

Una meridiana a riflessione in aula

In occasione dell'anno Galileiano e all'interno di un più ampio progetto dedicato all'astronomia, si è portato a compimento, presso l'Istituto Tecnico "Eugenio Barsanti" di Castelfranco Veneto (TV), il tracciato di una meridiana a riflessione, realizzata sul soffitto di un'aula esposta a Sud. Un'intera classe del biennio è stata coinvolta nelle fasi progettuali e di calcolo dello strumento, realizzato con particolare cura e con una buona precisione, nonostante la finalità prettamente didattica dell'esperienza e gli strumenti matematici e non, relativamente modesti, a disposizione.

di Elsa Stocco

Premessa

Normalmente è l'ombra di un indicatore (gnomone), a registrare i moti apparenti giornalieri e annui del Sole, indicando il trascorrere delle ore e delle stagioni: per una lettura dell'ora e della data, indicatore e superficie dove l'ombra si proietta, devono essere naturalmente esposti al Sole.

Nell'orologio a riflessione l'indicatore temporale si realizza attraverso la macchia di luce riflessa su una superficie, spesso un soffitto, da uno specchio piano opportunamente sistemato ed esposto al Sole: è il Sole riflesso a materializzare i moti apparenti diurni e annui del Sole, fornendo indicazioni sul trascorrere del tempo.

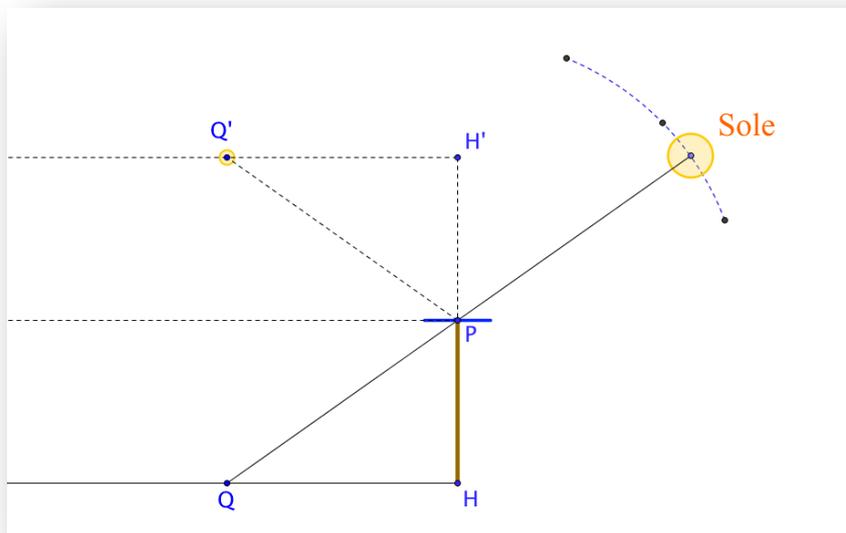


Fig. 01

Se l'ombra del punto P, estremo di uno stilo verticale, cade nel punto Q, l'immagine del Sole ottenuta per riflessione con uno specchio piano orizzontale, posto sempre in P, si vedrà nel punto Q', con un'evidente simmetria, che si realizza sul piano orario, rispetto al piano dello specchio (Fig.01).

Tra i tanti strumenti solari, realizzati con intenti divulgativi e didattici, quello a riflessione è stato spesso

usato, poiché all'interno di un'aula è possibile osservare e registrare con una certa facilità e regolarità i moti apparenti del Sole, traendo spunti quotidiani per capire e interpretare temi che, se affrontati, sono generalmente relegati e studiati sui libri e subito dimenticati.

Portare il Sole direttamente in classe, per osservarne e interpretarne gli spostamenti diurni e annui, ha sempre catturato l'attenzione e l'interesse più che la bella pagina illustrata di un libro.

Anche senza entrare in calcoli particolari, l'osservazione del moto della macchia di luce durante la giornata e nell'arco di un anno, rispetto a una semplice linea meridiana tracciata per indicare la culminazione del Sole (mezzodì), può fornire una serie di innumerevoli e preziose informazioni.

IL CERCHIO INDU e il mezzodì vero del Sole

Un passo preliminare ed essenziale del progetto è la determinazione dell'istante della culminazione del Sole sul meridiano locale, ovvero il mezzogiorno vero del Sole.

Uno strumento adatto allo scopo, che non richiede alcun altro elemento esterno, è il così detto cerchio indù.

Esso è costituito da un'asta fissata verticalmente, in O, a un piano orizzontale sul quale sono tracciate delle circonferenze concentriche.

Ad una certa ora del mattino si segna il punto A di contatto dell'estremità dell'ombra con una qualsiasi delle circonferenze (Fig.02).

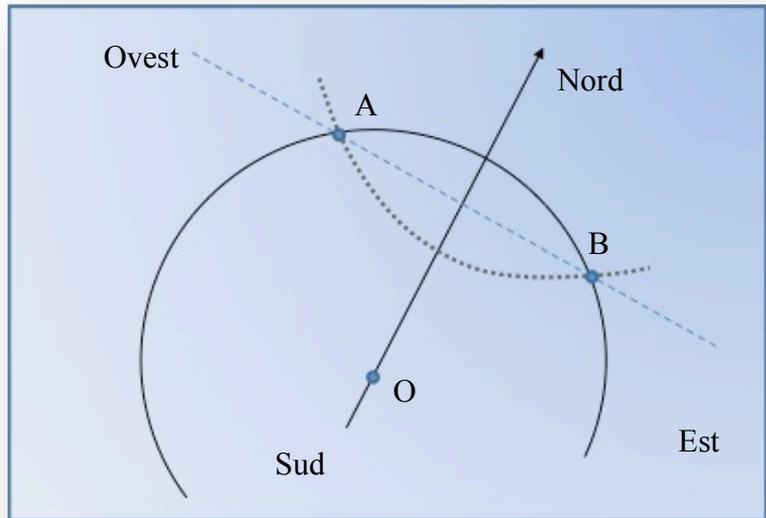


Fig. 02

Nel pomeriggio si attende che

l'estremità dell'ombra tocchi la stessa circonferenza e si segna il punto di contatto B.

I due punti ottenuti sono sostanzialmente simmetrici rispetto al momento della culminazione del Sole¹: la linea che li congiunge definisce la direzione Est-Ovest ovvero la direzione della **linea equinoziale**, mentre una retta perpendicolare, passante per il piede O dell'asta, è la **linea meridiana** (Nord-Sud). L'ombra dell'asta si sovrappone a tale linea nell'istante in cui il Sole è alla culminazione, istante del mezzogiorno solare vero del luogo, quando il Sole transita sul meridiano locale.

DISPOSIZIONE DELLO SPECCHIO: le leggi della riflessione

Uno specchietto piano del diametro di circa 1 cm (Fig.03), va fissato in posizione esattamente orizzontale sul davanzale di una finestra, aperta a sud.

Le leggi della riflessione della luce, negli specchi piani, affermano che:

- ✓ *Il raggio incidente, il raggio riflesso e la perpendicolare allo specchio (normale) stanno sullo stesso piano.*
- ✓ *Raggio incidente e raggio riflesso formano, con la normale allo specchio, angoli congruenti.*



Fig. 03

¹ In realtà la declinazione solare varia anche durante la giornata: la simmetria supposta è solo approssimativa ma sufficiente allo scopo.

DETERMINAZIONE A SOFFITTO DELLA LINEA MERIDIANA

Volendo tracciare la linea meridiana, cioè la linea del mezzodì, le osservazioni dell'immagine riflessa Q vanno fatte nel momento della culminazione del Sole, quando esso è sul piano meridiano (Fig. 04).

L'istante della culminazione può essere determinato, come visto sopra, con un cerchio indù (o tramite il calcolo, noti che siano la longitudine del luogo e l'equazione del tempo).

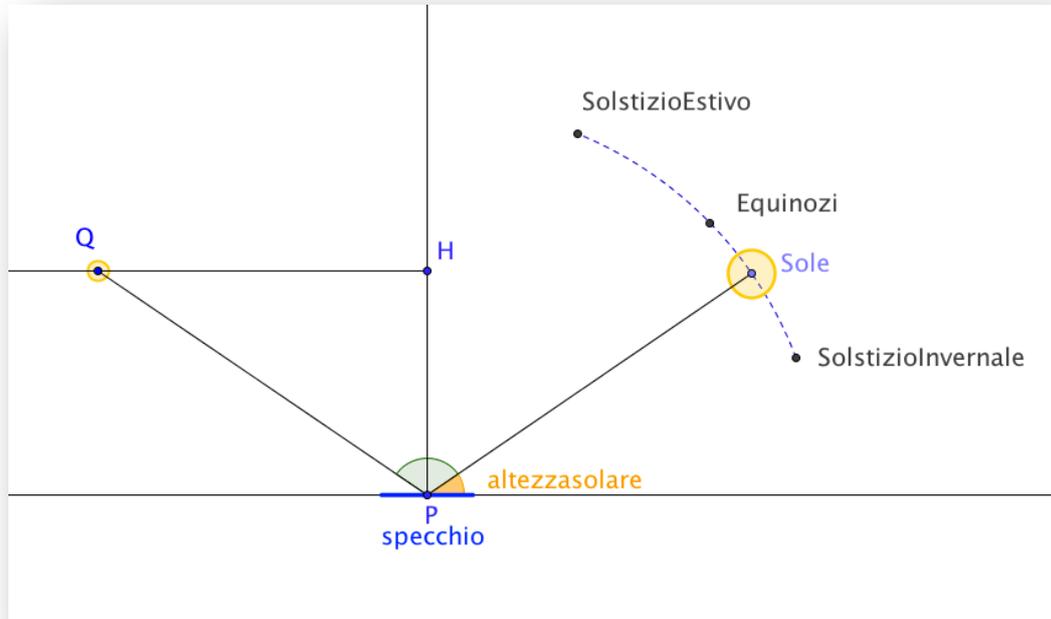


Fig. 04

La linea meridiana è individuata dalla retta per i “centri”² dell'immagine solare, segnati negli istanti della culminazione del Sole, in almeno due date diverse e lontane un mese o più³.

RILEVAMENTI E CALCOLO

Lungo questa linea si potrà quindi segnare empiricamente o mediante il calcolo la data d'inizio di ciascun mese, quella d'ingresso del Sole nei segni zodiacali, o una data qualsiasi prescelta, come per esempio una ricorrenza particolare.

Supposto di aver misurato la distanza PH del centro dello specchio al soffitto, e di conoscere l'altezza α del Sole sull'orizzonte a mezzogiorno del giorno in corso, la posizione del punto Q, sulla linea meridiana, può essere individuata mediante la distanza HQ, calcolata mediante la relazione:

$$HQ = PH \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha)$$

valida se lo specchio piano e il soffitto sono, entrambi, perfettamente orizzontali.

² L'immagine riflessa del Sole, per un effetto di proiezione, ha una forma ellittica, tanto più eccentrica e allungata quanto più è lontana dal punto H. I “centri” vanno presi sull'asse di simmetria dell'ellisse.

³ La distanza percorsa dal Sole riflesso lungo la linea meridiana, è legata naturalmente al periodo del rilevamento, sempre per un effetto di proiezione: maggiore nel periodo invernale, minore in quello estivo.

Con essa si può prevedere la posizione della macchia di luce lungo la linea meridiana nell'arco di tutto l'anno.

La relazione inversa
$$\alpha = 90^\circ - \arctan \frac{HQ}{PH}$$

può essere utilizzata viceversa per determinare l'angolo α , altezza del Sole alla culminazione.

Supposto di aver rilevato la posizione della macchia di luce sulla linea meridiana, un dato giorno, e quindi misurato la distanza HQ, si può risalire all'altezza solare α , valore che può essere confrontato con quello previsto⁴, consentendo un controllo incrociato dei dati. La concordanza tra valori previsti e quelli misurati consente, per esempio, di verificare la supposta orizzontalità dello specchio.

Nel caso del soffitto, orizzontalità e perfetta planarità possono essere controllate ed eventualmente aggiustate con l'uso di malta e intonaco, in caso contrario bisognerà essere "tolleranti" sulla precisione delle misure.

L'orizzontalità dello specchio invece può essere verificata tramite una livella: un miglior controllo sulla posizione si può ottenere "annegando" lo specchietto su un supporto piano di dimensioni più facilmente manovrabili.

In ogni caso è opportuno "fissare" preventivamente lo specchio e "aggiustare" in seguito il calcolo, poiché la sua sistemazione sul piano "orizzontale" non è assolutamente scontata anche usando particolari strumenti e accorgimenti⁵.

"Prefissato" lo specchio, dunque, la sua posizione può essere valutata a posteriori tramite lo studio dell'immagine riflessa.

Questo non è particolarmente difficile se si lavora solo sulla linea meridiana, ma diventa complesso volendo tracciare altre linee orarie⁶.



Fig. 05

Prefissare lo specchio, consente inoltre di decidere a priori dove (soffitto e/o parete) "proiettare" le linee dell'orologio.

Nel nostro caso, uno specchio "orizzontale", prefissato e centrato sulla finestra sud, avrebbe prodotto, come volevamo, una linea meridiana tutta interna al soffitto nella parte centrale dell'aula.

Nella fase dei rilevamenti, tuttavia, le misure effettuate nell'arco di circa tre mesi e quelle previste in base al calcolo, hanno evidenziato una piccola inclinazione dello specchio verso l'esterno dell'aula (1,66° circa).

⁴ Si possono ottenere le effemeridi solari consultando un almanacco astronomico o mediante una ricerca su Internet.

⁵ Se lo specchio è fissato sul davanzale, la distanza specchio-soffitto supera normalmente il metro e mezzo. Ciò equivale ad avere una meridiana ad ombra con gnomone di pari lunghezza e comporta delle dimensioni "importanti" per la linea meridiana. Spostamenti anche piccoli dello specchio dalla posizione orizzontale comportano spostamenti appariscenti del Sole riflesso sul soffitto.

⁶ Di grande aiuto può essere il software Merid99R di Gianni Ferrari.

Di tale inclinazione si è tenuto conto nel calcolo di tutti i dati, confermando la bontà delle nostre conclusioni con una serie di controlli incrociati.

Se l'approccio al calcolo mediante le relazioni trigonometriche su indicate è impensabile per una certa classe di età, si possono utilizzare metodi alternativi come per esempio la costruzione geometrica del problema mediante un software di geometria dinamica come Geogebra⁷.

Variando l'altezza del Sole sull'orizzonte, può essere immediatamente determinata la posizione del Sole riflesso sul soffitto.

Lungo la linea meridiana, si è scelto di indicare la posizione della macchia di luce intorno all'inizio di ogni mese e per declinazioni prefissate⁸, corrispondenti indicativamente all'ingresso del Sole nei diversi segni zodiacali, e le date del solstizio estivo ed invernale e degli equinozi.

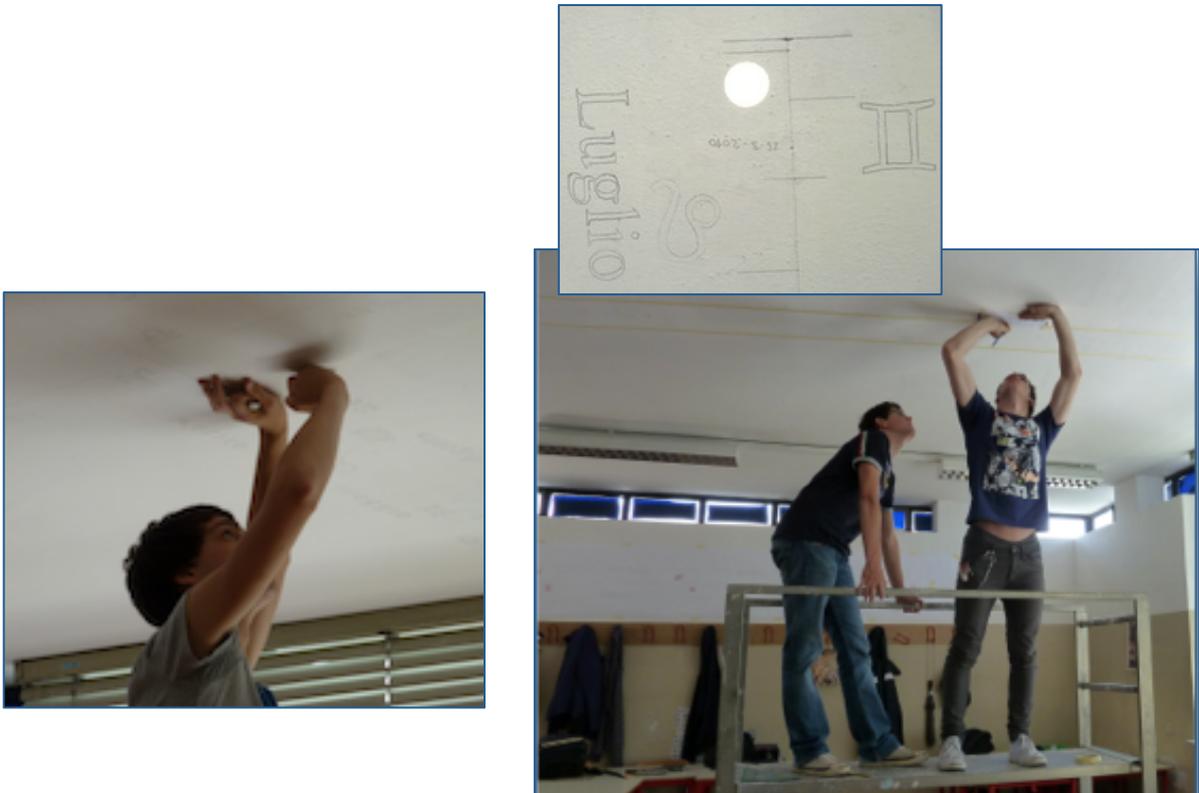
Si è predisposto un disegno in Cad in scala 1:1 di tutti gli elementi previsti nel tracciato.

Tra le linee di data, si è scelto di disegnare la linea degli equinozi: il punto equinoziale sulla meridiana è stato determinato mediante il calcolo, altri punti sono stati determinati empiricamente nel giorno stesso dell'equinozio di primavera, osservando, tra l'altro, l'andamento rettilineo del cammino della macchia luminosa sul soffitto.

TRASFERIMENTO DEI DATI A SOFFITTO

Tutti i dati sono stati quindi tutti trasferiti a soffitto: i nomi dei mesi e i simboli zodiacali sono stati trasferiti con mascherine opportunamente predisposte.

Infine, il tutto è stato decorato con colori acrilici.



⁷ Geogebra è un software di geometria dinamica scaricabile liberamente da Internet.

⁸ Le declinazioni scelte sono ± 11.2 ; ± 20.5 .

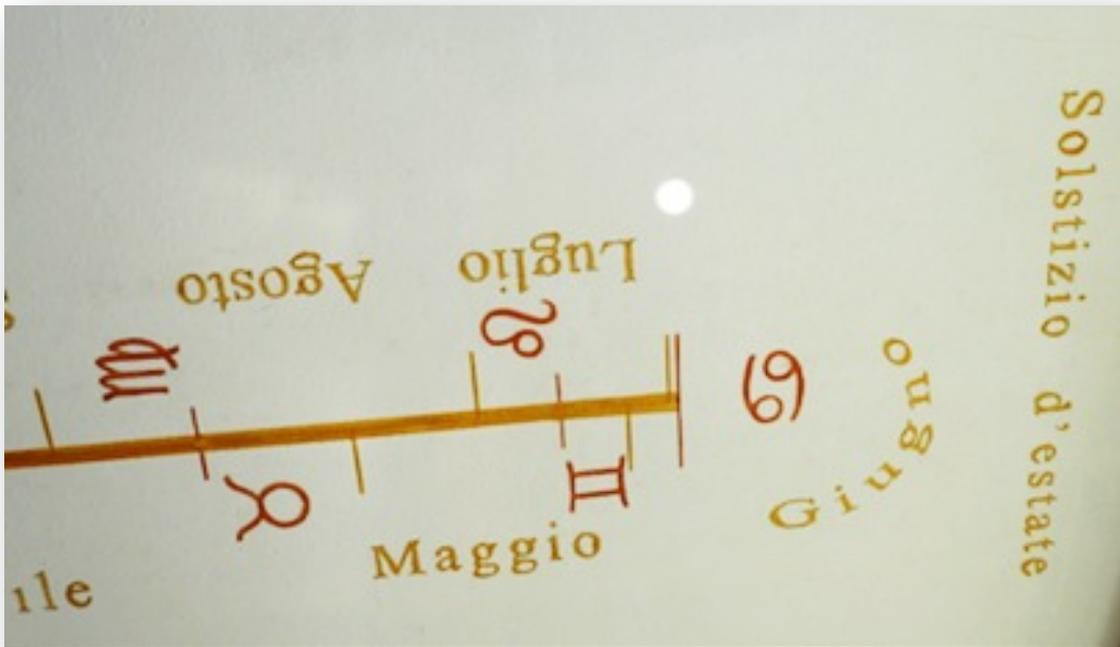


Fig. 09. Parte della meridiana attorno al solstizio estivo

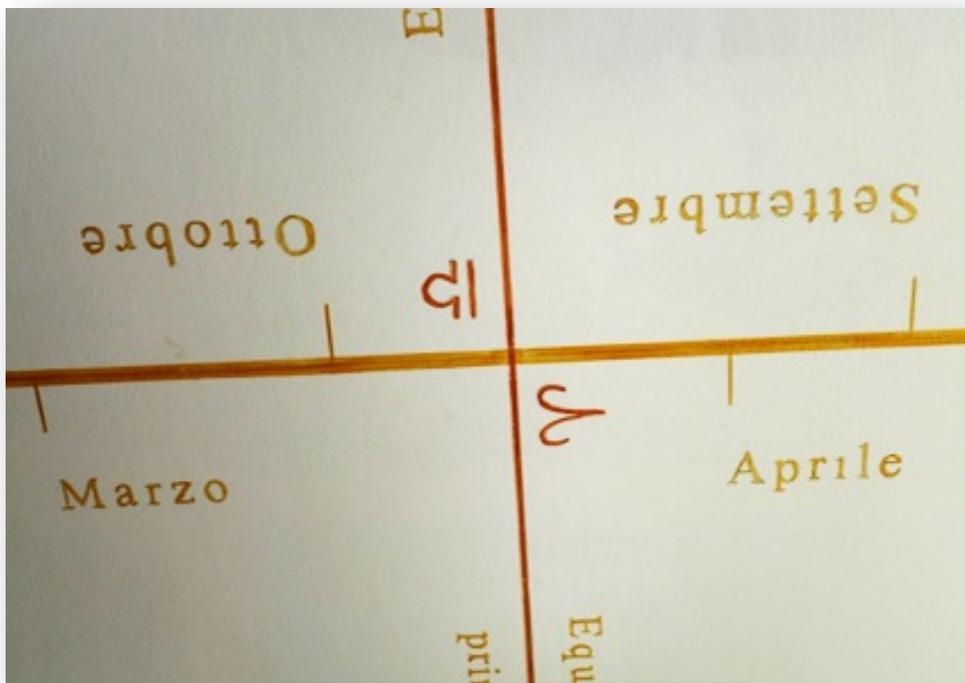


Fig. 10. Parte della meridiana attorno alla linea degli equinozi

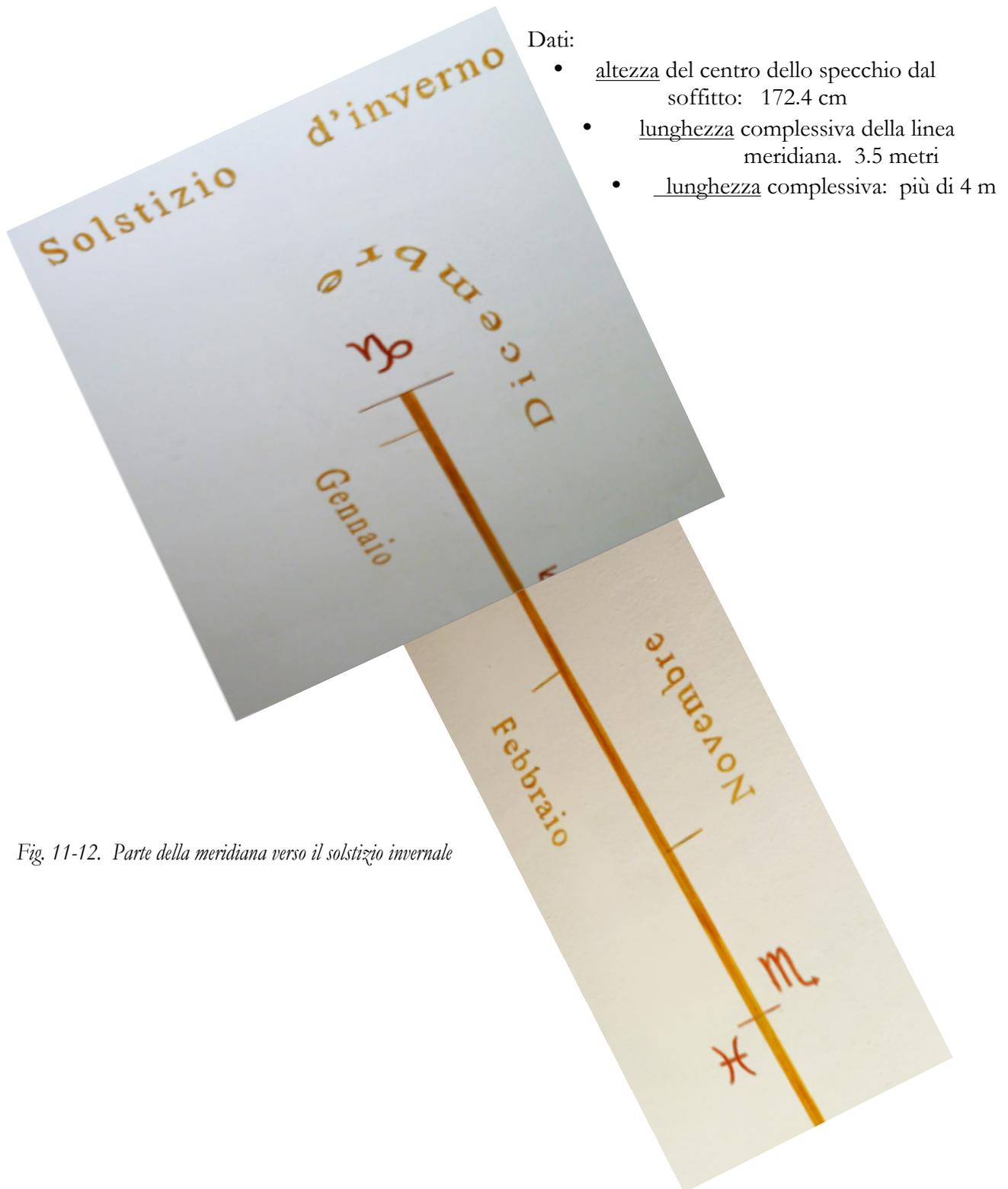


Fig. 11-12. Parte della meridiana verso il solstizio invernale

Le osservazioni possibili, grazie alla presenza di una linea meridiana, anche non così "rifinita", sono molto interessanti.

La macchia di luce oltre a materializzare il moto diurno apparente del Sole e quindi la rotazione terrestre attorno al proprio asse, attraverso le variazioni in altezza del Sole alla culminazione, registra il moto annuale di rivoluzione della Terra, con evidenti indicazioni calendariali.

Osservazioni analoghe potrebbero essere fatte più semplicemente mediante una linea meridiana realizzata a pavimento.

In tal caso l'immagine solare Q si può ottenere attraverso una maschera fissata sul vetro della finestra che lascia passare la luce attraverso un foro in P (Fig.13).

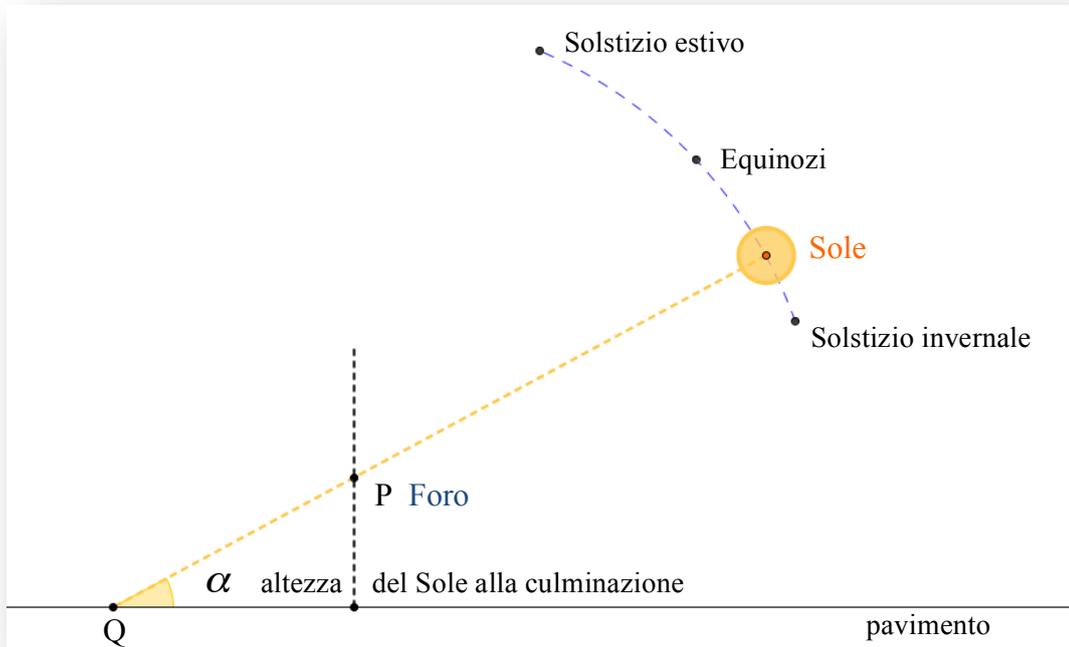


Fig. 13

Va da sé che, mentre diventa più semplice eseguire i rilevamenti e le misure a pavimento, l'osservazione quotidiana diventa più difficile dai diversi punti di vista dell'aula e minore quindi la godibilità.

In ogni caso, la macchia di luce proiettata a pavimento da una di queste maschere è stata usata in diverse occasioni per misurare l'altezza del Sole sull'orizzonte nell'istante della culminazione e poter calcolare la lunghezza della circonferenza terrestre, secondo il metodo indicato da Eratostene.

Il confronto con la stessa misura rilevata da un'altra località, posta a diversa latitudine (ma possibilmente con uguale longitudine), consente infatti di determinare l'arco di meridiano corrispondente a un singolo grado di latitudine.

Con la linea meridiana, realizzata a soffitto o a pavimento, è inoltre possibile il controllo periodico dell'istante di tempo medio (ora dell'orologio) in cui avviene la culminazione del Sole.

La registrazione della differenza che c'è nel corso dell'anno tra Tempo Medio e Tempo Vero, consente di affrontare questioni riguardanti la longitudine e il più impegnativo concetto di giorno solare vero e giorno solare medio.

Nota la longitudine del luogo e quindi la costante locale⁹, si può costruire empiricamente un grafico approssimativo dell'Equazione del Tempo, riportando sull'asse orizzontale di un sistema di riferimento cartesiano i giorni dell'anno, su quello verticale i minuti di differenza rilevati al transito in meridiano del Sole.

⁹ La differenza tra tempo vero del Sole e tempo Medio del nostro orologio, dipende da due fattori, uno legato alla longitudine del luogo, l'altro all'Equazione del Tempo.

Nelle figure 14 e 15, i grafici realizzati mediante un foglio di calcolo Excel.

Data Rilevam.	Minuti	cost. locale
		12
01-ott	2	-10
10-ott	-1	-13
20-ott	-3	-15
05-nov	-4	-16
15-nov	-3	-15
30-nov	0	-12
05-dic	3	-9
10-dic	6	-6
15-dic	8	-4
22-dic	12	0
08-gen	18	6
17-gen	22	10
24-gen	25	13
04-feb	26	14
14-feb	26	14
28-feb	25	13
05-mar	24	12
15-mar	21	9
25-mar	18	6
05-apr	15	3
11-apr	13	1
18-apr	11	-1
24-apr	10	-2
05-mag	9	-3
10-mag	9	-3
03-giu	10	-2

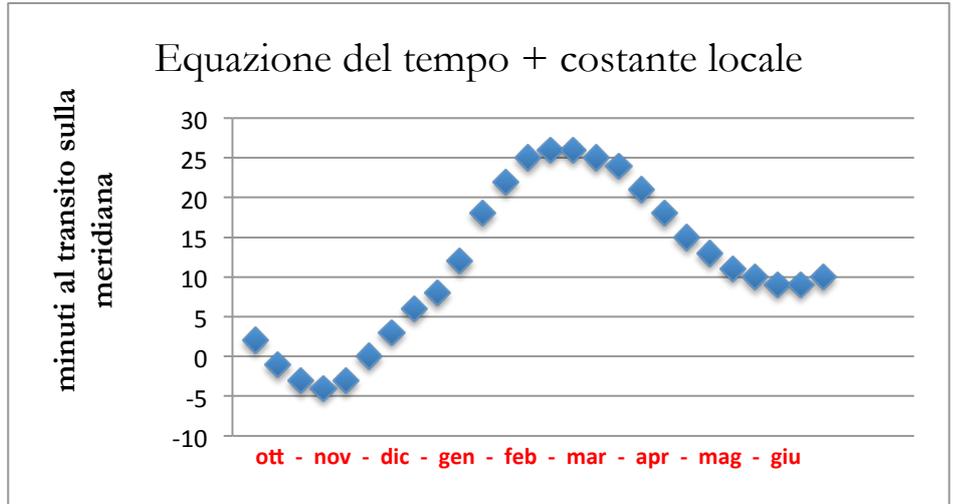


Fig.14

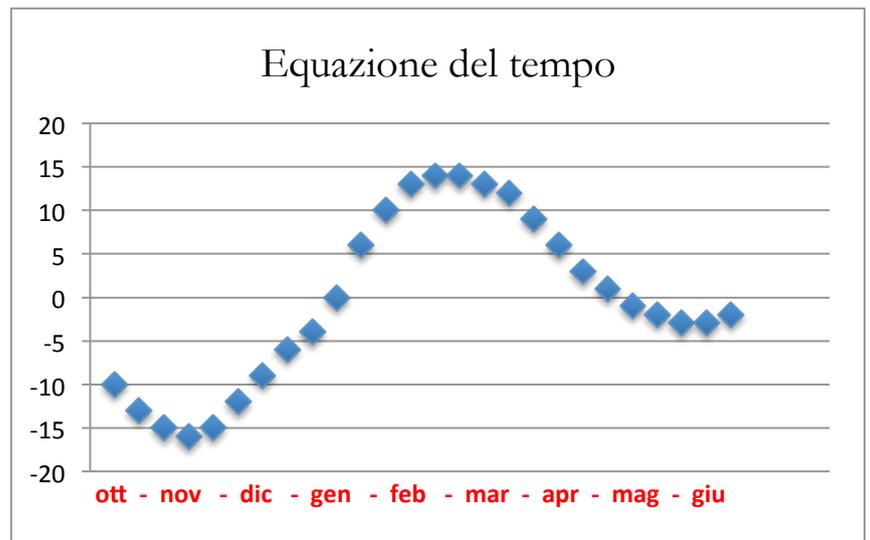


Fig.15

Bibliografia/ Sitografia

- ✓ Ferrari Gianni, Copernico e la prima meridiana a riflessione. Atti XIII° Seminario di gnomonica. Lignano Sabbiadoro 2005.
- ✓ Ferrari Gianni, software Merid99R.
- ✓ Flora Giuseppe, Meridiane a riflessione con specchio prefissato. Atti VIII° Seminario di gnomonica. Porto San Giorgio 1997.
- ✓ Sigismondi Costantino, Effemeridi: Introduzione al calcolo astronomico - Quaderni di studio 2007 Geoastrolab Università Europea di Roma.
- ✓ Severino Nicola, La meridiana a riflessione fu inventata da Raffaele Mirami? www.nicolaseverino.it/
- ✓ Stocco Elsa, Meridiana a riflessione, <http://www.itisbarsanti.it/eratostene/index.htm>

Nel sito di Gnomonica Italiana <http://www.gnomonicaitaliana.it/> è possibile scaricare due applicativi relativi a questo articolo.