

 Hemisferium®
strumenti scientifici antichi

L'ASTROLABIO





L'ASTROLABIO

Testo, consulenza scientifica e sviluppo tecnico:
D. Luis Hidalgo Velayos (L. H. V.)

Hemisferium®. Instrumentos Científicos Antiguos, S. L.
www.hemisferium.es
Madrid, 2008
Made in Spain

➤ BREVE STORIA

Il nome dell'astrolabio deriva dalla parola greca "astro", che significa "stella", e da labio, "colui che cerca". Potremmo tradurlo come "il cercatore di stelle". Tuttavia, questo complesso strumento ha numerose altre funzioni.

Il primo astrolabio fu un semplice grafometro verticale che misurava solo l'altezza del Sole o degli astri, effettuando la misurazione del tempo e i calcoli di posizione. Più tardi si trasformò in una rappresentazione della sfera celeste destinata a dare risposta ad interrogativi più complessi; il suo periodo d'oro ebbe inizio quando, nella versione piana o planisferica, poté facilmente risolvere i problemi relativi agli orti, ai tramonti e a questioni relative all'orizzonte in un determinato luogo.

L'astrolabio era costituito da una complicata struttura di elementi più o meno sovrapposti, il cui numero era limitato per evitare una confusione





eccessiva tra i vari dischi. In sintesi, lo strumento racchiuse nel limitato spazio dei suoi dischi i misteri dell'astronomia, della meccanica celeste, degli eventi cronologici e della trigonometria, ed anche —come era necessario— le curve relative alla Cabala e all'astrologia, per poi diventare una calcolatrice ed un vero e proprio vademecum nel quale sia l'astronomo sia il marinaio trovavano le informazioni che attualmente vengono fornite loro dalle effemeridi nautiche, dalle tavole dei logaritmi e dal sestante.

Le prime notizie pervenuteci circa lo sviluppo dell'astrolabio provengono dal Centro di Ricerche di Alessandria. Nel 150 a.C. l'astronomo Ipparco progettò, mediante la teoria della proiezione stereografica, il primo astrolabio planisferico.

Claudio Tolomeo, nel 140 d.C., nel suo libro *Almagesto*, inventò uno strumento denominato *astrolabon organon*, molto simile ad una sfera armillare o cercatore di stelle lungo le coordinate eclittiche. Altri testi importanti sull'astrolabio furono compilati da Giovanni (530 d.C.) della Scuola di Alessandria, e da Severus (650 d.C.). Spicca inoltre l'opera del erudito arabo Masha'Allah Albatagnius (850 d.C.) per l'influenza che esercitò sugli scienziati europei dei secoli successivi.

Dopo la riconquista di Toledo per mano dei Re Cattolici, la nuova scienza si diffuse in Europa. Durante il XIII secolo Alfonso X di Castiglia, detto il Saggio, fondò la Scuola di traduttori di Toledo, dove numerose opere islamiche vennero tradotte, gettando le basi per la compilazione di nuove tavole astronomiche.

In Europa l'astrolabio diventò uno strumento imprescindibile per astronomi, astrologi ed agrimensori fino alla fine del XVII secolo, quando fu rimpiazzato da strumenti più precisi. Nel mondo arabo il suo uso si protrasse fino al XIX secolo.



→ PARTI DELL'ASTROLABIO

1. La madre: disco scavato al centro per alloggiare il timpano e la rete.
2. Timpano o lamina: disco inciso con le coordinate della sfera celeste (almucantarati): comprende lo zenit, l'orizzonte, le linee di altitudine, l'azimut, l'equatore ed i tropici del Cancro e del Capricorno. Corrisponde a una latitudine di $50,5^\circ$ (fig. 1).
3. La rete: è una mappa astrale sulla quale l'asse centrale segna la posizione della stella polare; la traiettoria del Sole è segnata sul cerchio dell'eclittica, il quale è diviso in dodici segni zodiacali (fig. 2).
4. Il regolo: situato sulla rete, si usa per allineare la data sul cerchio dell'eclittica con l'ora corretta sul circolo orario.
5. L'alidada: Situata sul dorso dell'astrolabio o dorso della madre, si usa per puntare mediante le pinnule con le graduazioni (fig. 3).
6. Dorso della Madre: tutte le osservazioni e misurazioni si realizzano sul dorso della madre; la curva graduata che ne percorre il perimetro è chiamata lembo (fig. 4).

→ USI DELL'ASTROLABIO

Le possibilità di calcolo dell'astrolabio, secondo Clavio, sono più di un centinaio. Qui parleremo solo di quelle essenziali che interessano chi è appassionato di questi strumenti, dimostreremo la sua precisione ed osserveremo con quale semplicità ed eleganza questo strumento risolve i problemi astronomici basati sulla trigonometria sferica.

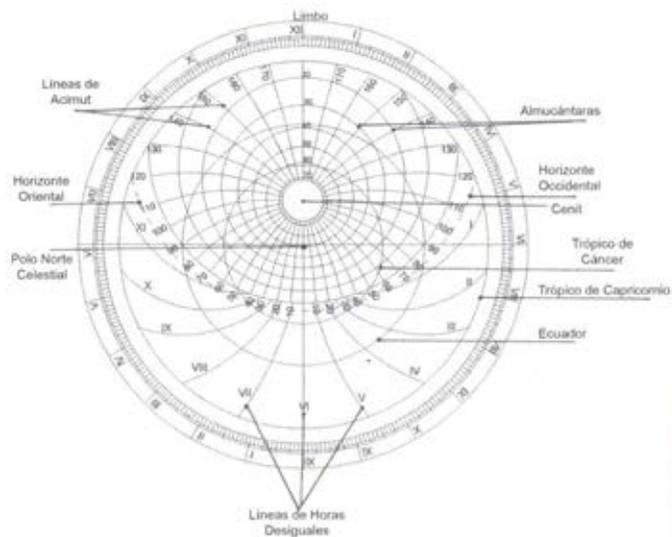


Fig. 1: Timpano o lamina

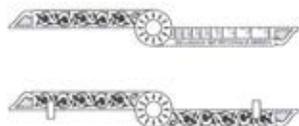


Fig. 3: Le pinnule dell'alidada

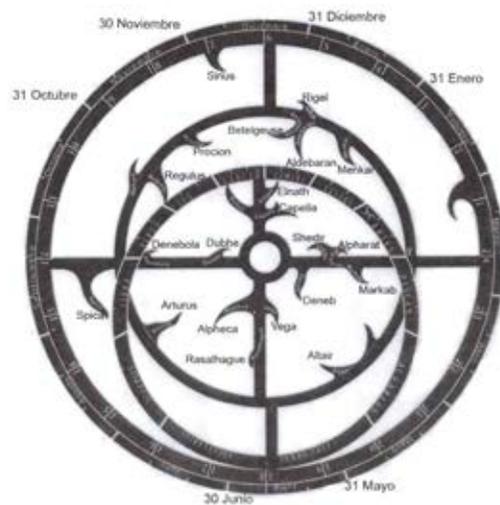


Fig. 2: La rete



Fig. 4: Dorso della Madre



NOZIONI GENERALI

Il timpano rappresenta le coordinate locali di altezza (h) ed azimut (Az) del luogo di osservazione, per cui se si cambia di latitudine è necessario sostituire il timpano, benché sia ammissibile, senza timore di sbagliarsi, l'uso di dischi con una differenza di mezzo grado per eccesso o per difetto rispetto alla latitudine di impiego. La rete ci indica le coordinate celesti, indicando la posizione degli astri nella volta celeste (ascensione retta AR e declinazione δ) mediante gli indicatori a punta usati negli strumenti antichi. Supponendo che le stelle siano fisse –almeno per un lungo periodo di tempo–, l' AR e δ sono considerate costanti, pertanto questa rete è adatta a tutte le latitudini ed è universale, ossia può essere utilizzata su qualsiasi astrolabio piano, qualunque sia il tracciato del disco. Dal momento che la Terra gira da ovest verso est, vedremo girare gli astri da est ad ovest in senso orario. Questo movimento apparente è quello che realizza la rete dell'astrolabio, spostando il Sole, le stelle e gli altri astri dall'orizzonte est verso il sud ed effettuando il tramonto sull'orizzonte ovest.

Per ottenere una rappresentazione della proiezione della sfera celeste rispetto all'orizzonte, è necessario orientare l'astrolabio in modo che il trono sia rivolto verso sud. In questo modo l'oriente rimarrà a sinistra dell'osservatore, l'ovest a destra ed il meridiano –linea delle XII–, al centro.

Sul dorso dell'astrolabio, come mostra la figura 4, si trova il calendario sul quale scorre l'alidada, rilevando i gradi di un segno dello Zodiaco corrispondenti ai mesi e ai giorni dell'anno e mostrando così la situazione esatta del Sole sull'eclittica.

Se collochiamo il regolo nel punto in cui si trova il Sole sull'eclittica, l'astrolabio risponderà a tutte le domande sia di giorno sia di notte; il rego-



lo farà da lancetta di un orologio convenzionale, nel quale le ore sono disposte sul lembo periferico della madre, essendo la tacca delle XII vicino al trono, corrispondente alle 12 –ora solare– e le XII opposte corrispondenti alle 24 ore (o le 0 ore).

Sulla rete sono incise le tacche dell'ascensione retta (AR) e sul regolo la curva di declinazione (δ). Negli esempi qui illustrati si usano i valori $\varphi = 51.5^\circ$, $\lambda = 0$ m 20 s ed il giorno di osservazione, se non ci sono altre indicazioni, sarà il 17 agosto. Evidentemente, si può usare in qualsiasi giorno dell'anno ed in qualunque momento, sia di giorno sia di notte, ed ha il vantaggio di rilevare numerosi dati astronomici senza bisogno di uscire all'aperto.

L'ASTROLABIO IN FUNZIONE

Collocare l'astrolabio e prepararlo per la notte del 17 agosto. A questo scopo prenderemo di mira la stella Arturo con le pinnule dell'alidada sul dorso dell'astrolabio. Se si ottiene un'altezza di 20° sul lato occidentale, dovremo portare l'indicatore a punta della stella che rappresenta Arturo (α di Bootes) sull'almucantarato 20° nella parte destra del disco collocando il regolo sulla tacca 24° (Leone) dell'eclittica che corrisponde alla posizione del Sole in questo giorno.

In questa posizione l'astrolabio sarà pronto per rispondere ad ogni domanda: in questo modo, infatti, la volta celeste è esattamente rappresentata dalla congiunzione della rete e il timpano dell'astrolabio. I primi dati che possiamo osservare sono i seguenti:



- La declinazione del Sole. Il regolo, che si trova sul punto 24° del Leone sull'eclittica, indicherà: $\delta = 13^\circ 20'$
- La declinazione di una stella. Collocando il regolo sull'indicatore di Arturo sarà: $\delta = 19^\circ$.
- L'ascensione retta del Sole. Il regolo indicherà 9 h 49 m in questa data.
- L'ascensione retta di una stella. Con il regolo sull'indicatore che rappresenta Arturo, l'estremità, questo indicherà 14 h 14 m sulla scala A.R. della rete.
- L'angolo orario di una stella. Poiché Arturo si trova sull'almucantarato 20° , situando il regolo su di esso, indicherà le V h 20 m sul lembo periferico della madre, avendo origine nelle XII ore.
- L'angolo orario del Sole, ora solare. L'estremità del regolo situata su 24° del Leone indicherà le IX h 50 m o le 21 h 50 m ora civile.
- Tempo siderale in un dato momento. Poiché è uguale alla somma dell'ascensione retta del Sole e del suo angolo orario, $t Hs = 9 h 50 m + 9 h 49 m = 19 h 40 m$. Il tempo siderale si comincia a calcolare dal meridiano o dalle XII ore dell'astrolabio. Il segno del punto gamma γ (0° di Ariete), indicherà sul lembo periferico della corona il numero di ore e minuti contati in senso retrogrado, ossia, in senso orario, dalle XII.
- Ora disuguale del Sole. Osserveremo che è appena trascorsa la III ora disuguale notturna.
- La posizione di alcune stelle. Immediatamente vedremo che Spiga è tramontata e si trova ad un'altezza di -11° , al termine del crepuscolo nautico. Capella (α dell'Auriga) è circumpolare, ossia, non ha orto né tramonto. Vega (α della Lira) già culminata, è transitata sul meridiano superiore e si trova a 71° di altezza e 40° di azimut SW. Altair, (α dell'Aquila) ha un'altezza $h = 48^\circ$ ed un azimut di 5° SE ed è prossima a cul-



minare. Deneb (α del Cigno) si trova ad un'altezza $h = 79^\circ$ ed un azimut di $Az = 70^\circ$ SE. Abbiamo scelto queste tre stelle perché costituiscono il cosiddetto "triangolo estivo", e sono l'esempio più rappresentativo del cielo dell'emisfero nord in questi mesi.

A. Esempi sull'uso del Sole

Il tempo al quale si riferisce l'astrolabio è quello solare reale senza nessun tipo di correzione, né di longitudine, né di equazione di tempo (E.T.), né dell'ora di risparmio energetico.

Nomenclatura

Hs: angolo orario del Sole o **He** quello di una stella fissa; **t:** tempo in ore; **δ :** declinazione del Sole o di una stella fissa; **A:** $180 - Az$; **Az:** azimut dal sud / (SE sudest, SW sudovest); **λ :** longitudine eclittica o terrestre; **φ :** latitudine del luogo di impiego; **A.Rs.:** ascensione retta del Sole; **A.Re.:** A.R. di una stella; **ϵ :** angolo dell'eclittica con l'equatore celeste 23.44° ; **ω :** angolo ausiliare; **h:** altezza solare o di una stella fissa; **γ :** punto ariete (punto di incrocio dell'eclittica con l'equatore celeste, origine dell'A.R. e quello che segnala il tempo siderale); **α :** 1^a grandezza di una stella nella sua costellazione e **β :** 2^a grandezza; **E.T.:** equazione del tempo; **A.M.:** antimeridiano e **P.M.:** postmeridiano; **T.U.:** tempo universale e **t Hs:** tempo siderale.

A.1. Calcolare l'ora dell'orto od ora in cui spunta il Sole:

Il giorno fissato per la determinazione è il 17 agosto. Sul calendario zodiacale a tergo questo giorno corrisponde a 24° del Leone. Segnare con il



regolo i 24° del Leone sul cerchio dell'eclittica e ruotare l'insieme finché questo punto tocca il bordo orientale dell'orizzonte. L'estremità del regolo segnerà le 4 h 50 m solari.

L'ora ufficiale per questo luogo, la cui longitudine $0^\circ 05'$ ovest è equivalente a 20 s, si ottiene in questo modo: ora ufficiale = ora solare reale + λ differenza di longitudine (ovest) + equazione di tempo + 1 h (anticipo estivo). Il valore di E.T. è 4 m 05 s per quest'ora (5 del mattino). Pertanto l'ora ufficiale è: 5 h 54 m 25 s.

A.2. Ore di luce del giorno (dal principio dell'aurora fino a notte inoltrata)

Si procede come nell'esempio dell'orto, ma usando in questo caso le ore dei crepuscoli: $21\text{ h }35\text{ m} - 2\text{ h }25\text{ m} = 19\text{ h }10\text{ m}$. Il doppio di Hs già calcolato darà: $2 \times 9\text{ h }35\text{ m} = 19\text{ h }10\text{ m}$

A.3. Come calcolare l'ora se conosciamo l'altezza del Sole:

È possibile calcolare l'altezza sul dorso dell'astrolabio, mantenendolo sospeso per il trono e facendo sì che i raggi del Sole penetrino tra le due pinnule. Bisogna osservare indirettamente questo fenomeno, ossia lasciar passare il raggio nel foro della pinnula anteriore dell'alidada, finché il raggio si proietti sul secondo foro della pinnula posteriore, **senza mai guardare il Sole attraverso le pinnule per non esporsi al rischio di danno oculare**. L'alidada segnerà l'altezza del Sole in gradi sul lembo periferico.

Supponiamo di voler calcolare l'ora solare sapendo che l'altezza del Sole, ottenuta nel pomeriggio del 17 agosto, sia di 30° . Come sempre, con l'astrolabio in posizione con il Sole sui 24° del Leone sull'eclittica e su questo punto il regolo sul suo bordo. Gireremo l'unità regolo-rete finché il punto coincida con l'almucantar di 30° nella parte destra od occiden-



le dell'astrolabio. Il regolo indicherà sul lembo periferico le III h e 50 m. P.M. o le 15 h 50 m.

Questo è l'esempio classico riportato in quasi tutti i libri ed il più usato nell'antichità. Si dice che, durante l'invasione, la conquista e il regno musulmano nella penisola iberica, i sovrani arabi si facessero accompagnare nelle loro incursioni dai loro astrolabisti, aiutanti insostituibili per i loro fini strategici.

B. Cronometria notturna

L'astrolabio è capace di calcolare l'ora non solo di giorno utilizzando la nostra stella, il Sole, ma anche di notte, come un **notturlabio**, e permette di conoscere l'ora solare in base alle stelle, benché non siano circumpolari (a differenza dell'altro), anche se la sua applicazione è solamente locale, mentre il notturlabio è universale.

B.1. Che ora è quando Arturo (α di Boöter) ha un'altezza $h = 20^\circ$ ad ovest?

In questo caso si può osservare direttamente con l'alidada perché non esiste pericolo di danno oculare. Il giorno 17 agosto l'A.R. del Sole a quest'ora è di 9 h 49 m. La misurazione è semplice e consiste nel portare l'indicatore della stella Arturo sull'almucantar a 20° nella parte destra od occidentale dell'astrolabio. Trovandosi la rete fissa su questo punto, si fa scorrere il regolo fino a portarlo sulla posizione 24° del Leone. La sua estremità indicherà sul lembo orario le IX h 50 m di sera (21 h 50 m).



Possiamo inoltre domandarci: a quest'ora è visibile Arturo? L'astrolabio risponde immediatamente, dato che il Sole, a quest'ora sui 24° del Leone, ora già determinata, si trova al di sotto della linea crepuscolare. Sappiamo che il crepuscolo astronomico vespertino in questa data ha termine alle 21 h 35 m, pertanto Arturo è visibile da quindici minuti.

C. Problemi relativi all'azimut

Nota: L'origine dell'azimut e della sua numerazione è oggetto di controversie. Gli astronomi, i navigatori e gli gnomonisti stabilirono un'origine determinata ed un senso per la numerazione. In queste note, l'azimut ha la sua origine a sud e si conta in entrambi i sensi in modo ascendente sia verso est sia verso ovest fino a 180° . Se il rilevamento è $Az = 15^\circ E$ significa che la meridiana forma con la verticale dell'astro un angolo di 15° verso est e che l'origine si trova nel punto sud. La lettera A che appare nelle formule si riferisce al supplemento dell'azimut, ossia: $A = 180^\circ - Az$.

C.1. Come conoscere l'azimut del Sole quando si calcola la sua altezza il giorno 17 agosto di mattina

Si ruota la rete finché il punto 24° del Leone coincida con l'almucantarato 20° , se è questa l'altezza presa, nella parte orientale. Il punto di incontro coincide con l'azimut $85.5^\circ SE$.

C.2. Come orientarsi con l'astrolabio conoscendo l'azimut

Benché il metodo sia poco esatto, agli effetti pratici è sufficiente. Supponiamo che l'azimut rilevato sia di $86^\circ SE$. Collochiamolo sul dorso; $90^\circ -$



$86^\circ = 4^\circ$ sulla linea di $0^\circ - 0^\circ$ che farà le veci della linea est - ovest ed applichiamo l'alidada su 4° . In questa posizione si inclina l'astrolabio affinché i raggi del Sole passino attraverso le pinnule, quindi bisogna abbassare accuratamente l'astrolabio sul piano orizzontale, la linea $90^\circ - 90^\circ$ sarà puntata a sud (meridiana). Se ruotiamo l'alidada fino a 90° e guardiamo –ora possiamo mirare attraverso le pinnule, ma senza mai guardare il Sole– avremo localizzato un punto all'orizzonte: il sud.

D. Problemi relativi al calcolo dell'altezza

D.1. Quale sarà l'altezza del Sole il giorno 17 agosto alle 7 h del mattino?

Spostare il regolo fino ad indicare le VII ore del mattino sulla parte sinistra od orientale del lembo. Ruotare la rete finché la tacca 24° del Leone coincida con l'estremità del regolo. Il punto di incontro determinerà l'altezza di 19° .

D.2 Calcolare l'altezza del Sole conoscendone l'azimut

Ruotare la rete finché i 24° del Leone cadano sull'azimut; $Az = 90^\circ$, $A = 90^\circ$. Il punto di incrocio cade sopra l'almucantarato 18° .

D.3 Quale è l'altezza massima del Sole in questo giorno?

Portare la tacca 24° del Leone sul meridiano ed osservare che cade sull'almucantarato 51.7° .



E. Esempi di uso topografico

Sul dorso, vicino all'abaco della conversione delle ore disuguali in uguali, si trova la cosiddetta scala altimetrica, usata per fini topografici. È costituita da due quadrati uniti tra loro, ed i cui lati sono divisi in dieci parti uguali. La parte orizzontale si chiama *umbra recta* ed i lati laterali *umbra versa*. In realtà è una scala di tangenti e cotangenti.

E.1. Calcolare l'altezza di un albero conoscendo la lunghezza della sua ombra.

Il giorno 17 agosto alle 10 (ora solare) l'ombra di un albero è lunga venti metri. Abbiamo visto negli esempi precedenti come calcolare l'altezza del Sole a quest'ora e in questo giorno, e che questa è di 45° . Collocando l'alidada al dorso su 45° , il suo bordo inciderà l'*umbra recta* nella 10ª divisione della sua scala decimale.

Basandoci sulla somiglianza dei triangoli reali e della scala, possiamo calcolare: altezza / 20 = 10/10, quindi: altezza = 20 m = 20 m. Calcolo: Si può calcolare utilizzando la tangente dell'angolo misurato. Altezza = $20 \operatorname{tg} 45^\circ = 20$ m.

→ USO DELL'ASTROLABIO: ORE TEMPORARIE

È classico comprendere nel tracciato del timpano il tracciato delle ore temporarie o disuguali. Tradizionalmente, sul dorso, si trova un abaco di conversione delle ore uguali in temporarie, di uso universale. Anticamente la durata del giorno era divisa in dodici parti uguali e ciascuna rappresenta-



va un'ora temporaria. Logicamente la durata variava secondo la stagione, essendo le ore più lunghe quando la durata del periodo dell'insolazione era più lunga (estate), e più breve quando più ci si avvicinava al solstizio di inverno —di qui la denominazione di disuguali. Questa distribuzione oraria era molto pratica per lo svolgersi delle attività umane quotidiane.

Dopo questo breve prologo, osserviamo che nella parte inferiore dell'astrolabio, sotto l'orizzonte, appaiono le denominate ore temporarie, indicate dai numeri romani I, II, III, ecc.

Gli ingegnosi astrolabisti si astengono dal tracciato nella parte visibile, al di sopra dell'orizzonte, perché ciò complicherebbe il tracciato dei cerchi dell'altezza (almucantarati) e dei cerchi di azimut. Gli astrolabisti infatti si resero conto che il periodo di insolazione in un giorno qualsiasi era esattamente uguale a quello notturno dell'opposto al Sole nell'eclittica, o, in termini più moderni, ad un giorno nel quale la declinazione abbia lo stesso valore assoluto ma con diverso segno, ossia se il giorno in questione ha $+\delta = +\delta 13^\circ 30'$, come è il caso degli esempi precedenti (17 agosto, 24° del Leone), il suo opposto sull'eclittica (vedi al dorso) è il 13 febbraio - $\delta = -13^\circ 30'$ (24° dell'Acquario).

Basandoci su questa premessa, è facile la doppia conversione delle ore uguali in disuguali e viceversa. Per esempio, se vogliamo sapere alla data presente che ora disuguale è alle 9 h 30 m (ora ufficiale) o alle 8 h 25 m ora solare reale, collocheremo l'insieme riga e 24° del Leone (posizione del Sole il giorno 17 agosto), e porteremo il regolo fino alla graduazione 8 h 25 m, in queste condizioni l'altra estremità del regolo segna sull'eclittica il 24° dell'Acquario (13 febbraio) punto antisolare, proprio sull'ora III temporaria. Invece, se vogliamo sapere qual è l'ora uguale, alla IV ora temporaria dobbiamo portare il punto antisolare 14° dell'Acquario (13 febbraio)



sulla IV ora e collocarvi il regolo. L'estremità opposta del regolo segna sul lembo le 9 h 35 m.

➤ ABACO DI CONVERSIONE

Sul dorso si trova un abaco di conversione delle ore uguali in temporarie, di uso universale.

Come si usava e a che scopo si usava questo abaco? Secondo le regole delle ore di preghiera (ore canoniche) promulgate da San Benito, all'ora III si doveva celebrare la messa. Per conoscere in base al Sole l'ora che corrisponde all'ora III (terza), il frate collocava il segno effettuato sull'alidada nell'esempio precedente sull'ora III e l'alidada rimaneva sul lembo periferico segnando 34° . Manteneva sospeso l'astrolabio e quando il raggio di Sole entrava attraverso la prima pinnula e colpiva il foro della seconda pinnula, allora era l'ora III e il frate suonava la campana per avvisare i parrocchiani che stava per avere inizio il rito religioso.

In sintesi, questo meraviglioso strumento di calcolo medievale, simulatore prodigioso della meccanica astrale che rappresenta tutta la volta celeste su un piano, ci stupisce e ci affascina per la sua armonia ed eleganza. È un chiaro esempio di ingegno e rigore matematico e merita l'appellativo conferitogli da Leybourg, che lo chiamò "gioiello matematico".

Nota: Per ulteriori informazioni, consulti la sezione *Documentación* sul sito web www.hemisferium.es.