Le macchine gnomoniche di Ignace-Gaston Pardies

L'articolo presenta due strumenti solari, utili a tracciare orologi solari, che l'abate gesuita Ignace-Gaston Pardies, fisico e matematico francese, descrive in un suo trattato. Dopo una breve introduzione sull'autore, viene riportata una descrizione degli strumenti e una ricostruzione degli stessi con l'uso del modellatore solido Solidworks.

di Elsa Stocco (estocco2000@yahoo.it)

Notizie introduttive su Ignace-Gaston Pardies

Molti studiosi di gnomonica dei secoli XVI e XVII si adoperarono per trovare nuovi strumenti, vere e proprie macchine gnomoniche, per semplificare il disegno di orologi solari, ed evitare lunghi procedimenti di tracciatura del quadro con metodi geometrici o di calcolo.

Ignace-Gaston Pardies non è certo un nome di spicco fra questi studiosi, ma le sue "Deux machines propre à faire les quadrans"[1], del 1672, presentano alcuni caratteri di semplicità e originalità. L'uso di queste macchine, come di altri analoghi strumenti, consente spesso una precisione solo "ideale" nel tracciato dell'orologio solare, tuttavia può diventare necessario quando la superficie, usata allo scopo, non sia matematicamente definibile o come dice Pardies, non sia piana e unita.

Ignace-Gaston Pardies nasce a Pau, in Francia, nel 1636.

Padre gesuita, è autore di numerose ricerche nel campo della fisica, della geometria e dell'astronomia; tiene contatti con grandi pensatori suoi contemporanei. Argomenta contro Galileo e, cosa non scontata per il suo tempo, parlando della configurazione della 'catenaria', la forma assunta da una fune pesante fissata alle sue estremità, sostiene che *le catene e le corde ordinarie non si curvano in parabole*. Più spesso è ricordata la sua controversia, nel 1672, con Isaac Newton, allora professore di Matematica a Cambridge, sulla teoria riguardante la rifrazione della luce[2], nonché l'influenza che esercitò su Christiaan Huygens sempre nel campo della propagazione della luce[3].

Tiene contatti epistolari anche con A. Kircher: in una lettera gli comunica la realizzazione di un orologio basato sui suggerimenti dello stesso Kircher e menziona di aver averlo già mostrato al Fratello Maignan, guadagnandone l'approvazione. Questo orologio sarebbe oggetto di un suo primo lavoro scientifico, *l'Horologium Thaumanticum Duplex* insieme a un altro strumento, fatto su *un globo, che segna ogni cosa senza alcuno stilo, con la sua stessa ombra*. Il testo, in latino, sembra introvabile e in particolare l'orologio "taumantico" rimane ancora piuttosto misterioso. Pardies ne parla nella prefazione alle "Deux machines propre à faire les quadrans", scritto quest'ultimo, che sembra essere una edizione "aggiornata e più praticabile" di quell'opera giovanile, ora in lingua francese e quindi alla portata di un pubblico più ampio.

Negli ultimi anni della sua vita, Padre Ignace, continua l'insegnamento e la sua attività scientifica al collegio di Clermont a Parigi[4], dove muore prematuramente nel 1673.

Un atlante stellare, composto di sei carte del cielo, è pubblicato a un anno dalla sua morte.

---

[1] Il testo integrale, in una edizione del 1678, si può scaricare all'indirizzo http://digitale.beic.it/primo_library/libweb/action/search.do?fn=embed&ct=search

[2] www.faculty.fairfield.edu/jmac/sj/scientists/pardies.htm Ignace Pardies and his influence on Newton.

[3] Springer Science & Business Media- 2006 Lenses and Waves: Christiaan Huygens and the Mathematical ..

[4] Il *Collège de Clermont*, divenuto poi Lycée Louis-le-Grand, fondato nel 1563, era il collegio gesuitico di Parigi.

Da un trattato che raccoglie tutte le sue principali opere[5] *Oevres du révérend père Ignace-Gaston Pardies de la Compagnie de Jesus* pubblicato a Lione nel 1725, ho tratto la parte relativa alle due macchine per fare quadranti con grande facilità. Lo stile di Padre Pardies, che nei primi anni della sua carriera di docente ha insegnato discipline umanistiche, è scorrevole, chiaro e sintetico e la lettura del breve trattato sulle due macchine è una piacevole lettura anche nella versione originale, in lingua francese. Vediamo quindi la prima macchina (Fig. 1).

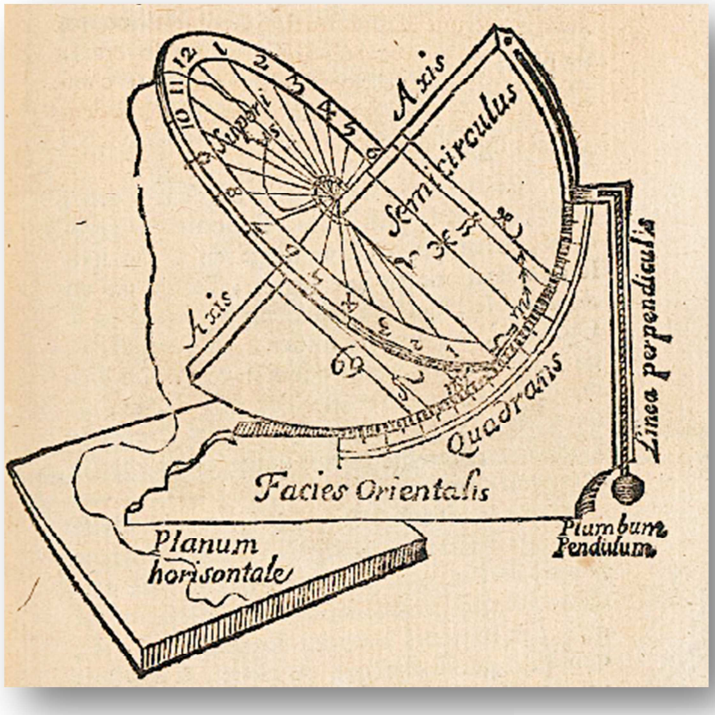


Fig. 1 - Prima macchina

Descrizione della prima macchina

Su una tavola massiccia, che rappresenta il *piano orizzontale*, è imperniato un *quadrante* sul bordo del quale può "scorrere" un *semicerchio,* il cui diametro rappresenta l'*asse* polare: insieme simulano il *piano meridiano*. Un altro *cerchio*, suddiviso in 24 ore uguali e che può scivolare sul *semicerchio* mantenendosi ad esso perpendicolare, rappresenta il piano equatoriale. Il *Quadrante* è un quarto di cerchio diviso in 90° e il *semicerchio,* agganciato ad esso, ruotando, consente di inclinare l'*asse* sul piano orizzontale di un angolo pari alla latitudine. Il suo centro è il *Centro* dello strumento mentre sul bordo del *quadrante* un filo a piombo serve da livella.[6]

Per indicare i Segni dei mesi, (Fig. 2) sull'asse ***ah***, si traccia la perpendicolare ***ab*** uguale al raggio del *semicerchio*. Da ***b***, come centro, si traccia una circonferenza ***ac*** e si portano da una parte e dall'altra due angoli di 23° e 30' i cui lati tagliano l'asse in ***f*** dove vanno i segni dei tropici del Cancro e del Capricorno. Dal centro ***a*** si traccia quindi una circonferenza di raggio ***af***, che va divisa in 12 parti uguali: le linee parallele ad ***ab***, per i punti di divisione, indicano sull'*asse* e sul *semicerchio* gli altri segni dello zodiaco[7].

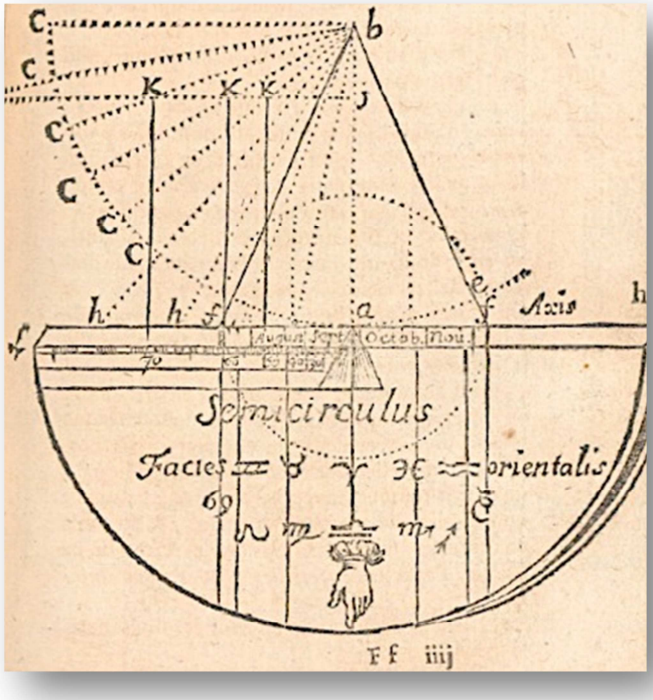


Fig. 2 - Schema costruttivo di tracciamento della prima macchina

[5] Il testo integrale si può scaricare all'indirizzo http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-12632

[6] Una animazione video dello strumento è allegato ai "BONUS" della rivista.

[7] In tal modo Pardies usa per il calcolo della declinazione δ, la formula $tan(\delta) = tan(23.5°) \cdot sin(\alpha)$ anziché quella generalmente usata $sin(\delta) = sin(23.5°) \cdot sin(\alpha)$ essendo α la longitudine eclittica del Sole.
L'errore è del tutto trascurabile rispetto alla precisione complessiva dello strumento, tuttavia in appendice all'articolo vengono confrontate le declinazioni calcolate con le due diverse formule.

Un po' sotto dell'asse si segnano i gradi per indicare gli Almicantarat (paralleli di altezza) sul quadrante.

Per usare la macchina e disegnare un quadrante su una qualunque superficie bisogna predisporre lo strumento appoggiandolo con il *piano orizzontale* su una tavola ben stabile, a ridosso del muro dove l'orologio deve essere disegnato. La corretta orizzontalità si controlla girando il *piano meridiano* da tutte le parti: il filo a piombo deve scendere sempre seguendo la linea marcata sul retro. Si ruota quindi il *semicerchio* sul *quadrante* in modo che il piccolo dito indichi i gradi di elevazione del polo ovvero la latitudine del luogo e si inserisce il *cerchio* sul piano meridiano, in modo che sia ad esso perpendicolare e con una delle sue facce che tocca il centro, senza coprirlo.

Per orientare correttamente il piano del *quadrante* sul meridiano del luogo bisogna ruotarlo sul suo perno in modo che l'ombra del *cerchio* indichi sull'asse il grado del segno, o il giorno del mese nel quale si fa quest'operazione.[8]

Per disegnare l'orologio sulla parete, si tende dapprima il filo dal *centro* lungo tutto l'asse, fino a incontrare il muro nel punto ***d***: questo è il *centro del quadrante*, punto a cui convergeranno tutte le linee orarie. Una verga di ferro fissata in quel punto e disposta come il filo, sarà lo stilo polare e segnerà le ore lungo tutta la sua ombra.

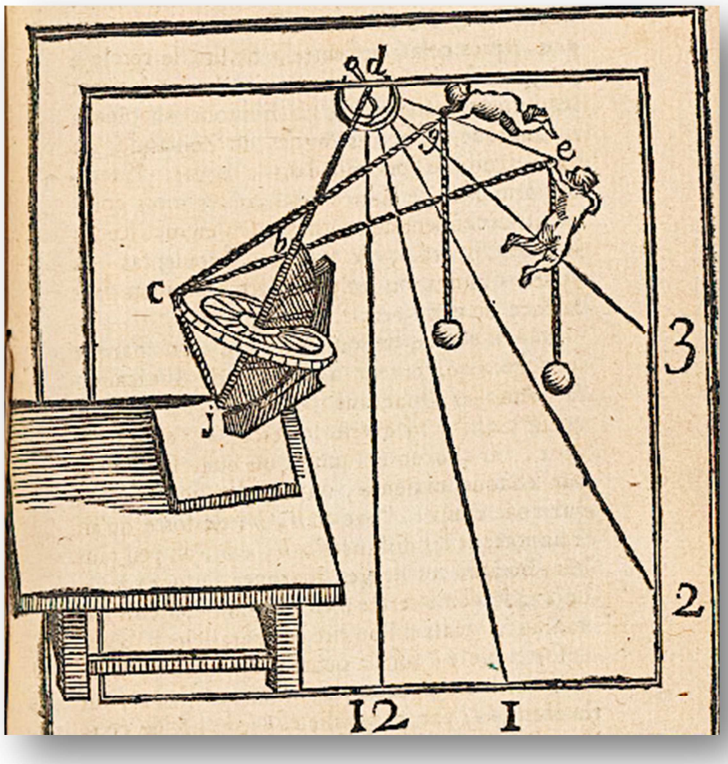


Fig. 3 - Esempio di modalità di tracciamento dell'orologio con la prima macchina

Pardies indica diversi modi (Fig. 3) per **disegnare le ore.**

Fissato il punto ***d***, sempre con lo strumento ben piazzato, si tende il filo dal centro del cerchio, facendolo passare l'una dopo l'altra, per ciascuna delle ore e segnando sul muro i punti orari sulla linea equinoziale. Le rette dal *centro del quadrante* per ciascuno di questi punti sono le linee delle ore. In alternativa si prende un altro filo che va fissato alla fine dell'*asse* ***j*** e lo si fa passare per qualche ora del cerchio, per esempio in ***c***. Si tende il filo in modo che tocchi semplicemente l'*asse*, o il filo passante per l'*asse* in ***b***, fino al muro in ***e***. Si ripete l'operazione, tendendo il filo sempre per ***c,*** toccando appena l'*asse* o il filo per l'*asse* in un altro punto ***f***, fino al muro in ***g.*** La linea ***ge*** sarà l'ora segnata in ***c***[9]***.***

Un terzo modo, senza l'uso dei fili, si pratica di notte, mettendo una luce in modo tale che l'ombra dell'asse passi per una particolare ora del cerchio: l'ombra dello stesso *asse*, o del filo teso sull'*asse*, segnerà sul muro quell'ora. Si sposta la fiamma e si ripete il procedimento per le altre. Un quarto modo simile al precedente si pratica di giorno con il Sole, per mezzo di uno specchio, piazzato in tal modo da far passare l'ombra dell'asse per qualche ora del cerchio.

[8] La modalità con cui lo strumento viene orientato mi sembra il punto più debole nella concezione e nell'uso dello strumento, perché può dare risultati abbastanza grossolani, forse anche più di quelli che si possono ottenere tramite una bussola (spesso utilizzata, ai tempi di Pardies, in strumenti analoghi per determinare la direzione meridiana). In alternativa comunque, ma sempre con analoga precisione, si potrebbe, conoscendo il grado del segno, ovvero la data, mettere il cerchio per quella data, e ruotare il *piano meridiano* fino a che il *cerchio* non proietti alcuna ombra sul piano stesso.

[9] Questo procedimento consente di individuare il piano orario definito dai tre punti ***c***, ***b*** ed ***f***, ovvero quello per ***c*** contenente l'asse polare individuato da ***b*** ed ***f***, piano che intercetta la parete lungo la retta individuata dai punti ***g***, ***e***.

L'ombra che si forma sul muro indica la linea di quell'ora. Pardies predilige queste due ultime maniere, che ritiene eccellenti particolarmente quando il luogo dove fare il quadrante non è piano e unito. Anche le operazioni da affrontare ne sarebbero molto semplificate.

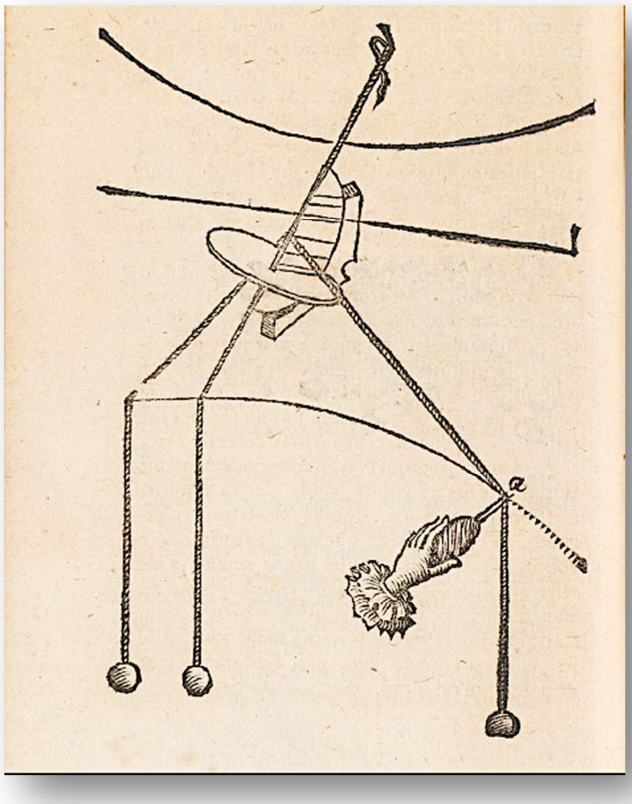


Fig. 4 - Esempio di modalità di tracciamento dei segni dello zodiaco con la prima macchina

Per **disegnare i segni dello zodiaco** e le feste dell'anno (Fig.4), si lascia lo strumento nella sua corretta posizione: il filo dal *centro,* teso lungo tutta la superficie del cerchio, termina sul muro in diversi punti che individuano, come già visto, la linea equinoziale. Si sposta quindi il *cerchio* sul segno del Cancro, e si tende il filo dal *centro* facendolo passare attorno alla sua circonferenza individuando sul muro il segno del Cancro. Una simile operazione può essere ripetuta per tutti i segni dello zodiaco e per un giorno nel quale cade una festa particolare[10].

Per segnare più comodamente sul muro i diversi punti dove il filo va a finire, si suggerisce di usare un ago e far passare il filo per la sua cruna ***a*** mentre un piombo appeso alla fine del filo lo tiene sempre ben teso.

Pardies dà indicazioni anche per segnare Azimut, Almincantarat e Case Celesti, ma vediamo i suggerimenti riportati **per disegnare le ore Italiche, Babiloniche e Judaiche**.

Una volta disegnati i tropici e l'equatore come già indicato, è facile segnare queste ore perché ciascuna di esse passa sull'equatore nello stesso punto dell'ora astronomica, così che basta trovarne un altro, cosa che si può fare con uno dei tropici.

La linea Orizzontale[11] tra i tropici, dalla parte dell'Oriente, è la 24esima Ora Italica mentre dalla parte dell'Occidente, è la 24esima Ora Babilonica; da una parte e dall'altra la stessa orizzontale è anche la 12esima Judaica. Partendo quindi dal punto dove il tropico interseca l'orizzonte, dall'Oriente o dall'Occidente, e riportando su questo tropico ora per ora[12], si avrà un punto per ciascuna ora rispettivamente Italica o Babilonica. Per le Judaiche, si divide il tropico dal mezzogiorno fino al punto in cui esso intercetta l'Orizzonte in sei parti uguali: le linee da ciascuna di queste parti per la corrispondente ora dell'equatore sono le Judaiche; la sesta è quella del mezzogiorno.

Nel terminare la descrizione della prima macchina, Pardies indica come possa essere utilizzata anche per tracciare orologi a riflessione e per determinare l'ora del giorno e la latitudine del luogo. In questo caso il piano meridiano va orientato con l'uso di una bussola. Si deve quindi ruotare il *semicerchio* sul *quadrante* fino a che

[10] Nei "Remarque" finali, Pardies precisa che per segnare le ore è indifferente uno stilo qualsiasi, purché la sua estremità tocchi l'asse o il filo teso per esso; volendo però indicare i segni zodiacali o altre date, è necessario che il termine dello stilo coincida con il *centro* dello strumento.

[11] L'autore non la definisce, ma essa può essere individuata raddrizzando il *semicerchio* in modo che l'*asse* sia verticale e "proiettando" con l'uso del filo, sul muro, il *cerchio* delle ore o equatoriale.

[12] Questa operazione è possibile se, sul *cerchio* delle ore, ciascuna ora viene divisa in due/quattro parti, con una precisione del quarto d'ora. Tale precisione potrebbe aumentare a 4/5 minuti dividendo ciascun angolo orario in 12 /15 parti uguali. L'ora del tramonto, con la precisione voluta, si può leggere nel punto dove un filo dal centro, teso fino al punto dove l'Orizzonte intercetta la linea del Tropico verso Est, lambisce il *cerchio* orario.

l'ombra del *cerchio* delle ore, per il *centro,* non lambisce il grado del segno di quel giorno: il piccolo dito sul *semicerchio* indica allora sul *quadrante* la latitudine del luogo mentre l'ombra dell'asse sul *cerchio* indica l'ora. La macchina diventa quindi essa stessa un orologio solare la cui debole precisione, come più volte emerso, può essere migliorata aumentandone le dimensioni e usando altri accorgimenti.

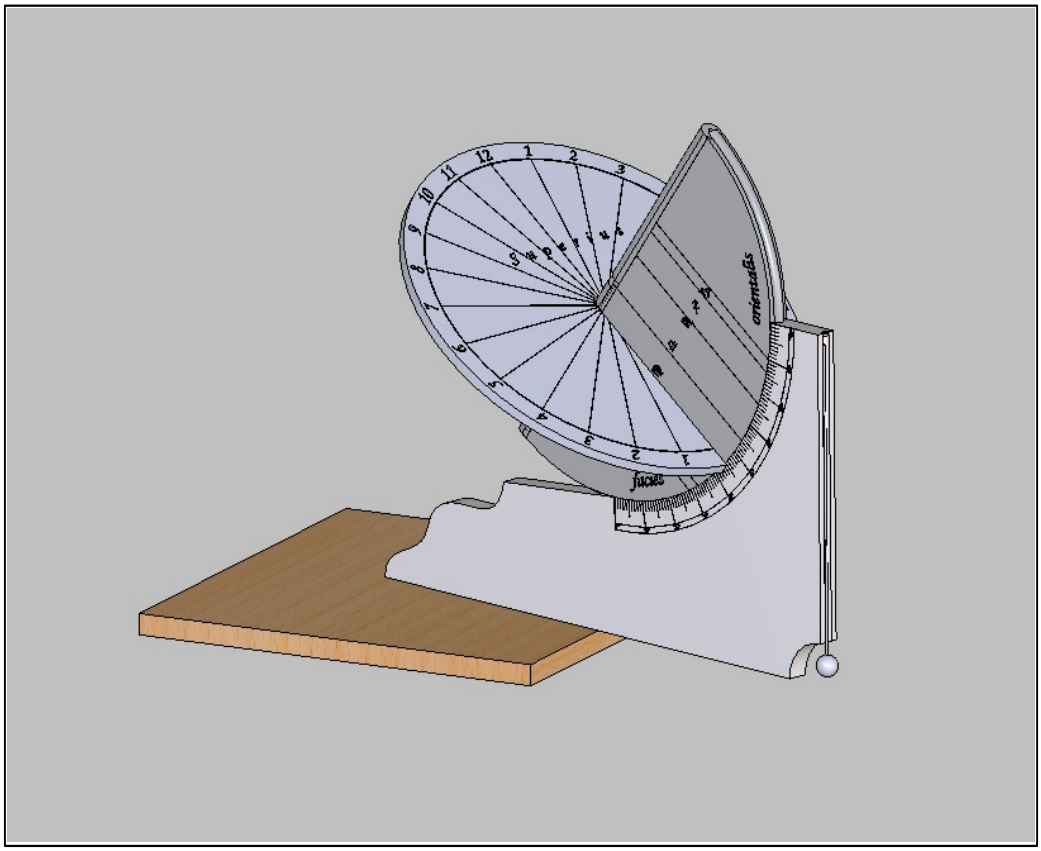


Fig. 5 - Nel riquadro la macchina realizzata con il modellatore Solidworks.

Descrizione della seconda macchina

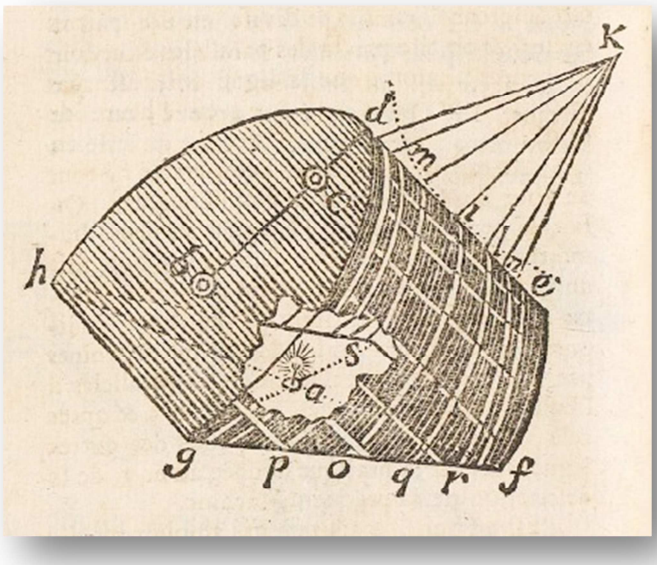


Fig. 6 - La seconda macchina

Per la realizzazione di orologi a riflessione, Padre Pardies propone una seconda macchina, (Fig. 6) più agevole allo scopo, una specie di lanterna di ferro o di cartone, fatta con la porzione di un cilindro.

Nella figura, ***ghd*** e la lastra opposta ***fe***, sono segmenti di cerchio che uniti formano un cerchio intero. Il punto ***b*** è il centro del cerchio ***ghd***, per cui passa l'asse del cilindro. ***ghff*** è una placca, al centro della quale vi è un foro ***a*** che è il centro dello strumento.

Gli archi ***io***, ***mp***, ***lq***, etc sono gli archi dei Segni e le linee diritte parallele sono le ore, che si ottengono dividendo la circonferenza ***ghd*** in 24 parti uguali e tracciando per ciascun punto delle

parallele: la linea che passa per il punto più alto ***de*** è l'ora del mezzogiorno.

Il semicerchio ***io,*** tutto attorno al cilindro rappresenta il piano dell'Equatore: si possono trovare facilmente i cerchi di tutti i segni, seguendo la pratica mostrata nella descrizione della prima macchina.[13]

Per l'uso di questo strumento, si prepara sul davanzale della finestra una piccola cavità rotonda, che sarà sede dello specchio e, su questa cavità, si fissa la direzione meridiana con l'ombra proiettata da un filo a piombo nell'istante della culminazione del Sole. Si piazza quindi la macchina sul davanzale, in modo che il centro ***a*** coincida con il centro della cavità e che l'asse del cilindro sia sul piano meridiano[14]: una luce, al posto dello specchio, passando con i suoi raggi per tutte le aperture dalla lanterna, segnerà fedelmente nella camera tutto l'orologio. Si fissa quindi lo specchietto dentro la cavità, disposto in modo tale, che segni allo stesso tempo l'ora e il segno di quel giorno e di quel momento[15]. Una delle comodità di questo strumento, è che si può girare come si vuole, per fare andare le linee delle ore e tutto il quadrante, nel posto della camera che si ritiene più adatto a riceverlo. Stabilito che l'asse del cilindro sia nel piano Meridiano, si può drizzare lo strumento, o inclinarlo, girarlo verso l'Oriente, o verso l'Occidente, come si ritiene più opportuno[16]. Se la luce di una lampada è troppo flebile per distinguere bene sul muro o sul pavimento le proiezioni delle linee, ci si può servire dei raggi del Sole e di qualche specchio[17].

Si fissa il piccolo specchio nel suo posto e, con il Sole, si segnano tre o quattro punti dove il raggio riflesso va a cadere nella camera, a ore diverse. È bene fare ciò un giorno in cui il Sole entra in uno dei Segni e quando si conosce con precisione una certa ora.

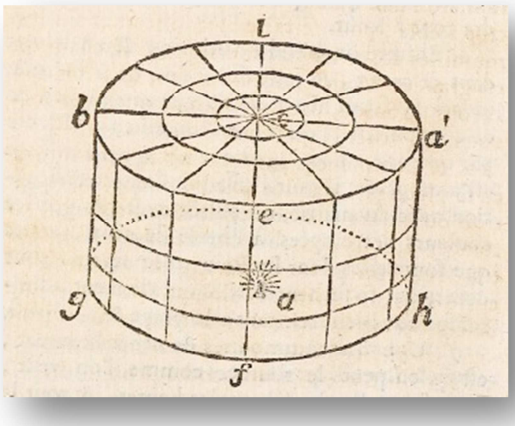


Fig. 7 - Macchina simile alla seconda macchina per disegnare azimut ed almicantarat.

Si sistema quindi lo strumento in modo che il suo centro corrisponda esattamente al piccolo specchio e con altri specchi abbastanza grandi (meglio se concavi) si riflettono i raggi del sole sul piccolo specchio. Questo rifletterà a sua volta verso la lanterna i raggi, che passando attraverso le aperture, andranno a segnare nella camera le linee Orarie e i Segni.

La lanterna dovrà essere disposta in modo che i raggi che passano per il segno del giorno, del quale si sono già segnati 3 o 4 punti, vadano esattamente a sovrapporsi a tutti questi punti e che allo stesso tempo i raggi dell'ora vadano sul punto già segnato per quell'ora. Naturalmente lo strumento deve essere messo con il dosso in alto e girato, con l'asse e il foro ***b,*** verso il mezzogiorno. Con una macchina simile, un'altra lanterna fatta come un tamburo, si possono disegnare gli Azimut e gli Almicantarat (Fig. 7).

Pardies, nella prefazione all'opera, sostiene che *niente è meglio di queste macchine per apprendere la Teoria dei Quadranti, la ragione di tutte le operazioni, il rapporto delle linee orarie e del corso del Sole, in una parola tutta la scienza della Gnomonica.* Se è vero che la precisione di queste macchine è perfettibile, non si può negare ad esse la forte valenza didattica.

---

[13] Anche in questo caso Pardies approssima la declinazione con la formula $\tan(\delta) = \tan(23.5°) \cdot sin(\alpha)$, con α gradi dei Segni. Vedere appendice a fine articolo.

[14] Con l'asse del cilindro sul piano meridiano, l'orologio solare avrà l'ora del mezzodì che indica anche la direzione meridiana (direzione Nord-Sud) sul soffitto.

[15] In questo modo, l'uso della luce e della "lanterna", consente dapprima la definizione del tracciato dell'orologio solare nella stanza, e solo in seguito viene "fissato" lo specchio in modo che rifletta il Sole nel punto del tracciato che corrisponde all'ora e al giorno del momento in cui l'operazione viene effettuata.

[16] Nel concludere questa parte, Pardies aggiunge che la condizione, secondo cui lo strumento va disposto con l'asse del cilindro sul piano meridiano, non è in realtà vincolante. L'unica condizione rimane dunque la coincidenza del punto ***a*** con il centro dello specchio e diventerebbe quindi superflua anche la preventiva determinazione della linea meridiana. In fondo, lo specchio libera completamente lo strumento dalle condizioni imposte dalle coordinate del luogo.

[17] In questo modo è lo specchietto ad essere "pre-fissato".

In una terza edizione completa delle sue opere principali del 1687, sempre nella lunga prefazione alle due macchine gnomoniche, si trova uno strano invito:

Quelli che avranno la curiosità di apprendere a fondo la Teoria e l'uso di queste macchine, potranno farlo agevolmente, se vogliono venire al Collegio di Clermont, dove si faranno degli interventi pubblici, una volta alla settimana, per qualche tempo. E quelli che vorranno risparmiarsi anche la pena di farsi essi stessi queste istruzioni, potranno indirizzarsi agli Operai delle Macchine del Collegio di Clermont, che li rifornirannno di tutti i tipi.

Al Collegio di Clermont era nata forse, sotto l'impulso di Padre Ignace, una "Scuola di Gnomonica"?

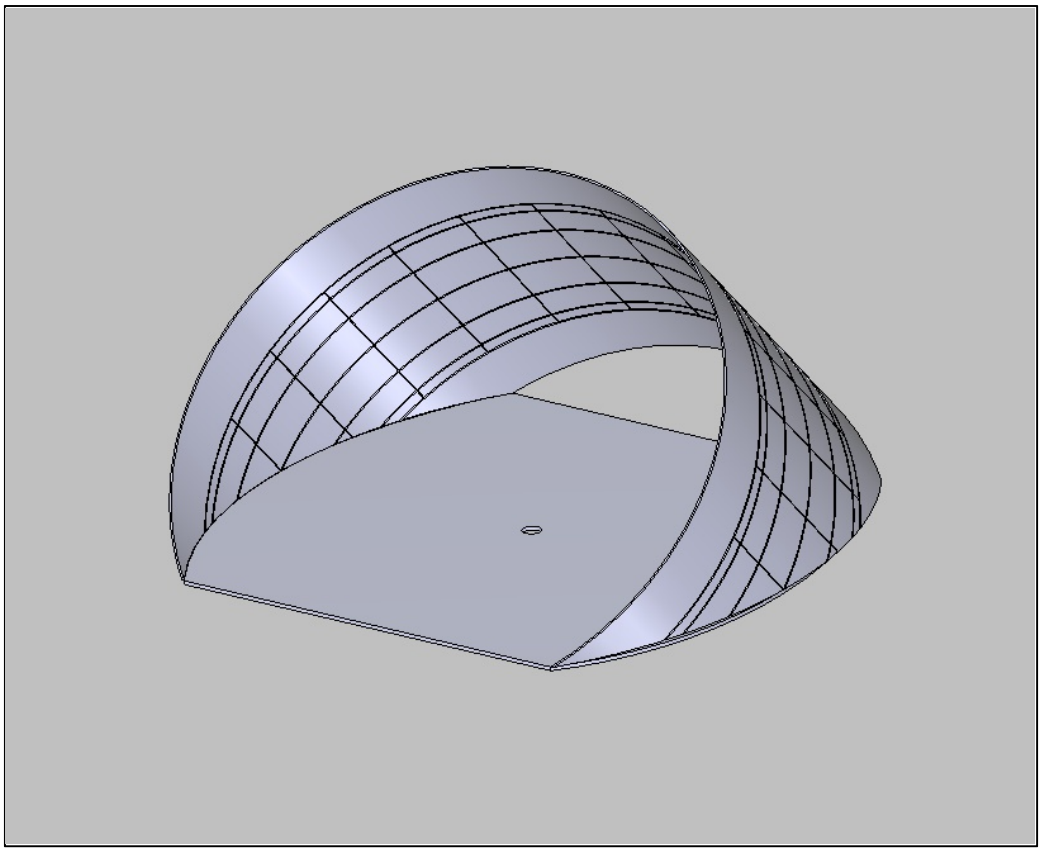


Fig. 8 - Nel riquadro, la macchina descritta, realizzata con il modellatore Solidworks

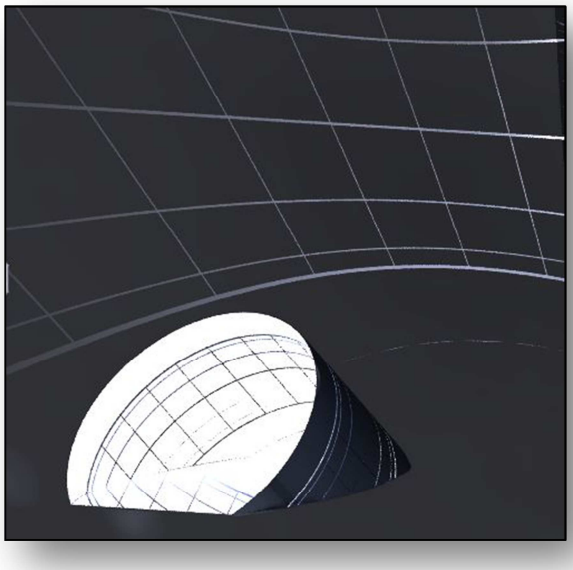


Fig. 9 - Nell'immagine, ottenuta tramite una simulazione con Solidworks, si vede come le linee orarie e diurne sono proiettate dalla

Appendice

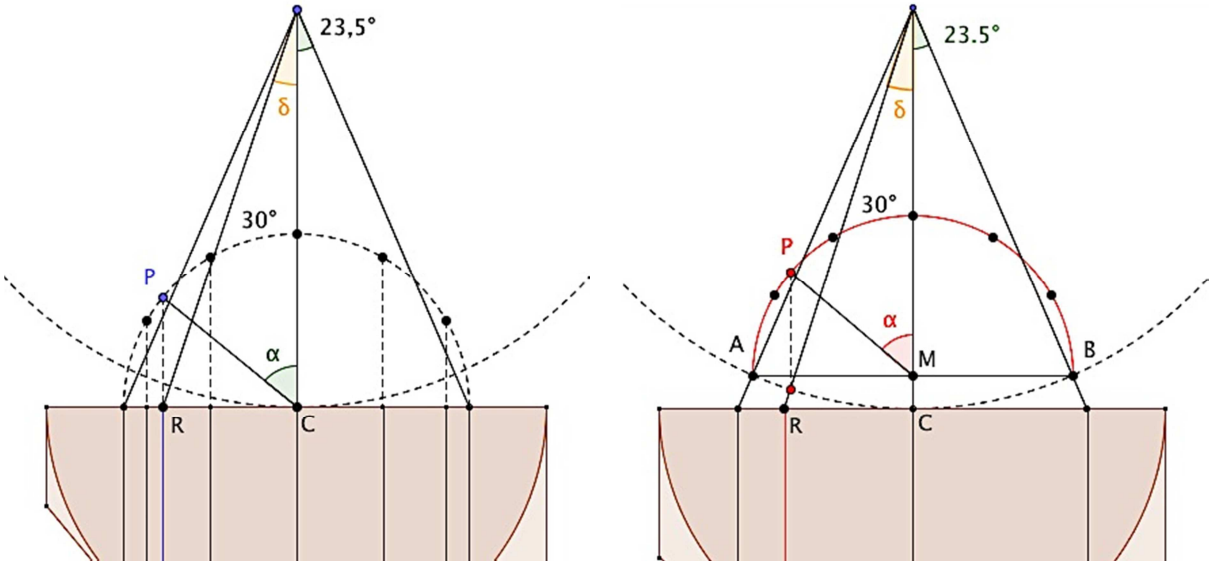


Fig. 10a -10b Schemi illustrativi

Nella figura 10a, le linee dei gradi dei Segni come costruite da Pardies. Il segmento RC, corrisponde, sul bordo della "lanterna" ricavata da un cilindro o sull'*asse* del *semicerchio* nella prima macchina, ad un generico grado del Segno α. Si ha:

$$RC = tan(\delta) = tan(23.5°) \cdot sin(\alpha)$$

Nella figura a 10b, la corretta definizione di RC. Al generico grado del Segno α corrisponde il segmento RC per il quale si ha:

$$RC = tan(\delta)$$

dove però la declinazione δ è legata al grado del segno α dalla relazione:

$$sin(\delta) = sin(23.5°) \cdot sin(\alpha)$$

formula uguale a quella ricavata dalla trigonometria sferica secondo cui nel calcolo della declinazione solare δ, con l'uso della longitudine eclittica λ del Sole, si utilizza la formula[18]

$$sin(\delta) = sin(\lambda) \cdot sin(\delta_{max}).$$

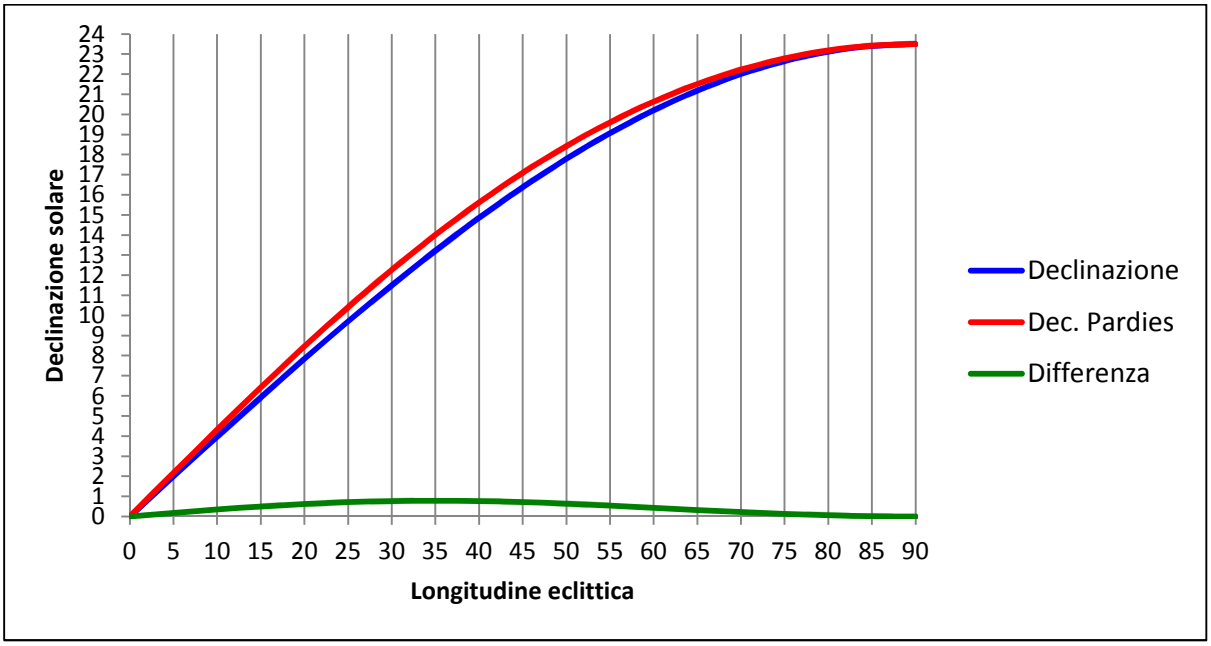
In questo caso si è posto $\delta_{max} = 23.5°$.

Dal calcolo su foglio Excel, usando le due formule, si ottiene la tabella qui a lato.

α	δ	δ_1	Δ
Long. Eclitt.	**Declinazione**	**Dec. Pardies**	**Differenza**
0	0.00	0.00	0.00
5	1.99	2.17	0.18
10	3.97	4.32	0.35
15	5.92	6.42	0.50
20	7.84	8.46	0.62
25	9.70	10.41	0.71
30	11.50	12.27	0.77
35	13.22	14.00	0.78
40	14.85	15.62	0.76
45	16.38	17.09	0.71
50	17.79	18.42	0.64
55	19.06	19.60	0.54
60	20.20	20.63	0.43
65	21.19	21.51	0.32
70	22.01	22.22	0.22
75	22.65	22.78	0.13
80	23.12	23.18	0.06
85	23.41	23.42	0.01
90	23.50	23.50	0.00

[18] Fantoni G. - Orologi solari Technimedia 1988 - Pag. 91 e 356
Ferrari G. - Formule e metodi per lo studio degli orologi solari piani 2015 – Pag. 461

Si può osservare che si ha una differenza maggiore tra i 30 e 40 gradi di longitudine eclittica, una differenza che può essere trascurabile per piccoli quadranti, ma può diventare importante soprattutto per gli orologi realizzati con la seconda macchina all'interno di una stanza.



Bibliografia

[1] Corradi Massimo. - *L'Età dei Lumi: Meccanica e ingegneria. Storia della scienza* -2002

[2] Fletcher John Edward - *A study of life and works of Athanasius Kircher*, Germanicus incredibilis

[3] Gunella Alessandro. *Riflessioni su uno strumento per tracciare gli orologi solari sulle pareti* - Gnomonica Italiana –Anno III, n. 8 – Giugno 2005

[4] Labrosse Gustave. *La machine propre à tracer les cadrans solaire de l'abbé Ignace Gaston Pardies* – Cadran Info N. 8 – Octobre 2003

[5] Severino Nicola. - *Gli strumenti per costruire orologi solari nel XVI secolo.* Atti del IV Seminario di Gnomonica -1992.

[6] Severino Nicola. *Biografie gnomoniche* - Roccasecca 2011

[7] Sigismondi Costantino. *Introduzione al calcolo astronomico* - Geoastrolab Università Europea di Roma - Quaderni di studio 2007

[8] Ziggelaar August - *Le physicien Ignace Gaston Pardies S.J. (1636-1673)* Odense University Presse -1971

[9] Ziggelaar August - *Une invention oubliée: Deux instruments pour la construction des cadrans solaires.* Centaurus vol.13 – 1968

Nel sito di Orologi Solari www.orologisolari.eu nella sezione "bonus" del numero corrente è possibile scaricare alcuni file interattivi ed animazioni + l'opera completa di Pardies tradotta in italiano a cura dell'autrice.