti e la stella dello stemma di Sisto V e infine la croce, tutto ciò supera i 5 metri di altezza, per cui l'obelisco con la croce arriva a 39 metri.

Solstizio estivo nel 1817, 21 giugno

Col lembo superiore del Sole a $71^{\circ} 33' 56,7'' + 15' 44''$ (di raggio solare),

Costantino Sigismondi

dall'altezza di 33374 mm l'ombra cade 43.2 mm più a Sud di 10998 mm, ossia a 146.8 mm dal centro della stella, che solo approssimativamente rappresenta il punto raggiunto al solstizio d'estate nel 1817.

Solstizio estivo del 1586, 22 giugno

Il lembo superiore del Sole, incluso l'effetto di rifrazione dell'atmosfera, cadeva a $71^{\circ} 35' 32.7''$ e il limite dell'ombra 60.4 mm più a Sud del 23 giugno 2021, quindi a 129.6 mm dal centro della stella.

Utilizzando una tecnica di riflessione su una superficie piana e lucida ho verificato che la stima del limite della penombra può essere in eccesso di 7-10 mm verso Nord se il contrasto dell'ombra non è massimo (cielo velato). Tenuto conto anche di questo effetto il centro della stella comunque non coincide col solstizio estivo nel 1586 e 1817, date legate a questa meridiana.

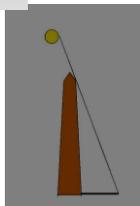


Fig. 1 Obelisco visto dal Cancro: non si vede la piramide sommitale.



Fig. 2 Obelisco visto dal Capricorno e dagli equinozi in Ariete e Bilancia

Ombre I e II sul disco del solstizio: la culminazione meridiana

L'ombra "precedente" dello spigolo dell'obelisco, cioè prima del fregio araldico con i tre monti, con la croce sopra, si sovrappone per prima al disco. Questa è l'ombra I; dopo la "centratura" dell'ombra dell'obelisco con la meridiana, in cui sul disco proiettano la loro ombra il simbolo araldico dei tre monti e la stella, invece si proietta di nuovo lo spigolo orizzontale sommitale, ed è l'ombra II. Risulta sempre che l'ombra II è leggermente più corta dell'ombra I. Come si vede in fig. 1 lo spigolo dell'obelisco appare orizzontale, ma all'inizio e alla fine ci sono i tiranti di metallo e i punti di inserzione che lo rialzano leggermente. La lunghezza dell'ombra viene

misurata all'intersezione con il diametro meridiano del disco, ma ho preso dati anche sulla scritta che corre attorno al disco e in mezzo al disco stesso. Il valore della lunghezza di quest'ombra cambia col tempo, e si impiega un certo tempo a cogliere il confine tra ombra e penombra proprio perché questo confine si sposta, nel tempo della misura.

Avendo girato dei video ho potuto mettere nel grafico l'istante di tempo in cui prendevo la misura e la misura stessa, per più volte nel corso di uno stesso transito che supera i 10 minuti "quasi" a cavallo del meridiano.

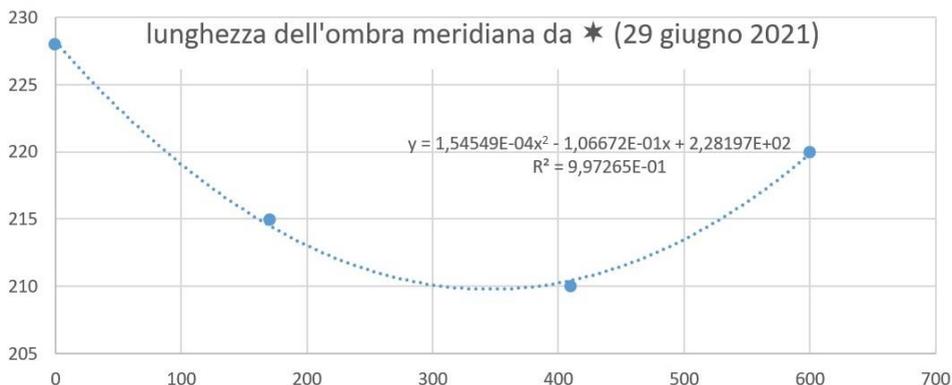
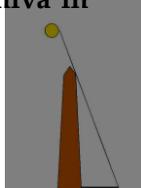


Fig. 3 Lo zero dei tempi (ascisse) è le 13:07:50, il minimo è alle 13:13:35.11. Il passaggio meridiano per quel giorno è alle 13:13:41.0. La centratura dell'ombra con la meridiana è avvenuta alle 13:12:41.5 con 59.5 s di anticipo. La lunghezza minima dell'ombra avviene all'istante di culminazione del Sole, che è esattamente a Sud (**culminazione meridiana**) solo nei solstizi. Agli equinozi in cui la declinazione del Sole cambia più rapidamente, la **culminazione** può ritardare (primavera) o anticipare (autunno) fino a 20 secondi il passaggio al meridiano (azimut 180° esatti).

Lo strumento obelisco+meridiana consente di **verificare senza effemeridi** la centratura verso il vero Nord, a patto di avere un orologio che batta il secondo e un righello millimetrato, e i giorni attorno al solstizio d'estate. **Celsius e Boscovich allo Gnomone Clementino (1732 e 1750)** potrebbero aver valutato che la linea meridiana deviava a Est di 2', il primo, e di 4.5', il secondo, con la misura della **culminazione solstiziale che lì avveniva in**



ritardo di 5 s d'estate e 17 s d'inverno. Senza far uso di effemeridi di riferimento, come faccio io oggi.

La valutazione della culminazione meridiana viene fatta con il metodo dei minimi quadrati per trovare la parabola di fit della figura 3. Questo metodo è stato inventato nel secolo successivo rispetto a Boscovich e Celsius, da Gauss, tuttavia il concetto di ombra minima e culminazione meridiana al solstizio, come verifica del punto cardinale Sud, era già presente nel De Architectura di Vitruvio, per non parlare dell'Almagesto di Tolomeo.

Tuttavia il risultato di figura

Falsi amici nell'analisi dei dati: parabola o retta? Rotazione dell'obelisco

Prendendo dati dell'ombra ogni 30 secondi durante il transito meridiano è possibile verificare se l'andamento della stessa è parabolico o no. Quattro punti non sono abbastanza, visto che per 3 punti non allineati passa certamente una parabola. Il 30 giugno ed il 1 luglio 2021 l'andamento rettilineo è evidente.

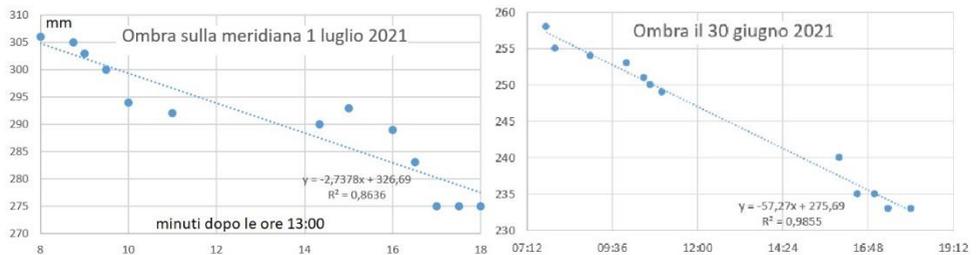


Fig.4 Andamento dell'ombra dell'obelisco sulla meridiana ogni 30 secondi. Calcolando la lunghezza dell'ombra sulla meridiana dell'obelisco per ogni istante delle misure e confrontandola con le misure stesse si lascia libero il parametro di rotazione in mm, da Nord verso Est dell'obelisco.

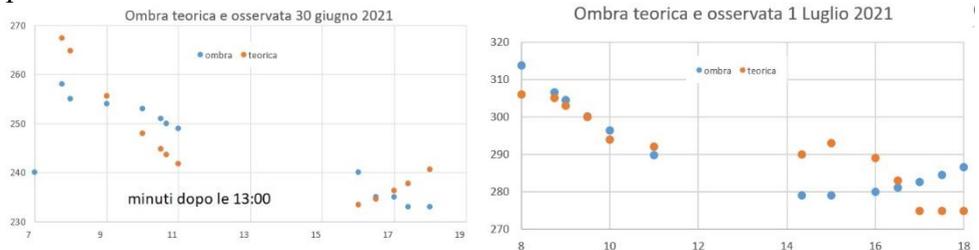


Fig. 5 La rotazione di 5.5 mm minimizza gli scarti al quadrato tra modello e osservazioni. Si noti gli ultimi tre dati del 1 Luglio: sono nuvolosi.

Aloni e veli, e bordo dell'ombra

Durante uno stesso transito possono passare delle nubi sul Sole e cambiare il contrasto dell'ombra. In presenza di un alone attorno al Sole lo scattering di Mie può determinare un allargamento del diametro effettivo e sposta l'ombra in avanti o indietro di alcuni millimetri.

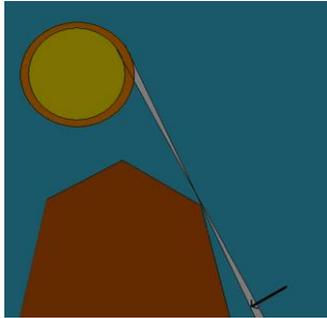


Fig. 6 Alone da scattering di Mie e accorciamento dell'ombra.

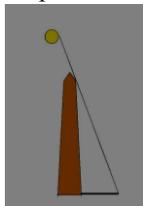
Nel 2020 il giorno 25 giugno Roma è entrata nella prima cappa di afa estiva con alto livello di umidità. L'alone intorno al Sole ha prodotto l'accorciamento dell'ombra corrispondente. Nel 2021 questa cappa è arrivata con 4 giorni di anticipo il 21 giugno. In pratica, misurando la lunghezza dell'ombra dell'obelisco, si va a misurare anche l'ampiezza dell'alone dello scattering di Mie.

Obelisco di Augusto come fonte di ispirazione per il Vaticano

Plinio Seniore dice che l'astronomo e matematico Facundo Novio ideò, per l'Horologium Augusti in Campo Marzio di porre una sfera dorata sopra la punta della guglia per captare le ombre del Sole meglio della guglia (sinonimo di obelisco) stessa.¹

Questo passo che appare un po' oscuro e fin troppo riassunto nell'originale

¹72. (15) Ei qui est in Campo divus Augustus addidit mirabilem usum ad deprehendendas solis umbras dierumque cui par fieret umbra brumae confectae die, sexta hora, paulatimque per regulas, quae sunt ex aere inclusae, singulis diebus decresceret ac rursus augesceret; digna cognitu res, ingenio Facundi Novi mathematici. Is apici auratam pilam iaculante apice, ratione, ut ferunt, a capite hominis intellecta.



latino di Plinio il Vecchio (*Naturalis Historia XXXVI*) prende consistenza alla luce delle esperienze condotte a questa meridiana, che rappresenta la vera replica *mutatis mutandis* del grande Horologium imperiale. Maccarani nel 1817 aveva a disposizione l'Obelisco già collocato lì da Domenico Fontana, e l'emblema araldico di papa Sisto V: tre monti sormontati da una stella, sopra la croce. Probabilmente già tutto era nel progetto di Egnazio Danti, che fu colto dalla morte il 22 ottobre 1586, un mese e 11 giorni dopo che l'obelisco era stato trasportato lì dall'architetto Domenico Fontana per volontà di Sisto V e sotto la sua stessa supervisione.² Con la consulenza astronomica di Filippo Gigli ha usato quell'emblema come indicatore, sostituto della palla che Facundo Novio aveva messo sull'Obelisco di Augusto. La similitudine con la testa d'uomo passa per il collo.

La presenza del collo permette alla testa di gettare ombra anche con il Sole estivo. Il "collo" che sostiene la palla sopra l'obelisco, consentiva di renderla visibile da ogni angolazione sulla linea meridiana, anche al solstizio estivo. L'emblema araldico di Sisto V non ha proprio una simmetria sferica, ma è stato quello il riferimento rispetto a cui la meridiana si legge. Lo studio in questo articolo lo dimostra.

A causa della penombra stabilire lo stesso punto nell'ombra dello spigolo è difficile. Ciò che risulta evidente è che ai bordi dello spigolo si vedono le rifiniture metalliche che sostengono lo stemma araldico e la croce, anche confuse nella penombra, anzi le ho riconosciute proprio dall'esame della penombra e poi verificate scattando una foto da lontano, dove anche la piramide sommitale era visibile (figure 1 e 2).

Valutazione degli istanti dei solstizi estivi

Con i dati vicini alla data del solstizio e affetti da problemi di contrasto e aloni solari, si ottiene una stima imprecisa, per mezzo di un fit parabolico. Il solstizio è il minimo della parabola di fit.

Come già sperimentato alla meridiana di S. Maria degli Angeli, dati molto accurati solo prima o dopo il solstizio non funzionano tanto bene per il fit

² [https://treccani.it/enciclopedia/egnazio-danti_\(Dizionario-Biografico\)/](https://treccani.it/enciclopedia/egnazio-danti_(Dizionario-Biografico)/)

quadratico come dati -anche meno accurati- posti a cavallo del solstizio.

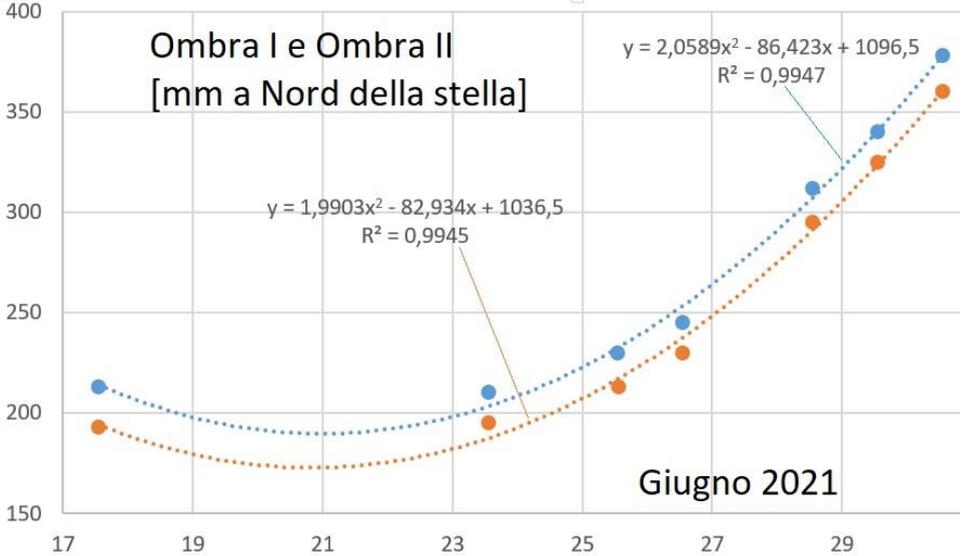


Fig. 7 Fit delle lunghezze delle ombre misurate dal centro della stella. Per l'ombra I il minimo della parabola accade 6 ore prima del solstizio, mentre per l'ombra II meno di 10 ore prima.

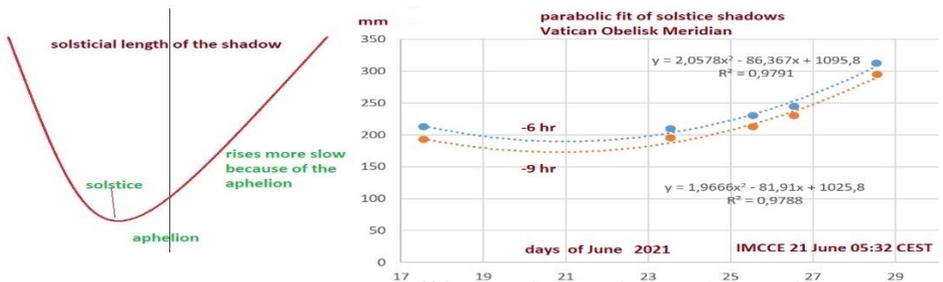
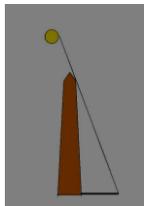


Fig. 8 Asimmetria delle altezze meridiane al solstizio, per l'afelio seguente. La lezione che apprendiamo da queste analisi con parabola è che a seconda di come sono disposti temporalmente i dati si ottengono date del massimo o minimo differenti. Per questo bisognerebbe usare una funzione di fit più complessa della parabola, in cui si tiene conto anche dell'istante dell'afelio.



altezza meridiana teorica

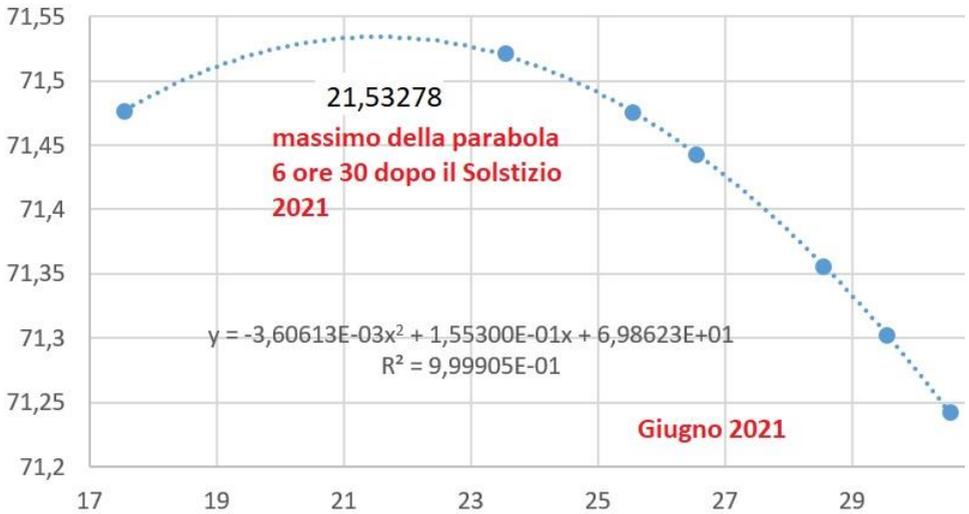


Fig. 9 Simulazione con dati teorici nelle stesse date: il fit parabolico porta a stimare un solstizio posticipato. Mentre anticipa se la curva è simmetrica (ossia inizia il 13 giugno e termina il 30).

Anche nel 2020 sono state fatte le stime per l'istante del solstizio, ottenendo entrambe le stime in ritardo di 16 ore.

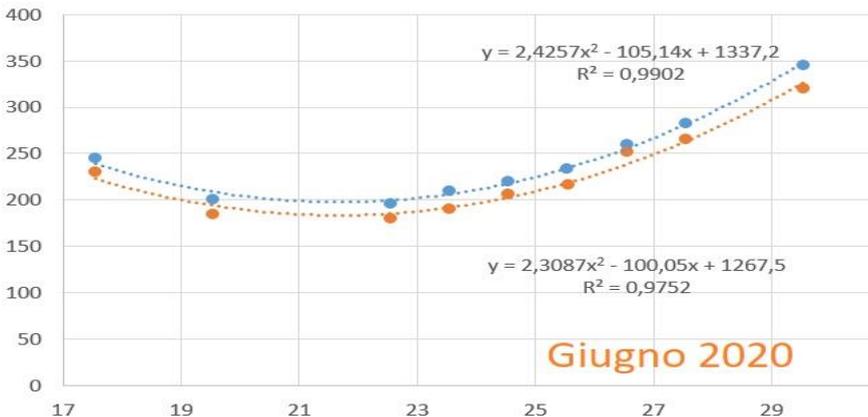


Fig. 10 Ombre I e II nel 2020, con minimo della curva 16 ore dopo il solstizio dall'effemeridi IMCCE (20 giugno 2020 h 23:43 TMEC)

Tempi di transito al solstizio estivo

Nel 2020 ho preso ogni giorno, quando possibile, la media di 3 coppie di tempi, come rappresentato dallo schema seguente

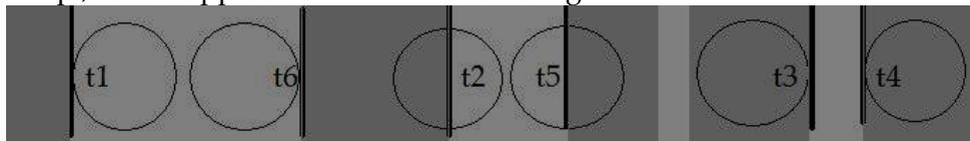
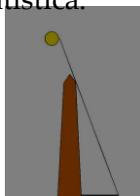


Fig. 11 schema dei contatti dell'ombra col disco solstiziale, da sinistra in ordine di tempo i contatti t1,t6,t2,t5,t3,t4. L'ombra si muove da sinistra a destra. Le medie temporali vengono fatte tra coppie omologhe: t1 e t6, t2 e t5, t3 e t4. Il risultato viene confrontato con le effemeridi per l'Obelisco Vaticano. Si ottiene per la linea meridiana una deviazione dal Nord, rilevata al Solstizio in Cancro, di $12'30'' \pm 42''$ verso Ovest = $(54.5 \pm 3) \text{s} \cdot \cos(\delta) \cdot 15''/\text{s}$, con $\delta = 23^\circ 26'$. Dal 22 al 29 giugno 2020 il centro del disco del Cancro risulta spostato $12'30'' \pm 42''$ (incertezza statistica) verso Ovest rispetto all'asse meridiano per il centro dell'obelisco. La vicinanza al solstizio consente di mediare su tanti dati in cui la declinazione non cambia, e l'accuratezza statistica è migliore di quanto una singola misura possa consentire.

Data di Giugno 2020	O-C [s]
22	-59.2
23	-51.2
24	-56.1
25	-52.4
26	-52.25
27	-53
29	-57.3

Tab. 1 Tempi Osservati-Calcolati (Effemeridi) per i transiti meridiani.

La media di $O-C = -54.5 \pm 3 \text{ s}$, la deviazione della linea in corrispondenza della piastra solstiziale estiva è $12.5'$ verso Ovest, con $42''$ di incertezza statistica.



E' un valore migliore di quello che aveva la meridiana di Uraniborg di Tycho Brahe (1577) o la prima meridiana di Toscanelli (1475) al Duomo di Firenze, circa due volte il valore della deviazione a s. Maria degli Angeli (1702) e due volte quello della stessa meridiana verso il solstizio invernale. Con la stagione più avanzata, infatti, verso il Solstizio d'inverno, avevo preso le misure (2009, 24 dicembre) della deviazione della meridiana trovando 5'36" verso Ovest e 2021, 16 dicembre (6'48" verso Ovest). La deviazione media è 6'12"±36" verso Ovest.

Poiché il Capricorno è a 80 m e il Cancro a 11 m dall'obelisco, le deviazioni lineari dal Nord sono $11\text{m}\cdot\tan(12.5)=40$ mm e $80\text{m}\cdot\tan(6.2)=144$ mm, rispetto all'asse di simmetria dell'obelisco.

La meridiana quindi dista 104 mm dal Nord su una distanza di 69 m tra i due solstizi, con una deviazione di 5.2' verso Ovest.

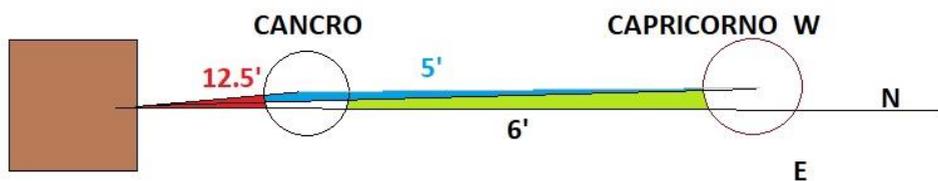


Fig. 12 La deviazione reale della linea meridiana è verso Ovest di 5', pur essendo gli estremi entrambi deviati verso Ovest di 12.5' e di 6'.2 rispetto alla meridiana passante per l'asse di simmetria dell'obelisco. Questa deviazione dal vero Nord non è in linea con lo sviluppo tecnologico intercorso tra il 1702 e il 1817, quando si è passati da qualche primo di deviazione a qualche secondo d'arco.

Dunque questa deviazione è un indizio che forse non è stato considerato l'asse di simmetria dell'obelisco come riferimento.

Fregio araldico: i tre monti e la stella per leggere la meridiana.

Il 16 dicembre 2020 ho verificato che questa ombra era in asse con la meridiana al momento del transito meridiano, ed era la più vicina al disco del Capricorno. Molto più lontana da esso era l'ombra del monolito.

Costantino Sigismondi

Ciò significa che la meridiana è perfettamente allineata con quel segno araldico, con una precisione di 1 secondo al solstizio invernale. Compatibile con la precisione che era stata raggiunta per il Duomo di Milano nel 1782 da De Cesaris (6").

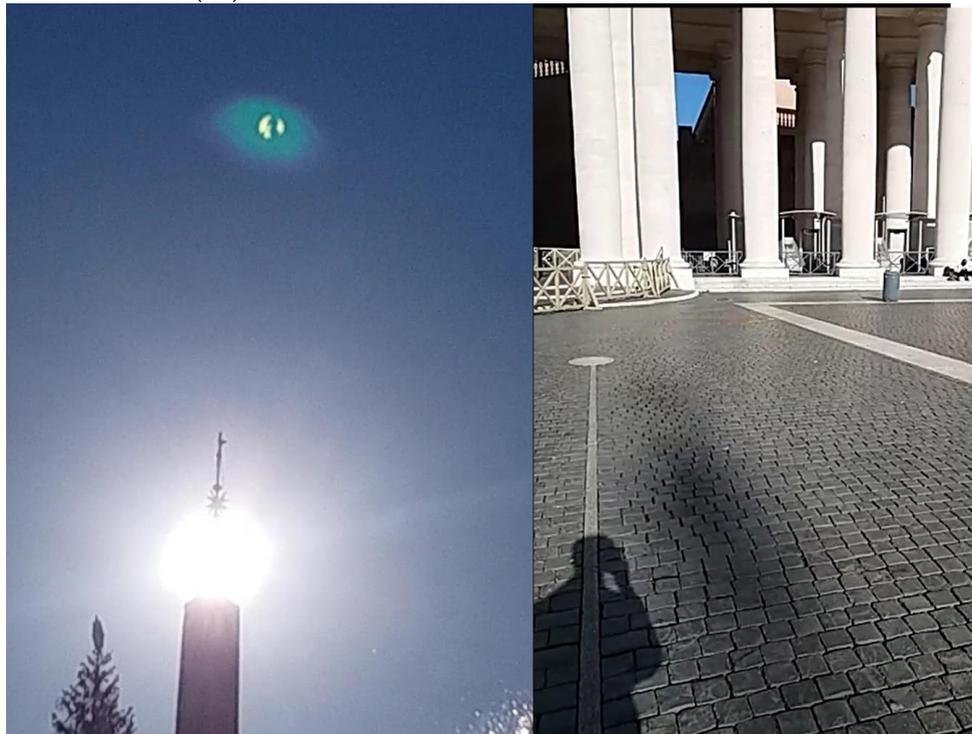


Fig. 13 Foto del 16 dicembre 2020, la sommità dell'ombra della stella araldica di Sisto V lambisce il disco del solstizio in Capricorno. La ghost image del Sole mostra questo sopra la stella di Sisto V.

Al solstizio estivo l'ombra di questi fregi araldici è più grande e si vede che non è simmetrica rispetto a quella del monolito, che ho sempre usato in tutte le misure solstiziali.

Se consideriamo il fregio, anche al solstizio d'estate l'obelisco segna il mezzogiorno vero, come vediamo il 1 luglio 2021 alle 13:14:10

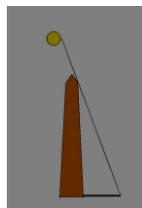




Fig. 14 transito del 1 luglio 2021. L'ombra della stella tridimensionale è quattro-cinque sanpietrini più a Nord del disco, ed è bisecata dalla linea. La stella su ogni riferimento indica che è quello lo gnomone da usare.

Va aggiunto che la meridiana non è stata sempre accessibile, poiché per più giorni a settimana era sotto le sedie per le udienze papali pubbliche, oppure chiusa dalla staccionata quando c'è l'albero di Natale. La parte del solstizio invernale, trovandosi oltre la fontana è stata invece sempre libera.

Nel 2020 e 2021 abbiamo, pertanto, le prime misure disponibili del solstizio estivo. Sulla tecnica di allineare una linea ho potuto vedere con i miei occhi il metodo usato dagli operai del Vaticano per allineare le sedie lungo tratti di 20 metri, usando una corda tenuta tesa tra due estremi. Ritengo che il capo della Fabbrica di san Pietro nel 1817 abbia potuto contare su metodi di allineamento più accurati. La linea è $\varphi=12.5'$ a Ovest al solstizio estivo a 11 m dall'obelisco e $\varphi=6.2'$ a Ovest a circa 80 metri dall'obelisco. Tenuto conto della distanza angolare e della distanza lineare con la formula $H \cdot \tan(\varphi) / \tan(h^\circ)$ viene fuori che la linea del 1817 è a 40 mm dalla vera meridiana d'estate e a 144 mm d'inverno, con una deviazione globale di 104 mm verso Ovest, ossia $6.2'$, minore sia di quella che ha il segmento obelisco-solstizio estivo, che di quella del segmento obelisco-solstizio invernale.

La deviazione verso Est è comune a tutte le meridiane antiche storiche studiate in Italia e a Hven (Tycho) e a Parigi (Le Monnier, Saint Sulpice,

1646). Fino ad ora il solo dato invernale collocava S. Pietro (Maccarani, Gigli, 1817) sola a Ovest, con il dato estivo questa meridiana all'aperto e a poca distanza da meridiane storiche quali la Torre dei Venti e s. Maria degli Angeli trova una collocazione "più giusta" e consona per il suo status.

Tenuto conto che la meridiana di S. Maria degli Angeli tra i due solstizi appare deviata di 5'11", questa meridiana è più precisa di quella, confermando che le acquisizioni tecniche del XVIII secolo erano incluse nella costruzione di questa linea "per la pubblica utilità". Si tratta, dunque, di uno strumento accurato, anche se di difficile lettura.

La posizione dello stemma araldico, che sembra il candidato più opportuno a sostituire la "testa d'uomo" o la palla, che in realtà era lì già dal 1586, 231 anni prima della realizzazione della linea, cade appena fuori del disco solstiziale, lasciando pensare che nel 1817 fosse proprio tangente ad esso, oscurandolo comunque tutto, come si vede nel prossimo paragrafo la differenza tra 2020 e 1817 vale circa 36 mm verso Nord, e con questa ipotesi, più che con la stellina posta nel diametro opposto, la collocazione del disco solstiziale sembra trovare piena giustificazione.

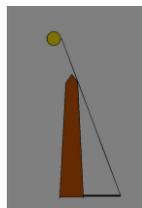
Transiti di Antares e calibrazione del solstizio invernale

Con uno specchietto e un cannocchiale ho osservato, riflesso sul centro della linea in corrispondenza con la stella del disco del Capricorno, i transiti di Antares tra il 21 luglio 2021 e il 29 luglio 2021.

Oltre a verificare la durata del giorno siderale con ottima approssimazione: 23 h 56 m 03.92 s \pm 0.2 s, dai tempi di occultazione della stella dietro il bordo Est dell'obelisco, si è potuto verificare l'azimut del centro dell'obelisco, facendo la media dei tempi di sparizione e riapparizione della stella, visti dallo stesso punto. Lo specchietto ha la funzione di limitare gli errori di parallasse. Questo azimut mediato su 4 giorni: 23, 24, 28 e 29 luglio, vale $\varphi=5' 19'' \pm 31''$, valore più preciso di quello trovato col Sole di $\varphi=6.2'$.

La deviazione della linea dal Nord risulta quindi

$84 \text{ m} \cdot \tan(5.3') - 11 \text{ m} \cdot \tan(12.5') = 155 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 105 \text{ mm}$ verso Ovest, che ripartiti su 73 metri fanno un angolo $\varphi=4.94'$ verso Ovest.



Conclusioni

La linea meridiana di piazza san Pietro si svolge su una superficie concava. L'equazione $\text{sen}\delta = \text{sen}\lambda \cdot \text{sen}\varepsilon$ è stata applicata ai diversi dislivelli.

Localmente con l'interpolazione lineare è stato possibile anche misurare la durata dell'anno tropico dal 2020 al 2021 nei giorni 25 e 26 giugno, e l'istante dell'ingresso del Sole nel Leone il 23 luglio 2021 con 20 minuti di accuratezza, rispetto al bordo orizzontale della sommità del monolito a 33.4 metri di altezza sul piano della piazza.

Numerosi passaggi meridiani solstiziali osservati a giugno-luglio 2020 e 2021 hanno permesso di misurare la posizione della linea rispetto all'asse di simmetria dell'ombra dell'obelisco, e il centro del disco solstiziale del Cancro risulta spostato 12.5' verso Ovest rispetto a tale asse.

Ai pochi passaggi meridiani del solstizio invernale sono stati aggiunti alcuni transiti meridiani di Antares, con cui abbiamo trovato lo spostamento del disco solstiziale del Capricorno 5.3' verso Ovest.

Complessivamente la linea è deviata 4.94' verso Ovest dal vero Nord.

Questo valore si riduce a meno se consideriamo che l'ombra della stella tridimensionale dello stemma araldico di Sisto V è il segnale da leggere per stabilire la stagione.

Questa scelta discende dal metodo indicato da Plinio il Vecchio nella *Naturalis Historia* libro 36, a proposito della meridiana di Augusto. Là era una palla posta sopra l'obelisco per "catturare" i raggi del Sole.

Referenze

C. Sigismondi, *Gerbertus* **9**, 27-31 (2016)

Recensioni di libri: Il nostro futuro di Martin Rees, 2019

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted July 1st 2021, accepted July 30th keyword: Science, Society.

Abstract The volume of the Royal Astronomer Martin Rees "Our Future" is presented and commented.

Sommario La recensione del volume dell'astronomo reale Martin Rees edito per Treccani (2019).

Recensione:

Nel libro "Il Nostro Futuro" di Martin Rees, l'Astronomo Reale, viene riportata una citazione di David Brewster che fa proprio il caso nostro:

"Se il destino della Luna fosse solo quello di mero lume delle nostre notti, non si avrebbe la necessità di variare la sua superficie con elevati monti e vulcani estinti e vasti pianori, di una materia tale che, riflettendo diverse quantità di luce, dà a noi l'apparenza di continenti e mari. Per avere miglior lume sarebbe bastata farla come un liscio oggetto di calcare o gesso." (D. Brewster, *More Worlds Than One. The Creed of the Philosopher and the Hope of the Christian*, John Murray, London 1864, p. 108)

Abbiamo studiato Brewster per l'angolo che porta il suo nome, al quale l'acqua o il vetro riflettono solo luce polarizzata...è interessantissimo trovarlo citato in un pensiero che sembra avere poco di scientifico.

Il libro di Martin Rees, edito da Treccani e stampato nel marzo 2019, ha persino un indice analitico che lo rende uno strumento di consultazione molto utile.

Condivido completamente il giudizio del Times nella quarta di copertina sull'ottima penna dell'autore, che affascina, e anche quello del Financial Times che giudica complessi gli argomenti trattati, ma in modo "fresco" e magistrale.

Il fatto che riviste di pubblico interesse abbiano recensito il prodotto dell'Astronomo Reale significa che realmente la sua opinione può avere un largo impatto.

Per capire il pensiero contemporaneo è un ottimo punto di partenza, anche se l'escatologia proposta è senza appello: al termine le macchine sostituiranno l'uomo nel "post-umano", in cui menti non organiche (non materia molle basata sul ciclo del carbonio) bensì elettroniche penseranno e risolveranno problemi come oggi l'intelligenza artificiale già permette, col machine learning, di vincere gli scacchisti più forti.

Il punto è proprio quello di ritenere il pensiero come coincidente col supporto di cui necessita. Senza l'anima non si dà pensiero, in accordo con la dottrina cattolica e con la filosofia classica. Rees questo non lo dice esplicitamente, pur essendo membro "ateo" della Pontificia Accademia delle Scienze.

Per lui la religione è sociologia, di buon livello, e dichiara pure di partecipare a qualche funzione volentieri.

L'escatologia (parola della dottrina cattolica per il destino finale, negli ultimi tempi) prospettata qui è materialista. L'ipotesi di Dio, come secondo Laplace, non è presa seriamente in considerazione, e l'Incarnazione di Cristo sembra vanificata dall'evoluzione accelerata dalle cognizioni scientifiche che porteranno rapidamente l'uomo ad essere

prima integrato e modificato e poi sostituito del tutto dalle "intelligenze elettroniche".

Dante, di cui celebriamo il settecentenario della morte, aveva saggiamente detto "State contenti umana gente al quia, ché se possuto aveste saper tutto, mester non era parturir Maria" Purg III, 37-39

Allarmante, citando il Financial Times, è il contenuto del libro. Dalla crisi dei missili a Cuba, con cui si è sfiorata più volte la guerra nucleare, alla pandemia prevista entro il 2020, su cui l'autore aveva scommesso 200 dollari e sperava non doverli vincere (il libro in originale è del 2019, Princeton University Press e la pregevole traduzione italiana di Luigi Civalleri pure è dei primi mesi del 2019).

Questa previsione quanto mai azzardata e azzeccata sembra avallare in automatico tutto il resto di quanto è scritto. Compresa la facoltà di pensare, e quindi di "essere" da parte delle macchine, sulla falsariga di AL9000 di Kubrik in "2001 Odissea nello spazio" del 1968.

E' un ottimo libro di fantascienza, e fanta-filosofia, o filosofia del relativismo che più relativo non si può. A cui si aggiunge anche il riscaldamento globale, che gonfia le vele di questo testo con il più gagliardo "main stream".

A pensare così, oggi, dopo decenni di Piero Angela, l'antesignano della "Macchina per pensare" Garzanti 1983, che costituiva il brogliaccio per le puntate di Quark, è molto facile, ma a vedere il nichilismo che ciò porta con sé lo è di meno.

Recensione del libro di Martin Rees "Il nostro futuro"

Viene da pensare: OK, se Martin Rees avesse ragione, *après nous le deluge!*

Dimensione dell'immagine solare e focale della lente, la bisezione dell'eccentricità tolemaica dell'orbita terrestre

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted September 28th 2021, accepted Sept 29th keyword: Earth's Orbit, Eccentricity, Ellipse, Focal length, Positive lens, Geometrical optics.

Abstract The focal length of a positive lens f determines the dimension d of the minor axis of the solar image projected on a flat surface: $d=f/100$. That is for the almost circular orbit of the Earth around the Sun with radius 100 times the solar diameter (150 vs 1.5 M km). Lenses from the laboratory of optics with focal lengths 500, 150 and 100 mm produce images 5, 1.5 and 1 mm wide, and their annual variation is well below the resolution of our instruments. Big pinhole cameras, like the Clementine Gnomon in the Basilica of S. Maria degli Angeli in Rome, allow to study solar images up to 500 mm wide, and the distinction between the eccentric circular orbit of Ptolemy and the elliptical keplerian orbit, called "bisection of eccentricity problem" is visible. The eccentricity of Ptolemy, to account of the duration of the seasons, is $e=0.0334$, at the apogee position the angular diameter of the Sun is $1/(1+e)$ times the average position at unit radius, and the perigee is $1/(1-e)$. The difference between the two extreme positions is $2e\%$. For the elliptical orbit the value of $e=0.0167$ is exactly the half of Ptolemy's, and that is what we observe. 3.4% or 6.8% are too small fraction to see anything at the millimeter scale, unless the solar images are of the size of half a meter.

Sommario Le lenti positive di focale f producono un'immagine del Sole di dimensione d (l'asse minore su un piano) con $d=f/100$. La bisezione dell'eccentricità tolemaica, passando dall'orbita circolare eccentrica all'ellissi di Keplero, implica sempre che la differenza percentuale tra la dimensione angolare del Sole all'apogeo/afelio e al perigeo/perieli sia di $2e\%$ con $e=3.34$ per Tolomeo e $e=1.67$ per Keplero. Tuttavia con lenti positive di 500, 150 e 100 mm usate in laboratorio si producono immagini di 5, 1.5 ed 1 mm di asse minore, le cui variazioni sarebbero troppo piccole da osservarsi. Nelle meridiane a camera oscura come quella di s. Maria degli Angeli, con immagini tra 200 e 500 mm abbiamo la possibilità di vedere queste variazioni e confermare l'ipotesi di "bisezione" dell'eccentricità tolemaica, misurando immagini con un mm di precisione.

Introduzione: la regola empirica $d=f/100$ sulla dimensione del diametro dell'immagine solare (asse minore nel caso di ellissi) discende dalla quasi perfetta circolarità dell'orbita terrestre, che ne determina la costanza, e dalle proporzioni tra distanza

media 150 milioni di km e diametro del Sole 1.5 milioni di km. Abbiamo verificato questa relazione con tre lenti di laboratorio da +100, +150 e + 500 mm, con il risultato in figura.



Fig. 1 Sole “a fuoco” con lenti di tre focali 10, 15 e 50 cm (28/9). Anche se le foto non sono prese esattamente in asse, il righello è sullo stesso piano dell'immagine e mostra correttamente la dimensione. Le immagini sono saturate al centro, l'immagine più piccola mostra anche un cromatismo rosso in alto e blu in basso dovuto alla proiezione su parete verticale, il Sole era a 45° di altezza dopo il mezzodì del 28 settembre 2021 a Roma. Il rapporto tra asse maggiore e minore è $1:\sin(45^\circ)=1.41$ volte.

Eccentricità tolemaica e kepleriana

Tolomeo pensava la Terra eccentrica rispetto all'orbita circolare del Sole, di una quantità $e=0.0334$ rispetto al raggio unitario dell'orbita. Ciò determinava apogei e perigei con diametri angolari rispettivamente $\pm e\%$ rispetto al loro valore medio.

La stessa cosa, ma con $e=0.0167$, si ha nella ellissi kepleriana dell'orbita terrestre. Per poter distinguere tra il primo e il secondo caso è necessario poter distinguere almeno la variazione massima, cioè il 3% del diametro medio. Con 5 mm di diametro ciò è impossibile con questi sistemi di misura, ma con immagini di 500 mm, come nelle meridiane a camera oscura che si realizzarono tra cinque e settecento, abbiamo tra 8.5 e 17 mm di variazioni che possono essere osservate con una precisione vicina al mm. **Referenze:** Gerbertus, 7, 1-80 (2014).

Osservazione in laboratorio di tempeste geomagnetiche

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted September 17th 2021, accepted Sept 30th keyword: Earth's Magnetic Field, Geomagnetic storm, Solar Activity, Compass.

Abstract The 25th solar cycle is in its rising phase, and big sunspots appear on the photosphere: a strong geomagnetic storm becomes more probable. A summary of the magnetic phenomena and their amplitudes is here reported, along with the strategies to detect them with an inclinations' compass. The maximum amplitude of daily magnetic variations is less than half a degree for Rome, according to father Secchi's measurements (XIX century).

Sommario Il ciclo solare 25° è nella sua fase crescente ed la presenza in fotosfera di grandi macchie prelude a possibili tempeste geomagnetiche. Presentiamo qui una rassegna dei fenomeni magnetici dovuti all'interazione Sole-Terra, che restano entro il mezzo grado di ampiezza in accordo con i dati misurati a Roma dal padre Angelo Secchi nel XIX secolo. Si discute come osservarli con una bussola delle inclinazioni.

Introduzione: Il magnetismo terrestre è stato sfruttato nella navigazione grazie al fatto che è osservabile anche con cielo nuvoloso. Dobbiamo a Cristoforo Colombo il primo studio sul cambio di declinazione dell'ago magnetico da NW a NE, nel suo primo viaggio atlantico. La navigazione a vista della costa praticata fino ad allora, poteva trascurare le piccole variazioni dell'ago magnetico. Successivamente, su terra, il sacerdote di Norimberga George Hartmann scoprì la differenza di declinazione con Roma, grazie anche ai migliori strumenti di cui poteva valersi. Una bussola magnetica di 12 cm di diametro che può ruotare su un suo diametro assumendo anche la posizione verticale, ci permette di misurare l'inclinazione i del campo magnetico sul piano dell'orizzonte, oltre che la direzione della sua componente orizzontale.

Lungo la direzione d'ingresso del campo magnetico, l'intensità del campo è massima. I parametri NOAA per il campo magnetico a Roma-Gianicolo sono $i=58^{\circ}11'$ $\delta=3^{\circ}37'$ verso Est, da verificare in laboratorio con il nostro strumento.

Perturbazioni magnetiche locali Oltre quelle dovute ad anomalie territoriali (come il famoso Triangolo delle Bermude) ci sono deviazioni domestiche dell'ago magnetico dovute alla corrente elettrica. Basta un ago magnetizzato fissato ad un galleggiante per rendersene conto, in vicinanza di elettrodomestici la deviazione è di vari gradi. Nel nostro laboratorio, ad esempio, abbiamo riscontrato variazioni anche di $\pm 4^\circ$ lungo una retta che taglia in due la stanza. L'ideale è collocarsi lontano dal tracciato dei fili per l'illuminazione, occorre poi mantenere accuratamente quella posizione per tutte le misurazioni magnetiche. Tutte le **misure conviene farle differenziali**, rispetto ad una linea che già sta sul pavimento, orientata con la stanza, che può essere orientata in senso assoluto mediante l'ombra del profilo verticale di una finestra proiettata dal Sole, di cui conosciamo le effemeridi ogni secondo di tempo. **Variazioni magnetiche diurne:** $\leq 10'$, maggiori di giorno che di notte, d'estate che d'inverno, più ai poli che all'equatore magnetico, cambiano di anno in anno.



Fig. 1 Bussola delle inclinazioni, durante la tempesta geomagnetica del 17 settembre 2021 non rileva variazioni $>0.5^\circ$

Declinazione assoluta: l'angolo letto dalla bussola in fig. 1 era formato rispetto alla direzione dell'ombra che il Sole aveva il 14 set h 10:23:46 diretta verso gli azimut $125^{\circ}37'$ - $305^{\circ}37'$. Così i 52.5° corrispondono a $358^{\circ}07'$, ossia ad una declinazione di $1^{\circ}53'$ verso Ovest, diversa da quella del NOAA per questa posizione di ben $5^{\circ}30'$. Questa differenza è dovuta ai campi magnetici "domestici". Per questo effettuiamo misure differenziali, assumendo questi campi domestici costanti.

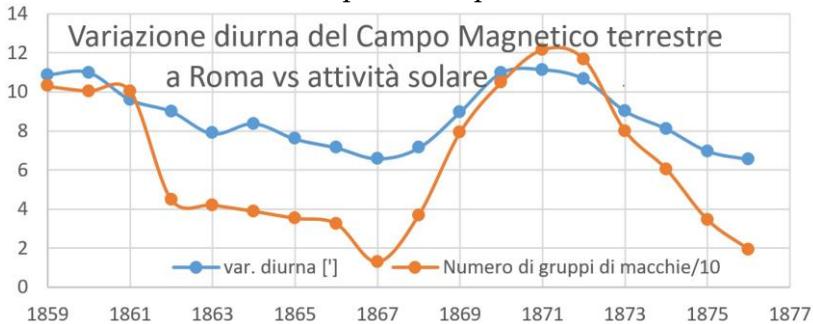


Fig. 2 Dati di Padre Angelo Secchi dal 1859 al 1876 (primo semestre). La correlazione tra attività solare e variazione diurna del campo geomagnetico è evidente. Per l'approccio sperimentale alle misure del campo geomagnetico *Le Soleil* del p. Secchi resta la pubblicazione di riferimento dopo 150 anni!

Tempeste geomagnetiche si tratta di un evidente fenomeno di interazione Sole-Terra. Lo stesso padre Secchi osservò al Collegio Romano la tempesta associata all'evento di Carrington del 1 settembre 1859, il maggiore fino ad ora recensito, quando in tutto il Mondo si verificarono aurore magnetiche, e le prime linee telegrafiche andarono in tilt (o funzionarono inaspettatamente meglio). Secchi fu l'unico in grado di misurare la tempesta di Carrington del 1-2 settembre 1859 per la distanza del Collegio Romano dal Polo Nord Magnetico. Nella lettera del 2 settembre 1859 ripubblicata in Blake et al. (2019) padre Secchi parla di un movimento di $4^{\circ}13'$

in 20 minuti (tra le 7:10 e le 7:30 AM) della bussola di declinazione (ossia quella in posizione orizzontale, che vediamo anche in figura 1). Si trattava dell'evento di Carrington, dunque del più forte mai registrato, comunque il passaggio di una tempesta geomagnetica è molto difficile da registrare alle basse latitudini magnetiche senza una strumentazione molto sensibile. Blake et al. valutano l'ampiezza della perturbazione magnetica registrata da Secchi pari a 3000 nT, laddove l'intensità del campo magnetico terrestre vale oggi, per Roma, 46700 nT. Considerando la sola componente orizzontale di 24750 nT, questa perturbazione di Carrington, se perpendicolare, corrisponde ad un angolo di deviazione massima di 7°.

Conclusioni: le perturbazioni geomagnetiche diurne hanno ampiezze dell'ordine di qualche primo d'arco e periodicità 24 ore; quelle eccezionali in caso di Coronal Mass Ejections diretti verso la Terra possono arrivare, per Roma, fino ad alcuni gradi di deviazione dell'ago magnetico per poche decine di minuti; entrambi i casi sono stati documentati da padre Angelo Secchi nella seconda metà del XIX secolo, grazie al quale possiamo avere un'idea dell'accuratezza necessaria per misurare una tempesta solare. La debole tempesta del 17 settembre ha prodotto aurore boreali nelle alte latitudini, e variazioni di campo magnetico (componente Bt di soli 5 nT). Dunque le osservazioni in figura 1 sono effettivamente consistenti con nessuna variazione registrata. L'azimut della componente orizzontale del campo magnetico in laboratorio è ricavato dalla direzione istantanea dell'ombra della finestra verticale.

Referenze: R. Romano, *Colombo*, CEI Roma-Milano (1966) p.18
C. Sigismondi, [Gerbertus, 9, 13-20 \(2016\)](#). A. Secchi, *Le Soleil*, Parigi, Gauthier (1877). S. P. Blake, et al., [JGR Space Phys.](#) (2019).
Spaceweather.com 17 sept 2021 [website](#) and [solar wind data](#)

Erodoto: geografia e astronomia nel V secolo a. C.

Massimo Ciafrei

massimociafrei425@gmail.com

(ITIS G. Ferraris, Roma) submitted on October 14, 2021.

Abstract Herodotus is considered the father of all historians; his thought and the news about the Egyptian calendar and the circumnavigation of Africa, made by the Phoenicians in the 7th century are recalled with the significant astronomical data, especially the Northern Sun in South Africa.

Biografia: Nato ad Alicarnasso nel 484 a.C. morto a Thurii nel 430 a.C. Erodoto è considerato il “Padre della Storiografia”. Nasce in una famiglia aristocratica benestante e nei suoi primi anni della sua vita si mette in mostra per il suo estro nel scrivere testi descrittivi, apprende il lavoro di logo-grafo e cantastorie.

Nel 457 a.C. Erodoto conobbe ad Atene illustri personaggi dell'epoca come: Pericle, Sofocle, Ippodamo di Mileto, Eutidemo e Protagora. Sempre nello stesso anno Erodoto fu accusato di aver preso parte a una congiura di aristocratici per eliminare Re Ligdami II (Tiranno di Alicarnasso), così fu costretto a fuggire a Samo.

Dopo soli due anni nel 455 a.C. riuscì a rientrare in patria e vinse 10 talenti (unità di misura di massa per i metalli preziosi) e olio degli ulivi sacri di Atena, per aver partecipato alle panatenee (Feste religiose più importanti dell'antica Atena, in onore della divinità protettrice della città, Atena).

Erodoto nella sua vita viaggiò molto nel Mediterraneo orientale e visitò numerose città e territori, tra cui: l'Egitto dove rimane ben 4 mesi, Mesopotamia, Mar Nero, vicino Kiev (Ucraina) dove incontrò gli Sciti, Africa settentrionale percorrendo la Cirenaica passando per l'attuale Libia, l'Italia meridionale e infine viaggiò per tutta la sua terra natia comprese le isole del Mar Egeo. Questi numerosi viaggi lo spinsero a scrivere *Le Storie*, considerate la prima opera storiografica nella Letteratura Occidentale ad esser giunta

nella sua forma completa.

Letteratura: Considerato “Padre della Storiografia” da Cicerone, Erodoto scrive i suoi concetti in epos (Epica), secondo una dinamica circolare, scritta in maniera impersonale e oggettiva attinente alla logo-grafia dell’epoca (Descrizioni dei luoghi).

I principî chiave dei suoi scritti sono la vista, l’ascolto e la distinzione di questi due distinguendoli da quelli di cui è stato testimone oculare da quelli che ha sentito raccontare; la sua particolarità è raccontare racconti veridici accostando dati autentici con fatti prevalentemente favolistici, in questo modo riusciva a diffondere i suoi testi a lettori della classe popolare dell’epoca.

È il primo a introdurre la filosofia storica ed a affermare che per ogni uomo i propri costumi appariranno sempre migliori accennando così a concetti contro il razzismo. Contesta le leggi greche e ribadisce che ogni popolo merita rispetto e attenzione per la loro tradizione e cultura, con questi scritti Erodoto esprime concetti modernissimi che troviamo anche oggi nella vita quotidiana; proprio per questo ha ispirato lo strutturalismo del 1900 e il pensiero di Malinowski.

Negli ultimi anni della sua vita si stabilì a Thurii dove morì.

Le Storie: Le *Storie* di Erodoto è uno dei pochissimi documenti di quell’epoca che è rimasto nella sua forma originale, il nome è in prima riga questo valida la veridicità, si pensa che il testo è arrivato fino ai nostri giorni grazie alla trasmissione principalmente orale dei cantastorie del quinto secolo avanti Cristo.

Il testo è stato scritto tra il 440 a.C. e il 429 a.C. nel dialetto ionico del greco antico.

Nelle Storie sono raffigurati molti excursus (Descrizioni aggiuntive) di tradizioni, luoghi e viaggi che immergono il

lettore nel paesaggio.

Le storie hanno un'introduzione dove è illustrato il tema dei racconti ed è inoltre presente una raccolta di imprese umane nella ricerca, sia degli Elleni che dai Barbari.

I racconti sono suddivisi in nove libri in ordine cronologico ognuno con viaggi e paesaggi diversi:

- 1) Le conquiste di Ciro il grande Imperatore di Persia.
- 2) Descrizione dell'Egitto governato da Cambise II.
- 3-4) Ascesa di Dario I, conquiste in Asia minore e la suddivisione in satrapie (Governatori delle province).
- 5-6) La battaglia di Maratona nel 490 a.C., esercito di Dario I contro gli Opliti inferiori di numero.
- 7) Serse (Figlio di Dario I) riprese l'invasione della Grecia, dopo la battaglia di Leonida alle Termopili la Grecia si riunifica sotto una sola bandiera.
- 8) Battaglie condotte da Temistocle e la battaglia finale di Salamina contro Serse.
- 9) Invocazione a Calliope (Dea dei poeti) e guerra tra la Grecia e l'usurpatore Mardonio.

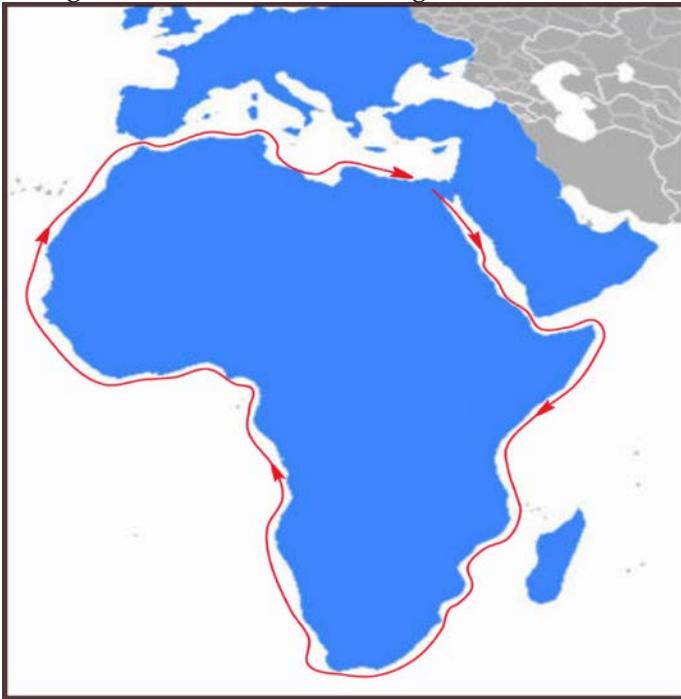
Astronomia: Gli Egizi, come narra Erodoto, utilizzarono un calendario scandito dal percorso apparente del Sole. Aveva una durata di 365 giorni esatti, risultanti da 12 mesi di 30 giorni ai quali venivano aggiunti 5 giorni all'inizio di ogni anno. L'elemento regolatore del calendario civile e religioso era costituito dalla riapparizione della stella Sirio (identificata con la dea Iside), della costellazione del Cane Maggiore che annunciava l'inondazione annuale del Nilo. Sirio torna ad essere visibile all'orizzonte orientale, prima del sorgere del Sole, intorno al 20 luglio, dopo essere rimasta invisibile per circa 70 giorni. La levata eliaca di Sirio e il variare nel corso dell'anno della posizione del Sole all'alba erano osservati da punti di riferimento fissi, come gli obelischi. L'anno solare

egizio era più corto dell'anno solare vero di circa sei ore; ciò comportava lo scarto di un giorno ogni 4 anni.

Erodoto riferisce anche che dopo il solstizio d'Estate (corrispondente ai giorni 21 o 22 giugno del nostro calendario) il Nilo comincia a crescere al di sotto dell'ultima cateratta dove il fiume si abbassa considerevolmente, questa considerazione afferma ancor più la veridicità del calendario.

Successivamente scrive che nel VII secolo il faraone Neco mise insieme una flotta di navi fenicie, le quali dovevano circumnavigare l'Africa partendo dal Mar Rosso.

Secondo Erodoto, i Fenici partirono dal Mar Rosso e navigarono in direzione sud nell'Oceano Indiano seguendo la costa orientale dell'Africa. Il viaggio si svolge nel corso di tre anni, navigando solo nella buona stagione.



Erodoto conclude il suo resoconto dicendo che alcune cose narrate dai Fenici erano a suo giudizio incredibili, come l'affermazione secondo cui nel navigare attorno all'estrema punta dell'Africa avevano visto il Sole alla loro destra.

Era difficile accettare per un Greco avendo vissuto sempre a Nord dell'equatore dove si osserva il Sole culminare a Sud, perciò nel navigare verso Ovest vede il Sole alla propria sinistra. Ma al Capo di Buona Speranza, trovandosi a Sud dell'equatore, il Sole a mezzogiorno si osserva a Nord, pertanto a destra di chi viaggia verso Ovest. Tale descrizione quindi è una conferma dell'impresa compiuta.

Il resoconto di Erodoto è stato per secoli oggetto di dibattito tra gli storici. A molti può sembrare incredibile che dei marinai abbiano circumnavigato l'Africa così tanto tempo fa. Gli studiosi comunque ritengono che il viaggio era plausibile.

Curiosità: Una delle citazioni più belle dello scrittore nelle Storie è "la fretta genera l'errore di ogni cosa".

Crotone ebbe una famosa scuola di medicina, fondata da Alcmeone. Erodoto dice che i medici di Crotone erano i migliori del suo tempo, seguiti a grande distanza da quelli di Cirene e Cnido.

lo storico di Alicarnasso descrive durante la sua permanenza in Egitto le famose "baris", imbarcazioni egizie con "costole interne" di cui l'archeologia non aveva mai trovato riscontro tangibile. La conferma alle parole di Erodoto è stata scoperta poco tempo fa presso la città di Heracleion, vicina ad Alessandria, oggi completamente sommersa nel Mediterraneo ma all'epoca principale porto d'Egitto. Grazie al lavoro degli esperti dell'Università di Oxford è stato finalmente identificato un esemplare delle famose "baris", incredibilmente intatto per

circa il 70% della sua struttura.

Sotto, la descrizione delle *baris* fatta da Erodoto:

“I battelli egiziani per il trasporto delle merci sono costruiti in legno di acacia: un albero di aspetto similissimo al loto di Cirene, e da cui goccia della gomma. Tagliano da questa acacia pezzi di legno di circa due braccia, che mettono insieme come mattoni, costruiscono il battello come segue. Collegano i pezzi di legno, di due cubiti, con lunghi e frequenti cavicchi; e quando hanno costruito in questo modo vi tendono sopra delle traverse. Nessun uso di tavole laterali. Turano le commessure interne con papiro; e apprestano un solo timone, che passa attraverso la carena. Per l'albero adoperano l'acacia e per le vele il papiro, Questi battelli non possono risalire il fiume se non domina un forte vento, e vengono tirati da terra. Invece in discesa ecco come vanno. C'è un graticcio costruito di tamarisco, tenuto insieme da una stuoia di canne, e una pietra forata del peso di circa due talenti. La tavola vien gettata, legata a una fune, avanti al battello, che il fiume la porti – alla superficie-, e dietro, con un'altra fune, la pietra. La tavola sotto l'urto della corrente cammina veloce trascinando la *baris*, tal nome hanno appunto questi battelli, e la pietra, trascinata dietro e stando sul fondo del fiume, mantiene diritto il corso della navigazione. Gli egiziani hanno una grande quantità di questi battelli, di cui alcuni trasportano molte migliaia di talenti di carico”.

Gli archeologi affermano che la struttura dell'imbarcazione è talmente verosimile alla descrizione di Erodoto che si potrebbe supporre che non solo il tipo di nave sia quella descritta dallo storico, ma che il cantiere dove venne costruita fu il medesimo che osservò Erodoto quasi 2.500 anni fa.

Herodotus è un cratere lunare situato nella parte nord-

occidentale della faccia visibile della Luna (lato ultimo quarto), è vicino al cratere più brillante della Luna, dedicato ad Aristarchus.



Fig. 2 Il cratere Aristarchus il 24 ottobre 2021 h 9, ripreso in Luna calante.

Erodoto scrisse che Talete predisse un'eclisse di Sole, o almeno l'anno in cui doveva aver luogo (probabilmente nel 585 a.C.). Tale predizione dovette essere solo il frutto di qualche conoscenza da lui acquisita durante il lungo soggiorno in Egitto. Talete era consapevole del fatto che un'eclisse di Sole è causata dall'interposizione della Luna; egli diceva che la Luna è illuminata dal Sole e che si ha eclisse di Luna quando questa passa attraverso l'ombra della Terra.

Altro: Scoperta delle "baris":

<https://www.youtube.com/watch?v=DFW7YIVxpGI&t=114s>

Erodoto, riflessioni sulla tolleranza e i fondamenti della democrazia:

<https://www.youtube.com/watch?v=HzwUuXneiBg>

Referenze

- Le nove muse di Erodoto Alicarnasseo tradotte ed illustrate da Andrea Mustoxidi corcirese: 4
- Opere di Erodoto, su Open Library, Internet Archive.
- Erodoto, su BeWeb, Conferenza Episcopale Italiana.
- Erodoto, in Dizionario di storia, Istituto dell'Enciclopedia Italiana.
- Erodoto, su Treccani.it – Enciclopedie online, Istituto dell'Enciclopedia Italiana.
- Erodoto, da Wikipedia, l'enciclopedia libera.
- Storie, da Wikipedia, l'enciclopedia libera.
- Storie di Erodoto (Autore) L'Annibaletto (Traduttore) Mondadori, 1988
- Libro, Mitologia Greca: Alla Scoperta dei Miti Greci. Un viaggio nei racconti epici dell'Antica Grecia tra Divinità, Eroi e Leggende dall'eterno fascino, di Vittorino D'Ancona (2021).
- Commissione divulgazioni UAI, Passi sulla Luna: Aristarchus Herodotus
- JSTOR, «Il Sole a destra»: estrapolazione nella letteratura geografica antica e nei resoconti di viaggio.
- Narraremare, Ecumene di Erodoto.
- Zanichelli, Testimoni esploratori Fenici a sud dell'Equatore.
- Biblioteca online Watchtower, antichi viaggi oltre i confini del Mediterraneo.
- Fondazione Magna Grecia.
- Wikipedia, calendario egizio.
- Mediterraneoantico, I giorni epagomeni e il calendario nell'antico Egitto.

Astronomia di posizione del Sole a san Pietro: gli ingressi nei segni zodiacali SCO SGR 2021 coi transiti meridiani

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted December 4th 2021, accepted Dec 8th

Abstract The ingress into Scorpius and Sagittarius corresponds to an ecliptic longitude $\lambda=210^\circ$ and 240° . The right ascension α of the Sun at this λ is determined by the obliquity $\varepsilon\sim 23.42^\circ$ by the formula $\tan\alpha=\tan\lambda\cdot\cos\varepsilon$. The instant of the local meridian transit of this α is computed by comparison with the meridian transit of Fomalhaut $\alpha=22^h58^m52.4^s$ measured on November 4, 2021 at 20:11:41 CET from the Scorpio's marble disk of the meridian line of Saint Peter's obelisk in the Vatican. Adding a sidereal day each day the line of the daily transits are compared with the solar meridian transits of the Sun measured with projection from 17 to 24 October and November 2021 on the Scorpius and Sagittarius' marble disks. The intersection of these two lines gives the Scorpius and Sagittarius' ingress times respectively 22 hours before and 4 hours later than the ephemerides, +50 and -10 arcminutes in the solar position on the ecliptic. The meridian of St. Peter's square is the only one working currently with the Sun and the stars.

Sommario L'ingresso nello Scorpione e nel Sagittario è il momento in cui la coordinata eclittica del Sole vale 210° e 240° . Tramite le equazioni dell'astronomia sferica si può calcolare l'ascensione retta corrispondente e il suo istante di transito meridiano, a partire da Fomalhaut che ha ascensione retta $\alpha=22^h58^m52.4^s$ e che il 4 Novembre 2021 è passata in meridiano alle 20:11:41 TMEC, in base alle osservazioni dal disco dello Scorpione alla meridian di San Pietro in Vaticano. L'equazione dei transiti meridiani dell'inizio del Sagittario viene messa a sistema con quella dei transiti solari dal 17 al 24 Ottobre e Novembre 2021, trovando le 7:33 del 22 Novembre 2021 per l'ingresso nello Sagittario 4 ore dopo le effemeridi e 10 minuti d'arco in longitudine eclittica. Per lo Scorpione il calcolo porta a 22 ore prima. La meridian di san Pietro è l'unica da cui si possono osservare sia col Sole che con le stelle.

Keywords: Spherical Astronomy, Zodiacal Signs, Ecliptic, Equator, Horizon, Fomalhaut, Saint Peter's Obelisk and Meridian Line.

Introduzione:

Le coordinate eclittiche seguono il Sole nella sua orbita annuale attorno alla Terra; si tratta di orbita apparente. In

antichità era considerata percorsa a velocità costante, poi ritoccata con il modello eccentrico per tenere conto delle osservazioni fatte proprio con le meridiane.

L'eclittica è inclinata di $23^{\circ}26'$ circa sull'equatore celeste, che è la proiezione in cielo del nostro equatore, quindi per passare dai transiti meridiani alle coordinate eclittiche bisogna seguire alcuni passi di un algoritmo che gli antichi conoscevano molto bene, e che a noi è molto meno familiare.

Transiti meridiani e ingressi nello Scorpione e nel Sagittario

Gli ingressi nello Scorpione e nel Sagittario corrispondono, per il Sole, alle longitudini eclittiche $\lambda=210^{\circ}$ e $\lambda=240^{\circ}$. L'ascensione retta α del Sole per questi valori di λ è determinata dall'obliquità $\varepsilon\sim 23.42^{\circ}$ attraverso la formula di trigonometria sferica $\tan\alpha=\tan\lambda\cdot\cos\varepsilon$. L'istante del transito meridiano locale di questa α è calcolabile per comparazione con il transito meridiano di Fomalhaut $\alpha=22^{\text{h}}58^{\text{m}}52.4^{\text{s}}$, misurato il 4 November 2021 alle 20:11:41 TMEC, dal disco del Capricorno della linea meridiana dell'obelisco di San Pietro in Vaticano. Togliendo e aggiungendo il giorno siderale ogni giorno, le rette dei transiti giornalieri di questi due punti zodiacali a $\lambda=210^{\circ}$ e $\lambda=240^{\circ}$ sono comparate con quelle dei transiti meridiani del Sole.

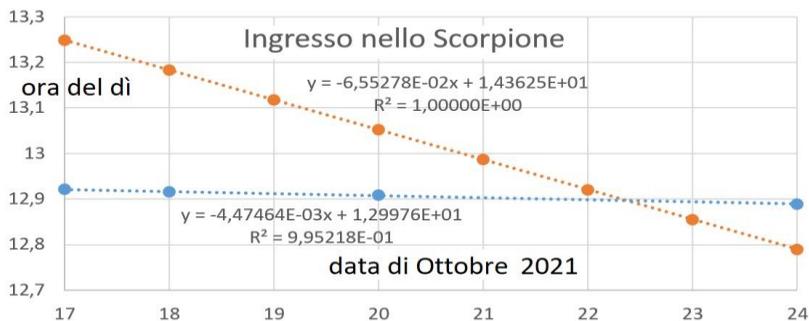


Fig. 1 La retta rossa rappresenta l'istante dei passaggi meridiani del punto a $\lambda=210^{\circ}$, la blu è dei passaggi del Sole.

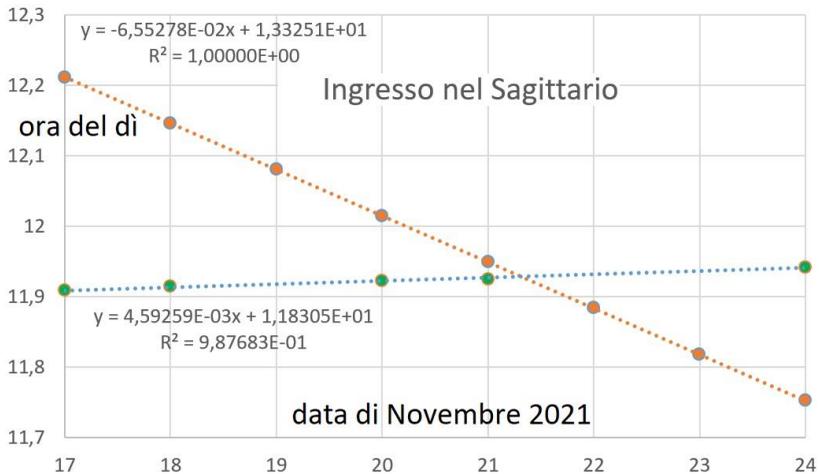


Fig. 2 La retta rossa rappresenta l'istante dei passaggi meridiani del punto a $\lambda=240^\circ$, la blu è dei passaggi del Sole.

Questi transiti sono stati misurati per proiezione rispettivamente sui dischi marmorei dello Scorpione tra il 17 e il 24 Ottobre 2021, e del Sagittario tra il 17 e il 24 Novembre 2021.

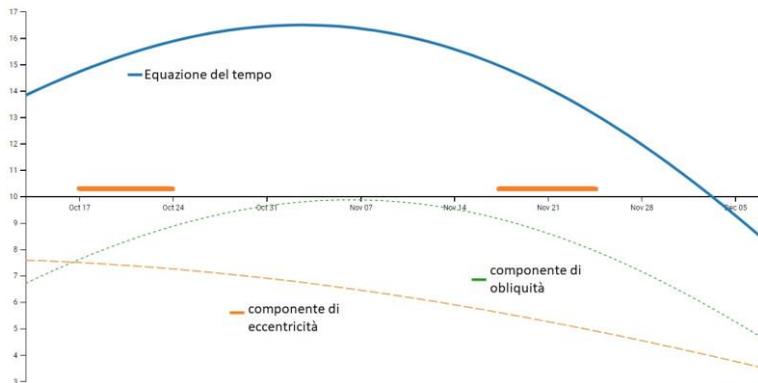


Fig. 3 L'equazione del tempo nelle due serie di misure può essere rappresentata con una retta, con coefficiente $R^2 \sim 1$.

L'approssimazione rettilinea per i transiti solari che –di fatto– rappresentano una sezione dell'equazione del tempo (una senoide con due massimi e due minimi nell'anno) è abbastanza affidabile. Pur cambiando la pendenza delle due rette solari da Ottobre a Novembre, perché l'equazione del tempo raggiunge un punto stazionario proprio il 3 Novembre.

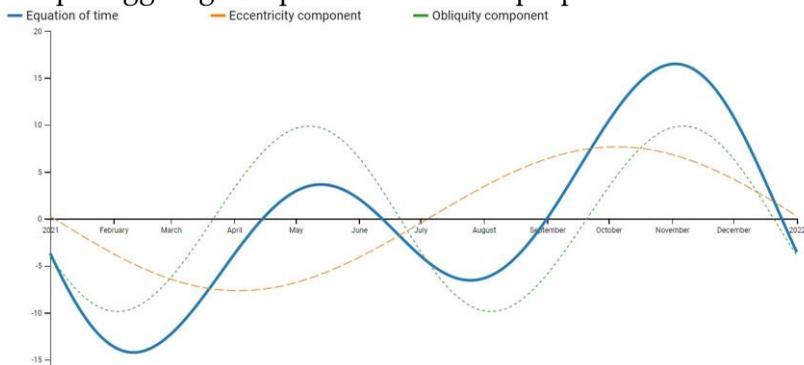


Fig. 4 L'equazione del tempo per tutto l'anno. Il 3 novembre il passaggio meridiano è il più anticipato rispetto al fuso orario. <https://planetcalc.com/9198>

Transiti meridiani e diametro solare

Mentre per l'astronomia di posizione è necessario misurare l'istante in cui il centro del Sole è dietro l'asse dell'obelisco facendo la media tra primo e secondo contatto con l'obelisco, la croce sommitale e quant'altro definisca (univocamente) questo asse, per la misura del diametro solare occorre conoscere la differenza tra primo e secondo contatto con uno stesso punto visibile, e verticale.

Il transito meridiano, o più esattamente la culminazione, ha come proprietà quella che il centro del Sole ed ogni suo punto si muove parallelamente all'orizzonte. Trascuriamo la differenza temporale tra culminazione e transito che può arrivare a ± 20 secondi agli equinozi, ma verifichiamo che l'angolo formato dalla traiettoria solare con l'orizzontale varia

di $\beta=\pm 12'$ dallo zero, nello spazio di ± 1 minuto dal meridiano.

La durata del transito meridiano è pertanto allungata di un fattore piccolo pari a $1/\cos\beta=1+6$ milionesimi, che diventano 26 milionesimi 2 minuti fuori dal meridiano...e così via.

La migliore misura del diametro solare realizzata a san Pietro, fin'ora, è del 24 novembre 2021.

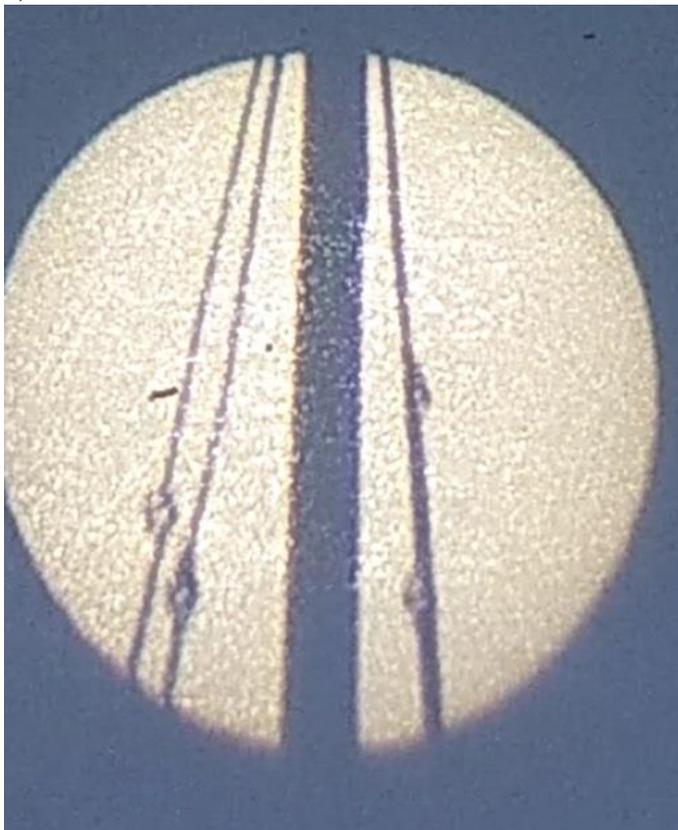


Fig. 5 Transit meridiano del 24 Novembre 2021, 14 piedi (466 cm) a Nord della stella del disco del Sagittario. L'asse verticale della croce è al centro del disco solare.

La durata di questo transito pari esattamente a $140 \text{ s} \pm 0.06 \text{ s}$ porta ad una misura del diametro solare pari a $1957'' \pm 3''$, più

grande del valore delle effemeridi che vale 1945" per lo stesso giorno. Questo "aumento artificiale" di diametro è dovuto all'inclinazione della croce rispetto alla verticale in modo che $1957/1945 = 1/\cos\beta$, da cui si deduce che $\beta=6.35^\circ$.

La disposizione asimmetrica dei tiranti della croce, evidente dalla figura 5, sembra suggerire che quelli di destra siano più tesi di quelli di sinistra.

Poiché il Sole si muove da destra-Est a sinistra-Ovest in proiezione, la croce pende da Est verso Ovest.

Un'altra prova della pendenza della croce sommitale viene dagli istanti dei transiti meridiani che ritardano sempre più man mano che la misura si prende proiettando il Sole dietro parti più alte della croce, sempre dallo stesso punto della meridiana. Si tratta di una misura complicata perché solo la croce è simmetrica rispetto al suo asse, mentre la stella tridimensionale, i quattro monti araldici e i relativi sostegni non sono otticamente simmetrici né hanno un asse ben definito rispetto alla meridiana, e la cuspide della piramide sommitale sopra l'obelisco non è simmetrica rispetto all'obelisco stesso, ma è più a Ovest di 1/32 della larghezza dell'obelisco stesso.

Nella figura 6 si vedono i finimenti dell'obelisco e i tiranti ripresi il 4 dicembre 2021 poco dopo il transito meridiano del Sole. La differenza di tempi, sempre in anticipo rispetto alle effemeridi, dei transiti misurati e di quelli calcolati, va da -28 s alla stella (pomello superiore) a -22.5 s centro della croce.

5.5 s 5 mm/s (velocità dell'ombra al suolo) danno 27.5 mm che su 1 m di altezza danno 1.6° di inclinazione. Altre misure servono ancora per calibrare bene lo strumento.



Fig. 6 I finimenti dell'obelisco a partire dalla cuspidale sommitale fino alla croce; le nubi filtrano il Sole a 4x digitali.

Il Sole è ripreso il 4 dicembre alle 12:04, dalla stella nera del disco marmoreo del Capricorno, ed è passato in meridiano alle 12:00 dove sta il disco giallo. Il disco rosso sottostante corrisponde alla posizione che avrà il 21 dicembre 2021, al solstizio, che veniva chiamato anticamente *Soltitium Brumalis*.

Misure al telescopio topografico

Il telescopio topografico quando è in bolla, cioè su un piano perfettamente orizzontale, può essere usato per fare misure di diametro solare sia al meridiano che fuori meridiano, sfruttando la conoscenza dell'angolo di inclinazione rispetto

all'orizzontale formato dal moto apparente del Sole.

I tempi di contatto del Sole con la linea di mira verticale del cannocchiale delle Officine Galileo di Firenze, usato per le misure all'ITIS Ferraris di Roma, danno la seguente tabella.

Angolo [°] parallattico	Durata transito [s]	Diametro ["]
17,0	148,0	1965,8
18,3	148,0	1951,6
18,9	149,5	1964,8
19,8	150,5	1967,1

Le misure sono state prese tra le 13:24 e le 13:41 del 3 dicembre, ben fuori meridiano. I tempi dei contatti con misure visuali al mezzo secondo di precisione. Nella tabella ho riportato le durate dei transiti. La misura del diametro solare risulta di $1962'' \pm 7''$ con le quattro misure ed escludendo la seconda $1965.9'' \pm 1.1''$.

Il telescopio topografico ha un diametro di 40 mm, e una risoluzione teorica di $2.5''$, ben rappresentata da queste deviazioni standard statistiche.

Le misure con il video consentono risoluzioni temporali migliori, e le misure alle 12:08 e 12:09 del 3 dicembre hanno portato a valori del diametro più prossimi al vero $1947''$.

Angolo [°] parallattico	Durata transito [s]	Diametro ["]
1,82	140,24	1947,1
1,82	140,81	1955,1
1,97	141,08	1958,6

Il limite di accuratezza di questa misura col video è dato anche dallo spessore della linea proiettata, pari a $15''$ nella foto 7, oltre dal contrasto luminoso ottenibile all'aperto, senza la camera oscura che si aveva nei circoli meridiani degli osservatori del Campidoglio (fig. 8) e del Collegio Romano.

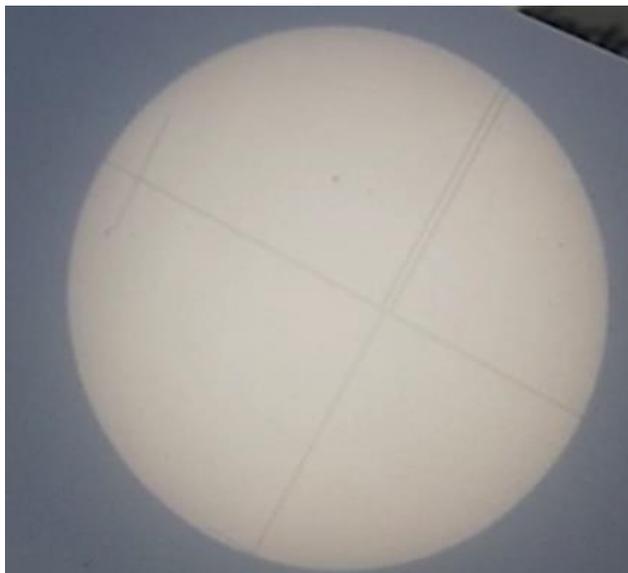


Fig. 7 Il Sole proiettato dal telescopio topografico delle Officine Galileo su uno schermo bianco il 3 dicembre 2021 alle 12:08:50.

Questa misura del diametro solare fuori meridiano mostra che il transito su una linea fiduciale tende ad essere sempre sovrastimato per lo spessore della linea stessa.

Il telescopio topografico è stato messo a livello, e comunque presenta valori del diametro solare sistematicamente superiori al valore delle effemeridi (1947" per il 3 dicembre) tanto che se si dovesse ammettere una differenza dalla verticalità dovrebbe essere pari ad $\arccos(1947/1953.6)$ oppure 1965.9 cioè 4.7° oppure 7.95° . Da questo esperimento si capisce che gli effetti ottici al contatto con le linee fiduciali "ingrossano" il diametro solare anticipano il contatto percepito e ritardano il distacco.

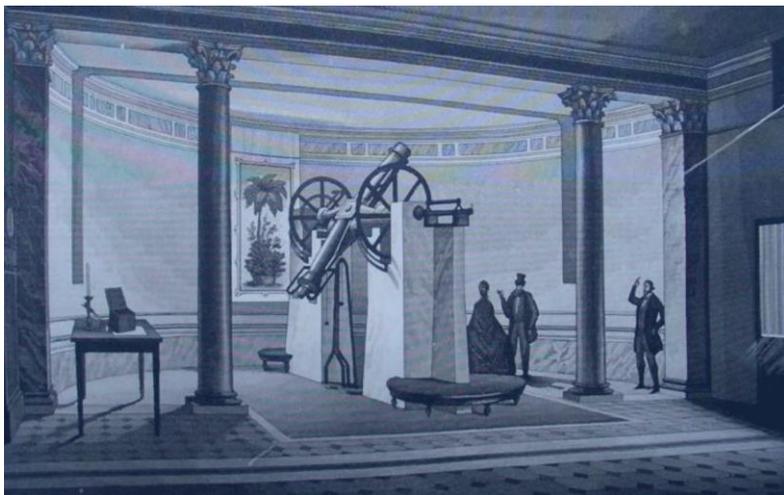


Fig. 8 La sala meridiana dell'Osservatorio del Campidoglio (1829-1937) purtroppo distrutto per ragioni estetiche.

Il telescopio topografico non è altro che un circolo meridiano in miniatura, e viene usato in questo modo all'aperto, dove il contrasto luminoso tra l'immagine proiettata e l'ambiente può non essere ideale.

Conclusioni La misura del diametro solare a san Pietro è influenzata sia dalla turbolenza atmosferica, sia dalla risoluzione angolare delle ottiche utilizzate (18 mm). Anche la verticalità della croce rispetto alla direzione Est-Ovest può essere causa dell'aumento del diametro calcolato dall'intervallo di tempo di transito. In questo modo le misure astronomiche per ritrovare gli ingressi nei segni zodiacali, con le medie tra i due tempi di contatto del Sole con la croce, si usano anche a fini astrofisici per monitorare il diametro solare.

Referenze: C. Sigismondi, XVI Marcel Grossmann Meeting 2021
<https://eratostene.vialattea.net/wpe/argomenti/sistemi-di-coordinate-astronomiche/trasformazione-di-coordinate/>
https://oberon.roma1.infn.it/lezioni/laboratorio_specialistico_a_strofisica/esperienze2014/Sigismondi-Heliometro.pdf (fig. 8)

Astronomia e fisica a san Pietro con i transiti meridiani

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted December 8th 2021, accepted Dec 10th

Abstract The meridian line of the Vatican obelisk completed in 1817 the project to emulate the Augustus' sundial described by Plinius: the latter built after the Julian reformation of the calendar, the former after the Gregorian one. The instrument is composed by the vertical gnomon (obelisk), slightly rotated of 20 mm with respect to the East-West axis, and the line, directed Northwards, with 2 mm accuracy over 83 m. The black stars of the marble zodiacal disks were aligned with the star over the obelisk and the Sun during the zodiacal ingresses (dates of 1815). The meridian passages of Sun and stars can be observed from all the line and the disks; the solar shadow is also measurable. A small telescope can be used to aim at the stars or to project the Sun from the line's axis onto a white screen or the white disk's marble. The uniform motion of the Sun across the sky is the model used for measuring its longitude by comparing the meridian passage of one of the four cardinal stars (Fomalhaut, Aldebaran, Regulus and Antares). The uniformly accelerated motion is found by fitting the positions of the Sun over the cross with a parabola, as seen from the Capricorn's black star. In the summer solstice, the profile of the shadow of the upper pyramid's base has been measured. On and beyond the meridian it is possible to measure the solar diameter by timing the passages of both solar limbs through the uppermost cross, operation replicable with a portable topographic telescope; the same spherical trigonometry used with the obelisk is applied.

Sommario La linea meridiana dell'obelisco Vaticano del 1817 completa il progetto di superare lo gnomone di Augusto descritto da Plinio: quello era stato costruito dopo la Riforma Giuliana del Calendario, questa dopo quella Gregoriana. Lo strumento è composto dallo gnomone verticale (obelisco, leggermente ruotato di 20 mm rispetto alla linea Est-Ovest) e una linea di granito che devia di 2 mm dal vero Nord su 83 m di lunghezza. Le stelle di marmo nero sui dischi sono allineate con la stella sopra l'obelisco e col Sole nei giorni di ingresso nei segni zodiacali (le date sono quelle del 1815). I passaggi meridiani del Sole e delle stelle possono essere visti da ogni punto della linea, e del Sole si può osservare anche l'ombra. Con un piccolo telescopio in asse con la linea si vedono meglio le stelle e la proiezione del Sole su uno schermo bianco consente precisioni al decimo di secondo. Il moto rettilineo uniforme è usato attorno al meridiano per determinarne l'istante e nel confronto col passaggio di Fomalhaut, Aldebaran, Regolo e Antares, le quattro stelle cardinali, per conoscere l'ingresso nei vari segni

zodiacali. La posizione del centro del Sole rispetto alla croce sommitale visto dalla stella nera del Capricorno e del bordo della piramide sommitale sul disco del Cancro vengono utilizzate per calcolare l'istante del solstizio con un fit parabolico. La parabola è normalmente usata per rappresentare il moto uniformemente accelerato, mentre qui è il risultato della proiezione di un moto circolare quasi uniforme sul piano meridiano. Le operazioni di cronometraggio dei passaggi meridiani e fuori meridiano del Sole sull'asse della croce sommitale si possono ripetere usando un telescopio topografico, con le stesse procedure della trigonometria sferica usate con l'obelisco.

Keywords: Spherical Astronomy, Zodiacal Signs, Ecliptic, Equator, Horizon, Fomalahut, Saint Peter's Obelisk and Meridian Line, Teodolite.

Introduzione: l'obelisco-meridiana da Augusto a Sisto V

Gli obelischi, come quello Vaticano, hanno quattromila anni e sono di granito di Assuan, una pietra durissima levigata a specchio. Erano dedicati al Sole, anche se la loro funzione gnomonica è attestata solo da Plinio per l'obelisco di Augusto, trasportato a Roma duemila anni fa in una nave riempita di lenticchie per attenuare ogni urto, ed eretto in Campo Marzio con una linea meridiana dove si poteva leggere la stagione dell'anno, il segno zodiacale in corso, ed i principali eventi meteorologici stagionali. Plinio nel 36° libro della *Naturalis Historia* dove presenta tutte le meraviglie artistiche del Mondo, descrive l'*Horologium Augusti*, cioè l'obelisco-gnomone e la sua linea meridiana, progettato dal matematico Facundo Novio, che aggiunse sulla punta una sfera *per catturare i raggi del Sole*. La sfera era presente anche sopra l'obelisco di Caligola al Circo Vaticano, che si conservò intatto fino al 1586, quando papa Sisto V, Felice Peretti, lo fece spostare al centro della *Platea Sancti Petri* (piazza san Pietro) dall'architetto Domenico Fontana. L'astronomo Egnazio Danti, vescovo e domenicano, che aveva lavorato col padre Cristoforo Clavio alla riforma Gregoriana del Calendario, progettò la linea meridiana, i dischi zodiacali e la rosa dei venti. Questo progetto, per la

morte prematura del Danti a 50 anni (22 ottobre 1586, solo 40 giorni dopo lo spostamento dell'obelisco) fu completato soltanto nel 1817 con i soldi del Cardinale Pietro Maccarani, allora capo della Fabbrica di San Pietro, e dall'astronomo sacerdote Filippo Luigi Gigli (1769-1821). Di fatto questo obelisco-gnomone era ed è ancora il più alto del Mondo, superando anche quello di Augusto. Sisto V pensò in grande.

Lo strumento: Obelisco-Gnomone e linea meridiana

Per calibrare questo strumento gigantesco con il Sole sono necessari almeno sei mesi, da giugno a dicembre, così che la sua ombra copra gradualmente tutti i punti della linea meridiana. Abbiamo usato anche un piccolo telescopio rifrattore 7x18 mm collocato sull'asse della meridiana per proiettare il Sole sul marmo bianco dei sette dischi zodiacali, oppure su uno schermo bianco mobile lungo tutta la linea.

Rotazione dell'obelisco durante i giorni del solstizio estivo è stata usata l'ombra della base della piramide sommitale, che è la parte più alta visibile dal disco del Cancro, e si è verificato che l'ombra prima di essere tagliata in due dalla linea è più corta di 20 mm dell'ombra dopo il taglio. Significa che la parte dell'obelisco che guarda la Basilica di san Pietro è più vicina alla linea meridiana rispetto a quella opposta. L'obelisco è ruotato da Ovest verso Nord di 20 mm.

La base del monolito è di circa 4 metri, per cui 20 mm corrispondono ad una rotazione di 17'. Questa differenza dai veri punti cardinali è la stessa che fu trovata all'Isola di Hven nell'osservatorio di Uraniborg fatto da Tycho Brahe proprio in quegli anni. Tycho è stato il maggiore astronomo del suo tempo, e in Vaticano Egnazio Danti non era da meno.

Deviazione dalla Verticale dell'obelisco e dei finimenti

Domenico Fontana, ticinese, descrive nel suo libro in italiano del 1590, le procedure per trasportare l'obelisco, e le misure (in

palmi romani) del monolito e dei *finimenti* sopra la piramide sommitale, e cioè i quattro monti araldici, la stella tridimensionale e la croce.

Noi abbiamo verificato che croce e *finimenti* non sono in asse col monolito, ma il loro asse è leggermente spostato verso Ovest, così da ritardare l'istante in cui il Sole è "tagliato in due" rispetto a quello in cui il Sole è dietro l'asse dell'obelisco. Infatti il Sole ci appare muoversi da Est verso Ovest (moto diurno) e quindi il ritardo corrisponde a qualcosa che sta più ad Ovest. Pur essendo diversi gli assi di simmetria del monolito e quello dei *finimenti* superiori, né l'obelisco né questi ultimi deviano dalla loro verticale in modo apprezzabile.

La croce sommitale è soggetta a oscillazioni di un centimetro quando soffiano forti venti, come è stato osservato il 14 X 2021. Rotazione e verticalità sono da attribuirsi alla tecnologia del 1586 e alle conoscenze astronomiche dell'epoca.

Deviazione dal Nord celeste della linea meridiana

La linea è stata realizzata nel 1817, 230 anni dopo l'erezione dell'obelisco. Passa in mezzo alla fontana Nord della piazza, restaurata da Paolo V nel 1620, e subito dopo "accoglie" l'ombra sommitale durante l'ingresso nel Sagittario, proprio sul disco largo 62 cm, per poi riprenderla 4 metri più a Nord verso il Capricorno. La presenza della fontana non ha interrotto l'allineamento col Nord della linea che si mantiene in asse con il disco della Vergine entro due millimetri su 60 metri fino al Capricorno. La meridiana di santa Maria degli Angeli a Roma del 1702 ha una deviazione di 70 mm su 45 m: le tecniche astronomiche in 115 anni avevano raggiunto una migliore precisione, che in Vaticano fu raggiunta. La meridiana in piazza san Pietro ha svelato durante la sua calibrazione con il Sole e le stelle, Antares per il Capricorno e Ras Alhague per la Vergine, la sua insospettabile precisione.

Osservazioni astronomiche con riprese video e a occhio

Video Oltre al corpo celeste visibile, serve anche il tempo dell'osservazione, che noi abbiamo incluso nei video mediante la ripresa dell'orologio radio-sincronizzato, così da raggiungere una accuratezza assoluta (rispetto al fuso orario dell'Europa Centrale dell'orologio atomico) di 3 centesimi di secondo, $1/30$ s o trenta fotogrammi per secondo del video.

Ombra Il video è stato usato sia per la proiezione del Sole sullo schermo bianco sia per la proiezione della sua ombra sul selciato della piazza (prime osservazioni Estate 2020 e 2021 e precedenti fino al 2006-2009, con riprese spalle all'obelisco).

Ghost Image Anche delle riprese dirette del Sole quando le nubi a velo impedivano la proiezione sono state utili per le misure, sfruttando la *ghost image* che risultava bene a fuoco e non satura, mentre l'immagine diretta è sempre satura e non si può vedere il disco del Sole, ma solo un ampio alone.

Occhio nudo l'osservazione diretta talvolta è l'unica risorsa possibile, sia per il tempo (con l'orologio) sia per la posizione. Per le stelle i transiti sono stati osservati tutti col registratore audio acceso per sincronizzare l'evento con il segnale orario dell'orologio o delle campane. L'occhio consente precisioni di mezzo secondo nelle determinazioni temporali, se si guarda subito lo schermo dell'orologio. **Le stelle** vengono osservate meglio riflesse da uno *specchietto* posto sul centro della linea meridiana o della stella nera sul disco zodiacale. Lo specchietto ci evita contorsioni per osservare con un treppiedi minimale, e consente di limitare l'errore di parallasse entro qualche millimetro. Queste operazioni durano alcuni minuti e non devono destare sospetti nella piazza più controllata al Mondo per motivi facilmente intuibili. Il telescopio usato può stare nel palmo della mano per le stesse ragioni, oltre che se fosse più grande fonderebbe internamente col Sole meridiano.

Abbigliamento e attività fisiche alla culminazione meridiana

La culminazione del Sole avviene al meridiano esattamente solo ai solstizi, mentre anticipa di 20 secondi l'istante del transito attorno all'equinozio d'autunno e lo ritarda a primavera. Questo perché a Primavera il Sole si sta alzando sull'equatore celeste, e benché il "moto diurno" per le stelle fisse abbia il suo culmine proprio a Sud, il Sole non è fisso e continua a salire così che la combinazione moto orbitale e moto diurno culminano fino a 20 secondi dopo. Simmetrica la situazione autunnale, 20 secondi prima, perché il Sole "scende a Sud" nell'emisfero australe. Col Sole più alto sull'orizzonte la sua radiazione è la più intensa di tutto il dì. È vero che l'ora più calda è nel pomeriggio, ma questo avviene per l'inerzia termica dell'ambiente (atmosfera più ciò che sta sulla superficie terrestre), tuttavia il Sole scotta di più proprio al mezzodì. D'estate la temperatura dei sanpietrini arriva a 50°C-60°C e bruciano. Meglio avere una ginocchiera o un cuscinetto per assumere posizioni accuciate. D'inverno le temperature sono più basse, ma il calore può rendere disagiata lavorare accuciatati troppo coperti. In tutti i casi per questa attività meridiana sarebbe opportuno vestire l'essenziale per il decoro del luogo e per evitare copiose sudate. Quanto alla posizione del corpo prevalentemente *accuciata è una posizione molto faticosa* da mantenere e normalmente sono da prevedersi *20 minuti* in questa posizione per ogni osservazione. La posizione su **un solo ginocchio ad arciera** è più stabile di quella *a squat* perché ogni tremolio potrebbe essere registrato nei video. Anche la posizione *a fiore di loto* o quella con *entrambe le ginocchia piegate* richiede l'elasticità delle ginocchia che solo la gioventù si può permettere, se non deve poggiare su pietre arroventate o... gelate (di notte per osservazioni stellari, dove l'abbigliamento deve essere consono) o bagnate dalla pioggia.

Modelli tolemaici per calcolare la longitudine del Sole

Si può assumere sicuramente, da un giorno all'altro, che il Sole si muova di moto rettilineo uniforme tra le stelle. Usando l'orologio radiosincronizzato, a piazza san Pietro, possiamo determinare entro qualche decimo di secondo il passaggio meridiano del Sole e quello di una delle stelle più luminose, come le quattro stelle cardinali Fomalhaut, Aldebaran, Regolo e Antares. Queste, essendo "stelle fisse", servono a localizzare i quattro punti corrispondenti agli equinozi e ai solstizi, cioè i punti dove l'orbita del Sole interseca l'equatore celeste (equinozi) e dove se ne discosta maggiormente (solstizi). Oltre a questi quattro punti, si localizzano anche tutti i dodici punti dei dodici settori uguali dell'eclittica (orbita del Sole, dove solo -per l'appunto- possono capitare le eclissi) chiamati segni zodiacali, perché anticamente erano associati a costellazioni che rappresentavano esseri viventi (*zoon* in greco). Fa eccezione la Bilancia, che però era la parte finale delle chele dello Scorpione. Dal tempo di passaggio della stella fissa e quello del Sole si ricava la differenza di coordinate tra Sole e stella, e quindi la coordinata eclittica del Sole.

Velocità costante in orizzontale per il Sole meridiano

Nei 20 minuti a cavallo del transito meridiano il Sole compie un arco che si scosta molto poco dalla linea orizzontale. Può essere usata l'approssimazione di velocità uniforme per ricavare l'istante del passaggio e altezza costante per stimare la posizione del Sole al meridiano.

La parabola dei solstizi e il moto accelerato in declinazione

La posizione meridiana del Sole è il risultato della proiezione di un moto circolare quasi uniforme lungo l'eclittica sul piano meridiano. La parabola raccorda bene queste posizioni e consente di stimare, con la posizione del vertice, l'istante del solstizio con una buona approssimazione (qualche ora).

Misure fuori meridiano e col telescopio topografico

Tutte le operazioni fatte con l'obelisco possono essere ripetute in un contesto più ordinario, con un telescopio topografico o teodolite. L'obelisco viene sostituito dalla linea verticale del mirino, la verticalità dalla procedura di messa in bolla, la proiezione viene effettuata su uno schermo bianco, e la confocalità della Croce sull'obelisco e del Sole dalla possibilità di mettere a fuoco sia il Sole che la croce, data dal telescopio topografico delle Officine Galileo di Firenze.



Fig. 1 Teodolite delle Officine Galileo di Firenze. Sullo schermo abbiamo ottenuto un'immagine di 7 cm di diametro a fuoco. Il diametro solare il 7 XII angolare è risultato $1950'' \pm 5''$ a fronte di $1948.15''$ da effemeridi. Tutte le misure sono state fuori meridiano.

Esempi di osservazioni

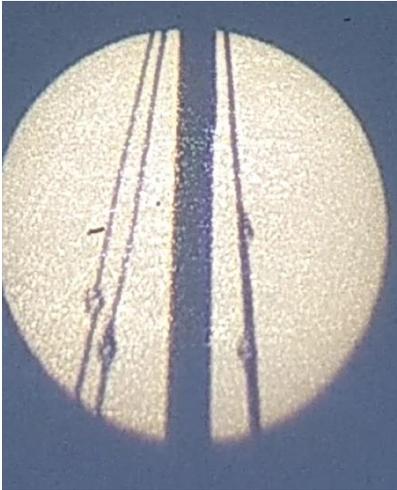


Fig. 2 Passaggio meridiano del 24 novembre 2021 a san Pietro. Il diametro angolare del Sole è risultato di $1957'' \pm 3''$ a fronte di $1944.76''$ da effemeridi. Il telescopio usato è 7x18 mm. La proiezione su cartoncino è fatta dalla stella nera del Sagittario, si vedono i tiranti della croce e l'Ovest è a sinistra, il bordo Sud è sfocato

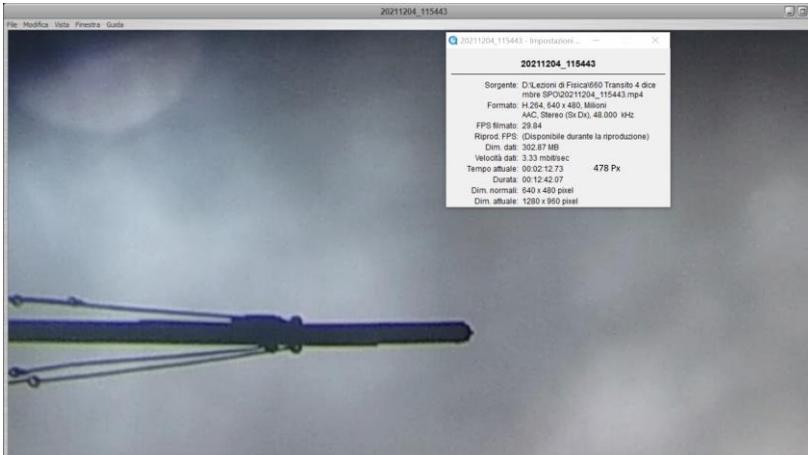


Fig. 3 il Sole (in alto, prima del meridiano) e la croce in basso ripresi il 4 dicembre 2021 11 piedi a Sud della stella nera del disco del Capricorno, con il telescopio 10x42 in visione diretta. Con tre immagini così (velocità costante) ho ottenuto l'istante del transito alle 12:00:05.3 in anticipo di 19.7s sulle effemeridi. La luminosità del Sole non consente riprese così senza nubi.

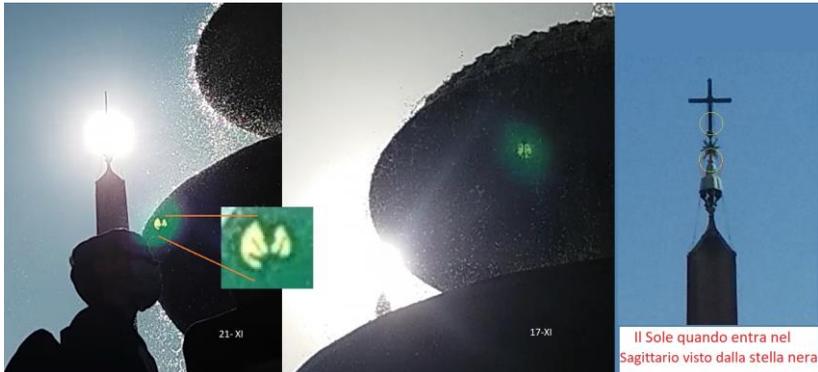


Fig. 4 *Ghost images* del Sole (verdi) e immagini dirette il 21 e il 17 novembre (al centro) 2021. Hanno permesso di misurare i transiti meridiani anche senza la proiezione del Sole a terra. La *ghost image* risulta rovesciata e si vede bene su sfondo scuro. Poiché è dovuta a riflessioni interne la sua luce è più debole della luce diretta del Sole e del suo alone, che invece saturano completamente la camera. La *ghost image* pur appearing lontana dal Sole, opposta al centro ottico della telecamera, fornisce la posizione esatta del disco solare rispetto ai *finimenti* dietro cui sta il Sole, con precisione.

Problem solving e pensiero non convenzionale

Quando si realizza un esperimento, se questo è ripetibile viene naturale cercare di migliorare tutte le condizioni di acquisizione dati, se invece non è ripetibile si cercano i modi migliori per ricavare dati utili dalle osservazioni fatte. Quindi abbiamo due direzioni di miglioramento: l'osservazione e l'analisi dei dati e col tempo si sviluppano entrambe.

Uno degli stimoli maggiori, per me, ad osservare questi transiti meridiani è proprio quello di migliorare le osservazioni, la loro analisi, e quindi la conoscenza su questo strumento unico al Mondo. A seconda delle condizioni meteo ho dovuto cambiare anche all'ultimo momento la tecnica osservativa, e ne ho inventate tante di nuove. Quando scrissi il

libro Meridiani e Longitudini a Roma (2006, Rivista Semestrale di Studi di Geografia alla Sapienza) aggiungendo il capitolo sulla meridiana di san Pietro considerai una sola osservazione invernale il 5 febbraio 2005, ritenendo la linea centrata nell'asse dell'obelisco. Poi osservai ancora il 24 dicembre 2008 l'anticipo di circa 20 secondi del passaggio dell'ombra sulla meridiana, che però è penombra per la grande distanza 92 m della croce (spessa solo 9 cm) dal disco del Capricorno. Infatti vale la **Regola del centesimo** ossia che la sfumatura dell'ombra del Sole è 1/100 della distanza dell'ostacolo che la produce. A 92 m la sfumatura, che è pari al diametro del Sole proiettato da un foro stenopeico alla stessa distanza, vale 92 cm, quindi un ostacolo di soli 9 cm non può gettare un'ombra, ma solo una lieve penombra. **La penombra** è la zona da cui il Sole è solo parzialmente occultato, e a 92 metri servirebbe un oggetto largo almeno 92 cm per occultare il disco solare totalmente.

A parte osservazioni saltuarie, la ripresa delle misure a piazza san Pietro è stata nell'estate del 2020 dal 9 giugno al 3 luglio. Ci furono giorni in cui la sabbia del deserto impediva di vedere un'ombra netta dell'obelisco, pur essendo il cielo sgombro di nubi. Lo scopo di questa nuova serie di misure era di verificare il solstizio e trovare il punto che lo caratterizzava, raggiunto dall'ombra dell'obelisco sul disco di marmo.

Anche il disco del Leone fu oggetto delle stesse misure, senza arrivare ad una conclusione ben chiara, poiché i *finimenti* superiori non si vedono allo stesso modo dai vari dischi zodiacali. Nel 2021 dal 17 giugno ho ripreso le osservazioni dell'ombra e della penombra, e gradualmente è nata l'idea di usare una lente per proiettare il Sole e poi il telescopietto 7x18 mm. Dal 21 luglio ho iniziato anche le osservazioni di notte con Antares, che hanno permesso di calibrare il Capricorno in piena estate. A fine 2021 ho sviluppato una decina di tecniche.



Fig. 5 I *finimenti* dell'obelisco visti da sei posizioni diverse sulla linea meridiana, da 11 fino a 70 metri dall'asse dell'obelisco.

Occhiali da Sole e cappello con visiera anche a Natale

La forte luce meridiana ha anche la maggior percentuale di raggi UV di tutta la giornata. Gli occhiali da Sole proteggono la vista dai riflessi abbaglianti, mentre il cappello con visiera para i raggi diretti (che gli occhiali non possono eliminare).

Una partitella a pallavolo in mare, di neanche un'ora, il 27 luglio 2000 alle 13 a Terracina, e sono stato vittima del "chiodo solare": onvulsioni, febbre e freddo durante la notte. Pensavo che schizzi d'acqua mi avrebbero protetto dall'insolazione, e invece no. Da allora mai più senza il cappello: col Sole non si scherza, specie quando è alto. Per simmetria col solstizio, fine luglio è uguale a inizio maggio, ed estenderei tranquillamente il pericolo di insolazioni a tutto il semestre boreale (dal 21 marzo al 23 settembre) trattandosi di osservazioni meridiane, col Sole alla massima altezza giornaliera. Soggetti con pelle bianca e capelli rossi devono stare ancora più attenti.

Attrezzature per le osservazioni

Orologio radiosincronizzato, oppure di cui si conosce bene il drift usando il segnale orario della radio. Un metro. I propri piedi, la cui lunghezza è da calibrare con le scarpe: 10 piedi consecutivi = tot metri. Videocamera, va bene anche quella dei telefonini, e uno stativo (piccolo treppiede o cavalletto di plastica) per poterla mantenere ferma.

Rotelle metriche e Laser non sono consigliabili, mentre l'uso dei piedi per la misura può essere molto preciso fino a 2 parti su 1000, come abbiamo verificato misurando il raggio del colonnato con tre colonne differenti.

Strumenti analoghi a Roma

La meridiana di **S. Maria degli Angeli** è lunga 45 metri e il foro gnomonico è a 20 metri d'altezza. È una meridiana a camera oscura, che produce un'immagine stenopeica che attraversa la linea in punti diversi da un giorno all'altro. È del 1702 e devia dal Nord di 70 mm, ossia 4.5' verso Est. Generalmente il transito si può osservare tranne quando capita davanti all'altare maggiore e durante le celebrazioni liturgiche. La meridiana di **Montecitorio** restaurata nel 1998 fu realizzata nel 1792 da Giovanni Antinori per volontà di papa Pio VI Braschi, dopo aver restaurato l'obelisco di Augusto. L'ho usata dall'8 al 13 agosto 2006, ma la sorveglianza della Camera dei Deputati sconsiglia l'uso di qualsiasi strumento eccetto l'occhio e l'orologio, né è sempre garantito l'accesso alla piazza. Solo alla meridiana di san Pietro, e non per tutto il corso dell'anno, si possono fare osservazioni di giorno e di notte prima delle 23, ora in cui la piazza è chiusa al pubblico.

Effemeridi di riferimento Il programma Stellarium 0.20.2 del 2020, e le versioni successive, è stato verificato affidabile al secondo d'arco con la meridiana di s. Maria degli Angeli, e con altre effemeridi online (NASA Horizons, IMCCE, calsky).

Equazioni per la meccanica celeste *L'ingresso nei segni zodiacali* viene calcolato per confronto tra il transito meridiano del Sole in due giorni vicini e quello di una stella di riferimento. *La declinazione dei segni zodiacali* si ricava da un'equazione di trigonometria sferica molto semplice e serve per calcolare le posizioni dei dischi zodiacali se la meridiana fosse in piano. Quella di piazza san Pietro non è in piano, poiché la piazza ha un rigonfiamento centrale in corrispondenza dell'obelisco e poi un anello più basso corrispondente con i 72 piloni, e poi un nuovo punto più basso alle fontane e poi risale verso il colonnato. Per la misura del *diametro solare* vale l'equazione $\varnothing = 15'' \cdot \cos\delta \cdot \cos\beta \cdot \Delta t$ dove δ è la declinazione del Sole al momento del transito sull'asse della croce, β è l'angolo "parallattico" o di inclinazione della traiettoria istantanea del Sole rispetto all'orizzonte (calcolato da Stellarium) e Δt è la durata del transito rispetto alla croce o alla linea verticale del telescopio topografico.

Altri strumenti e metodi per il diametro del Sole

L'astrolabio di Danjon è l'evoluzione massima del teodolite, ottenendo con un prisma ad angolo prefissato e con un bagno di mercurio il piano orizzontale riflettente, il transito Sole attraverso un almucantarato (cerchio celeste di altezza fissata).

Il limite di questi strumenti è stato quello del filtro solare in vetro che non avendo le facce esattamente parallele ha determinato effetti sistematici diversi per ogni strumento (a Calern, a Rio de Janeiro, a Sao Paulo, a San Fernando e a Tubitak). A questi astrolabi solari fu associata una telecamera.

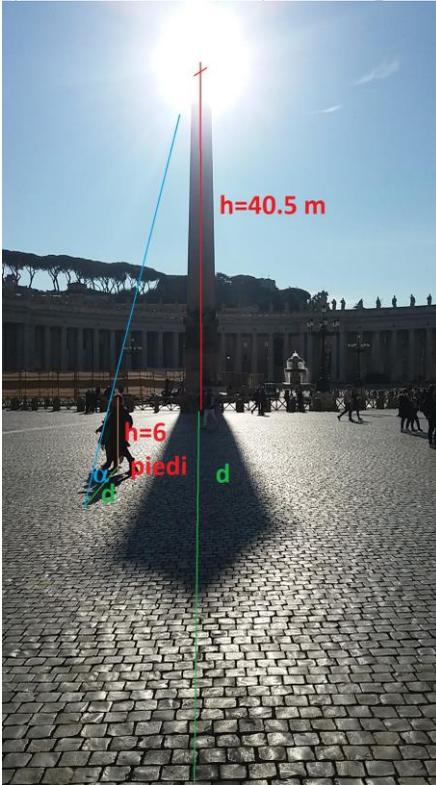
Il circolo meridiano un telescopio meridiano che ogni osservatorio aveva, in particolare Greenwich col 6" di Airy e il Campidoglio con un 11 cm (4.5 "). Le osservazioni vennero fatte ad occhio nudo tra il 1877 e il 1937 e una variabilità personale e stagionale di 1" fu riscontrata nel diametro solare.

L'Heliometro a riflessione di Rio de Janeiro, operativo dal 2010 al 2020, sfrutta lo schema Newton il cui specchio è tagliato lungo un diametro e le due parti inclinate di circa $\frac{1}{2}$ grado. Il filtro solare è stato cambiato in mylar per evitare il problema che aveva l'astrolabio. Può osservare il Sole in qualunque momento del dì, come l'*Eliometro di Fraunhofer* in cui la lente obbiettiva è tagliata in due lungo il diametro e dislocata di una distanza variabile e regolabile. Nell'*Eliometro prismatico* di Göttingen usato da Auwers nel 1891 per determinare il diametro standard del Sole, 1919.26" ad una unità astronomica, davanti alla lente obbiettiva è posto un prisma di circa $\frac{1}{2}$ grado di apertura, le due immagini del Sole arrivano quasi a toccarsi al perielio, mentre la loro separazione è massima all'afelio.

Il telescopio di Yale e della NASA *Solar Disk Sextant* a bordo di un pallone stratosferico ha operato tra il 1995 e il 2011 sfruttando lo stesso principio di Göttingen, da un'atmosfera a 3 mb estremamente rarefatta a 37 km di quota per evitare tutta la turbolenza atmosferica. Anche i telescopi di *SOHO* ed *SDO* che osservano il Sole dallo spazio sono stati usati per misurare il diametro solare durante i transiti planetari di Mercurio e Venere, e nelle stesse occasioni anche a Terra sono state condotte osservazioni analoghe. I corpi celesti che passano davanti al Sole (Mercurio, Venere e Luna) si allineano con il bordo solare sia esternamente che internamente senza essere influenzati dalla turbolenza atmosferica e questo rende interessanti questi *transiti ed eclissi per l'astrometria solare*.

L'oscuramento al bordo del Sole rende più complicato usare i dati di transiti ed eclissi per il fenomeno della goccia nera, già scoperto dal Capitano Cook a Tahiti durante il transito di Venere del 1769. Questo fenomeno dipende dall'ottica e si può eliminare solo con un'opportuna analisi dati (estrapolazione). Nelle eclissi solari *i grani di Baily* aumentano i punti misurabili.

Tangente e segni zodiacali preso un triangolo rettangolo, l'obelisco è il cateto verticale alto h e la meridiana lunga d quello orizzontale; il rapporto $h/d=\tan\alpha$, con α altezza angolare del Sole al meridiano. Se usiamo i nostri piedi come unità di misura della lunghezza, e la nostra altezza come gnomone vale la seguente equazione $6/d=\tan\alpha$.



Il rapporto tra altezza dello gnomone e lunghezza dell'ombra, nello stesso istante, è identico. Sulla piazza i sampietrini sono una unità di misura naturale, circa 10 cm di lato, e si può vedere da un giorno all'altro come l'ombra meridiana varia di lunghezza.

I segni zodiacali corrispondono a settori di 30° nell'orbita annuale del Sole, che è immaginata circolare. Risulta che il Sole la percorre a velocità variabile (per le leggi di Keplero) e quindi i vari segni hanno durate diverse.

Fig. 6 L'ombra dell'obelisco e di un uomo in proporzione.

Conoscendo $\varepsilon=23^\circ26'$ obliquità dell'orbita solare rispetto all'equatore celeste (inclinazione dell'asse terrestre) vale l'equazione $\text{sen}\delta=\text{sen}\lambda\cdot\text{sen}\varepsilon$ che dà la declinazione δ per ogni longitudine eclittica λ . I segni iniziano ad intervalli di 30° da 0° l'equinozio di primavera, Ariete. L'altezza $\alpha=48.1^\circ+\delta$ per Roma.

Seno e coseno sono le altre due funzioni trigonometriche che servono, insieme alle loro inverse, per i nostri calcoli angolari. Nel triangolo rettangolo il seno di un angolo è il rapporto tra cateto opposto e ipotenusa, mentre il coseno è il rapporto tra cateto adiacente all'angolo stesso e ipotenusa. La tangente è il rapporto tra cateto opposto e cateto adiacente, ossia $\tan\alpha = \sin\alpha / \cos\alpha$. Troviamo queste funzioni anche nelle formule del diametro solare, dove se il Sole non attraversa una linea perpendicolare alla sua direzione, il tempo va moltiplicato per $\cos\beta$, che è l'angolo che la sua traiettoria forma con l'orizzontale. Quando il Sole attraversa l'orizzonte del mare, che è una linea orizzontale per definizione, allora il tempo di attraversamento (*durata del tramonto*) va moltiplicato per $\sin\beta$. Anche questo è un metodo di misura del diametro solare, dove le incertezze vengono dai miraggi che avvengono quando la temperatura del mare e quella dell'aria sono molto diverse; 205.58 s durò il tramonto in fig.7.



Fig. 7 Il Sole al Pontile di Ostia il 23 dicembre 2019 ore 16:41.

Esercizi con i dati osservativi

1. Calcolare 4 diametri solari dai passaggi del Sole sulla linea verticale del teodolite il giorno 7 dicembre 2021 dai contatti:

t1	10:58:50	11:08:33	11:13:00	13:25:38
t2	11:01:14	11:10:54.5	11:15:20	13:28:05.5

Usare la formula $\varnothing = 15'' \cdot \Delta t[s] \cdot \cos\beta \cdot \sin\delta$

E ricavare β e δ da Stellarium 0.20 o superiore, per l'istante mediano di ogni passaggio, ossia $(t1+t2)/2$. $\Delta t[s]=t2-t1$.

Fissare per Stellarium la posizione corrispondente a via Fonteiana 111, Roma, che è il luogo di queste 4 misure visuali. Confrontare questi valori con quelli calcolati da Stellarium, e valutare la precisione di queste misure.

2. Calcolare il diametro solare dalla durata del tramonto del 23 dicembre 2019 al Pontile di Ostia usando quella posizione e la durata di 205.68 s, ricavata dal video; confrontare con le effemeridi di Stellarium e valutare la precisione di questa misura. Usare la formula: $\varnothing = 15'' \cdot \Delta t[s] \cdot \sin\beta \cdot \sin\delta$

3. Calcolare la lunghezza d dell'ombra, se la propria altezza è 6 piedi, quando il Sole è alto $\alpha=71.3^\circ$, 48.1° e 24.7° sopra l'orizzonte, cioè al solstizio estivo agli equinozi e al solstizio invernale, sempre a Roma. Formula $6/d = \tan\alpha$, anche dati dal 5.

4. La profondità di fuoco di un sistema ottico (telescopio)

Con una macchina fotografica la messa a fuoco all'infinito d_∞ va bene per tutti gli oggetti che sono oltre circa 10 o 20 m di distanza dall'obbiettivo. Con il telescopio 7x18 mm si verifica che questa distanza aumenta a circa 100 m. Ciò permette di vedere a fuoco sia la croce sommitale dell'obelisco sia il Sole. Qual è la relazione tra lunghezza focale del telescopio e d_∞ ?

5. Calcolare le altezze meridiane del Sole all'inizio dei segni zodiacali invertendo l'equazione $\sin\delta = \sin\lambda \cdot \sin\varepsilon$ con $\lambda=0^\circ$, 30° , 60° , 90° ... fino a 330° ed $\varepsilon=23.42^\circ$, e aggiungendo a δ , con il suo segno, 48.1° , l'altezza dell'equatore celeste a Roma.

Solstizio invernale 2021 da analisi differenziali di transiti meridiani all'obelisco Vaticano

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted December 29th 2021, accepted Jan 5th 2022

Abstract We used the meridian line of the Vatican obelisk differentially, from the Capricorn's marble disk, to measure the winter solstice's instant.

The whole experiment held during December 2021 is described. The equation of time is also measured.

Sommario La linea meridiana dell'obelisco Vaticano viene usata in modo differenziale per misurare il solstizio invernale 2021, durante il mese di Dicembre. L'intero esperimento è descritto nelle sue varie fasi didattiche e realizzative. Anche l'equazione del tempo è stata misurata.

Keywords: Saint Peter's Obelisk and Meridian Line, Videotiming, Image and video analysis; Equation of Time, Altitude.

Introduzione: Le osservazioni dell'altezza meridiana del Sole servono a studiare l'ingresso delle stagioni e l'obliquità dell'asse terrestre sul piano dell'orbita. Per farle in modo utile sulla meridiana di piazza san Pietro o si misura la lunghezza dell'ombra dell'obelisco o si filma il Sole che vi passa dietro, sempre dallo stesso punto. In questo secondo caso facciamo **misure differenziali**, rispetto allo stesso punto. Occorrono:

- 1) metodi per ottenere filmati stabili lunghi anche 20 minuti (time lapse) anche sul moto delle nuvole
- 2) metodi per controllare il puntamento della telecamera
- 3) scelta dei settings automatici o manuali della telecamera
- 4) conoscere il significato della saturazione dell'immagine e come si vede (col Sole e con molto del suo alone capita sempre, in quella zona il video è bianco, e non è più bianco dove fisicamente sta il Sole, ma è bianco allo stesso modo ovunque è saturo, quindi, spesso, sembra un Sole gigantesco)
- 5) individuare situazioni simmetriche prima e dopo il transito e prima e dopo il solstizio da confrontare tra loro

- 6) sapere che il transito meridiano avviene dietro l'obelisco, quindi può essere invisibile
- 7) saper fare la media tra un tempo prima ed un tempo dopo e ottenere l'istante del transito
- 8) sincronizzare il video con UTC mediante la ripresa dell'orologio al quarzo radio-sincronizzato
- 9) saper fare un esempio di questa sincronizzazione con numeri semplici
- 10) conoscere la differenza tra mezzogiorno astronomico e mezzogiorno del nostro fuso orario

Tramite questo esperimento richiamiamo i concetti sulla misura e le strategie per ottenerla più precisa possibile.

In particolare stiamo misurando tramite immagini gli istanti di TEMPO di un dato fenomeno astronomico, la POSIZIONE misurata in termini di unità di diametro solare e la VELOCITÀ angolare come grandezza derivata dalle prime due.

Transito meridiano di 9 e 11 dicembre a san Pietro L'11 dicembre il cielo era nuvoloso e il Sole è apparso dietro le nubi, senza mostrare il suo disco netto, ma solo una forte luminosità quando le nubi hanno lasciato trapelare la sua luce, ciò è accaduto proprio nei minuti a cavallo del meridiano. L'osservazione è stata condotta con RIPRESA DIRETTA del Sole perché la proiezione sullo schermo bianco non si vedeva.

Il video è preso dal centro della stella nera del disco marmoreo del Capricorno, che è stato il punto esatto di osservazione di tutti i transiti compresi tra il 4 e il 30 dicembre 2021.¹

Il disco solare appare poco più grande della stella sopra

¹ video accelerato (1 minuto) del transito dell'11 dicembre 2021
<https://drive.google.com/file/d/11N5U1zZJqq5DPBMuW-G8gSCyLIg5ZrCW/view?usp=sharing>

l'obelisco, che è poco sotto la posizione del 21 dicembre al solstizio invernale. L'11 dicembre è passato più in alto, sulla croce, di cui vediamo solo l'asse verticale perché il braccio orizzontale si vede guardando la Basilica da Est verso Ovest, mentre noi osserviamo dalla meridiana, cioè dall'asse Nord-Sud. Analizzando il video con quicktime 7.1 ai singoli fotogrammi si può associare l'istante di tempo con 1/30 s di precisione; la posizione del centro del Sole **negli 11 minuti a cavallo del meridiano si mantiene ad altezza costante**. Perciò anche dalle foto vicine al meridiano del 4 dicembre² si nota che il Sole è più alto e mosso in parallelo all'orizzonte, il suo disco intercetta solo la parte più alta della croce sommitale.

Anche nel video del 9 dicembre³ il fotogramma ottenuto in proiezione su cartone bianco, perché in quel momento il Sole splendeva tra le nubi, mostra la parte sommitale della croce, con i tiranti.

Esercizio: estrarre i fotogrammi con cui valutare, rispetto alla croce, la "discesa" del Sole al solstizio invernale, visto al meridiano di piazza san Pietro, dalla stella del Capricorno.

Suggerimento: Misurare le distanze e la dimensione della croce in pixel, ad esempio il centro del Sole sta 100 pixel sotto la sommità della croce, e la croce è larga 10 pixel---> il Sole sta $100/10=10$ spessori della croce sotto la sua sommità. Questo si può fare perché la croce e il Sole mantengono le stesse

²https://drive.google.com/file/d/1IEsyEOdNbAtIAS0GC2fknSmgnTkIz_Hm/view?usp=sharing

³<https://drive.google.com/file/d/1B0gjDcfK8Z0QBWSmuh6AAjJjdU8Kh7UH/view?usp=sharing> e anche <https://drive.google.com/file/d/1Fg9q-3LdCuhC0l5n1aNA4wSLQ3iXuAIy/view?usp=sharing>

dimensioni angolari viste dalla stella del Capricorno, quindi la croce ed il suo spessore laterale sono riferimenti adatti per misurare la posizione meridiana del Sole e le sue variazioni.

Esperimento sulla misura dell'equazione del tempo e del solstizio d'inverno

Quattro immagini del Sole sono state proiettate dallo stesso punto della meridiana: la stella nera del disco del Capricorno, con lo stesso cannocchiale 7x18mm sullo stesso treppiede, posto sullo stesso punto (entro 1 mm di accuratezza).

L'asse dell'ellissi solare è inclinato a destra o a sinistra, ciò dipende dalla posizione della telecamera.

Ho misurato la posizione del bordo superiore del Sole "p" in pixel, rispetto a dove si incrociano i tiranti esterni, con Paint.

Misurando il diametro "d" dell'asse maggiore dell'ellissi (quello lungo l'asse della croce) in pixel, divido p/d. Questa distanza aumenta ogni giorno fino a raggiungere il suo massimo il giorno del solstizio invernale, e poi torna a diminuire.⁴

L'equazione del tempo invece si vede dagli orari misurati del transito meridiano. Gli istanti si spostano in avanti della quantità di secondi di cui il giorno solare vero in questo periodo dell'anno, eccede le 24 ore. Cioè di circa 30 secondi.

Misure meridiane a piazza san Pietro del 16 dicembre 2021

Sono state prese da due punti differenti della meridiana.

Gli istanti dei passaggi meridiani da video, risultano un po' differenti da quelli valutati a occhio sul posto (un secondo).

⁴ L'incrocio dei tiranti può presentare maggiore incertezza rispetto ad un punto visibile sulla croce, ma i tiranti sono visibili per molti più giorni.



Fig. 1 Il Sole è dietro la base della stella araldica sopra l'obelisco alle 12:05:26.03, visto da 5 m a Sud dalla stella nera del Capricorno, da cui il Sole è dietro l'asse della croce alle 12:30:34.05. Ci sono 8.02 secondi di differenza, che alla velocità dell'ombra di 6 mm/s corrispondono a 48 mm di differenza. L'asse della croce è 48 mm più a Ovest di quello della stella araldica tridimensionale.⁵ Questa è una calibrazione della linea meridiana dell'obelisco, rispetto ai finimenti dell'obelisco usando la rotazione terrestre e la posizione del Sole nel cielo. La meridiana di granito può essere usata per calibrare i nostri ricevitori GPS per la geolocalizzazione, essendo orientata verso Nord con una precisione di pochi millimetri su 80 metri.

Misure meridiane a piazza san Pietro il 17 dicembre

Con tempo splendido e Sole forte. Abbiamo verificato con

⁵ https://drive.google.com/drive/folders/1HSIbbDpUUisQ_k3089eJmuOsFdISt0B?usp=sharing

grande accuratezza che i tempi di transito del Sole dietro la croce e dietro la stella 3D sono diversi, e in particolare la stella viene attraversata 7.5 secondi prima della croce.

Questo significa, essendo la meridiana ben allineata col Nord, che la **croce pende verso Ovest** di circa 45 mm.

Una terza misura fatta circa un metro a sud della stella del Capricorno ha confermato che la deviazione è graduale.



Fig. 2 Sole sul disco del Capricorno e ombra dell'obelisco poco dopo il passaggio meridiano, alle 12:10:05 del 17 dicembre.

Misure con i sampietrini

Lunedì 13 dicembre l'ombra del puntale (*pyramidion*) dell'obelisco cadeva su una certa linea di sampietrini evidenziata in fig. 2; mercoledì 15 si era allungata di 4 sampietrini e ven. 17 ancora altri 2 sampietrini...di questo passo sabato 19 dovremmo aspettarci che l'allungamento dell'ombra sia 0.

Quando l'ombra smette di allungarsi, il Sole al meridiano smette di scendere... ed è il solstizio invernale.

Queste sono misure più imprecise di quelle al telescopio, perché c'è la penombra, che è difficile da valutare con esattezza, poiché cambia da un giorno all'altro il contrasto luminoso a seconda delle nubi e della trasparenza dell'atmosfera, ma danno una buona idea del fenomeno.

La foto dell'ombra dell'obelisco è delle ore 12:10; anche l'ombra si è mossa quasi perpendicolarmente alla meridiana, e se ne può valutare la velocità sapendo che ogni sampietrino è circa 10 cm, e che il transito è stato alle 12:06. 1 m in 240 s, circa 5 mm/s, in ottimo accordo con i calcoli trigonometrici.

Immagini del Sole il 19 e il 21 dicembre La declinazione del Sole il 19 e il 21 dicembre passa da $-23^{\circ} 25'$ fino a $-23^{\circ} 26'$. Con l'Angelus del Papa domenica 19 ci sono stati i controlli al metal detector anche per entrare in piazza, e ho fatto appena a tempo a collocare il treppiede col telescopio, ma circa 4 cm più a Sud della solita posizione. Così il Sole è "sceso" di 2 cm dietro la croce come **effetto di parallasse**.



Fig. 3 Sole proiettato sul Capricorno il 19 e il 21 dicembre 2021.

Sovrapposta all'immagine del 19 è il profilo giallo dell'immagine del 21, il cui asse differisce per circa mezzo diametro trasverso, corrispondenti a 16'.

A 92 metri di distanza il disco solare ha un diametro $\varnothing=92 \cdot \tan \vartheta=0.87$ m; il rapporto tra lo spostamento in orizzontale e verticale $x/y=2.175$, così che 4 cm verso Sud del 19 dicembre corrispondono a una "discesa" di 18 mm del Sole, ossia il 2% del diametro solare verticale, come lo vediamo in proiezione. Poiché il diametro solare valeva $\vartheta=32.5'$ il suo 2% vale 0.65'... che è pari alla quantità di cui il centro del Sole scende in declinazione, il giorno prima del solstizio invernale.

Questo fenomeno ci fa capire quanto sia importante garantire una posizione ben fissa al telescopio, per poter misurare bene l'istante del solstizio. Dovrebbe essere garantita al millimetro.

Le differenze sia pur piccole tra la posizione di osservazione del 19 dicembre e di quella degli altri giorni ci fanno capire l'importanza di garantire lo zero dello strumento.

In particolare la misura del 19 deve essere corretta per l'effetto parallattico suddetto, per ottenere una stima accurata dell'istante del solstizio.

Equazione del tempo attorno al solstizio invernale

Al solstizio: il Sole "sta" fermo (*sol stat*) e la durata delle giornate è praticamente uguale. Ciò vale per un buon mese a cavallo del solstizio: sempre 15 ore di notte e 9 di luce del giorno a Roma. L' unica cosa a cambiare è l'ora del passaggio meridiano, che avanza ogni giorno di circa 30 secondi.

Quindi se il giorno ha la stessa durata, il tramonto si sposta in avanti di 30 secondi al dì, e così la levata, che raggiungerà l'ora più tarda dell'anno all'8 di gennaio, e non il giorno del solstizio, come si potrebbe pensare perché è il dì più breve.

Traiettoria orizzontale del Sole al meridiano

Questa proprietà del moto diurno del Sole ci consente di "recuperare" la posizione del centro del Sole al meridiano, anche se per qualche minuto la abbiamo persa per il passaggio delle nuvole. Infatti quando arriva a metà del suo corso giornaliero il Sole cessa di sollevarsi sull'orizzonte e inizia a calare; per alcuni minuti si può considerare orizzontale il suo moto apparente. I fotogrammi presi poco prima o poco dopo il meridiano, sempre dalla stessa posizione (la stella nera del Capricorno), servono bene al fine di valutare la variazione di altezza sull'orizzonte nel corso dei giorni, che raggiunge il minimo al solstizio invernale.

Una composizione di tre foto prese dalla stella nera del Capricorno il 4 (foto ISO 100 EV=-2) l'11 e il 20 dicembre (video automatico) mostra ciò, da misure in pixel rispetto alla stella 3D che sta sull'obelisco. La scala delle foto deve essere la stessa, oppure le misure vengono normalizzate alla distanza in pixel tra il vertice del *pyramidion* e la sommità della croce. Notate che con 100 ISO il disco del Sole si vede, ma il resto è tutto scuro, mentre il fotogramma dell'11 dicembre mostra un Sole "più grande" a causa della diffusione della luce attraverso quel tipo di nubi; in tal caso si può considerare solo la posizione del centro del Sole. Il 20, 27 e 29 dicembre le nubi hanno filtrato il Sole fino a mostrare per un istante il suo disco. Già a occhio si può vedere che dal 4 dicembre al 20 il Sole è sceso di tutta la lunghezza della croce e il 27/29 è risalito. L'orizzontalità del moto del Sole nei passaggi meridiani ci ha consentito di fare delle osservazioni utili anche nei giorni nuvolosi. Si noti che per definire una parabola⁶ (polinomiale di

⁶ Il moto parabolico è studiato non solo per il moto uniformemente accelerato, come lo seppe descrivere Galileo, ma per le numerosissime applicazioni in fisica.

secondo grado) servono almeno tre punti; se ne avete solo due potete far passare una retta.



Fig. 4 Foto composizione dal 4 al 29 dicembre 2021. Ho datato le foto 4,5, 11,5... poiché sono tutte circa a mezzogiorno.

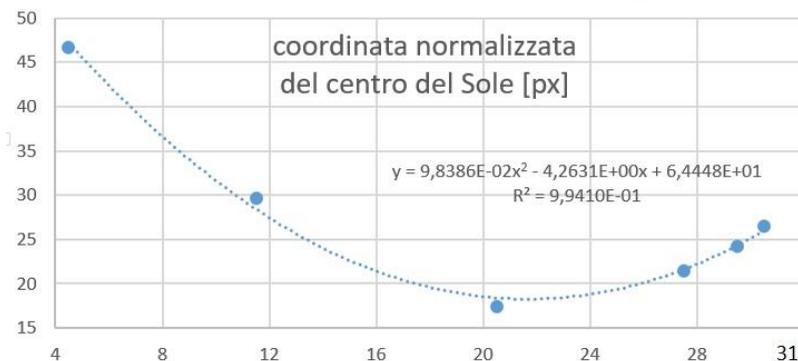


Fig. 5 Il centro del Sole da immagini dirette, dal Capricorno ✱. Il Solstizio, dal minimo della parabola, è il 21 dicembre 2021 alle 16, un'ora prima delle effemeridi IMCCE: ottimo risultato.

Solstizio invernale, posizione meridiana del Sole ed errori di misura con la meridiana dell'Obelisco Vaticano

Le effemeridi di Parigi IMCCE danno il solstizio invernale alle 16:59 del 21 dicembre 2021; la declinazione solare ha raggiunto il suo valore minimo di tutto l'anno; da noi il Sole era già tramontato da un quarto d'ora. Su un grafico con x il giorno di dicembre e y l'altezza meridiana del Sole, viene una parabola con la concavità verso l'alto.

Dal 22 dicembre il Sole al meridiano comincerà a risalire, piano piano. La salita sarà così lenta che -nonostante le giornate si allunghino- il freddo la farà da padrone: è l'inverno. Fin tanto che la notte sarà più lunga del dì il bilancio termico sarà in negativo, perché di notte la terra irraggia verso il cielo il calore ricevuto dal Sole, solo con l'equinozio di primavera andrà in pareggio. Anche l'autunno ha un bilancio termico negativo, ma parte da un ambiente ben caldo subito dopo l'estate, e quindi risente dell'inerzia termica, ossia della lentezza del calore a trasferirsi.

Tornando ai nostri dati sperimentali, vediamo che non seguono bene la parabola di fit. Certe volte sono più sopra, altre più sotto. Ciò è dovuto agli errori sperimentali: quello rilevato nel paragrafo sul 19 dicembre è la posizione del telescopio. Ho cercato sempre di metterlo allo stesso punto, ma talvolta ho avuto poco tempo per piazzarlo ed era qualche centimetro spostato.

Ho calcolato che uno spostamento del telescopio di 1 cm verso Sud, ossia verso la fontana, "abbassa il Sole" di 4.6 mm a 92 metri di distanza, cioè di 10". Tutto il diametro solare, alla distanza della croce dell'obelisco dalla stella nera ★ del Capricorno, ossia 92 metri, equivale a 87 cm. 4.6 mm equivalgono ad 1/189 del diametro del Sole.

Poiché questo diametro vale circa 600 pixel (dipende da foto a foto) ogni cm di spostamento a terra corrisponde a 3 pixel nelle foto. Il 19 dicembre erano quasi 4 cm verso Sud. Il 9 era quasi 1 cm verso Nord. Questo errore di zero si può vedere dai video quando riprendo il telescopietto. La posizione giusta è con la gamba del treppiede sull'asse laterale che passa per il centro della stella nera ★. Il segnale del solstizio appare bene con i dati attorno al Capodanno, quando il Sole si è rialzato e la parabola mostrerà bene la sua concavità.

La meridiana dell'obelisco: si è dovuta adattare alla fontana



Fig. 6: Questa foto è del 21 dicembre ore 12:20:21
Il disco del Sagittario è in ombra, e lo era pure al momento del passaggio meridiano, 12 minuti prima, per la proprietà della traslazione in orizzontale dell'ombra.



Fig. 7 Foto del 24 novembre ore 12:07:22, quasi alla fine della fase d'illuminazione del disco del Sagittario al meridiano.

Il Sole batte su quel disco al meridiano solo attorno al 22 novembre/19 gennaio, e lo fa dalla stella araldica tridimensionale. Spostandosi sulla meridiana verso la fontana o dalla parte opposta, si ritorna nell'ombra. Sembra proprio che le regole del gioco le abbia "dettate" il disco marmoreo del Sagittario/Acquario

«L'abilità dell'Architetto si conosce principalmente in convertir i difetti del luogo in bellezza»⁷.

I transiti meridiani del 29 e 30 dicembre 2021 a san Pietro

Senza verificare quanto il Sole si "rialza" dopo il solstizio è difficile avere una buona valutazione dell'istante del solstizio stesso. Ecco perché ho continuato a fare queste misure anche dopo il solstizio: 27, 29^s e 30 dicembre.

Si può considerare la velocità del Sole uniforme, per misurare l'istante del transito meridiano quando non si hanno i due contatti ben visibili per nubi o altro.

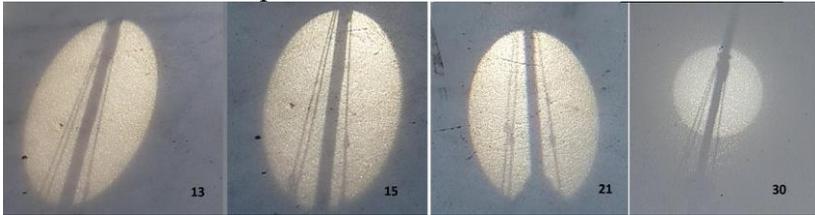


Fig. 7 Sole al meridiano dalla * del Capricorno il 13, 15, 21 e 30 dicembre 2021. La proiezione è fatta dallo stesso punto, il 30 dicembre il cielo velato ha richiesto la proiezione su cartoncino bianco più ravvicinata al telescopio, e si vede anche la base e la sommità della croce. L'incrocio dei tiranti esterni è lo zero, e il diametro solare l'unità di misura, e si ottiene un'altra stima della data del solstizio invernale.

⁷ F. Milizia (Parma, 1781)

⁸ https://youtu.be/3Puz_9Oo27w

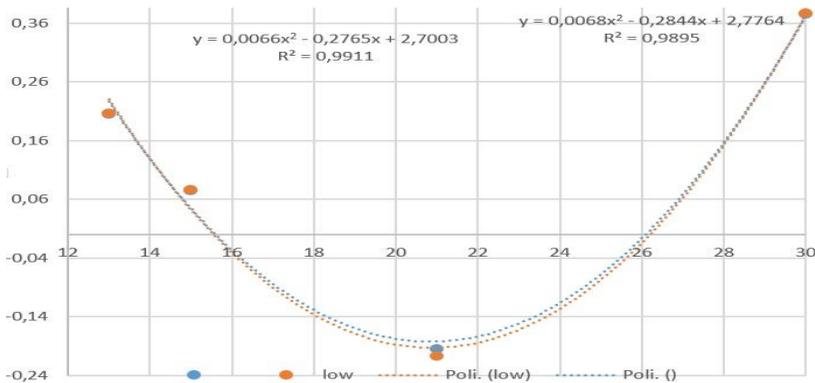


Fig. 8 Solstizio da fig. 7 alle 10:18±36 min del 21 dicembre 2021. La differenza con le effemeridi, 6 ore 40 min >36 min: è dovuta al posizionamento del telescopio nei primi giorni di misura.

Esempi di misure normalizzate con i pixel

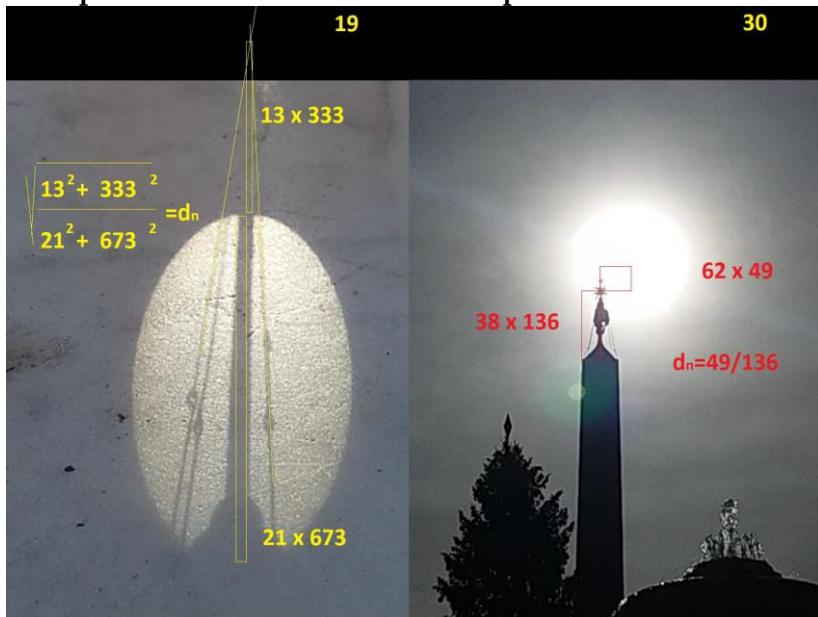


Fig. 9 Posizione del bordo superiore del Sole misurata in diametri solari il 19/12. Posizione del centro del Sole il 30/12 rispetto a * in unità di distanza * base del pyramidion 136 pixel.

Misure su tramonti da webcam a Ostia

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted December 29th 2021, accepted Jan 5th 2022

Abstract The Lega Navale of Ostia's Western webcam is used to measure the azimuth of sea sunsets' points, with respect to fixed references on the shoreline. The atmospheric refraction and the equation of time is also measured with geometrical and photometrical sunsets.

Sommario L'azimut di tramonto del Sole è misurato con la webcam di Ostia, Lega Navale –ponente. Anche la rifrazione atmosferica e l'equazione del tempo è misurata, in occasione di tramonti geometrici e fotometrici.

Keywords: Sea sunsets, Videotiming, Image and video analysis; Equation of Time, Azimuth, Webcam optics, Atmospheric refraction.

Tramonti e solstizio: rapporti tra pixel per le misure angolari

Galileo aveva descritto il solstizio d'estate mediante l'osservazione del tramonto del Sole in quei giorni: il punto di sparizione si avvicinava progressivamente ad un promontorio, per poi riallontanarsene dopo il solstizio.

A Ostia, verso il mare aperto, non abbiamo punti di riferimento, ma Se la webcam¹ resta puntata nella stessa direzione durante tutti i giorni della nostra misura, o se ci riferiamo a elementi fissi nel *foreground* (ossia vicino alla battigia, invece che all'orizzonte) possiamo vedere che il Sole tramonta sempre più verso sinistra (si avvicina al Sud) e poi il 21 dicembre inverte il movimento e torna ad andare verso destra, così che il suo arco diurno ricomincia ad aumentare: tramonta e sorge progressivamente più lontano dal Sud e il passaggio meridiano avverrà sempre più in alto.

Si può misurare la coordinata del tramonto del Sole a partire dallo spigolo in alto a destra del campo di vista della webcam, usando l'orizzonte del mare come asse x e i pixel come unità di misura, come nella figura 1.

¹ <https://www.leganavaleostia.it/webcam-ponente/>

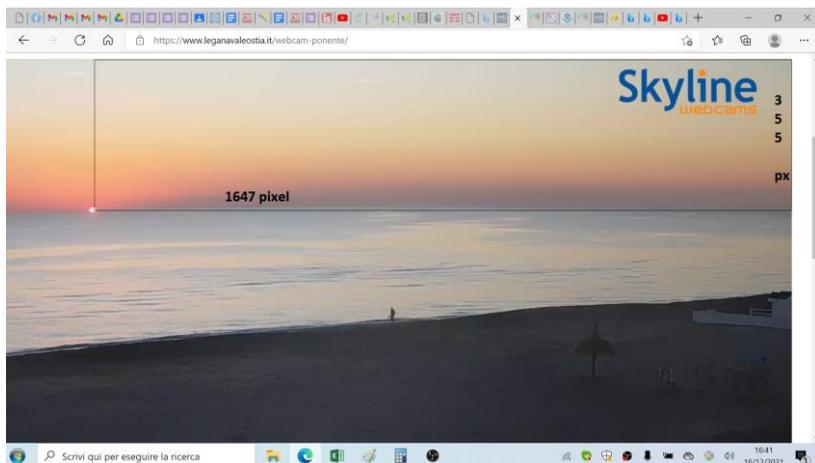


Fig. 1 Tramonto geometrico del 16 dicembre 2021 e distanze dai bordi superiore e laterale destro del campo della webcam.² Il metodo è sempre lo stesso: i pixel in orizzontale si dividono per il numero di pixel in verticale; quelli in verticale possono cambiare a seconda dello zoom che uso, ma anche quelli in orizzontale variano di conseguenza, mentre il loro rapporto non dipende dallo zoom. In primo piano una “palma” in spiaggia: un riferimento fisso come distanza dall’orizzonte.

Un bel tramonto, il 29 12 2021, con misure di azimut

Il video³ è commentato in diretta dalla webcam di Ostia, Lega Navale (ponente) posta a circa 12 metri sul livello del mare. Subito dopo si misura la rifrazione confrontando l'istante di sparizione del lembo superiore del Sole con la simulazione di Stellarium: 45.1'. La depressione dell'orizzonte per la sfericità della Terra, vale 3.4' per i 12 m di altezza della webcam (pari alla radice quadrata espressa in minuti d'arco, dell'altezza in metri sul livello del mare della webcam).

² <https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1y1ctgzDzZXX9QrbB4hU0W-GNQ60ZLBYJ>

³ <https://youtu.be/oeswtwajT0E>

La situazione meteo era: sereno fino alle Baleari e oltre fino alle Colonne d'Ercole (direzione di vista del tramonto). La pressione cresce di 11 mb su 800 Km tra Ostia e le Baleari. Il tramonto geometrico del 29 dicembre 2021 dalla Lega Navale di Ostia è avvenuto alle 16:49:34. Non si è visto il raggio verde (green flash) pur essendoci un buon gradiente di pressione. Le nuvole di ghiaccio hanno diffuso efficacemente la luce solare creando una vasta zona di luce satura (bianca) per la webcam, ben oltre il bordo geometrico del Sole.

Tramonto fotometrico

29 dicembre 16:50:14 tramonto geometrico, sull'acqua
30 dicembre 16:50:30 nubi basse all'orizzonte 14'
31 dicembre 16:50:26 orizzonte: nubi a 1°13' in avvicinamento
1 gennaio '22 16:54:04 nubi all'orizzonte 15' sopra, ferme

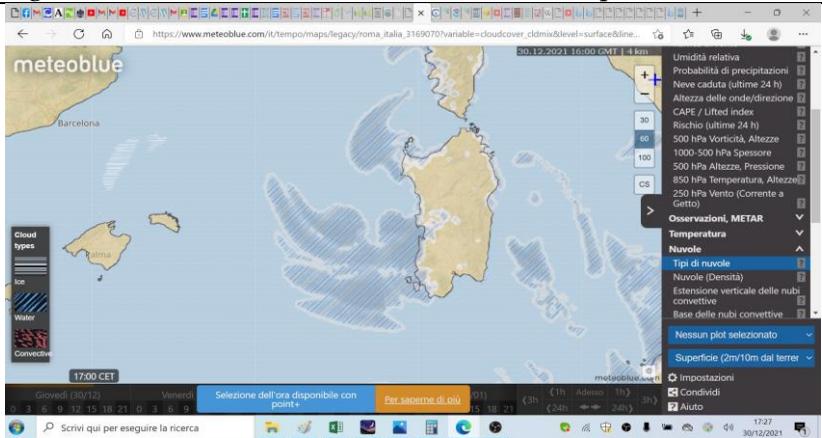


Fig.2 Le nubi di ghiaccio sopra le Baleari rendono il cielo molto luminoso, le nubi basse davanti e dietro la Sardegna hanno occultato il Sole prima del tramonto geometrico. Roma+ I tramonti fotometrici non sono confrontabili a quelli geometrici come precisione, e per determinare l'equazione del tempo. Infatti col cielo parzialmente oscurato, almeno il campo di vista che è selezionato per la trasmissione, la webcam ha un

“viraggio” al blu scuro che tende a progredire con l’avanzamento dell’equazione del tempo, pari a 30 s al dì, ma non esattamente, come nel caso della retrogradazione misurata il 31 dicembre rispetto al 30 dicembre.

Tramonto geometrico e misure di azimut

La coordinata di tramonto nell’unità di misura “speciale” (la distanza dal bordo destro della webcam è misurata in termini di quella dal bordo superiore, che è all’incirca costante su tutto l’orizzonte). Il confronto tra tramonti geometrici come quello del 29 dicembre (fig. 1) o del 19 (fig. 3) presi dallo stesso punto di osservazione, permette di misurare bene la variazione di azimut, ma piccole variazioni di angolazione della webcam si determinano specie nelle giornate molto ventose (frequenti). È meglio, perciò, misurare le coordinate del Sole rispetto ad una “palma”, o una tettoia, fissi. Gli azimut attorno al solstizio seguono un andamento a parabola attorno al valore estremo.

Dal video del tramonto di Ostia ripreso al Pontile, il 19 dicembre, si può calcolare facilmente l’istante di sparizione totale del disco solare all’orizzonte. Nei prossimi giorni, aggiungendo sempre 30 secondi al dì, per l’equazione del tempo, se ci saranno giorni molto freddi la maggiore rifrazione dell’aria, prolungherà la vista del Sole per alcuni secondi, rendendo i tramonti fotometrici ancora meno omogenei tra loro. La rifrazione atmosferica, invece, non modifica l’azimut.



Fig. 3 Sequenza del tramonto del 19 dicembre 2021 con miraggio (Sole a *vaso greco*) barca in vista e *raggio verde* finale. 34' 40" di rifrazione per la sparizione alle 16:42:34 da 3.4 m slm

Effemeridi 2022 per l'Obelisco Vaticano

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted December 29th 2021, accepted Jan 5th 2022

Abstract The ephemerides for the meridian line of the Vatican obelisk are firstly computed in modern times. The local deviations from an ideal N-S line are included from observed 2020-2021 data in five sections.

Sommario Le effemeridi per la linea meridiana dell'obelisco Vaticano sono state calcolate per la prima volta nei tempi moderni. Le deviazioni locali dalla rettilineità N-S sono incluse mediante i dati osservati nel 2020/21 in cinque distinte sezioni.

Keywords: Saint Peter's Obelisk and Meridian Line, Videotiming, Image and video analysis; Equation of Time, Altitude.

Introduzione: un modello per la linea meridiana Lunga 83 metri dall'asse dell'obelisco al disco del Capricorno, la linea meridiana dell'obelisco Vaticano è la maggiore del suo genere al Mondo. Le osservazioni dei transiti meridiani fatte dal 9 giugno 2020 al 30 dicembre 2021 sono state incluse nel modello a cinque segmenti CNC-VIR, VIR-LIB, LIB-SCO, SCO-SGR e SGR-CAP dell'intera linea meridiana. Le effemeridi riguardano il passaggio del Sole dietro l'asse della croce sopra l'obelisco visto dal punto della meridiana dove questo fenomeno si determina. Ogni giorno questo punto è diverso, ed è approssimativamente coincidente con la stella nera *sul disco marmoreo nei giorni in cui il Sole entra nel segno zodiacale corrispondente.

Effemeridi per il 2022

Si parte dal webservice di IMCCE per avere tabulati gli istanti del passaggio meridiano, di levata e tramonto e relativi azimut, nonché l'altezza meridiana sull'orizzonte.¹

Questo servizio è descritto nella guida

¹ vo.imcce.fr/webservices/miriade/rts_query.php?-body=11&-nbd=400&-step=1&-long=-12.4572583&-lat=41.9022417&-tz=1&-ep=now&-from=MiriadeDoc&-mime=text

<http://vo.imcce.fr/webservices/miriade/?rts>

I dati così ottenuti li copio su un file txt e poi li apro con il foglio elettronico di excel (*importa dati da file di testo*).

Dopo di che elimino le colonne che non interessano per queste effemeridi, ossia l'inizio e la fine dei crepuscoli civile, nautico ed astronomico, che corrispondono al Sole sotto l'orizzonte di 6°, 12° e 18°. Lascio il passaggio meridiano, la levata e il tramonto del Sole. Infine sostituisco “.” con nulla nelle colonne di levata, transito e tramonto, così da eliminare i secondi e i decimi di secondo.

Segni zodiacali ed effemeridi

Anche per i segni zodiacali si può usare il servizio

<http://vo.imcce.fr/webservices/miriade/?forms>

in cui imposto come coordinate quelle eclittiche e l'epoca corrente (infatti i segni zodiacali “entrano” rispetto alle coordinate reali, non a quelle fittizie dell'anno 2000.0)

Reference Plane: Ecliptic Type of Ephemeris: Apparent of Date.

La risoluzione temporale può essere ore, e poi si possono vedere i minuti una volta individuato il giorno desiderato.

Per far prima conviene usare Stellarium 0.20.2 e lo confronto con quanto è tabulato dal servizio

<https://promenade.imcce.fr/fr/pages4/439.html?nyear=2022&SAISONS=> per l'inizio delle stagioni (ARI, CNC, LIB e CAP); così ho verificato che l'accordo (arrotondamento) è entro i 3 minuti. Nella tabella a destra sono gli inizi delle 4 stagioni.

20 gennaio 3:38 AQR	22 luglio 22:08 LEO
18 febbraio 17:47 PSC	23 agosto 5:13 VIR
20 marzo 16:36 ARI 16:33	23 settembre 3:02 LIB 3:03
20 aprile 4:23 TAU	23 ottobre 12:34 SCO
21 maggio 3:21 GEM	22 novembre 9:18 SGR
21 giugno 11:12 CNC 11:13	21 dicembre 22:49 CAP 22:47

Deviazione della linea meridiana dalla rettilineità

A questo punto occorre tenere conto della deviazione della meridiana dal Nord, che -a rigori- cambia in ogni segmento di granito della meridiana.

Per la Vergine consideriamo i passaggi di Ras Alhague misurati tra Agosto e Settembre 2021 a occhio nudo, che anticipavano di circa 21 s le effemeridi, mentre per il Capricorno quelli del Sole al solstizio invernale ripresi in proiezione dalla stella nera del disco marmoreo, che anticipavano di 16 s.

Possiamo applicare una correzione legata alla lunghezza della meridiana, proporzionale “abbastanza” alla tangente dell’angolo zenitale del Sole $z^\circ=90^\circ-h^\circ$. Dico “abbastanza” perché la meridiana non è in piano, ma l’approssimazione è comunque buona per i nostri scopi.

Per LEO e CNC utilizzo gli anticipi osservati del passaggio dell’ombra: 54 ± 3 secondi, tra il 21/6 e il 21 agosto-21 aprile.



Fig. 1 Obelisco Vaticano da sotto (lato Sud). Col braccio della croce sommitale che si vede al termine. Iscrizione di dedica.

L’anticipo di 54 ± 3 s rispetto alle effemeridi per CNC-VIR

vengono ridotti a 50 per tenere conto della differenza tra l'asse dell'obelisco e del *pyramidion* da quello della croce sommitale rispetto a cui calcolo queste effemeridi.

Le misure estive sono state fatte tutte sull'ombra dell'obelisco, anche se il braccio orizzontale della croce si vede pure da sotto l'obelisco (fig. 2). Le effemeridi permetteranno di verificare questo modello per la prossima estate, con un telescopio, come già fatto dall'equinozio d'autunno 2021 in poi.

Tuttavia un salto da 21 secondi d'anticipo per VIR a 54 s, tutto in una volta, significa che c'è una deviazione di 100 mm, cioè 1.5x la larghezza della linea meridiana in granito, mentre e l'asse della croce -dalle misure del Capricorno con Sole e Antares a confronto- devia solo di 24.5 mm da quello dell'obelisco (la croce è più a Ovest dell'asse dell'obelisco). Questi 24.5 mm al Cancro corrispondono a 8.6 secondi, non a $(58-21)=37$ s: mancano all'appello circa 30 secondi... eppure le misure del Cancro-Leone sull'ombra dell'obelisco sono state prese bene...nell'estate 2020 e confermate nel 2021. Poi a luglio 2021 ho aggiunto i transiti delle stelle, e poi il telescopio in proiezione, ma l'ombra dell'obelisco resta il metodo classico, conosciuto sin dall'antichità più remota.



Fig. 1 La meridiana devia dal Toro/VIR al solstizio in Cancro.

Algoritmi per le correzioni locali

Sono basati sulle misure in loco e sono interpolazioni lineari tra un segno e l'altro. Proprio mettendoli a punto ho scoperto che tra Leone e Vergine c'è una differenza pari a circa 30 secondi. È vero che lì in mezzo ci passa proprio la fascia della rosa dei venti, larga 3 metri, ma la deviazione corrisponde a più dello spessore della linea meridiana, che vale 7 cm.

Dall'analisi delle immagini di repertorio, scattate a luglio 2021 (fig. 1) senza transenne né albero di Natale, si evidenzia la deviazione della meridiana verso Sud, a partire dal disco della Vergine/Toro. Gli ultimi due dischi in alto sono discostati rispetto al prolungamento in giallo del segmento in basso.

Ecco i cinque diversi algoritmi usati:

SGR-CAP $16+7*(88,05-MX)/(88,05-77,5)$ tra 88 e 77 metri
SCO-SGR $23-8*(77,5-MX)/(77,5-54,7)$ tra 77 e 55 metri
LIB-SCO $15+3*(54,7-MX)/(54,7-36)$ tra 55 e 36 metri
VIR-LIB $18+2*(36-MX)/(36-24)$ tra 36 e 24 metri
CNC-VIR $20+30*(22,08-MX)/(22,08-13)$ tra 22 e 13 metri

La lunghezza della meridiana MX è stata parametrizzata con questa formula espressa in metri per l'altezza del Sole HX [°]:
 $40,5*\text{TAN}(\text{RADIANTI}(90-HX))$

in funzione dell'altezza meridiana del Sole. Si tratta di un'approssimazione per eccesso, in quanto la meridiana non è in piano, ma la piazza ha un profilo a funzione "Besseliana" con il primo minimo attorno ai piloni vicino agli Equinozi, e il secondo tra lo Scorpione e la fontana Nord; il finale verso il Capricorno è in leggera salita. La precisione con cui vengono rappresentati i dati osservati nella campagna 2020-2021 è sufficientemente accurata. La funzione tabulata in cinque parti ha un salto nell'ultimo segmento tra la Vergine-Toro e il Cancro dovuto forse al ri-collocamento dei dischi e della linea. Non dovrebbe essere, quindi, una deviazione originale, ma

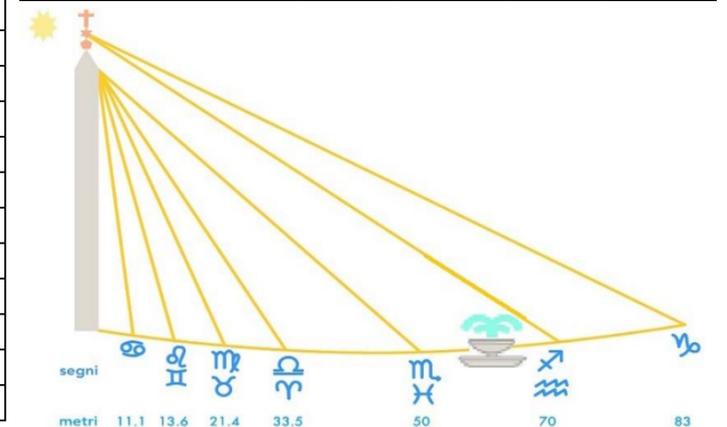
sarebbe da attribuirsi ad un lavoro di restauro della piazza successivo alla stesura della meridiana, non svolto a regola d'arte. La meridiana sarebbe dovuta essere stesa per prima, con il teodolite, e poi collocati i sampietrini attorno.

Viene da citare Dante "com poco verde in su la cima dura...se non sopraggiungon l'etati grosse" (Purg. XI)

Le effemeridi 2022 sono pubblicate in appendice a questo volume 14 di Gerbertus, e online.

Data	levata	Transito	altezza	tramonto																
2022	hh:mm	hh:mm:ss	°	hh:mm																
sabato 1 gennaio	7:39	12:13:24	25.1	16:48	venerdì 18 febbraio	7:03	12:23:48	36.5	17:45	domenica 10 aprile	6:39	13:11:11	56.1	19:44	sabato 28 maggio	5:41	13:06:45	69.6	20:34	
domenica 2 gennaio	7:39	12:13:52	25.2	16:49	Sole in Pesci 18/02 2022 17 47	sabato 19 febbraio	7:01	12:23:42	36.9	17:46	lunedì 11 aprile	6:37	13:10:54	56.5	19:45	domenica 29 maggio	5:40	13:06:51	69.8	20:35
lunedì 3 gennaio	7:39	12:14:19	25.3	16:49	domenica 20 febbraio	7:00	12:23:36	37.3	17:47	martedì 12 aprile	6:36	13:10:38	56.9	19:46	lunedì 30 maggio	5:39	13:07:00	69.9	20:35	
Perielio 4/01 2022 07 52					lunedì 21 febbraio	6:58	12:23:29	37.6	17:49	mercoledì 13 aprile	6:34	13:10:23	57.2	19:47	martedì 31 maggio	5:39	13:07:08	70.0	20:36	
martedì 4 gennaio	7:39	12:14:47	25.4	16:50	martedì 22 febbraio	6:57	12:23:22	38.0	17:50	giovedì 14 aprile	6:33	13:10:08	57.6	19:48	mercoledì 1 giugno	5:38	13:07:17	70.2	20:37	
mercoledì 5 gennaio	7:39	12:15:14	25.5	16:51	mercoledì 23 febbraio	6:55	12:23:13	38.4	17:51	venerdì 15 aprile	6:31	13:09:53	57.9	19:49	giovedì 2 giugno	5:38	13:07:26	70.3	20:38	
giovedì 6 gennaio	7:39	12:15:40	25.6	16:52	giovedì 24 febbraio	6:54	12:23:04	38.7	17:52	sabato 16 aprile	6:29	13:09:39	58.3	19:50	venerdì 3 giugno	5:38	13:07:36	70.4	20:38	
Natale Ortodosso 7/01 2022					venerdì 25 febbraio	6:52	12:22:55	39.1	17:54	Domenica di Pasqua 17/04 2022					sabato 4 giugno	5:37	13:07:45	70.6	20:39	
venerdì 7 gennaio	7:39	12:16:05	25.8	16:53	sabato 26 febbraio	6:51	12:22:45	39.5	17:55	domenica 17 aprile	6:28	13:09:25	58.7	19:51	domenica 5 giugno	5:37	13:07:56	70.7	20:40	
sabato 8 gennaio	7:39	12:16:31	25.9	16:54	domenica 27 febbraio	6:49	12:22:35	39.8	17:56	lunedì 18 aprile	6:26	13:09:11	59.0	19:53	lunedì 6 giugno	5:37	13:08:07	70.8	20:40	
domenica 9 gennaio	7:38	12:16:56	26.0	16:55	lunedì 28 febbraio	6:48	12:22:24	40.2	17:57	martedì 19 aprile	6:25	13:08:58	59.3	19:54	martedì 7 giugno	5:36	13:08:17	70.9	20:41	
lunedì 10 gennaio	7:38	12:17:19	26.2	16:56	martedì 1 marzo	6:46	12:22:13	40.6	17:58	Sole in Toro 20/04 2022 4 23					mercoledì 8 giugno	5:36	13:08:28	71.0	20:42	
martedì 11 gennaio	7:38	12:17:43	26.3	16:58	mercoledì 2 marzo	6:45	12:22:01	41.0	18:00	mercoledì 20 aprile	6:23	13:08:45	59.7	19:55	giovedì 9 giugno	5:36	13:08:40	71.0	20:42	
mercoledì 12 gennaio	7:38	12:18:06	26.5	16:59	giovedì 3 marzo	6:43	12:21:48	41.4	18:01	giovedì 21 aprile	6:22	13:08:33	60.0	19:56	venerdì 10 giugno	5:36	13:08:52	71.1	20:43	
giovedì 13 gennaio	7:37	12:18:28	26.7	17:00	venerdì 4 marzo	6:41	12:21:36	41.7	18:02	venerdì 22 aprile	6:20	13:08:21	60.4	19:57	sabato 11 giugno	5:36	13:09:04	71.2	20:43	
venerdì 14 gennaio	7:37	12:18:50	26.8	17:01	sabato 5 marzo	6:40	12:21:21	42.1	18:03	sabato 23 aprile	6:19	13:08:10	60.7	19:58	domenica 12 giugno	5:35	13:09:15	71.3	20:44	
sabato 15 gennaio	7:36	12:19:10	27.0	17:02	domenica 6 marzo	6:38	12:21:08	42.5	18:04	Pasqua Ortodossa 24/04 2022 e Copta					lunedì 13 giugno	5:35	13:09:27	71.3	20:44	
domenica 16 gennaio	7:36	12:19:31	27.2	17:03	lunedì 7 marzo	6:36	12:20:54	42.9	18:06	domenica 24 aprile	6:17	13:07:59	61.0	19:59	martedì 14 giugno	5:35	13:09:40	71.4	20:45	
lunedì 17 gennaio	7:35	12:19:50	27.4	17:04	martedì 8 marzo	6:35	12:20:39	43.3	18:07	lunedì 25 aprile	6:16	13:07:48	61.4	20:00	mercoledì 15 giugno	5:35	13:09:53	71.4	20:45	
martedì 18 gennaio	7:35	12:20:09	27.6	17:06	mercoledì 9 marzo	6:33	12:20:24	43.7	18:08	martedì 26 aprile	6:14	13:07:38	61.7	20:01	giovedì 16 giugno	5:35	13:10:05	71.5	20:46	
mercoledì 19 gennaio	7:34	12:20:28	27.8	17:07	giovedì 10 marzo	6:32	12:20:09	44.1	18:09	mercoledì 27 aprile	6:13	13:07:27	62.0	20:02	venerdì 17 giugno	5:35	13:10:18	71.5	20:46	
Sole in Acquario 20/01 2022 3 38					venerdì 11 marzo	6:30	12:19:53	44.5	18:10	giovedì 28 aprile	6:12	13:07:17	62.3	20:04	sabato 18 giugno	5:35	13:10:31	71.5	20:46	
giovedì 20 gennaio	7:34	12:20:45	28.0	17:08	sabato 12 marzo	6:28	12:19:37	44.9	18:11	venerdì 29 aprile	6:10	13:07:08	62.6	20:05	domenica 19 giugno	5:36	13:10:44	71.5	20:47	
venerdì 21 gennaio	7:33	12:21:04	28.2	17:09	domenica 13 marzo	6:26	12:19:21	45.3	18:13	sabato 30 aprile	6:09	13:07:00	62.9	20:06	lunedì 20 giugno	5:36	13:10:57	71.5	20:47	
sabato 22 gennaio	7:32	12:21:20	28.5	17:10	lunedì 14 marzo	6:25	12:19:05	45.7	18:14	domenica 1 maggio	6:07	13:06:52	63.2	20:07	Solstizio in Cancro 21/06 2022 11 13					
domenica 23 gennaio	7:32	12:21:35	28.7	17:12	martedì 15 marzo	6:23	12:18:47	46.1	18:15	lunedì 2 maggio	6:06	13:06:44	63.5	20:08	martedì 21 giugno	5:36	13:11:11	71.5	20:47	
lunedì 24 gennaio	7:31	12:21:50	28.9	17:13	mercoledì 16 marzo	6:21	12:18:30	46.4	18:16	martedì 3 maggio	6:05	13:06:37	63.8	20:09	mercoledì 22 giugno	5:36	13:11:24	71.5	20:47	
martedì 25 gennaio	7:30	12:22:05	29.2	17:14	giovedì 17 marzo	6:20	12:18:13	46.8	18:17	mercoledì 4 maggio	6:04	13:06:30	64.1	20:10	giovedì 23 giugno	5:36	13:11:37	71.5	20:47	
mercoledì 26 gennaio	7:29	12:22:18	29.4	17:15	venerdì 18 marzo	6:18	12:17:55	47.2	18:18	giovedì 5 maggio	6:02	13:06:24	64.4	20:11	venerdì 24 giugno	5:37	13:11:50	71.5	20:47	
giovedì 27 gennaio	7:28	12:22:31	29.7	17:17	sabato 19 marzo	6:16	12:17:38	47.6	18:19	venerdì 6 maggio	6:01	13:06:18	64.7	20:12	sabato 25 giugno	5:37	13:12:02	71.5	20:48	
venerdì 28 gennaio	7:28	12:22:43	30.0	17:18	domenica 20 marzo	6:15	12:17:20	48.0	18:20	sabato 7 maggio	6:00	13:06:13	65.0	20:13	domenica 26 giugno	5:37	13:12:15	71.4	20:48	
sabato 29 gennaio	7:27	12:22:54	30.2	17:19	Equinozio in Ariete 20/03 2022 16 33					domenica 8 maggio	5:59	13:06:10	65.2	20:14	lunedì 27 giugno	5:38	13:12:28	71.4	20:48	
domenica 30 gennaio	7:26	12:23:04	30.5	17:21	lunedì 21 marzo	6:13	12:17:02	48.4	18:22	lunedì 9 maggio	5:58	13:06:06	65.5	20:15	martedì 28 giugno	5:38	13:12:40	71.4	20:48	
lunedì 31 gennaio	7:25	12:23:14	30.8	17:22	martedì 22 marzo	6:11	12:16:44	48.8	18:23	martedì 10 maggio	5:56	13:06:03	65.8	20:16	mercoledì 29 giugno	5:39	13:12:52	71.3	20:48	
martedì 1 febbraio	7:24	12:23:23	31.1	17:23	mercoledì 23 marzo	6:09	12:16:26	49.2	18:24	mercoledì 11 maggio	5:55	13:06:01	66.0	20:18	giovedì 30 giugno	5:39	13:13:04	71.3	20:47	
mercoledì 2 febbraio	7:23	12:23:31	31.4	17:24	giovedì 24 marzo	6:08	12:16:08	49.6	18:25	giovedì 12 maggio	5:54	13:05:59	66.3	20:19	venerdì 1 luglio	5:40	13:13:17	71.2	20:47	
giovedì 3 febbraio	7:22	12:23:37	31.6	17:26	venerdì 25 marzo	6:06	12:15:50	50.0	18:26	venerdì 13 maggio	5:53	13:05:57	66.5	20:20	sabato 2 luglio	5:40	13:13:29	71.1	20:47	
venerdì 4 febbraio	7:21	12:23:43	31.9	17:27	sabato 26 marzo	6:04	12:15:32	50.4	18:27	sabato 14 maggio	5:52	13:05:56	66.8	20:21	domenica 3 luglio	5:41	13:13:40	71.0	20:47	
sabato 5 febbraio	7:19	12:23:50	32.2	17:28	domenica 27 marzo	7:03	13:15:14	50.8	19:28	domenica 15 maggio	5:51	13:05:56	67.0	20:22	Afelio 4/07 9 10					
domenica 6 febbraio	7:18	12:23:54	32.6	17:30	lunedì 28 marzo	7:01	13:14:55	51.2	19:29	lunedì 16 maggio	5:50	13:05:56	67.3	20:23	lunedì 4 luglio	5:41	13:13:51	70.9	20:47	
lunedì 7 febbraio	7:17	12:23:57	32.9	17:31	martedì 29 marzo	6:59	13:14:37	51.6	19:30	martedì 17 maggio	5:49	13:05:57	67.5	20:24	martedì 5 luglio	5:42	13:14:01	70.9	20:47	
martedì 8 febbraio	7:16	12:24:00	33.2	17:32	mercoledì 30 marzo	6:57	13:14:19	52.0	19:32	mercoledì 18 maggio	5:48	13:05:59	67.7	20:25	mercoledì 6 luglio	5:42	13:14:12	70.8	20:46	
mercoledì 9 febbraio	7:15	12:24:03	33.5	17:34	giovedì 31 marzo	6:56	13:14:01	52.3	19:33	giovedì 19 maggio	5:47	13:06:00	67.9	20:26	giovedì 7 luglio	5:43	13:14:22	70.7	20:46	
giovedì 10 febbraio	7:13	12:24:04	33.8	17:35	venerdì 1 aprile	6:54	13:13:43	52.7	19:34	venerdì 20 maggio	5:46	13:06:04	68.1	20:27	venerdì 8 luglio	5:44	13:14:32	70.5	20:46	
venerdì 11 febbraio	7:12	12:24:04	34.2	17:36	sabato 2 aprile	6:52	13:13:26	53.1	19:35	Sole in Gemelli 21/05 2022 3 21					sabato 9 luglio	5:44	13:14:42	70.4	20:45	
sabato 12 febbraio	7:11	12:24:05	34.5	17:37	domenica 3 aprile	6:51	13:13:08	53.5	19:36	sabato 21 maggio	5:46	13:06:06	68.3	20:28	domenica 10 luglio	5:45	13:14:50	70.3	20:45	
domenica 13 febbraio	7:10	12:24:04	34.8	17:39	lunedì 4 aprile	6:49	13:12:51	53.9	19:37	domenica 22 maggio	5:45	13:06:11	68.5	20:28	lunedì 11 luglio	5:46	13:14:58	70.2	20:44	
lunedì 14 febbraio	7:08	12:24:02	35.2	17:40	martedì 5 aprile	6:47	13:12:34	54.3	19:38	lunedì 23 maggio	5:44	13:06:15	68.7	20:29	martedì 12 luglio	5:47	13:15:07	70.0	20:44	
martedì 15 febbraio	7:07	12:23:59	35.5	17:41	mercoledì 6 aprile	6:46	13:12:17	54.6	19:39	martedì 24 maggio	5:43	13:06:20	68.9	20:30	mercoledì 13 luglio	5:47	13:15:14	69.9	20:43	
mercoledì 16 febbraio	7:06	12:23:56	35.8	17:42	giovedì 7 aprile	6:44	13:12:00	55.0	19:40	mercoledì 25 maggio	5:43	13:06:25	69.1	20:31	giovedì 14 luglio	5:48	13:15:22	69.7	20:43	
giovedì 17 febbraio	7:04	12:23:52	36.2	17:44	venerdì 8 aprile	6:42	13:11:43	55.4	19:42	giovedì 26 maggio	5:42	13:06:31	69.3	20:32	venerdì 15 luglio	5:49	13:15:28	69.6	20:42	
					sabato 9 aprile	6:41	13:11:27	55.8	19:43	venerdì 27 maggio	5:41</									

lunedì 18 luglio 2022	5:51	13:15:44	69.1	20:40	mercoledì 7 settembre	6:43	13:07:54	54.1	19:32	venerdì 28 ottobre	7:38	12:53:41	34.9	18:08	lunedì 19 dicembre	7:34	12:06:55	24.7	16:39
martedì 19 luglio	5:52	13:15:49	68.9	20:39	giovedì 8 settembre	6:44	13:07:33	53.7	19:30	sabato 29 ottobre	7:40	12:53:37	34.6	18:07	martedì 20 dicembre	7:35	12:07:25	24.7	16:40
mercoledì 20 luglio	5:53	13:15:53	68.7	20:38	venerdì 9 settembre	6:45	13:07:12	53.3	19:29	domenica 30 ottobre	6:41	11:53:33	34.2	17:05	mercoledì 21 dicembre	7:35	12:07:54	24.7	16:40
giovedì 21 luglio	5:54	13:15:57	68.5	20:38	sabato 10 settembre	6:46	13:06:51	52.9	19:27	lunedì 31 ottobre	6:42	11:53:30	33.9	17:04	Solstizio in Capricorno	21/12	2022	22	47
venerdì 22 luglio	5:55	13:16:00	68.3	20:37	domenica 11 settembre	6:47	13:06:30	52.6	19:25	martedì 1 novembre	6:43	11:53:28	33.6	17:03	giovedì 22 dicembre	7:36	12:08:24	24.7	16:41
Sole in Leone	22/07	2022	22	08	lunedì 12 settembre	6:48	13:06:09	52.2	19:24	mercoledì 2 novembre	6:44	11:53:27	33.3	17:02	venerdì 23 dicembre	7:36	12:08:54	24.7	16:41
sabato 23 luglio	5:56	13:16:02	68.1	20:36	martedì 13 settembre	6:49	13:05:47	51.8	19:22	giovedì 3 novembre	6:46	11:53:25	33.0	17:00	sabato 24 dicembre	7:37	12:09:24	24.7	16:42
domenica 24 luglio	5:57	13:16:04	67.9	20:35	mercoledì 14 settembre	6:50	13:05:26	51.4	19:20	venerdì 4 novembre	6:47	11:53:26	32.7	16:59	S.Natale 25 dicembre	7:37	12:09:54	24.7	16:42
lunedì 25 luglio	5:58	13:16:06	67.7	20:34	giovedì 15 settembre	6:51	13:05:05	51.0	19:18	sabato 5 novembre	6:48	11:53:27	32.4	16:58	lunedì 26 dicembre	7:37	12:10:24	24.7	16:43
martedì 26 luglio	5:59	13:16:06	67.5	20:33	venerdì 16 settembre	6:52	13:04:44	50.6	19:17	domenica 6 novembre	6:49	11:53:29	32.1	16:57	martedì 27 dicembre	7:38	12:10:54	24.8	16:44
mercoledì 27 luglio	6:00	13:16:06	67.3	20:32	sabato 17 settembre	6:53	13:04:23	50.3	19:15	lunedì 7 novembre	6:51	11:53:31	31.8	16:56	mercoledì 28 dicembre	7:38	12:11:23	24.8	16:44
giovedì 28 luglio	6:01	13:16:06	67.0	20:31	domenica 18 settembre	6:54	13:04:01	49.9	19:13	martedì 8 novembre	6:52	11:53:35	31.5	16:55	giovedì 29 dicembre	7:38	12:11:51	24.9	16:45
venerdì 29 luglio	6:02	13:16:05	66.8	20:30	lunedì 19 settembre	6:55	13:03:40	49.5	19:11	mercoledì 9 novembre	6:53	11:53:39	31.2	16:53	venerdì 30 dicembre	7:39	12:12:20	24.9	16:46
sabato 30 luglio	6:03	13:16:04	66.5	20:29	martedì 20 settembre	6:56	13:03:18	49.1	19:10	giovedì 10 novembre	6:54	11:53:44	30.9	16:52	sabato 31 dicembre	7:39	12:12:49	25.0	16:47
domenica 31 luglio	6:04	13:16:02	66.3	20:28	mercoledì 21 settembre	6:57	13:02:57	48.7	19:08	venerdì 11 novembre	6:55	11:53:50	30.6	16:51	domenica 1 gennaio '23	7:39	12:13:18	25.1	16:48
lunedì 1 agosto	6:05	13:15:59	66.0	20:27	giovedì 22 settembre	6:58	13:02:36	48.3	19:06	sabato 12 novembre	6:57	11:53:57	30.3	16:50	lunedì 2 gennaio	7:39	12:13:46	25.2	16:48
martedì 2 agosto	6:06	13:15:55	65.8	20:26	Equinozio in Bilancia	23/09	2022	3	03	domenica 13 novembre	6:58	11:54:05	30.1	16:49	martedì 3 gennaio	7:39	12:14:12	25.3	16:49
mercoledì 3 agosto	6:07	13:15:52	65.5	20:25	venerdì 23 settembre	6:59	13:02:15	47.9	19:04	lunedì 14 novembre	6:59	11:54:13	29.8	16:49	mercoledì 4 gennaio	7:39	12:14:40	25.4	16:50
giovedì 4 agosto	6:08	13:15:47	65.3	20:23	sabato 24 settembre	7:00	13:01:54	47.5	19:03	martedì 15 novembre	7:00	11:54:22	29.6	16:48	giovedì 5 gennaio	7:39	12:15:07	25.5	16:51
venerdì 5 agosto	6:09	13:15:42	65.0	20:22	domenica 25 settembre	7:01	13:01:33	47.2	19:01	mercoledì 16 novembre	7:02	11:54:33	29.3	16:47	venerdì 6 gennaio	7:39	12:15:33	25.6	16:52
sabato 6 agosto	6:10	13:15:36	64.7	20:21	lunedì 26 settembre	7:02	13:01:13	46.8	18:59	giovedì 17 novembre	7:03	11:54:44	29.1	16:46	Natale Ortodosso	7/01	2023		
domenica 7 agosto	6:11	13:15:30	64.4	20:20	martedì 27 settembre	7:03	13:00:52	46.4	18:57	venerdì 18 novembre	7:04	11:54:56	28.8	16:45	sabato 7 gennaio	7:39	12:15:58	25.7	16:53
lunedì 8 agosto	6:12	13:15:23	64.2	20:18	mercoledì 28 settembre	7:04	13:00:32	46.0	18:56	sabato 19 novembre	7:05	11:55:09	28.6	16:44	domenica 8 gennaio	7:39	12:16:24	25.9	16:54
martedì 9 agosto	6:13	13:15:16	63.9	20:17	giovedì 29 settembre	7:05	13:00:13	45.6	18:54	domenica 20 novembre	7:06	11:55:23	28.4	16:44	lunedì 9 gennaio	7:38	12:16:49	26.0	16:55
mercoledì 10 agosto	6:14	13:15:07	63.6	20:16	venerdì 30 settembre	7:07	12:59:53	45.2	18:52	lunedì 21 novembre	7:08	11:55:37	28.1	16:43	martedì 10 gennaio	7:38	12:17:12	26.1	16:56
giovedì 11 agosto	6:15	13:14:58	63.3	20:14	sabato 1 ottobre	7:08	12:59:34	44.8	18:50	Sole in Sagittario	22/11	2022	9	18	mercoledì 11 gennaio	7:38	12:17:36	26.3	16:57
venerdì 12 agosto	6:16	13:14:49	63.0	20:13	domenica 2 ottobre	7:09	12:59:15	44.4	18:49	martedì 22 novembre	7:09	11:55:52	27.9	16:42	giovedì 12 gennaio	7:38	12:18:00	26.4	16:58
sabato 13 agosto	6:17	13:14:40	62.7	20:12	lunedì 3 ottobre	7:10	12:58:56	44.0	18:47	mercoledì 23 novembre	7:10	11:56:08	27.7	16:42	venerdì 13 gennaio	7:37	12:18:21	26.6	16:59
domenica 14 agosto	6:18	13:14:29	62.4	20:10	martedì 4 ottobre	7:11	12:58:37	43.7	18:45	giovedì 24 novembre	7:11	11:56:26	27.5	16:41	sabato 14 gennaio	7:37	12:18:44	26.8	17:01
lunedì 15 agosto	6:19	13:14:19	62.1	20:09	mercoledì 5 ottobre	7:12	12:58:19	43.3	18:44	venerdì 25 novembre	7:12	11:56:44	27.3	16:41	domenica 15 gennaio	7:36	12:19:04	27.0	17:02
martedì 16 agosto	6:20	13:14:07	61.8	20:07	giovedì 6 ottobre	7:13	12:58:01	42.9	18:42	sabato 26 novembre	7:13	11:57:03	27.1	16:40	lunedì 16 gennaio	7:36	12:19:25	27.2	17:03
mercoledì 17 agosto	6:21	13:13:56	61.4	20:06	venerdì 7 ottobre	7:14	12:57:44	42.5	18:40	domenica 27 novembre	7:15	11:57:24	26.9	16:40	martedì 17 gennaio	7:36	12:19:44	27.4	17:04
giovedì 18 agosto	6:22	13:13:42	61.1	20:04	sabato 8 ottobre	7:15	12:57:26	42.1	18:39	lunedì 28 novembre	7:16	11:57:44	26.8	16:39	mercoledì 18 gennaio	7:35	12:20:04	27.6	17:05
venerdì 19 agosto	6:23	13:13:29	60.8	20:03	domenica 9 ottobre	7:16	12:57:11	41.7	18:37	martedì 29 novembre	7:17	11:58:04	26.6	16:39	giovedì 19 gennaio	7:34	12:20:23	27.8	17:06
sabato 20 agosto	6:24	13:13:15	60.5	20:01	lunedì 10 ottobre	7:17	12:56:55	41.4	18:35	mercoledì 30 novembre	7:18	11:58:27	26.4	16:38	Sole in Acquario	20/01	2023	9	28
domenica 21 agosto	6:25	13:13:00	60.1	20:00	martedì 11 ottobre	7:19	12:56:39	41.0	18:34	giovedì 1 dicembre	7:19	11:58:49	26.3	16:38	venerdì 20 gennaio	7:34	12:20:41	28.0	17:08
lunedì 22 agosto	6:26	13:12:45	59.8	19:58	mercoledì 12 ottobre	7:20	12:56:23	40.6	18:32	venerdì 2 dicembre	7:20	11:59:12	26.1	16:38	sabato 21 gennaio	7:33	12:20:59	28.2	17:09
Sole in Vergine	23/08	2022	5	13	giovedì 13 ottobre	7:21	12:56:09	40.2	18:30	sabato 3 dicembre	7:21	11:59:36	26.0	16:38	domenica 22 gennaio	7:32	12:21:16	28.4	17:10
martedì 23 agosto	6:27	13:12:29	59.5	19:57	venerdì 14 ottobre	7:22	12:55:54	39.9	18:29	domenica 4 dicembre	7:22	12:00:00	25.8	16:37	lunedì 23 gennaio	7:32	12:21:32	28.6	17:11
mercoledì 24 agosto	6:28	13:12:13	59.1	19:55	sabato 15 ottobre	7:23	12:55:41	39.5	18:27	lunedì 5 dicembre	7:23	12:00:24	25.7	16:37	martedì 24 gennaio	7:31	12:21:47	28.9	17:13
giovedì 25 agosto	6:29	13:11:57	58.8	19:54	domenica 16 ottobre	7:24	12:55:28	39.1	18:26	martedì 6 dicembre	7:24	12:00:50	25.6	16:37	mercoledì 25 gennaio	7:30	12:22:02	29.1	17:14
venerdì 26 agosto	6:30	13:11:40	58.4	19:52	lunedì 17 ottobre	7:25	12:55:15	38.8	18:24	mercoledì 7 dicembre	7:25	12:01:16	25.5	16:37					
sabato 27 agosto	6:31	13:11:23	58.1	19:50	martedì 18 ottobre	7:26	12:55:03	38.4	18:23	giovedì 8 dicembre	7:26	12:01:42	25.4	16:37					
domenica 28 agosto	6:32	13:11:06	57.7	19:49	mercoledì 19 ottobre	7:28	12:54:53	38.0	18:21	venerdì 9 dicembre	7:27	12:02:08	25.3	16:37					
lunedì 29 agosto	6:33	13:10:48	57.4	19:47	giovedì 20 ottobre	7:29	12:54:42	37.7	18:20	sabato 10 dicembre	7:28	12:02:36	25.2	16:37					
martedì 30 agosto	6:34	13:10:30	57.0	19:46	venerdì 21 ottobre	7:30	12:54:32	37.3	18:18	domenica 11 dicembre	7:28	12:03:04	25.1	16:37					
mercoledì 31 agosto	6:35	13:10:11	56.6	19:44	sabato 22 ottobre	7:31	12:54:23	37.0	18:17	lunedì 12 dicembre	7:29	12:03:31	25.0	16:37					
giovedì 1 settembre	6:36	13:09:53	56.3	19:42	Sole in Scorpione	23/10	2022	12	34	martedì 13 dicembre	7:30	12:03:59	24.9	16:37					
venerdì 2 settembre	6:37	13:09:34	55.9	19:41	domenica 23 ottobre	7:32	12:54:15	36.6	18:15	mercoledì 14 dicembre	7:31	12:04:28	24.9	16:38					
sabato 3 settembre	6:38	13:09:14	55.6	19:39	lunedì 24 ottobre	7:34	12:54:07	36.3	18:14	giovedì 15 dicembre	7:32	12:04:58	24.8	16:38					
domenica 4 settembre	6:40	13:08:55	55.2	19:37	martedì 25 ottobre	7:35	12:54:00	35.9	18:12	venerdì 16 dicembre	7:32	12:05:27	24.8	16:38					
lunedì 5 settembre	6:41	13:08:35	54.8	19:36	mercoledì 26 ottobre	7:36	12:53:52	35.6	18:11	sabato 17 dicembre	7:33	12:05:56	24.7	16:38					
martedì 6 settembre	6:42	13:08:14	54.4	19:34	giovedì 27 ottobre	7:37	12:53:46	35.2	18:09	domenica 18 dicembre	7:34	12:06:25	24.7	16:39					



Areografia, la cartografia marziana
Dalle osservazioni del 1896/7 a Teramo

Vincenzo Cerulli

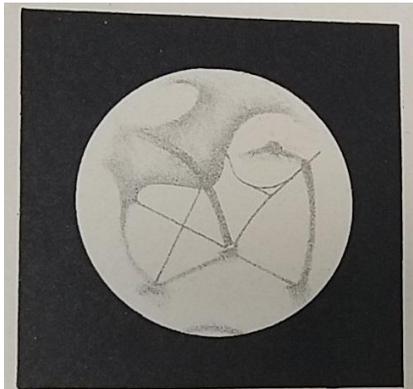
(Osservatorio Astronomico di Collurania, Teramo)

Submitted October 1897, translated 2021

Abstract Vincenzo Cerulli made 11 drawings of Mars at the Cooke refractor of Collurania (40 cm diameter, the largest in Italy). The observations were done in 7 months in the season June 1896-February 1897. The drawings of six nights have been published. Cerulli used the drawings to obtain a detailed albedo map of Mars, through a Mercator cylindrical projection, and published them in the Bulletin of the Royal Astronomical Society of Belgium of December 1897, second volume. Here the drawings are reproduced as well as the aerography, i.e. the map of Mars (Ares in Greek), with the original text.

Sommario Vincenzo Cerulli fece 11 disegni di Marte al rifrattore Cooke di 40 cm di diametro a Colurania (Teramo) il più grande sul suolo italiano. Le osservazioni furono fatte in sei mesi durante la stagione Giugno 1896-Febbraio 1897, i disegni di sei notti sono pubblicati. Cerulli usò i disegni per realizzare una mappa dettagliata della superficie di Marte, mediante la proiezione cilindrica di Mercatore tra $\pm 60^\circ$ di latitudine marziana. Mappa disegni e spiegazioni furono pubblicati nel Bollettino della Reale Società Astronomica del Belgio di Dicembre 1897, volume 2. Qui ne pubblichiamo disegni, mappa e traduzione italiana.

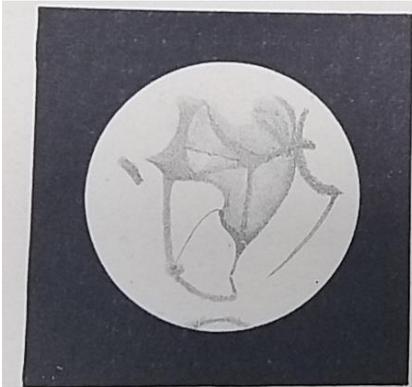
Keywords Mars, Canals, Areography, Mercator projection, planetology.



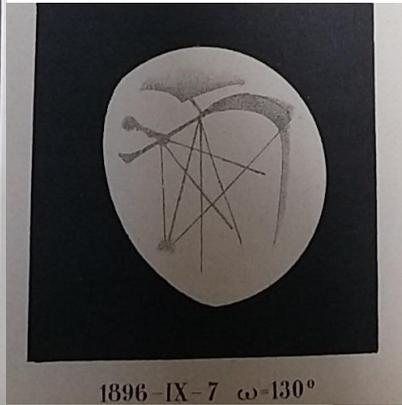
1897-1-1 $\omega = 55^\circ$



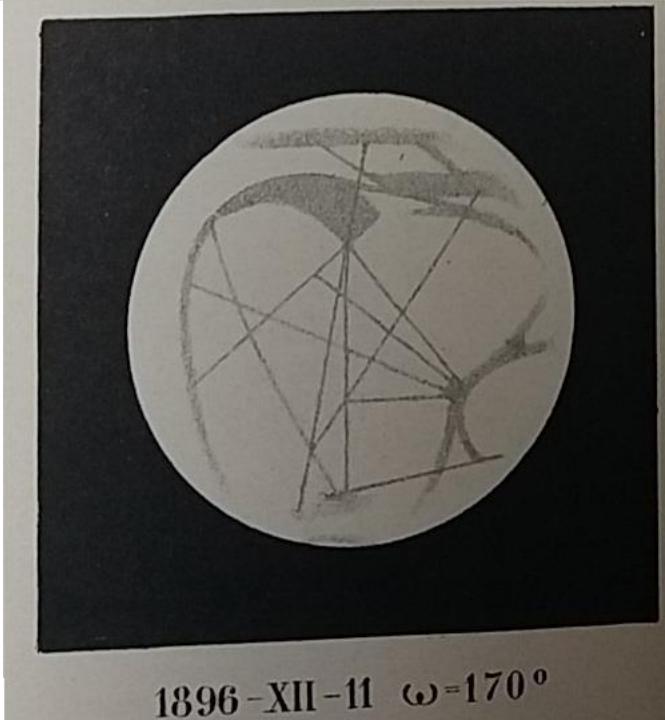
1897-1-4 $\omega = 260^\circ$



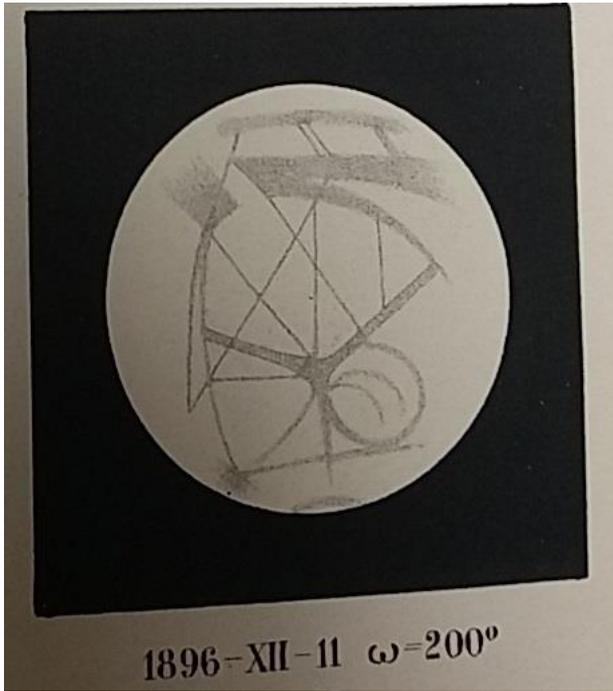
1897-1-4 ω -285°

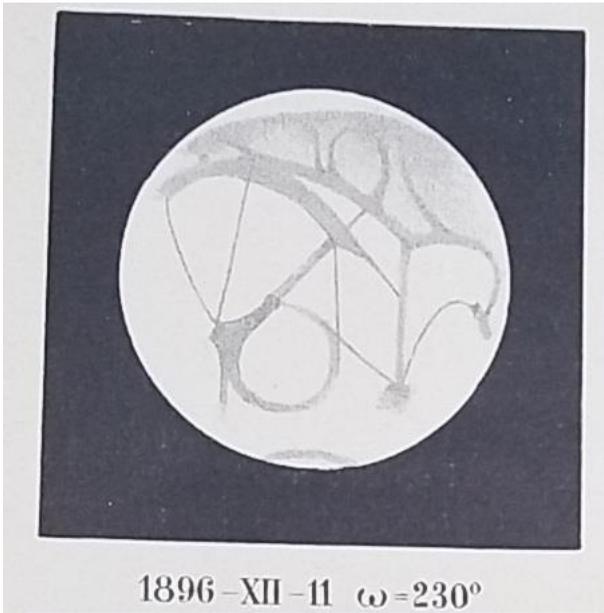


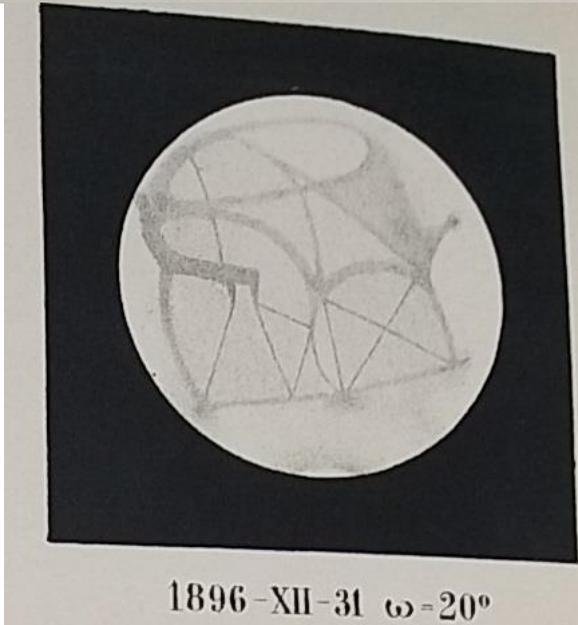
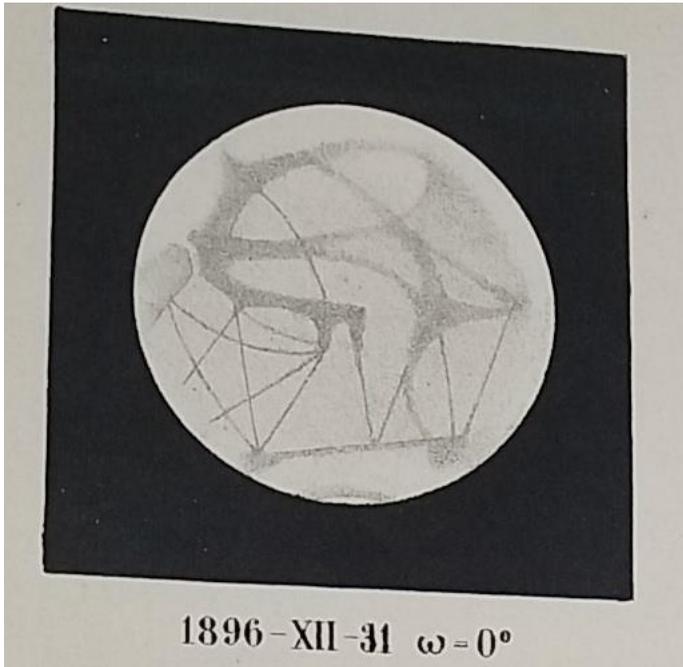
1896-IX-7 ω -130°



1896-XII-11 ω -170°







Il pianeta Marte nella stagione 1896/1897

I disegni di Marte che ho l'onore di presentare ai lettori del bollettino sono stati fatti quasi tutti durante la fase totale dell'ultima opposizione. E si abbracciano tutta la zona planetaria compresa tra le latitudini $\pm 60^\circ$. Ho aggiunto ai disegni una carta *areografica*, di cui i punti fondamentali sono stati direttamente determinati sull'immagine telescopica del 15.5 pollici di Cooke. Una simile determinazione era già stata fatta dal Sig. Schiaparelli e ripetuta dal Sig. Lowell. Avevo creduto di doverlo rifare a mia volta ancora una volta la determinazione. La fissità topografica delle macchie di Marte è la solida base di tutte le nostre conoscenze in fatto di *areografia* e il tempo che si impiega a controllarla non è mai tempo perduto.

Per determinare le longitudini ho osservato *le differenze dei tempi di culminazione* (passaggio al meridiano centrale apparente) delle diverse macchie, eliminando così l'errore che proviene dall'amplificazione fisiologica della fase oscura. Questa amplificazione è stata, è vero, determinata con tutta la cura possibile dal Sig. Schiaparelli, ma ho constatato che nel mio caso ella è variabile e ho dovuto rinunciare a considerarla come una quantità conosciuta. Per le latitudini ho cominciato le mie misure al micrometro, ma non ho tardato ad accorgermi che il filo più fino diventa sul campo una macchina molto grossolana nel momento in cui lo si mette in contatto con i dettagli così delicati dell'immagine planetaria.

Ho adottato allora il metodo delle stime a vista, che mi sembrava in effetti il più sicuro, a meno che il diametro del disco non raggiunga dei valori considerevoli come nelle grandi opposizioni. I fili del micrometro non mi hanno reso qui altro servizio che quello di individuare la direzione del diametro polare. E in questo orientamento del filo così come

nella riduzione delle misure ho dovuto costantemente utilizzare le preziose effemeridi del Sig. Marth, l'abile e infaticabile calcolatore, di cui la fine precoce sarà per molto tempo compianta per coloro che si occupano di topografia planetaria.

Dopo aver piazzato sulla rete di Mercatore i miei punti fondamentali, nel numero di 60, i disegni mi hanno dato le linee che legano questi punti e la carta era fatta. Se noi compariamo questa carta nuova di Marte a tutte quelle dello stesso pianeta tracciate a differenti epoche dal Sig. Schiaparelli noi troviamo il *Sinus Sabacus* identico con quello del 1877 all'eccezione della sua estremità australe Il *Lacus Jaonis* che sembra non essere stata mai vista con la forma così caratteristica che ha avuto negli anni 1894-97. Questa forma non esisteva nel 1894 al momento dei miei primi studi marziani. Nel febbraio 1897 il *Lacus Jaonis* cominciò a schiarirsi nel suo centro (vedere la carta) ed è probabile che noi non lo rivedremo nel 1898. La regione a sud del *Sinus Sabacus* ci ha ricordato la carta provvisoria delle *geminazioni* (1882) ma il fondo delle bande scure come il *Mare Prasodes*, *Mare Erythraeum* ecc. non sembra esserci stato nel 1882 così chiaro come nel 1896-97. Dal *Sinus Margaritifer* al mare delle Sirene non si troverà grandi differenze tra la mia carta e la carta di Schiaparelli se non che il mar a sud di *Thaumasia* mi è sembrato almeno nella visione normale retrocesso è ridotto alle umili proporzioni di un distretto: il *Bosphorus*. Ma il mare *Tyrrhenum* ci mostra un allungamento considerevole verso l'est (sinistra) una banda scura essendosi insinuata tra *Eridania* e *Hesperia*. Quest'ultimo paese e a sua volta steso lui anche verso est invadendo la parte più australe del *Mare Cimmerium* di Schiaparelli. Alla destra di *Hesperia* il distretto *Euripus* ha mostrato delle variazioni molto grandi. La mia carta le

rappresenta come era all'inizio del 1897: divenne dal 1896 via via più scuro fino al momento in cui cominciò a schiarirsi nella sua regione mediana: apparve allora risolto in 2 strutture simmetriche il rapporto al meridiano 261° .¹ Trenta gradi a sinistra di *Euripus* un altro distretto, lo *Xanthus*, che ne imitava le trasformazioni, dando nascita a due canali simmetrici, ben separati a 20° a est dello *Xanthus*, lo *Scamandro* mostrava, a sua volta, la stessa tendenza allo schiarimento progressivo della parte mediana rispetto alle linee terminali.

Il grande sviluppo delle linee del *Trivio di Caronte* ci ricordano le osservazioni che il Sig. Schiapparelli ha fatto su questo posto nel 1882. Il raddoppiamento del *Trivio* osservato a Juvisy dal Sig. Antoniadi e verificato a Roma dal Sig. Peyra, non è stato riconosciuto a Teramo. Ho interpretato il fenomeno diversamente da una *geminazione*, e lo ho considerato come uno schiarimento a destra della foce del *Laestrigon*, proprio come lo ho tracciato nella mia carta. A destra del *Trivium*, l'*Orcus* mostrava una *geminazione imperfetta*, embrionale, i suoi bordi essendo scuriti e nettamente definiti. L'*Orcus-Eumenides* è forse uno dei canali più interessanti: sembra come il limite australe di una regione scura. Questo fenomeno curioso che ho osservato costantemente dal giugno 1897 mi ha fatto ricordare dell'opinione che era già stata espressa dal Sig. Green, che, molte delle *linee marziane sarebbero i limiti di macchie molto deboli* e, per così dire, invisibili.² Ma anche nel caso dell'*Orcus*, il canale, proprio separando due regioni di toni differenti, si presenta sotto un aspetto troppo netto perché lo si possa considerare come una linea ottica privata di esistenza reale. Il *Cerbero* è stato rappresentato nella carta come era a febbraio. Uno schiarimento era appena stato constatato in un punto del suo

¹ Vedere il planisfero e i disegni delle varie osservazioni

² Flammarion, *Mars*, p. 310.

percorso, quasi a metà strada tra il *Trivium* e il *Pambotis lacus*. Lo sviluppo di quest'ultimo sembra non essere mai stato così grande come nel 1896-97.

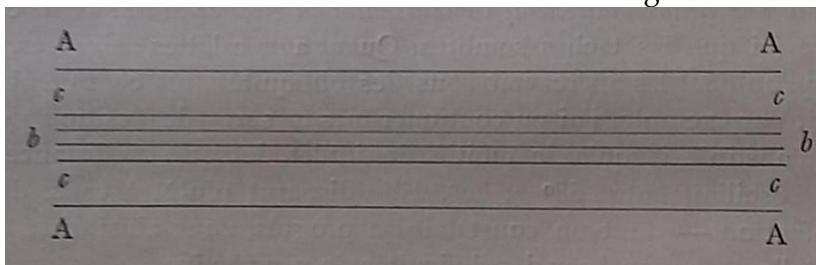
Sulla stessa *Grande Syrte*, sono stati osservati degli schiarimenti parziali molto variabili: ho riprodotto nella mia carta la *Grande Syrte* del 4 gennaio. Una banda scura la attraversava nella sua metà, identica forse con una linea scoperta nel 1894 dagli astronomi di Flagstaff.

Ho segnato il suo nome -*Orosines*- dalla carta del Sig. Lowell. Il bordo orientale della *Grande Syrte* è stata costantemente in contatto con il *lago Moeris*, per 9 mesi, ma la punta (foce della *Nilosyrteis*) era molto più rigonfiata e scura in settembre rispetto a febbraio. Tra questa riduzione della punta della *Grande Syrte* e l'apparizione susseguente dell'*Orosines* ci sarebbe una relazione? Quanto alle linee che la mia carta mostra a Sud della *Grande Syrte*, ho trovato l'*Acolus* e l'*Hadriaticum* così come il limite nord di *Hellas*, perfettamente in accordo con le osservazioni del 1882. Quello che ho chiamato *Ellesponto* era un po' meno sviluppato rispetto al 1896-97. Non ho tracciato il limite meridionale di *Hellas*, anche se l'ho visto molto bene sul piccolo disco del luglio 1896. Ma quando ho iniziato le mie misurazioni delle latitudini (settembre 1896), il polo Sud era troppo basso per quello che questo limite era visibile.

In generale i dettagli della parte più australe della superficie marziana sono scomparsi diversi giorni prima del momento in cui il semplice abbassamento del polo doveva nascondercelo. I giorni in cui la latitudine del centro era quasi nulla, la vista poteva ben abbracciare in una volta 130° dall'equatore: ma sul diametro polare la parte visibile dell'asse sorpassava appena i 120°. Questa sarebbe una prova diretta dello schiacciamento del globo di Marte? Non considero qui che le macchie oscure.

Quanto alle calotte nevose, si sa che le si può avvistare sotto delle obliquità molto considerevoli. Così, per esempio, ho continuato a misurare la posizione della neve australe fino alla metà di luglio, quando la sua distanza dal centro oscillava tra 68° e 80°. Ella sparì piuttosto a causa della liquefazione – di cui si constata il progresso, per così dire, da un giorno all’altro – che invece delle difficoltà di prospettiva. Si può riassumere in poche parole l’aspetto generale della zona marziana compresa tra i paralleli $\pm 60^\circ$ definendola “una rete di bande oscure su un fondo piuttosto chiaro”. Una ventina di queste bande hanno una forma curvilinea da cui il nastro ondulato di *Maedler* (*Sinus Subacus*) è il prototipo. Le altre bande, dirette secondo degli archi di grande cerchio avrebbero dovuto essere rappresentate sulla carta da delle linee leggermente curve, ma ci ho sostituito delle linee dritte, per riprodurre l’impressione di fili tesi che queste hanno nell’immagine telescopica da quando la rotazione di Marte li porta nel mezzo del disco. Questi sono i celebri canali del Sig. Schiapparelli che ci si è abituati a guardare come delle linee quasi geometriche, private di spessore sensibile, tanto che credo si possano classificare nelle categorie delle macchie a nastro. Io darò, in effetti, delle prove che mostrano che queste linee sono certamente più larghe come non apparissero nelle circostanze ordinarie. In primo luogo questi canali, che durante l’opposizione sembrano così stretti che ci si aspetta di vederli sparire appena il disco di Marte diminuirà di grandezza, questi stessi canali, dico, restano al contrario visibili durante una decina di mesi, e il loro aspetto è sempre lo stesso. Su un disco di 7” (luglio 1896) questi non sembravano affatto più piccoli, più sottili, che nel disco massimale di 17” del mese di dicembre dello stesso anno. Perché ciò possa accadere bisogna che la regione che si avverte come una linea divenga via via spessa a misura che il

pianeta si allontanano, significa che agli elementi colorati, che costituiscono il canale, degli altri elementi simili si aggiungono ai due laterali. Oppure questi elementi laterali devono preesistere all'allontanamento perché di conseguenza bisognerebbe ammettere che i canali subiscono un rinforzamento progressivo proporzionale alla variazione di distanza da Marte alla Terra. Dunque si deve riguardare un canale di Marte come l'elemento lineare di una regione oscura.



Per meglio spiegare la mia idea sia AAAA la regione che include tutti gli elementi colorati capaci di contribuire alla formazione dell'immagine di un canale. Quando la distanza da Marte a noi, è 1, noi percepiamo come linea oscura la parte bb centrale. Quando la distanza è 3, ciò che costituisce il canale visibile per noi, non è più la regione bb ma in realtà la regione tripla cccc. Una seconda prova della larghezza dei canali più eloquente può essere che la prima mi è stata fornita dall'aspetto di più di queste linee come *Eufrate*, *Phison*, *Titon*, *Sirenius*, *Letes*, *Tartarus* ecc... offrono nell'*ispezione obliqua*. Queste mi sono sembrate più agevoli a vedersi e per conseguenza più spesse e più scure a delle distanze angolari di 40°/50° dal meridiano centrale, che durante la loro culminazione. Spesso questi canali hanno attirato la mia attenzione in momenti in cui, sapendoli molto allontanati dalla regione culminante (alla quale si indirizzavano i miei studi più

numerosi) io non mi curavo affatto a cercarli.³

Questi stessi canali che avevo appena visto con tanta chiarezza presso il bordo destro del disco e che si erano allora, per così dire imposti alla mia attenzione, io li seguivo con grande interesse nella loro marcia verso il *meridiano centrale*.

Ebbene, dovevo constatare con grande sorpresa che a misura che essi si avvicinavano alla *culminazione* (cioè il *meridiano centrale*) al posto di cambiare larghezza e nettezza, divenivano stretti e più deboli.

Questa osservazione mi sembrava molto istruttiva.

Quella non ci mostra soltanto che i canali di Marte dovevano essere molto larghi per dare alla vista, nelle circostanze favorevoli l'impressione di uno spessore rimarcabile, ma anche che la materia colorata che costituisce queste linee non deve essere disposta in maniera continua, come per esempio l'acqua nel mare.

Al posto di una distribuzione continua si tratta probabilmente di una granulazione in cui dei *gruppi sopraelevati* di materia colorata sono separati da degli intervalli chiari.

Quando si riguardano questi gruppi di traverso, li si vedono ammassati gli uni sopra gli altri in maniera da nasconderci gli spazi chiari più in basso.

Si ha allora l'impressione di una striscia larga e scura mentre, al contrario, se si guardano gli stessi gruppi di faccia, cioè al centro del disco di spazi chiari risultano schiarire il tono dell'insieme.

Questo schiarimento può essere così grande che ogni percezione del canale vicino al meridiano centrale, si cancella.

Si hanno quindi dei canali visibili soltanto quando si vedono *in obliquo*.

³ Vedere tutti i disegni di Marte riportati nelle tavole (già num. 3 e 4).

Il *Phasis* del Sig. Schiapparelli mi ha fornito un esempio di questo genere, non avevo potuto vederlo durante varie delle sue culminazioni e lo credevo completamente sparito quando lo vidi la sera del 25 febbraio 1897 presso il bordo sinistro del pianeta, con la longitudine centrale pari a 160°. ⁴

Delle altre regioni che non si considerano tra i canali, quali la regione di *Ozyge*, le *Noeus Gordii* e il *lago del Sole* hanno mostrato lo stesso fenomeno del *Phasis*.

Durante la loro *culminazione* queste regioni erano sempre così schiarite che si faceva una fatica enorme a distinguerle dal fondo chiaro dei continenti; a 30° - 40° dal *meridiano centrale* quelle sembravano schiarite e incupite, la costituzione fisica di questi paesi (regioni, ndr) offre quindi l'analogia con quella dei canali.

Per ritornare a questi ultimi dirò che ordinariamente lo *schiarimento* che si constata *alla culminazione* ha per effetto quello di ridurre la larga banda a una linea molto sottile che è la risultante delle parti colorate più risaltanti. Quando la visione è perfetta e si guardano queste linee vicino al meridiano centrale con un ingrandimento considerevole può accadere che vicino ad esse si vedano degli abbozzi di altre linee parallele, queste sono dei principî di *geminazioni* di cui abbiamo avuto degli esempi nel 1896-97. Ho visto, per esempio, le *geminazioni* rudimentali del *Gange*, dell'*Euphrate*, del *Leté*, dell'*Orcus*, del *Titano*. Presso il *Titano* mi è anche sembrato che le linee fossero tre almeno nella parte del canale più australe. È che della banda così larga e oscurata nella visione *in obliquità*, più elementi lineari al posto di uno solo

⁴ Siccome questa osservazione in breve non è nitida, per poter definire bene il percorso di *Phasis*, ed io non lo ho tracciato sulla carta. Quello che io chiamo *Sinus Aonius* è quindi la parte destra del *Sinus Aonius* del Sig. Schiapparelli.

restano visibili durante la *culminazione*. Queste *geminazioni* rudimentali sono dunque degli effetti ottici che si producono durante il passaggio di un canale o delle parti successive di un canale per il *meridiano centrale*. Quelle non hanno niente in comune con la *geminazione* dell'*Euripo* segnalata poco prima, *geminazione* che si osserva facilmente anche a distanze considerevoli dal *meridiano centrale* e che consisteva in un vero schiarimento del centro della regione. Quanto alle *geminazioni* osservate in così grande numero dal Sig. Schiaparelli dal 1882, sarebbe molto difficile decidere se quelle appartengono alle categorie delle *geminazioni ottiche* o quelle delle *geminazioni reali*. Comunque sia una cosa mi sembra probabile è che le componenti di una *geminazione* del Sig. Schiaparelli non sono che delle linee limitate estreme della banda oscura. Lo scarto di circa 10° che esiste dalle componenti dell'*Eufrate* significa, secondo questa interpretazione, che la banda oscura corrispondente a quel canale ha 10° di larghezza. Il Sig. Schiaparelli ha potuto vedere nel 1882 i veri limiti laterali di questa banda. Sebbene nel 1896-97 non ho potuto che constatarne lo spessore per mezzo della *ispezione obliqua*.

Teramo (Italia), Osservatorio di Collurania, ottobre 1897.

V. Cerulli.

Ringraziamenti dobbiamo la trascrizione in digitale al prezioso lavoro di Francesco Lombardi, Simone Paolucci, John Franco Mabilino, Jacopo Scotti, Joshua Micu, Diego Follega e Leonardo Masserotti. Maggio 2021, ITIS G. Ferraris, classe 2AT Per l'esperimento (pag. xxii) ringraziamo Massimiliano Serva, Flavio Spennacchio, Gianmarco Lucchini, Alessio Parente, Tiziano Secci, Daniel Dore, Lorenzo Tonon e Victor Verma 2BT.

Areografia, annotazioni sulla cartografia marziana

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted April 30th 2021, accepted May 7th

Abstract The conditions of the observations presented by Vincenzo Cerulli in 1897 are studied to understand nowadays their complexity. Turbulence, seeing and angular dimensions are tested with an optical experiment.

Sommario le osservazioni di Vincezo Cerulli del 1897 sono discusse al fine di capire la loro complessità, con un esperimento di ottica.

Keywords Mars, Canals, Optical resolution, planetology, didactic.

Introduzione: Marte al telescopio e a scuola

Nei programmi scolastici del XXI secolo, Marte non compare in modo particolarmente incisivo, perché la sua osservazione, che cambierebbe radicalmente il rapporto col discente non è fattibile, se non in casi rarissimi. Le nuove tecniche di acquisizione di immagini consentono di realizzare immagini molto più dettagliate degli splendidi disegni pubblicati da Vincenzo Cerulli nel 1896-97, però contendono all'occhio nudo l'uso del telescopio. I risultati rendono ragione dell'esito di questa contesa tecnologica, che già da un quarto di secolo ha precluso l'osservazione diretta al telescopio. Le visite agli Osservatori Astronomici, quando previste, hanno sempre uno strumento commerciale dedicato al grande pubblico, mentre il telescopio principale, quando non è impegnato in osservazioni specialistiche, funziona solo con la mediazione di telecamere e schermi del computer.

L'occhio al telescopio grande non viene più messo da nessuno. Le lezioni di astronomia quindi diventano non dissimili da quelle di botanica,¹ spiegando le innumerevoli casistiche di

¹ È stato detto che Enrico Fermi considerasse pura *tassonomia* un certo tipo di studi in cui occorre classificare oggetti simili ma diversi, come le particelle elementari al suo tempo appena conosciute. Con la fisica Fermi voleva indagare i principi primi del mondo reale, e quindi non fermarsi

evoluzione stellare a partire da una data massa iniziale e metallicità. Altre lezioni servono a spiegare perché l'occhio non può cogliere (subito) i dettagli dell'immagine che non sfuggono alla macchina e al software di analisi, ma pur mostrando l'essenza dell'evoluzione della ricerca astronomica oggi, non dicono completamente la verità.

Questioni di tempo: sconfiggere il seeing con i disegni

L'estensione della campagna osservativa di Vincenzo Cerulli, nel 1896-97 non è eccezionale: qualunque astronomo di vaglia dell'epoca avrebbe dedicato tutti quei mesi per scandagliare il suolo marziano, e anche di più.

Marte era stato studiato da oltre due secoli al telescopio, e Giacomo Filippo Maraldi, che aiutò Francesco Bianchini ad allineare la meridiana di S. Maria degli Angeli a Roma nel 1701, fece una prima determinazione accurata della rotazione di Marte in 24 ore e 40 minuti, osservando i passaggi al centro del disco della Syrtis Major. Questi non sono altro che le culminazioni, o passaggi al meridiano centrale di cui parla Vincenzo Cerulli. Maraldi ha scoperto la calotta (macchia) polare boreale, e ha osservato quella australe, già scoperta da Christiaan Huygens.² Mister Albert Marth,³ (1828-6 agosto 1897) ha fornito le effemeridi più aggiornate del suo tempo, della rotazione di Marte, e Vincenzo Cerulli le usò per trasportare dai disegni al reticolo di Mercatore i dettagli superficiali osservati. Dal tempo di Maraldi al tempo di Cerulli

alle classificazioni. Del resto anche Linneo, il maggior botanico della storia, che ha inventato il moderno sistema di classificazione delle piante, nel suo insegnamento era tutt'altro che statico e noioso, intraprendendo periodicamente gradite gite in campagna con i suoi studenti, chiamate *herbationes*, per classificare le erbe. (Paolo Casini)

[https://treccani.it/enciclopedia/carlo-linneo_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)/](https://treccani.it/enciclopedia/carlo-linneo_(Enciclopedia-dei-ragazzi)/)

² https://fr.wikipedia.org/wiki/Giacomo_Filippo_Maraldi

³ https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1898MNRAS..58..139./ADS_PDF

i telescopi avevano avuto un'evoluzione significativa: si erano accorciati perché la lente obbiettivo era diventata un doppietto (due lenti sovrapposte) che limitava notevolmente il problema del cromatismo delle immagini. Il brevetto di Dollond per il doppietto arrivò nel 1758. Due lenti sovrapposte però complicano la lavorazione ed il peso dell'obbiettivo, per cui questi strumenti arrivarono al massimo ad 1 m di diametro (Yerkes Observatory) e milioni di dollari di costo. Una lente di 125 cm di diametro, realizzata per l'eposizione universale del 1900, è conservata a Parigi, ma non fu mai montata su un telescopio capace di funzionare.⁴ Vincenzo Cerulli,⁵ che studiò fisica alla Sapienza, fece costruire a sue spese l'osservatorio a Teramo e comprò il rifrattore più grande che sta sul suolo Italiano, con cui effettuò numerose osservazioni e scoperte.

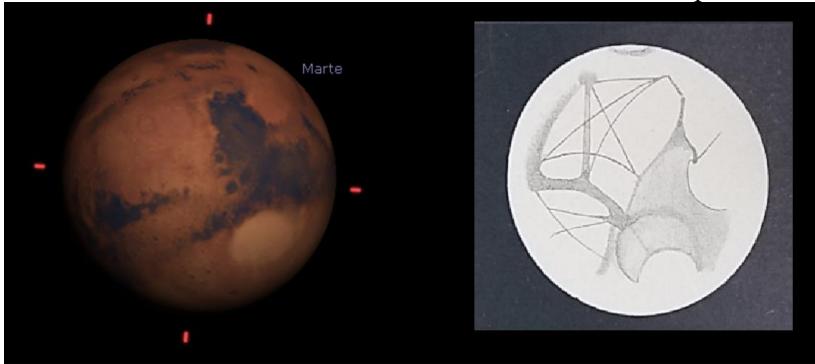


Fig. 1 Marte il 31/12/1896 alle 18 ora locale di Teramo. La simulazione con Stellarium 0.20.2 è per le 17:52 TMEC. Nel disegno di Cerulli, raddrizzato col Nord in alto, si vede le *nives boreales*, la calotta polare. Nella notte tra il 31 dicembre il 1 gennaio 1897 Cerulli osservò Marte partendo dal $\omega=310^\circ$ fino a $\omega=55^\circ$ ($360^\circ+55^\circ$) con una rotazione di 105° . Poiché Marte ruota invariabilmente in 24 ore 40 minuti, questi

⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Paris_Exhibition_Telescope_of_1900

⁵ https://web.archive.org/web/20110719020214/http://www.oa-teramo.inaf.it/ita/index.php?option=com_content&task=view&id=21&Itemid=54

gradi corrispondono a 105/360 di questo periodo, cioè 7 ore e 12 minuti. Quella notte Cerulli fece disegni di Marte dalle 18 PM all'1 AM. Un'altra ora almeno va aggiunta per il completamento del disegno dell'ultima osservazione e l'inizio della prima.

Evidentemente quella notte il seeing era buono, ma soprattutto l'atmosfera era limpidissima, e quindi era anche freddo. Forse non ventoso, altrimenti il seeing sarebbe stato molto turbolento.

Otto ore di freddo, seduto al telescopio, ben coperto, forse con qualche tazza di bevanda calda... questa era la notte di lavoro di un astronomo. Nel 1997 ho fatto diverse notti marziane anche io, con un telescopio più piccolo 114 mm contro 400 mm nell'obbiettivo, risoluzione massima teorica 0.9" vs 0.25", riflettore di tipo Newton contro rifrattore. La mia ottica era certamente meno performante di quella di Cerulli. Anche l'osservatorio era meno "adatto" perché era il balconcino della cucina, ma i mesi decisamente più caldi. Ho imparato a conoscere le variazioni del seeing, della turbolenza del vento che passava tra gli alberi. Quando il flusso d'aria incontrava un albero prima di passare "su Marte" l'immagine si agitava, quando invece l'atmosfera era calma o il vento veniva dall'altra parte senza toccare alberi o case prima l'immagine di Marte era più calma e si potevano vedere dettagli. I momenti di calma su tre ore di osservazione erano molto rari, ma ho fatto dei disegni schematici in cui riportavo tutti i dettagli che osservavo, e una volta vidi pure la *nix olympica* ossia il punto brillante che riflette la neve sul Monte Olimpo, il vulcano più alto del Sistema Solare, 27 km.

Con Marte ho imparato cosa significa osservare.

Un'esperienza di molte ore al telescopio che, come quella di un pilota d'aereo, non si può apprendere in un minuto, ed è per questo che le prime osservazioni al telescopio per il pubblico sono deludenti: "tutto qui?". Quel che c'è richiede molti minuti per essere avvistato, e riconosciuto, poi disegnato... a quel punto la visione sarebbe completata. Cerulli ci mostra un saggio di osservazione di tutta la stagione 1896-97. Marte il 31 dicembre aveva un diametro apparente di 14.74", significa che l'angolo sotteso è quello di una moneta ad una distanza di 14000 volte il suo diametro. Se prendiamo un

eurocent di 16.25 mm di diametro lo dobbiamo mettere a 227.4 m di distanza. Nelle grandi opposizioni Marte arriva a 25" quindi il nostro eurocent lo possiamo avvicinare a 134 m, sempre troppo lontano.

Possiamo vedere dettagli su quella moneta?

Con il telescopio Newton di 25 cm f/4 dell'ITIS Ferraris di Roma facciamo l'esperimento con la moneta da un eurocent nella cui parte frontale c'è un dischetto di 6 mm, e 6 coppie di stelline collegate da sei righe separate la prima dall'ultima di 4 mm, ogni riga è a 0.8 mm dall'altra. Posta a 30 m ogni riga descrive circa 5.5".

Questa prova è stata fatta il 5/5/21. La moneta posta a 29.25 m dallo specchio del telescopio, copre $114.6'' = 3600 \cdot \arctan(16.25/29250)$.

Marte del 1/1/1897 corrispondeva a poco più di 1/10 di tale diametro angolare, e non arrivava a tre righe parallele. Idem nel 1997 per me.

Distanze angolari e seeing atmosferico Marte in quel giorno si trovava a 95 Mkm, il suo diametro equatoriale è 6792 km. L'angolo sotteso dal diametro di Marte è $6792/95M = x/29250$ deve essere uguale a quello di un oggetto posto a 29.25 m largo x [mm].

Dalla proporzione risulta $x = 6792 \cdot 29250 / 95M = 2.09$ mm, ossia poco più di 2 righe $\frac{1}{2}$ di quelle sulla moneta da 1 eurocent.

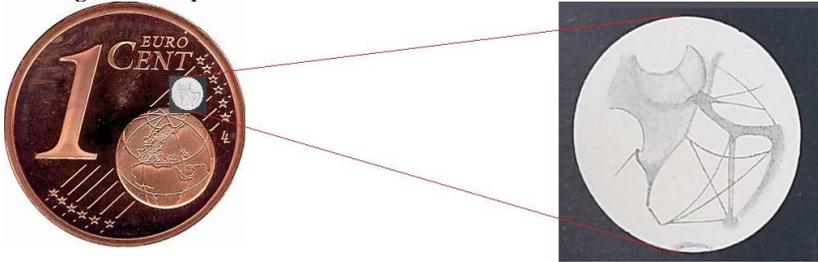


Fig. 2 Le dimensioni di Marte rapportate ad una moneta di 1 centesimo posta a 30 m di distanza, quando il suo diametro è 15" come il 1/1/1897: copre quasi 3 delle 6 righe parallele che collegano le 6 coppie di stelle della UE. Nelle grandi opposizioni, ogni 18 anni, Marte coprirebbe tutte le 6 righe. Le righe al telescopio si vedono, meglio ad occhio che riprendendo con la camera: lo zoom digitale non può creare ciò che l'ottica non vede. Il limite teorico della risoluzione tra due linee è, per un obiettivo da 25 cm, $10/25'' = 0.4''$, ma vicino al suolo la turbolenza supera, di giorno, i 2"-3".

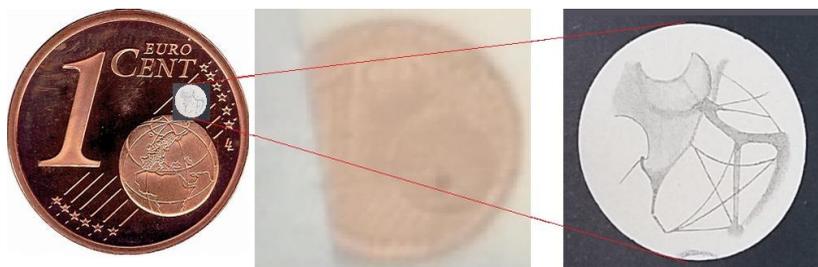


Fig. 3 Immagine dell'eurocent a 29.25 m con oculare 10 mm, 100x, *best image* di un video con la camera applicata all'oculare, "afocale". L'immagine centrale di fig. 3 è presa da un video dal quale ho estratto il fotogramma più nitido, in cui si vedono le righe e le loro separazioni (6"), quindi si è raggiunto un seeing attorno ad 1", a giudicare dallo spessore delle righe. Ma è un fotogramma su migliaia (tecnica della *best image*) per cui il seeing medio sale facilmente a qualche secondo d'arco, come è normale di giorno e vicino a terra. Di notte è difficile avere seeing molto buoni, ossia adatti per i pianeti, perché la minima turbolenza cancella i dettagli osservati. La *best image* viene creata dal nostro cervello man mano che coglie, negli istanti favorevoli, i dettagli che cerca. Per questo nel disegno troviamo i dettagli più fini.

Disegnare i pianeti è il modo di allenarsi a cogliere i dettagli superficiali, con cui i nostri predecessori hanno studiato i mondi a noi più prossimi. Maraldi e Huygens studiarono così Marte, Bianchini studiò Venere, su Mercurio si sono cimentati in molti a partire da Gassendi che lo vide contro Sole nel 1631, ma senza trovare granché anche con i maggiori rifrattori: Antoniadi a Meudon, Parigi-lente di 83 cm di diametro-realizzò una mappa dettagliata, che non si accorda però con le foto delle sonda Mariner 10 (1974-1975).⁶

Referenze M. Falorni e P. Tanga, *Osservare i Pianeti*, Quad. Astronomia (1994)
V. Cerulli, *Marte nel 1896-97*, Bull. Soc. Belge d'Astronomie (décembre 1897)

https://it.wikipedia.org/wiki/Canali_di_Marte

P. Di Lazzaro, D. Murra, B. Schwartz, [*Percezione di figure a seguito di elaborazione di immagini a basso contrasto, il caso della Sindone di TO*](#) ENEA 2012

⁶ Massimo Bruschi, <http://planet.racine.ra.it/testi/mercurio.htm>

I disegni di Marte di Vincenzo Cerulli dopo 124 anni

Paolo Tanga

paolo.tanga@oca.fr

(Observatoire de la Côte d'Azur, Laboratoire Lagrange)

Submitted May 15th 2021, accepted May 15th

Abstract The 2021 re-edition of the drawings of Vincenzo Cerulli is the occasion to present the *errors because of expectation* raised by the desire to observe what other colleagues saw, the canals of Mars.

Sommario La presente riedizione dei disegni di Marte fatti da Vincenzo Cerulli ci porta a riflettere sugli *errori di aspettativa* originati dal desiderio di vedere quanto altri osservarono: i canali di Marte.

Keywords Mars, Canals, Optical resolution, Optical illusion.

Introduzione: Marte, Schiaparelli, Cerulli e Magini

Non posso che complimentarmi con gli studenti del Prof. Sigismondi per il lavoro di riedizione dei disegni di Cerulli, noti per lo più solo a qualche addetto ai lavori a favore delle più celebri osservazioni di G.V. Schiaparelli. E' vero: l'astronomo di Brera aveva « aperto la strada » dell'areografia, meritandosi l'appellativo di « Maestro » dai suoi colleghi del tempo, ed era anche diventato celebre per altre sue ricerche.

Eppure, la tradizione dell'osservazione planetaria italiana non si arrestò, e personalità come Vincenzo Cerulli e poi Mentore Maggini, ce lo ricordano.

Le pagine trascritte e la testimonianza sull'osservazione marziana di Costantino Sigismondi, ci rimandano proprio a quella che divenne nota come la “teoria ottica” dei canali di Marte che, a fine '800, fu quasi profetica di quello che sarebbe successo nell'arco di pochi anni: “...*quello che fin qui si è scoperto su Marte [...] rappresenta [...] qualche cosa che così appare come i mezzi ottici consentano che apparisca e che domani, con i mezzi ottici progrediti, apparirà diversamente da oggi*”. Questa prosa di stile poetico annunciava la “rivelazione” che sarebbe arrivata con l'astronomo greco-francese E.M. Antoniadi, nel 1910, utilizzando la “Grande Lunette” di Meudon, presso Parigi.

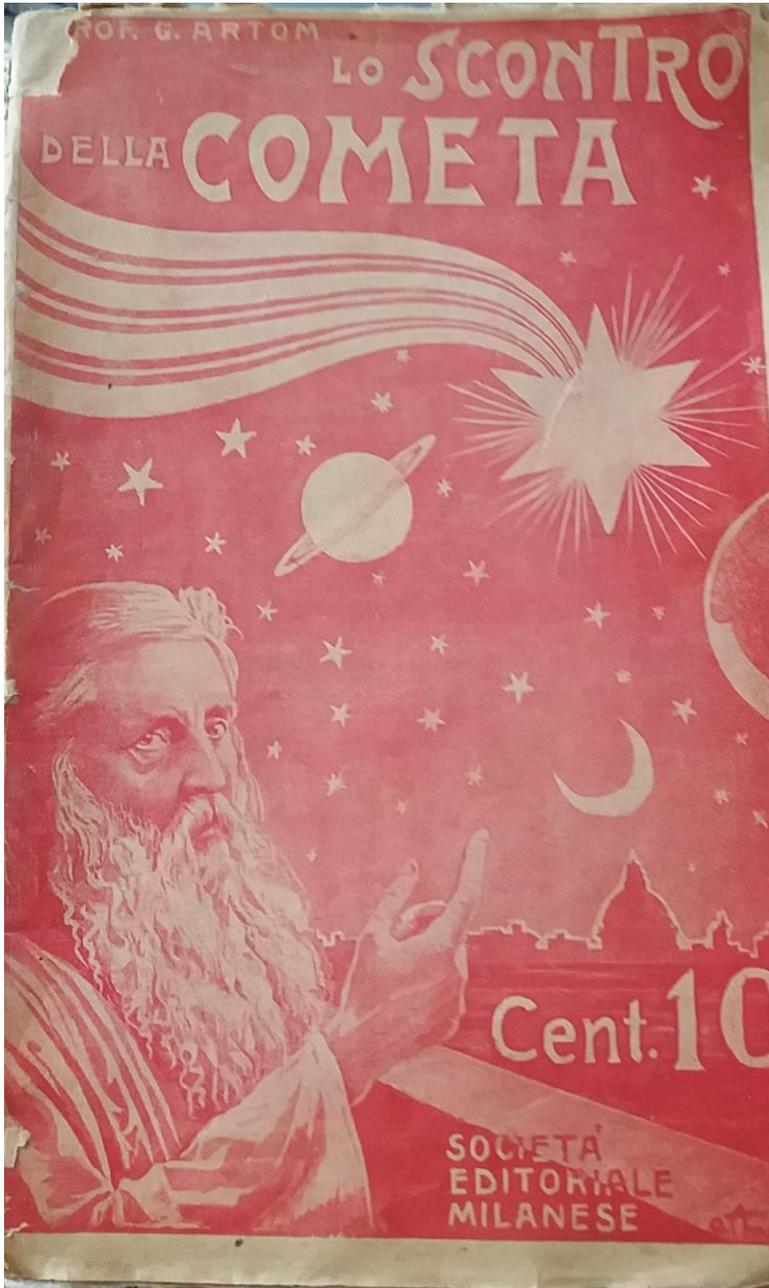
La teoria dei canali

L'articolo trascritto contiene già tutti i fondamenti della "teoria", cioè che i canali non sarebbero altro che il risultato della fusione, nell'impossibilità di distinguere i dettagli, di macchie e sfumature naturali, prive di geometria.

Oggi sappiamo che questa spiegazione è incompleta: una parte della straordinaria storia marziana è probabilmente dovuta ad un "errore di aspettativa", ovvero alla tendenza a cercare di vedere ciò che altri avevano già visto.

Non c'è dubbio: come lo scritto di Costantino Sigismondi ci ricorda, osservare Marte è ancora oggi un'esperienza all'intersezione tra ottica e psicologia... che ci porta a riflettere sul significato di "guardare", "osservare" e "vedere". Un monito, in fondo, sui limiti che si frappongono tra noi, il Mondo che ci circonda e la percezione che ne abbiamo!

Referenze: V. Cerulli, *Marte, Areografia 1897*, Gerbertus 14, i (2021)
C. Sigismondi, *Annotazioni*, Gerbertus 14, xvii (2021)



Prof. G. ARTOM

Lo scontro della Cometa



MILANO

SOCIETÀ EDITORIALE MILANESE

Stabilimento: SESTO S. GIOVANNI

LE COMETE NELL'ANTICHITÀ

Superstizioni, pregiudizi e paure

Per un tempo lunghissimo le comete furono per l'umanità un mistero pauroso e imperscrutabile e servirono soltanto ad alimentare la superstizione. La scienza, debole ancora e incerta, si sentiva sgomentata davanti a questo arcano e taceva, e ciò che era peggio, avanzava delle ipotesi che contribuivano ad aumentare l'oscurità intorno all'essenza ed alla vita delle comete.

L'opinione prevalente nei campi scientifici supposeva che le comete fossero corpi sublunari, o meglio, umori accesi dal Sole, o nella sfera del fuoco, o addirittura emanazioni della Terra stessa, come i fuochi fatui che s'infiammavano nelle regioni del fuoco.

L'astrologia si sbizzariva a suo piacimento intorno alle comete, e tessera delle terribili leggende facendo apparire le comete come delle... commesse viaggiatrici di spaventosi avvenimenti terrestri. Ed il popolino, aiutato dagli spiriti più illustri dell'antichità, che non avevano potuto sottrarsi al pregiudizio, credevano che il cielo fosse una specie di oracolo universale nel quale si poteva leggere comodamente l'avvenire. E poiché alcuni pretendevano che le comete fossero esalazioni terrestri, altri completarono l'errore affermando che le comete erano le anime dei grandi trapassati che salivano al cielo abbandonando il nostro pianeta, colpito da tanti flagelli.

I romani infatti ritennero che la grande cometa comparsa

nell'anno 43 avanti cristo, dopo la morte di Cesare, fosse appunto l'anima del grande dittatore pugnalato. Lo storico Giuseppe attribuisce alla comparsa di una cometa il terribile assedio di Gerusalemme. Svetonio pone a carico dell'influsso di uno di questi astri gli orrori commessi da Nerone e la morte Claudio e Vespasiano. Tacito ci dice che il feroce Nerone sacrificò sempre alle comete il sangue più illustre e Plinio completa riferendo che durante il regno di Nerone le comete apparvero quasi di continuo. Ma prima che nell'impero Romano il pregiudizio aveva disfrenate le sue leggende in Grecia e dalla storia apprendiamo che la cometa apparsa nel 371 avanti cristo e descritta da Aristotele, annunciò, secondo Diodoro Siculo, la decadenza dei Lacedemoni, e secondo Eforo, la distruzione delle città di Elice e di Bura in Acaia, distruzione avvenuta in seguito ai terribili assalti del mare in tempesta. Plutarco narra che la cometa, dell'anno 344 avanti Cristo espresse per Timoleone da Corinto il presagio del successo della spedizione da lui stesso diretta contro la Sicilia.

Gli storici Sazoncene e Socrate raccontano alla loro volta, che nell'anno 400 una cometa in forma di spada risplendette sopra Costantinopoli e parve toccasse la città nel momento dei grandi infortuni, preannunciando la perfidia di Gainas. Nel torbido e oscuro medioevo il pregiudizio acquistò d'ampiezza e le comete vennero descritte con parole fantastiche da sembrare il sogno di un allucinato. Tratto tratto l'umanità era scossa da un brivido di terrore. Passata l'angosciosa aspettazione della

fine del Mondo, quando il Sole -risplendendo in tutta la sua maestà smentì il terrore destato dalle profetiche parole di Cristo:¹ *Mille non più Mille*, parve che gli uomini si affaticassero per tormentarsi con altre profezie e con altre paure. L'Apocalisse aveva parlato di una stella chiamata Assenzio che doveva avvelenare i mari ed i fiumi della Terra.

Grandissimo perciò fu il terrore quando nel 1480 si diffuse la voce che in Arabia era stata veduta una cometa, avente l'apparenza d'una trave luminosa, sulla quale si distingueva una moltitudine di teste inchiodate, poi si vedeva un'enorme falce, simile a quella della Morte, o del Tempo, sormontata da una lama tagliente.

E che pensare della formidabile cometa del 1527, distinta durante cinque quarti d'ora appena, ma che non fu dimenticata per gran tempo? «Essa era — secondo quanto afferma il *Libro dei Prodigii*- di un colore sanguigno che si modificava all'estremità della coda con una tinta di zafferano. Dal nucleo della, cometa usciva un braccio ricurvo, armato di una spada immensa, pronta a colpire. Tre stelle scintillavano all'estremità dell'arma celeste, ma quella che si vedeva alla punta era la più brillante e la più grande. Sui lati del corpo luminoso si distinguevano dei raggi che avevano la forma di picche e di spade di più piccole dimensioni. In mezzo a queste armi apparivano delle teste umane rotolanti qua e là tra le nuvole. »

Nel voler ricordare le fantastiche descrizioni, le profezie e

¹ Non è attestata nei Vangeli, e probabilmente è un'invenzione romantica.
L'autore è convinto della "torbidità" del Medioevo (n.d.r.).

le interpretazioni fatte nel passato intorno alle comete si dovrebbe scrivere un volume di almeno un migliaio di pagine.

Ci limiteremo a ricordare che Alfonso VI, re del Portogallo, — stando a quanto si narra — alla notizia della comparsa della cometa del 1664, si recò sul balcone e le lanciò sciocche ingiurie, minacciandola persino con una pistola. Ciò però non valse ad impedire alla cometa di compiere il suo maestoso cammino!

Giova però, giacchè quest'anno appare la famosa cometa di Halley, ricordare le fantasticherie suscitate nel passato dall'apparizione di questo astro.

Nell'837 si attribuì alla cometa di Halley il preannuncio della morte di Luigi il Buono; e nel 1066 l'apparizione della cometa accompagna l'invasione dell'Inghilterra per opera di Guglielmo il Conquistatore alla testa dell'esercito normanno : *nova stella, novus rex*.

Altra comparsa della stessa cometa, che presenta per noi grande interesse, è quella del 1301. Infatti un valoroso storico, Roberto Davidsohn, che con tanto amore si occupa delle antiche vicende di Firenze, pose in rilievo come il ritorno della cometa di Halley abbia accompagnato l'arrivo di Carlo di Valois in Firenze, l'oppressione dei Bianchi, e la condanna e l'esilio di Dante. Il Villani ricorda infatti nelle sue Cronache l'apparizione di «una stella cometa con grandi raggi di fumo dietro» fenomeno che secondo i «savi astrologi» prediceva pericoli e danni alle provincie d'Italia, e in particolar modo alla città di Firenze. Finalmente quando

nel 1456 Maometto II, già padrone di Costantinopoli da tre anni, proponendosi di conquistare l'Europa assediava Belgrado, apparve splendida la cometa di Halley, terrorizzando Turchi e Cristiani che intravedevano in essa la forma di una croce o quella di una scimitarra. E sotto la luce della cometa avvenne la battaglia che segnò la disfatta degli'infedeli e costò la vita a quaranta mila combattenti.

In seguito all'apparizione di questa cometa papa Calisto III —stando a quanto scrive il Laplace nella sua *Exposition du Système du Monde*— ordinò una preghiera per scongiurare la cometa ed i turchi. E questa prece speciale, fu *l'angelus* del mezzogiorno, accompagnata dal suono delle campane.

La superstizione ed i pregiudizj sulle comete vissero a lungo e caddero nel secolo XVII quando il genio immortale di Newton riuscì a dimostrare che le orbite delle comete sono ellittiche come quelle dei pianeti, che il loro movimento è regolato dalle leggi stesse che regolano i pianeti, che le comete appaiono assai più di rado essendo la loro orbita molto eccentrica e perciò noi le vediamo solo in una parte minima della loro orbita, mentre per la loro grande distanza sfuggono poi per anni ed anni, qualcuna anzi per secoli, alla nostra vista.

Primo a tentare il calcolo di un'orbita cometaria fu Tycho Brahe nel 1577, e Kepler proseguì lo studio dei suoi movimenti, concludendo solo che le comete non viaggiano a casaccio.

Nel 1608, cioè tre anni prima della scoperta del

canocchiale, quando non si conoscevano che le sole poche comete visibili ad occhio nudo, Kepler scriveva queste parole che dimostrano come il grande astronomo intuisse già la vita che si svolgeva invisibile agli occhi umani, fra gli astri: «Io tengo per certo che vi sono tante comete nel cielo, quanti sono i pesci dell'Oceano.»

Sul principio del secolo XVII era già ammesso che le comete sono soggette a leggi costanti come i pianeti. Quanto al genere delle curve orbitali fu il primo un italiano – precursore di Newton e di Halley, Alfonso Bonelli, che fin dal 1664 riconosceva che queste curve erano ellittiche.

Edmondo Halley, avendo preso a calcolare col metodo indicato da Newton, suo amico, le orbite paraboliche di 24 comete, di cui aveva potuto raccogliere osservazioni sufficienti, trovò che le comete osservate nel 1531, nel 1607 e nel 1682, avevano presso a poco seguita una medesima strada, strada che stando alle descrizioni anche incompiute lasciate dai cronisti, doveva avere del pari percorsa la cometa apparsa nel 1456. Gli intervalli di tempo trascorsi fra le apparizioni di questa cometa sono presso a poco gli stessi; ed Halley non tardò a persuadersi che i medesimi si riferivano ad una stessa ed unica cometa, la quale avendo un periodo di 75 anni circa, era successivamente apparsa negli anni 1456, 1531, 1607, 1682 e sarebbe per conseguenza ridivenuta visibile verso la fine del 1758, od al principio dell'anno 1759.

Venne quest'epoca. Già Halley aveva notato che il periodo corso tra l'apparizione del 1532 e quello del 1607,

era stato di 585 giorni diverso da quello trascorso per le apparizioni del 1607 e del 1682 ed aveva con accortezza attribuita tale differenza dell'azione di Giove e di Saturno, i due maggiori pianeti del nostro sistema.

La cometa apparve come Halley aveva previsto, verso la fine del dicembre 1758 e toccò il perielio il 13 Marzo 1759. Dalle scoperte di Halley il grande Newton si valse per generalizzare ancora quelle leggi che schiusero all'astronomia un avvenire radioso. Il velo di mistero che chiudeva la vita planetaria veniva infranto e il poeta Pope poteva dettare questo epitaffio:²

La natura e le leggi erano nascoste nella notte

Dio disse: sia Newton! E tutto fu luce.

CHE COSA SIA UNA COMETA

E ora vediamo brevemente e rapidamente che cosa è una cometa.

La parola cometa veniva dal greco *coma* e significa *astro chiomato*, ciò in seguito alla forma che presenta. I caratteri generali di una cometa sono: un punto definitivo o *nucleo*, una luce nebulosa, che circonda il nucleo e che con esso fu chiamata testa ed una striscia luminosa, che segna o prende il nucleo, detta *coda*. Anticamente quando la striscia prevedeva il nucleo, come avviene quando la cometa è passata al suo perielio e si allontana dal Sole, si

² Nell'abbazia di Westminster, dov'è la tomba di sir Isaac Newton.

chiama *barba o chioma*, conservando solo il nome di *coda* allorché seguiva la cometa nel suo accostarsi al Sole. Questa distinzione è sparita dall'odierna astronomia, e l'appendice cometaria chiamasi *coda*, qualunque sia la sua apparente posizione.

Fra i pianeti e le comete vi sono alcuni punti di differenza. I pianeti si muovono nella stessa direzione da ponente a levante, o come dicono gli astronomi con *moto diretto*, mentre i movimenti delle comete sono spesso da levante a ponente, ossia con *moto retrogrado*.

Le orbite dei pianeti sono tutte comprese in una zona di non grande ampiezza, e sono presso a poco quasi tutte circolari o più propriamente parlando, sono elissi di piccola eccentricità; invece le orbite delle comete presentano qualunque varietà di eccentricità, ed alcune hanno la forma di elissi, altre di iperboli ed altre ancora — e ciò si verifica nel maggior numero, non differiscono notevolmente dalla parabola, ossia dalla forma limite della curva, cui l'elisse e l'iperbole si approssimano sotto certe condizioni.

Per ciò che si riferisce alla costituzione delle comete l'analisi spettrale dimostra che i nuclei cometari sono prevalentemente costituiti da idrocarburi, o combinazioni del carbonio coll'ossigeno, avvertendo che le comete che più si avvicinarono al Sole rivelarono anche notevoli tracce di ossigeno, iodio, ferro, ecc. Comunque i nuclei cometari sono generalmente tenuissimi. Il vero enigma cometario sta principalmente nei fenomeni caudali.

Non pare possibile ammettere che le code, talora

sterminate, possano essere veramente materiali, cioè composte di corpuscoli, per le velocità enormi e diverse che dovrebbero avere al perielio. Tuttavia prevale, e non senza fondamento, l'opinione della materialità, sia pure ridotta alla tenuità eterea. Sembra quasi superfluo soggiungere che le code cometarie non hanno relazione alcuna cogli strascichi luminosi lasciati dietro di sé e lungo il loro cammino delle stelle cadenti e dai bolidi, non per effetto di radiazione solare, ma per incandescenza prodotta dall'attrito contro la nostra atmosfera.

LA COMETA DI HALLEY

Ma poichè quest'anno, dopo 74 anni d'assenza, abbiamo lo spettacolo dell' apparizione di una cometa e precisamente della famosa cometa di Halley, della quale sappiamo quali superstizioni abbia esercitato e quanto alimento abbia fornito all'astrologia nei periodi delle sue magnifiche apparizioni, giova parlare brevemente di questa cometa.

Nel capitolo precedente abbiamo detto come Edmondo Halley scopse il corso di questa cometa che corre vertiginosamente lungo la elissi di cui uno dei fuochi è occupato dal Sole che esercita sull'astro caudato la sua immensa forza di attrazione.

Dopo che ultimamente la «retur minerale» della macchina fotografica la scorse scaturire dalle profondità del cielo e ne fissò l'immagine sulla lastra sensibile, la

velocità della cometa è andata aumentando ogni giorno man mano che si avvicina al Sole.

La cometa di Halley compie il suo viaggio in un periodo medio di tempo di 27860 giorni, periodo che a suasa delle perturbazioni provocate dai corpi celesti può anche accrescersi o diminuire di oltre 500 giorni. Del resto la cometa corre velocissima se si pensa che l'asse maggiore dell'elisse assai allungata che segna il suo cammino misura 149 milioni e mezzo di chilometri.

La minor distanza dell'astro dalla terra si verificherà il 19 maggio nelle prime ore del mattino. Secondo il prof. Millosevich la cometa ha cominciato ad essere visibile ad occhio nudo ai primi di maggio all'alba, verso levante, mentre tra il 16 e il 21 resterà invisibile per la sua grande vicinanza al Sole. La cometa di Halley comincerà ad avvicinarsi alla Terra dal 16 marzo fino a che la minima distanza tra i due corpi celesti sarà ridotta a 23 milioni e mezzo di chilometri.

Se dunque tutto avverrà secondo le varie previsioni, il nucleo della cometa, e cioè la parte sua più densa e più brillante, potrebbe anche passare il 18 maggio sul disco solare; e allora si verifica il fatto raro e importantissimo della storia dell'astronomia di poter osservare l'aspetto di questo nucleo proiettato sul sole e di vedere attraverso tutta la coda a quali fenomeni di assorbimento darà origine la massa cometaria sulle radiazioni che compongono lo spettro solare. Nel giugno del 1719, il Touchet ricorda che il passaggio di un nucleo di cometa si è già verificato. E si vide allora che esso si mostrava più

luminoso della fotosfera solare.

LO SCONTRO DELLA TERRA COLLA COMETA

La cometa di Halley ha fatto molto parlare di se, come quella che potrebbe creare...il fattaccio planetario. Difatti non è escluso che si possa verificare il passaggio della Terra attraverso la coda della cometa.

Per tale incontro basta, secondo i calcoli dell'astronomo Emanuelli, che la coda della cometa abbia una lunghezza di 23 milioni e mezzo di chilometri, e che la sua larghezza, dall'asse della coda alla Terra, raggiunge al momento del passaggio i 400 mila chilometri; cifre non enormi, perchè le code delle comete possono misurare lunghezze anche di 50 e 60 milioni di chilometri.

Questo incontro della Terra colla coda della cometa, ha fatto nascere molte apprensioni per i destini dell'umanità. E i religiosi hanno rammentata la famosa stella avvelenatrice minacciata dall'Apocalisse, o questa supposizione ha preso forme più preciso ed ha, impressionato maggiormente al ricordo di una previsione del teologo inglese Bengel. Nel settecento, cercando di fornire una spiegazione dell'Apocalisse, concernente la fine del mondo, il Bengel giunse, dopo lavori giganteschi, a prevedere una catastrofe terrestre, non per il 18, ma per il 20 maggio. Senonché egli indicava l'anno 1810. Forse nel corso delle sue addizioni, sottrazioni e moltiplicazioni egli si è... ingannato di un secolo in meno. In tal caso, il calcolo del teologo non

avrebbe nulla di soddisfacente per noi!

Ma lasciando da parte le superstizioni delle folle e le fantasie teologiche, vediamo piuttosto il pensiero dei più autorevoli o illustri astronomi sul minacciato scontro della Terra con la cometa di Halley e... sulla conseguente fine del Mondo.

In una conferenza tenuta alla sezione astronomica del circolo Filologico Milanese nel febbraio di quest'anno, l'astronomo prof. Giovanni Celoria ha detto: «La scienza riuscì a dimostrare la dispersione progressiva dei materiali onde le comete risultano. La massa delle comete è nelle vicinanze del Sole in preda a grande agitazione, e, i fenomeni in essa massa osservati, il modo in cui le code loro si formano, portano a pensare che una parte della massa della cometa sia ad ogni loro passaggio per il perielio sottratta all'attrazione del nucleo. È difficile immaginare in qual modo le particelle lanciate nella formazione delle code a milioni di chilometri dal nucleo, possano in seguito riaggrupparsi intorno al medesimo; pare piuttosto che esse vadano disperse nello spazio e che per tal modo la massa delle comete soffra una diminuzione continua e progressiva.

Se le comete, si disse, si disperdono nello spazio, se le loro code lunghissime possono arrivare alla superficie della Terra, attraversano di questo tutta l'atmosfera, non vi è nulla di inverosimile nel pensare che le medesime con questa mescolandosi possano lasciare in essa il germe dei mali più strani. Le statistiche a questo riguardo nulla confermano però; si è bensì trovato che all'apparizione di

certe comete corrisposero malattie speciali in questa o in quella città, ma fu facile rispondere che se le malattie provenivano dalla cometa non si capiva perché se fossero scoppiate in uno piuttosto che in un altro luogo e non in tutti i luoghi della Terra dei quali la cometa fu vista, quando una cometa entra con la sua coda e con la sua chioma la terra entra nella nostra atmosfera la resistenza di questa, data la velocità cosmica dell'incontro svilupperebbe tale calore da produrre la decisione dissociazione di ogni idrocarburo e i prodotti della dissociazione sarebbero vapori innocui di idrogeno e di carbonio. Altri materiali entrano a formare le comete, e pensando ad essi immaginarono alcuni che dal loro incontro con l'atmosfera terrestre, potessero derivare incendi smisurati e di effetto incalcolabile nelle altre regioni dell'atmosfera; ma allo stato attuale della nostra forza gravitazionale e ammettere che intorno alle circostanze le quali possono accompagnare una miscela ad alta temperatura dei materiali, dove le chiome delle comete e l'atmosfera terrestre risultano, non si può discorrere ancora con qualche fondamento.

Se l'attrazione è una proprietà generale della materia, se Giove perturba il movimento di Saturno e dei suoi satelliti, se la Luna resta sola alza, per poi lasciarlo ricadere, l'oceano, che cosa non potranno fare le comete le quali girando per lo spazio si possono avvicinare, e si sta avvicinando a questo o a quel pianeta, non è esclusa la nostra Terra? Ne nacquero idee strane e sgomenti indescrivibili; idee la cui influenza fu tanto più grave

perché vestiva una forma assolutamente scientifica. Potrebbe, si disse, una cometa perturbare il movimento della Luna, costringerla a divenire suo satellite, seco trascinarla nelle più lontane plaghe del cielo, privarne per sempre la Terra, lasciando perpetuamente oscure le nostre notti. Potrebbe una cometa cambiare per esempio l'asse intorno a cui la Terra ruota l'angolo che esso forma coll'eclittica, e con esso sconvolgere tutta la climatologia terrestre; potrebbe una cometa mutare l'orbita della Terra lanciandola in nuove plaghe interplanetarie; potrebbe una cometa, avvicinandosi a breve distanza della superficie terrestre, innalzare le acque dell'oceano ad altezze prodigiose, e produrre colla sua massa tutti gli orrori di un'immensa inondazione.

Per fortuna queste ed altre catastrofi immaginate riposano tutte sull'ipotesi di una potente massa. Tutto quello che sappiamo invece delle comete, porta a pensare che la materia delle chiome e code loro è tenuissima; tutto quello che l'esperienza e il calcolo insegnano sul moto delle comete e dei pianeti porta a dire che la massa delle comete è molto piccola.

La cometa di Lexell attraversò due volte nel 1767 e nel 1769 il sistema di Giove e de' suoi satelliti, e ogni volta impiegò 4 mesi circa ad uscire dalla sfera di attrazione del potente pianeta. Il movimento della cometa ne fu perturbatissimo, ma neppur traccia di una debole alterazione fu notata nel corso dei 4 piccoli satelliti di Giove. Uno scontro con la Terra è pochissimo probabile, ma è possibile. Poco possiamo temere dalla chioma e

dalla coda di una cometa, ma sarebbe affettare una falsa sicurezza il far astrazione dagli effetti di un reale scontro del nucleo di una cometa col nostro pianeta, poiché è probabile che esso nucleo sia o solido o fluido ed è poco verosimile che sia gassoso. Il nucleo di una cometa o è un'agglomerato di corpuscoli meteorici, e urtando la Terra procurerebbe nell'atmosfera di questa e prima di arrivare alla superficie del pianeta, una pioggia straordinaria di stelle cadenti; o risulta da una o da poche masse solide e l'effetto del loro urto contro la Terra, di massa e di dimensioni anto e tanto maggiori, sarebbe paragonabile quello di una palla da cannone contro una rossa rupe alpestre, pur facendo astrazione alle grandi variazioni che il calore sviluppato dalla resistenza dell'atmosfera terrestre può produrre nella sua costituzione prima che essa raggiunga la Terra.» Dopo questa tranquillante assicurazione del senatore Giovanni Celoria, ecco una supposizione gaia, che sarà accolta con grandissima gioia specialmente dalla vanità femminile.

UNA PIOGGIA DI DIAMANTI E LA FINE DEL MONDO

L'illustre prof. Ubaldo Nussi a proposito delle comete scrive: «L'analisi di questi astri è ben lungi dall'essere ultimata, poiché numerose sono le difficoltà che s'interpongono e le cause di errore date le condizioni speciali. Tuttavia nell'analisi spettrale delle comete in genere si sarebbe rivelata la presenza del carbonio.

Sarebbe un fatto molto importante se questi astri portassero in sé le prime combinazioni del carbonio, poiché potrebbe essere in base a queste, che la vita animale e vegetale si spargesse nei mondi; allora, lo spavento sempre recato nelle popolazioni per il loro aspetto strano e difforme dagli altri astri, si trasformerebbe in azione benefica. Di più sappiamo che il carbonio cristallizzato altro non è che il diamante. Facciamo un'ipotesi più rosea e confortante, cioè che una mattina o l'altra, svegliandoci, parte di tale carbonio, solidificandosi e cristallizzandosi, ci procuri il sorprendente spettacolo di una pioggia di diamanti!

Le comete allora non sarebbero più temute!

Dopo la pioggia di diamanti, ecco per disturbare la digestione dei lettori una fosca previsione tutt'altro che piacevole e rassicurante. Se il professore Nussi prospetta la probabilità di una pioggia di diamanti, Camillo Flammarion ci comunica la possibilità che la distruzione della razza umana avvenga in un parossismo di gioia o di delirio!

In ogni modo, ecco quanto il celebre astronomo Camillo Flammarion pubblica nel suo ultimo bollettino:

« Senza ritornare sull'esposizione che io ne ho data nella mia opera *La fine del Mondo*, e su tutte le forme che uno scontro cometario col nostro soggiorno errante potrebbe presentare dai diversi punti di vista, meccanico e fisico, termodinamico fisiologico, noi possiamo confessare che ignoriamo la forma che il destino ci riserva per il mese di

maggio prossimo.

« L'avvelenamento dell'umanità per i gas deleteri non è probabile.

« Indubbiamente se l'ossigeno dell'atmosfera venisse a combinarsi con l'idrogeno della coda cometaria, ciò sarebbe l'annegamento generale in breve tempo.

« Se al contrario, fosse una diminuzione dell'azoto, una sensazione inattesa di attività psichica sarebbe provata da tutti i cervelli, e la razza umana perirebbe in un parossismo di gioia, di delirio e di follia universale, probabilmente, incantatissima della sua sorte. L'ossido di carbonio al contrario potrebbe portare l'intossicazione di tutti i polmoni.

« Come abbiamo già detto, attualmente le condizioni non sono favorevoli per riconoscere con l'aiuto dello spettroscopio quali sostanze possano costituire la coda della cometa.

«Di frequente nelle code cometarie avvengono combinazioni idrocarburate d'azoto. Ma, come lo stesso Flammarion presume, dato che l'incontro della cometa con la Terra avesse luogo, potrebbe anche darsi che avessimo solo dei fenomeni elettrici in seno alla nostra atmosfera, per le particelle elettrizzate della cometa nel suo passaggio attraverso alle radiazioni del Sole. Oppure una pioggia di stelle filanti per l'incontro del nostro pianeta con i detriti cometari, od anche, ciò che è più probabile, un semplice fenomeno ottico. Giacché, si è quasi certi che *altra volta nel 1819 e nel 1861, la Terra venisse ad immergersi nella coda di una cometa senza per*

questo subire effetti rimarchevoli, tranne quello di una specie di aurora boreale, di una fosforescenza diffusa ovunque per il cielo.

Citiamo un ultimo giudizio, quello dell'abate Moreaux, Direttore dell'Osservatorio di Bourges, il quale nei giorni scorsi ha detto:

«Il 19 Aprile, la Cometa ha raggiunto la sua minor distanza dal sole: 85 milioni di chilometri. E poiché la Terra e la cometa non girano nello stesso senso, così evidente che l'una andrà verso l'altra. Si noti, per altro, che la cometa non passerà precisamente pel punto stesso nel quale deve passare la Terra; tuttavia, siccome la sua coda avrà una certa lunghezza, così può darsi che il nostro globo la attraversi. Dai calcoli fatti, risulta che il maggior avvicinamento della Terra alla cometa Halley accadrà il 20 maggio; questa non sarà però, per noi, la data più critica: la giornata che dovremo, se mai, temere, sarebbe quella del 18 maggio, quando cioè, nelle prime ore del mattino la cometa passerà davanti al Sole.»



Avverrà lo scontro? Avremo il danno ed il malanno cometario? O almeno la magnifica cometa di Halley ci sarà generosa di una pioggia di diamanti?

Gli uomini vivono sulle illusioni o coltivano, tanto per fare qualche cosa, anche dei pregiudizi e delle paure. La cometa diventa man mano che si avvicina alla Terra una parte della nostra vita, quasi una nostra occupazione, una... persona di famiglia. Non deve disilludere l'umanità: faccia del bene o del male, non importa, ma

dia un grande, un gigantesco spettacolo: questo è l'essenziale.

L'astronomo Babinet raccontava che nel 1861 una signora giunse una mattina nel suo Osservatorio, e con la fisionomia un po' stravolta, gli domandò:

- I giornali annunciano, che è apparsa una cometa: si deve loro credere?

- sì - rispose l'astronomo, - abbiamo in fatti una bella cometa...

- E che cosa significa ciò?

- Nulla, signora mia!...

-È dunque un bello spettacolo da osservare?

- Magnifico; e se volete vederlo anche subito scendete con me in giardino...

- Oh - interruppe la visitatrice - se voi mi assicurate che questa apparizione non fa né bene né male, non vale la pena di disturbarvi! E il Babinet concludeva melanconicamente:

- A che serve mai l'astronomia, se perfino quando in cielo appare un astro caudato, c'è chi se ne va a dormire senza alcun timore?

Maggio 1910.

Lo Scontro della Cometa

G. Artom

Abstract The Halley's Comet appeared in 1910 and the Earth passed near its tail. This epocal event is described by prof. G. Artom and here reprinted.

Sommario La Cometa di Halley passò vicino al Sole nel 1910 e la Terra ne attraversò la coda nel maggio di quell'anno. Questo evento epocale fu descritto dal prof. G. Artom, e qui ripubblicato in formato digitale.

Submitted May 1910 Società Editrice Milanese, Reprint 22 Apr 2021

Commento all'edizione digitale de *Lo Scontro della Cometa (G. Artom, 1910)*

Federico Manzini (*Stazione Astronomica IAU A12*)

28060 Sozzago (Novara) manzini.ff@aruba.it

submitted May, 11th 2021 accepted May 12th, 2021

keywords: *Use of a level, didactic experiment.*

Abstract The booklet on the encounter of the Comet Halley with the Earth in 1910, written by G. Artom and here reprinted, is commented.

Sommario Il libretto di G. Artom sullo scontro con la cometa di Halley del 1910, uscito qualche settimana prima, è qui commentato.

Comete: oggetti spettacolari e misteriosi che vanno e vengono nel cielo notturno. Così le comete hanno dimorato nella nostra cultura popolare per secoli e secoli.

La dimensione ridotta dei corpi cometari non è in alcun modo proporzionale alla loro importanza scientifica. In quanto residui della formazione del sistema solare, sono oggetto di importanti ricerche scientifiche e anche di missioni spaziali, ma essendo uno dei pericoli più potenti e drammatici della natura, rappresentano una minaccia per la nostra sicurezza, eppure sono state probabilmente l'origine dei nostri oceani e forse anche della vita stessa. I teorici suggeriscono infatti che le comete hanno svolto un ruolo importante nello sviluppo della Terra e successive collisioni con altri nuclei cometari potrebbero aver spazzato via forme di vita, consentendo solo alle più adattabili di svilupparsi ulteriormente.

In breve, lo studio delle comete è scientificamente avvincente e al tempo stesso la lettura dei testi vecchi e antichi può risultare molto interessante, talvolta pure divertente per il lettore moderno.

Mi permetto di fare un esempio di come si possano ritrovare spunti scientifici (che meriterebbero uno studio moderno) anche in questo splendido volumetto del prof. Artom di

Milano che è stato edito più di 110 anni fa: quasi all'inizio egli racconta della cometa del 1527 "... *distinta durante cinque quarti d'ora appena*". Ebbene, poche comete possono divenire visibili per un tempo così breve: solo quelle radenti la superficie solare che, a causa della intensissima radiazione, sublimano e volatilizzano quasi tutto il loro nucleo in un brevissimo tempo. Trovandosi poi vicinissime al Sole, di lì a breve si arriva all'alba inoltrata o al tramonto del corpo celeste e lo si perde di vista, ed ecco spiegata la ragione di una così breve durata nel cielo.

Ma almeno altre due indicazioni ci vengono fornite e possono essere viste con la conoscenze attuali. Innanzitutto la coda appare ricurva: deve essere proprio così per le comete radenti, perché le particelle di polvere emesse mantengono "memoria" della loro posizione nello spazio, mentre il nucleo si sposta rapidissimo lungo un'orbita che lo porta a fare una ampia curva per circumnavigare il Sole.

Ma ancora più significativa è la segnalazione del colore "... *all'estremità della coda con una tinta di zafferano*": si è osservato che le comete che arrivano a distanza inferiore ad un centinaio di milioni di km dal Sole (la Terra dista in media 150 milioni di km) emettono una grande quantità di sodio che colora la loro coda e la chioma, appunto, di giallo; anche la cometa Neowise che è apparsa nei nostri cieli a luglio dello scorso anno è divenuta gialla, non per itterizia, ma per il sodio emesso! Forse il lettore non mi crederà, ma non si è ancora giunti a conoscere la ragione di questa emissione così tipica.

S'è già detto che il volume del prof. Artom è splendidamente ricco di spunti storici, ma porta anche un lettore moderno a scoprire che le comete sono in realtà corpi soggetti alla medesima meccanica celeste seguita dai pianeti.

Lo Scontro della Cometa è stato scritto agli inizi del 1900, per precisione nel 1910, proprio quando la cometa di Halley doveva giungere al perielio nel mese di maggio e il calcolo dell'orbita mostrava che nella sua coda sarebbe dovuta transitare la Terra: fu sicuramente un best-seller dell'epoca. Qui sta il divertente della disinformazione dei tempi: non era da molto che si osservavano i corpi cometari con lo spettroscopio, ma si era però scoperto che dal nucleo sublimavano grandi quantità di "idrocarburi, o combinazioni del carbonio coll'ossigeno, ... e notevoli tracce di ossigeno, iodio, ferro". Nel contempo il New York Times aveva riportato che all'osservatorio Yerkes avevano scoperto la presenza di CN nello spettro della cometa di Halley. Questo è un radicale che sulla Terra riesce a formare una sua molecola, il *cianogeno* (CN)₂, oppure prendendo un elettrone può formare il corrispondente ione negativo, il *cianuro*!

Ed ecco cosa si legge nel libro del prof. Artom: "Questo incontro della Terra colla coda della cometa, ha fatto nascere molte apprensioni per i destini dell'umanità. E i religiosi hanno rammentata la famosa stella avvelenatrice minacciata dall'Apocalisse ...". Ed anche il padre della passione popolare ottocentesca per l'astronomia, il francese Camille Flammarion, fu coinvolto nell'idea che la cometa avrebbe fatto entrare in contatto con l'aria enormi quantità di gas velenosi. Insomma, era scoppiata una vera e propria "cometite", una pandemia di natura psicologica, perché tutti avevano paura di morire asfissati dai gas presenti nella coda della Halley, tant'è che una "bottiglia di aria purissima" della Michelin fu pubblicizzata il 17 maggio del 1910 sul Corriere della Sera come rimedio contro i "miasmi pestiferi" della cometa.

Il prof. Artom cerca ovviamente di stemperare queste paure e le sue parole, che pure riferiscono pareri accomodanti di illustri astronomi dell'epoca, non sempre appaiono convincenti ... Probabilmente qualche timore era celato anche in lui stesso.

“Una pioggia di diamanti e la fine del mondo”. Chi potrebbe mai scrivere questo titolo al giorno d'oggi se non un abile scrittore di fantascienza? A questo punto non si può non riprendere qualche riga del prof. Artom: *“... nell'analisi spettrale delle comete in genere si sarebbe rivelata la presenza del carbonio. Sarebbe un fatto molto importante se questi astri portassero in sé le prime combinazioni del carbonio, poiché potrebbe essere in base a queste, che la vita animale e vegetale si spargesse nei mondi; allora, lo spavento ... per il loro aspetto strano e difforme dagli altri astri, si trasformerebbe in azione benefica. Di più sappiamo che il carbonio cristallizzato altro non è che il diamante. Facciamo un'ipotesi più rosea e confortante, cioè che una mattina o l'altra, svegliandoci, parte di tale carbonio, solidificandosi e cristallizzandosi, ci procuri il sorprendente spettacolo di una pioggia di diamanti! Le comete allora non sarebbero più temute”*.

Fantastico! Se fossi vissuto all'epoca avrei sicuramente acquistato questo volumetto: 10 centesimi, quando un kg di pane ne costava 42, chissà però se sarei stato fra i fortunati che sapevano leggere?