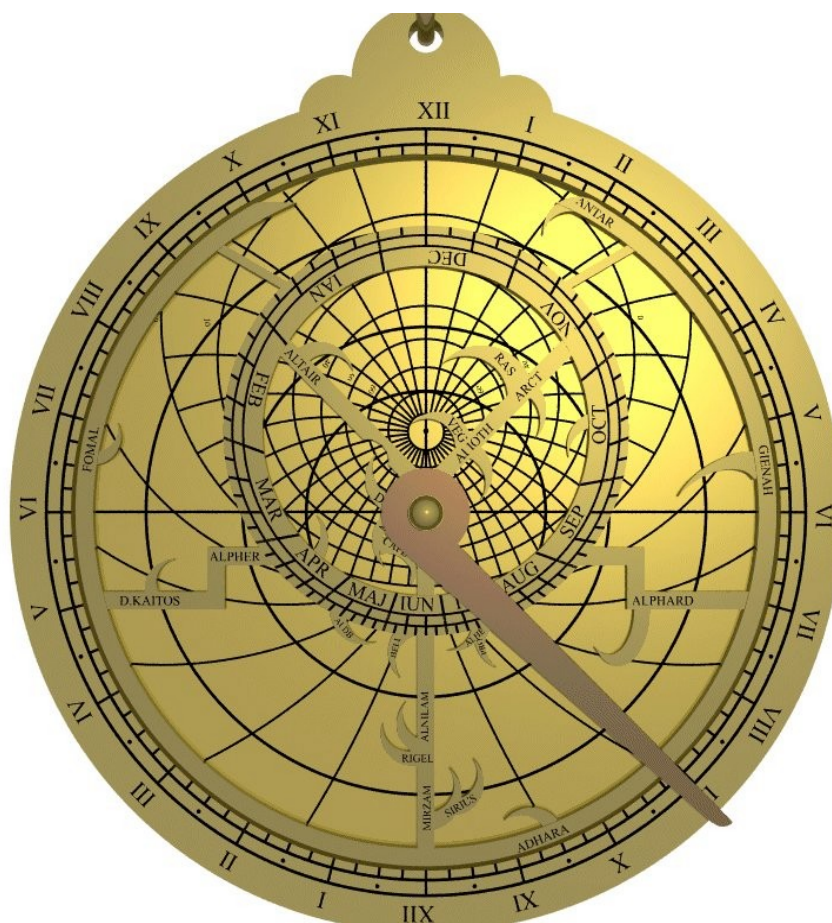


L'ASTROLABIO

Come è fatto, come si costruisce, come si usa

Rev.2



Franco Martinelli

2003

Il contenuto delle presente pubblicazione è soggetto a diritti d'autore.

L'utilizzo parziale di testo e immagini è consentito se non destinato a fini di lucro o impiego commerciale purchè se ne citi la fonte.

Tutte le immagini, tranne quelle riportate a pagina 3, sono di proprietà dell'autore.

Le riproduzioni delle parti costituenti l'astrolabio sono virtuali e sono state realizzate implementando un modello completo di strumento con il software di pubblico dominio Pov-Ray.

Il presente fascicolo in versione pdf NON può essere destinato ad uso commerciale.

Stato della revisione

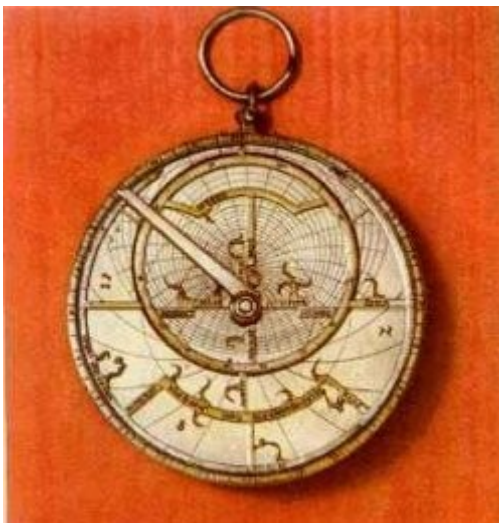
2023	Rilascio prima edizione
Dicembre 2022	2 ^a revisione Modificate pagg. 38-39 con modifiche testo e correzione tabella stelle e sostituzione alcune figure. Inserito nuovo paragrafo "Ore ineguali" pagg. 27-36

L'ASTROLABIO.....	1
COME E' FATTO UN ASTROLABIO.....	6
Lamina (o timpano).....	8
La rete.....	9
Indice (o puntatore).....	11
Il retro.....	11
LA COSTRUZIONE DELL'ASTROLABIO.....	14
La proiezione stereografica.....	14
Le dimensioni dell'astrolabio.....	16
La lamina.....	17
Ore ineguali.....	27
La rete.....	37
L'eclittica.....	41
...in pratica.....	45
LA REALIZZAZIONE MATERIALE.....	51
I modelli da ritagliare.....	54
USIAMO L'ASTROLABIO.....	58
Misurare l'altezza di un astro.....	59
Determinare la longitudine del sole per una data.....	59
Determinare l'ora.....	60
Sorgere , transito e tramonto del Sole.....	61
Luna e pianeti.....	62
L'astrolabio come teodolite.....	63
L'astrolabio come strumento di navigazione.....	65
Gli astrolabi moderni.....	65
CONCLUSIONE.....	67
Pov-ray.....	67
BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE.....	68

CHE COS'E' L'ASTROLABIO

L'astrolabio è uno degli strumenti astronomici più ingegnosi, interessanti ed affascinanti del passato. Il suo aspetto apparentemente misterioso, una sorta di orologio a cipolla con indici e dischi ruotanti costellati di cerchi e cuspidi a forma di fiammella, contribuisce sicuramente ad accrescerne il fascino e, agli occhi dei profani, a trasformarlo in un oggetto quasi esoterico.

Esso è niente altro che una rappresentazione del cielo visibile da una data latitudine. Su di esso sono riportate le posizioni delle principali stelle, mediante una ventina, ma i modelli più sofisticati e di maggiori dimensioni erano in grado di contenerne anche una cinquantina; farle stare tutte nel limitato spazio dello strumento era un capolavoro di artigianato che rendeva l'astrolabio, oltre che bello, anche prezioso.



Due esemplari di astrolabi medievali

Le stelle, e la posizione assunta dal Sole durante l'anno, erano riportate su un disco che poteva essere ruotato e posizionato in modo da rappresentare la volta celeste in un dato momento. A colpo d'occhio permetteva di capire quali astri fossero visibili, quali in prossimità del sorgere e quali del tramonto. Inoltre, in mani sapienti consentiva la risoluzione, con buona precisione, di una notevole gamma di problemi di astronomia sferica, in modo immediato e senza la necessità di effettuare complicati calcoli.

Oggi definiremmo un tale oggetto come un calcolatore portatile analogico.

Lo strumento ha avuto una lunga vita, quasi mille anni (gli ultimi esemplari arrivano al XVIII secolo), e salvo qualche modesta variante è rimasto sostanzialmente immutato per tutto questo arco di tempo, a testimonianza della sua efficienza e della sua validità.

Nel passato era diventato, oltre che strumento di lavoro degli astronomi professionisti (ed in seguito, in una versione più semplificata, anche dei marinai che con l'Astronomia hanno avuto sempre una buona frequentazione) una sorta di status symbol.

Esemplari di grande pregio artistico e decorati con metalli e pietre preziose venivano fabbricati da esperti artigiani ed orafi ed andavano ad arricchire le collezioni di regnanti, principi e nobili che magari si vantavano di possederli ma forse non sapevano neanche come utilizzarli. Lo strumento era tanto diffuso nel passato che addirittura lo scrittore Geoffrey Chaucer, nel 1391, scrisse *Il Trattato sull'astrolabio*, ad uso del proprio figlio Lewis. Il testo, rimasto purtroppo incompiuto a causa probabilmente della prematura scomparsa del figlioletto e scritto in un ostico inglese antico, è ancora oggi utile per poter comprendere l'uso dello strumento ed è ricco di esempi e spunti per il suo utilizzo. Interessanti sono le raccomandazioni del padre che invita il figlio a ben

comprenderne l'uso ed il funzionamento, come se allora possedere conoscenze di tale genere fosse ritenuto indispensabile, così come oggi ad esempio si ritiene indispensabile saper usare un computer. Nel *Trattato* vi si trovano anche interessanti riferimenti astronomici ed altri di tipo astrologico poiché, non bisogna dimenticare, all'epoca le due discipline erano intimamente connesse e lo strumento veniva correntemente impiegato per compilare oroscopi e predizioni.

Lo strumento nasce, come concezione, nel mondo greco ma saranno gli Arabi a svilupparlo compiutamente e a diffonderlo in tutto il mondo.

I più antichi esemplari in nostro possesso risalgono al IX secolo e furono realizzati dagli Arabi. Non si sa però chi abbia materialmente inventato l'astrolabio né dove sia nato. In genere è associato alla figura del matematico ed astronomo arabo Al-Fazari, vissuto nell'ottavo secolo, ma la presenza dello strumento in periodi precedenti è documentalmente accertata.

E' noto che nel IV secolo Theone di Alessandria scrisse un trattato sulla costruzione dell'astrolabio. Il testo non ci è pervenuto ma ampi riferimenti sono contenuti nei successivi testi di Giovanni Filopono (530) e Severo Sebokht (660) che descrivono le parti di un astrolabio e i numerosi problemi che esso è in grado di risolvere. Questo conferma che intorno al 500 lo strumento doveva essere già ampiamente in uso e in una forma, presumibilmente, non molto dissimile da quella a noi oggi conosciuta.

Un riferimento più lontano è quello che risale a Tolomeo (I.o secolo) ma solo per quanto attiene il tipo di proiezione utilizzata per la costruzione dello strumento.

Tolomeo scrisse il trattato *Il planisfero* in cui descriveva in maniera molto dettagliata le proprietà della proiezione stereografica. Non sappiamo se tale lavoro fosse finalizzato alla progettazione di uno strumento o dovesse costituire il bagaglio di nozioni geometriche e matematiche necessarie all'astronomo per risolvere graficamente i complessi problemi dell'astronomia. D'altra parte riferimenti all'astrolabio in quanto tale non si trovano nelle altre opere del grande astronomo, tanto meno in quel monumento dell'astronomia matematica che è l'*Almagesto*. Tolomeo cita alcuni strumenti, ma niente è riferibile all'astrolabio.

Probabilmente nella mente del grande scienziato era già presente l'idea di uno strumento simile ma solo i secoli successivi portarono alla sua realizzazione ed universale affermazione. I primi a cogliere il seme gettato dal mondo della cultura e della scienza greca furono dunque gli Arabi stimolati probabilmente anche da motivazioni di ordine religioso: con l'astrolabio si poteva determinare con certezza l'ora delle preghiere, tanto che sui loro strumenti erano quasi sempre riportate le curve orarie relative a tale esigenza. Dalla Spagna musulmana l'astrolabio non tardò a diffondersi nel resto dell'Europa.

Il periodo di massimo fulgore dello strumento fu tra il XIII ed il XVI secolo. In tutti i paesi nacquero officine di costruttori che si tramandavano il mestiere di padre in figlio. Affiancati da abili incisori e decoratori producevano oggetti di grande valore artistico e non solo astrolabi ma anche altri tipi di strumenti scientifici, come quadranti, meridiane, notturlabi, sfere armillari, globi ecc.

La famiglia più nota in Italia è probabilmente quella dei Volpaia che lavorarono a Firenze nei primi anni del 1500 dedicandosi in particolare alla costruzione di notturlabi.

Dopo il 1600 l'astrolabio cominciò rapidamente a declinare.

Gli orologi meccanici erano sempre più affidabili, il telescopio aprì nuovi orizzonti all'osservazione del cielo e la matematica ora, in particolare la trigonometria, consentiva di effettuare abbastanza comodamente, e con maggiore precisione, i necessari calcoli. Per l'astrolabio, dopo secoli di più che onorevole servizio era arrivato il momento di andare in pensione rimanendo solo un prezioso oggetto decorativo.

COME E' FATTO UN ASTROLABIO

L'astrolabio è un oggetto di forma circolare dal diametro, mediamente, di una quindicina di centimetri. Esistono esemplari di dimensioni più ridotte ma anche di dimensioni notevolmente più grandi, fino a 50 cm di diametro ed oltre.

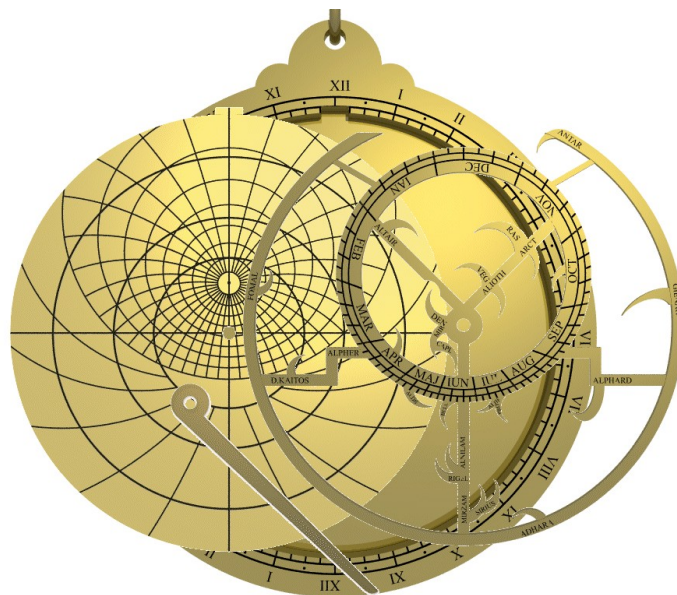
A causa della sua forma e per la presenza di un indice centrale mobile ricorda vagamente un orologio.

Esso è realizzato in metallo, di solito ottone o bronzo, ed è costituito da diverse parti, alcune fisse altre mobili, che si montano una sull'altra e sono tenute ferme da un perno centrale che costituisce anche il centro di rotazione dello strumento.

Sulla parte superiore vi è una placca forata (il trono) con un anello che permette di sospendere lo strumento in posizione verticale per la misura delle altezze degli astri.

Le parti che lo costituiscono sono:

- La madre
- La lamina
- La rete
- L'indice o puntatore
- L'alidada ed il dorso della madre



Le parti frontali costituenti l'astrolabio

LA Madre (o Mater) Spesso indicata anche con il termine latino Mater è la struttura portante dello strumento. Essa è di forma circolare: da una parte, quella frontale, è scavata centralmente ed ha un bordo periferico rialzato dello spessore e del diametro tale da contenere esattamente al suo interno altre due parti (la lamina e la rete).

La parte posteriore è piana e riporta incise alcune scale graduate per effettuare misure e calcoli, come vedremo più avanti. Sul bordo (o lembo) è incisa una scala graduata circolare (o più di una a seconda del modello). La graduazione è divisa in 24 parti principali uniformemente spaziate e che corrispondono alle 24 ore (astronomiche o uguali) in cui è diviso il giorno. Poiché l'Astrolabio è

una proiezione della sfera celeste sul piano dell'Equatore, tale graduazione può essere utilizzata per misurare anche le ascensioni rette.

La graduazione può essere numerata indifferentemente da 0 a 24, o da 0 a 12 per le ore antimeridiane e quelle pomeridiane (come in figura). La scala in ore a volte è affiancata, o addirittura sostituita da una graduazione in gradi sessagesimali da 0° a 360°.

L'origine della graduazione è in alto, sotto l'anello di sospensione e corrisponde alle ore 12 di mezzogiorno vero (se espressa in ore).



La Madre

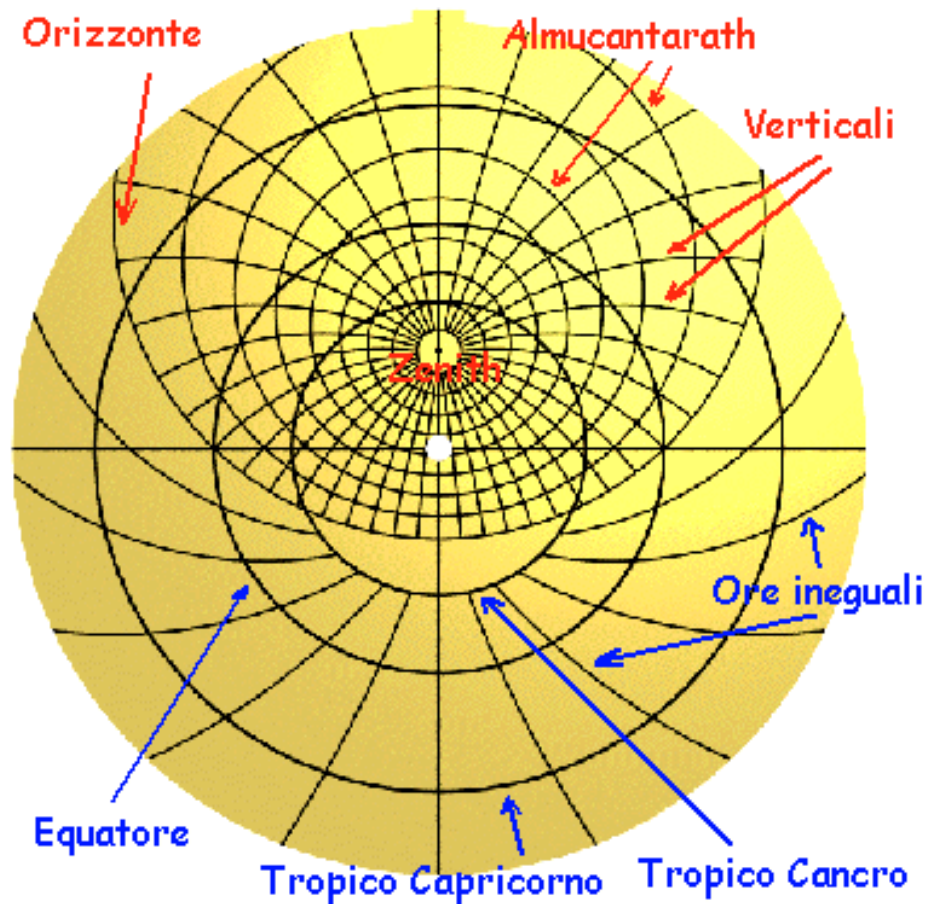
La linea immaginaria centrale passante per tale punto, rappresenta pertanto il meridiano superiore dell'osservatore e la direzione del cardine Sud.

In corrispondenza del punto più alto vi è una piccola incavatura nel bordo. Serve per alloggiare una corrispondente prominente presente sul disco della lamina.

Al centro vi è piccolo foro per l'alloggiamento del perno che consente di tenere tutte le parti fermamente assemblate, e garantire inoltre la rotazione di quelle mobili.

LAMINA (O TIMPANO)

E' un sottile disco dalle dimensioni tali da poter prendere posto esattamente all'interno della madre. In alto vi è la sporgenza già accennata che ha lo scopo di incastrarsi sul bordo per impedire che la lamina possa ruotare accidentalmente e cambiare posizione durante l'uso dello strumento.



La lamina

Le incisioni riportano la proiezione della sfera celeste locale per una determinata latitudine. Allo scopo di rendere utilizzabile lo strumento anche in altre località, esso è dotato di diverse lamine disegnate per differenti latitudini. Per risparmiare materiale ed ingombro la lamina è incisa su entrambe le facce. L'osservatore, quando necessario, smonta l'astrolabio e sostituisce nella cavità della madre la lamina relativa alla latitudine più prossima a quella del luogo. Il reticolo eccentrico che si vede in alto (la vera e propria tela di ragno, o aracne, termine con il quale spesso viene anche chiamata la lamina) rappresenta l'insieme dei cerchi verticali e dei cerchi di altezza (almucantarath) dell'osservatore. Il centro del cerchio più piccolo rappresenta lo zenith ed il cerchio più grande, interrotto quasi a metà, corrisponde all'orizzonte (pertanto non interamente rappresentato).

Su molti modelli (anzi per dir la verità sulla maggior parte) sono disegnati al di sotto dell'orizzonte gli almucantarath relativi alle altezze negative di -6° , -12° , -18° .

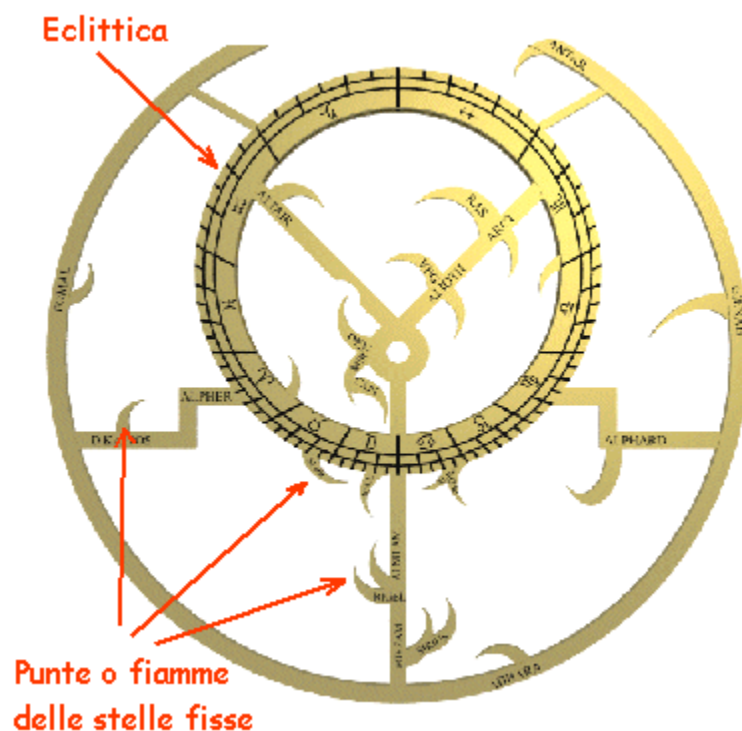
Essi rappresentano le altezze convenzionali che assume il Sole negli istanti dei tre crepuscoli: civile, nautico e astronomico. Qui non sono stati riportati per non complicare eccessivamente il disegno. Gli archi di cerchio passanti per lo zenith (e ortogonali a tutti gli almucantarath) sono i cerchi verticali disegnati per azimuth multipli di 10° (o altro intervallo, a seconda del modello). La linea centrale verticale rappresenta il meridiano locale; a partire dallo zenith verso l'alto è la parte che guarda a Sud, verso il basso la parte in direzione Nord. La linea orizzontale centrale, perpendicolare

alla precedente corrisponde alla traccia del Primo Verticale; i punti di intersezione con il cerchio dell'orizzonte corrispondono ai punti cardinali Est (a sinistra) ed Ovest (a destra). I tre cerchi centrali e concentrici non sono strettamente attinenti alla sfera locale corrispondendo, a partire da quello più interno, al Tropico del Cancro, all'Equatore e al Tropico del Capricorno. Tradizionalmente la lamina è dimensionata in modo da far coincidere il suo bordo esterno con il Tropico del Capricorno.

La rappresentazione della sfera celeste locale, pertanto, non va oltre tale parte di cielo. Questo non costituisce un grave limite dello strumento in quanto rende comunque visibile, grosso modo, quella parte di cielo che è accessibile dalle latitudini del Mediterraneo e dell'Europa continentale, dove cioè è nato l'astrolabio. Inoltre al di là delle immediate vicinanze del Tropico del Capricorno non vi sono stelle abbastanza luminose da poter destare l'interesse degli astronomi del tempo. Nel modello che è qui sopra illustrato il Tropico del Capricorno non è stato fatto coincidere con il bordo della lamina, proprio allo scopo di rappresentare una maggior porzione di cielo. Gli archi di cerchio al di sotto dell'orizzonte e che si dipartono dal Tropico del Cancro e arrivano sino al bordo esterno corrispondono alla divisione della notte in dodici parti denominate ore diseguali.

LA RETE

Dato il particolare tipo di lavorazione è forse la parte più affascinante dello strumento. E' un disco traforato, e lavorato con grande cura e precisione, dello stesso diametro della lamina in modo da sovrapporsi esattamente ad essa ed essere contenuto all'interno del bordo della madre.



La rete

Essa rappresenta ciò che per gli antichi era la sfera delle stelle fisse, la quale, considerando immobile la Terra posta al suo centro, trascinava con sé Sole, stelle e pianeti nel suo moto diurno. Oggi sappiamo che è esattamente il contrario ed il moto apparente della sfera celeste è in realtà dovuto al reale moto di rotazione diurna della Terra.

L'astrolabio, in questo si adatta perfettamente ai convincimenti scientifici del medioevo e propone un modello di universo in cui la Terra sta ferma (disco della lamina) e gli astri le ruotano intorno (disco della rete).

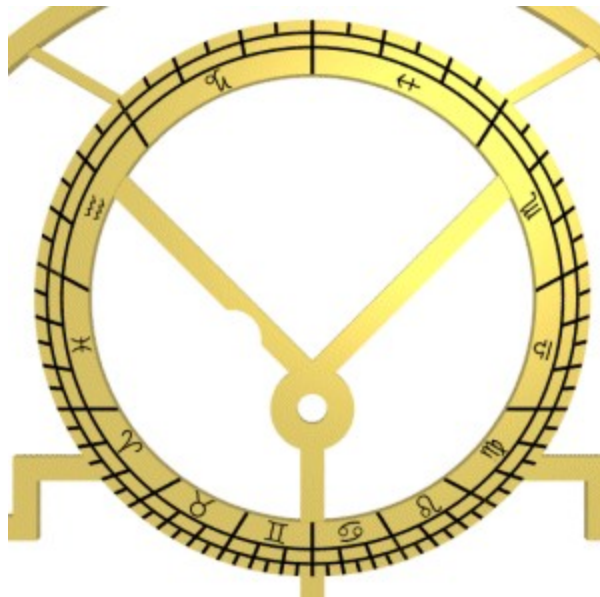
C'è da aggiungere che questa è anche una scelta tecnica obbligata. E' sicuramente più semplice (e tanto più lo era anticamente) rappresentare le poche posizioni delle stelle sulla rete, traforando ampi spazi che permettono di vedere comodamente la sottostante lamina, che non fare esattamente il contrario. Il sottile bordo periferico ed i raggi interni hanno il duplice lo scopo di dare sufficiente rigidità ed unità a tutta la struttura e di sostenere le punte (o fiamme) la cui cuspide rappresenta la posizione delle principali stelle.

A causa del fenomeno della precessione degli Equinozi, e quindi dell'inevitabile slittamento in longitudine di tutte le stelle, ogni rete è inequivocabilmente datata ed utilizzabile solo per il periodo storico per il quale è stata costruita.

Questo spiega le differenze nelle reti che si possono riscontrare tra diversi modelli di astrolabi (aldilà ovviamente delle stelle prescelte dai vari costruttori e dalla personalizzazione del disegno della rete per poterle correttamente posizionare).

Il numero di stelle riportate è ovviamente limitato: normalmente vi si trovano dalle venti alle trenta stelle, la maggior parte di prima e seconda grandezza più qualcuna di terza. La loro distribuzione segue anche criteri estetici; il costruttore cercava di posizionare le stelle in maniera abbastanza simmetrica e tale da coprire uniformemente gli spazi disponibili sulla rete, eliminando al minimo i bracci di collegamento.

Esistono esemplari che portano un numero di stelle molto elevato, anche oltre le cinquanta. In questo caso la rete è un vero e proprio capolavoro di artigianato e di cesello e per dare appoggio a tutte le punte ne risulta una intelaiatura ricca di cerchi arabescati e riccioli finemente intrecciati. Il cerchio completo e lievemente eccentrico rappresenta l'eclittica o cerchio dello Zodiaco; sul bordo esterno, dove sono riportate le graduazioni, si deve intendere la posizione che assume il Sole, durante l'anno, rispetto alle stelle fisse.



L'eclittica

Ricordiamo brevemente che la posizione del Sole necessariamente cambia per il semplice fatto che la Terra rivoluziona annualmente intorno ad esso il quale, pertanto, lo si vede apparentemente proiettato sullo sfondo delle stelle in posizione sempre diversa, come se fosse esso a muoversi rispetto ad esse.

L'eclittica è divisa in dodici archi di 30° ciascuno ed ognuno è identificato con il corrispondente segno zodiacale; ogni arco è poi ulteriormente suddiviso in decine, cinque e gradi in modo da poter posizionare il Sole giorno per giorno.

Per consentire il posizionamento del Sole sull'eclittica, sul dorso dello strumento sono riportate scale graduate che consentono di determinare la longitudine del Sole in base alla data di calendario e viceversa.

I pianeti non sono riportati sullo strumento, né sono riportabili, in quanto il loro moto non segue un rigoroso ciclo annuale. A causa dello loro costante vicinanza al piano dell'eclittica è comunque possibile effettuare calcoli approssimati, quando si conosca ovviamente la longitudine del pianeta. Sulla maggior parte degli esemplari, ma non nel modello qui rappresentato, sulla parte più alta dell'eclittica è riportata una piccola sporgenza che ancora oggi è indicata con il nome arabo di **almuri**. Il suo scopo è quello di indicare sul lembo alcune particolari posizioni, e memorizzarle con una piccola goccia d'inchiostro per poi effettuare successivamente dei calcoli.

In termini moderni, paragonando l'astrolabio ad una comune calcolatrice, la potremmo definire come una "memoria" nella quale depositare temporaneamente dei risultati da rielaborare successivamente. Una vera e propria finezza.

INDICE (O PUNTATORE)

Al di sopra della rete, imperniato al centro, prende posto un puntatore a forma di lancetta di orologio e libero di ruotare. Posizionato su alcuni punti (la posizione del Sole, o delle stelle), permette di leggere sul bordo della madre le ore, gli angoli orari, le ascensioni rette, ecc. Può essere a semplice o doppio braccio.

IL RETRO

Sul dorso della madre sono riportate alcune scale concentriche e, spazio permettendo, vari diagrammi e tabelle che servono per i calcoli più frequenti dell'astronomo. Per tale motivo i dorsi possono differire notevolmente da un modello all'altro, da un'epoca all'altra, da una località geografica e contesto culturale all'altro.

In pratica esso veniva personalizzato in base ai prevalenti usi che se ne faceva e alle necessità del possessore.

Il modello di dorso che proponiamo è probabilmente quello più diffuso.

Un elemento in comune a tutti è la scala più periferica ed il grosso regolo imperniato sul centro e libero di ruotare (alidada).



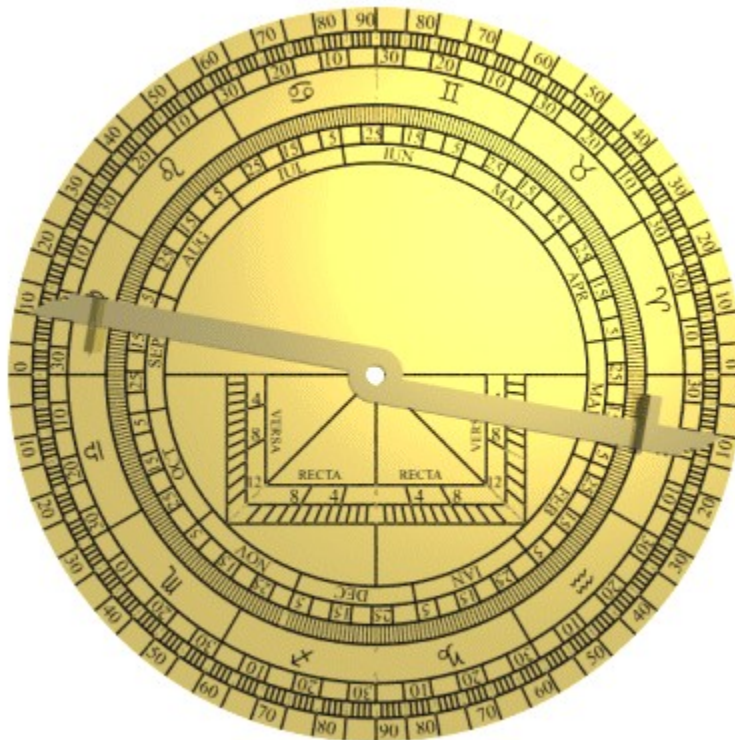
Questo porta alle estremità dei due bracci delle pinnule, o sporgenze, in ciascuna delle quali è praticato un piccolo foro; l'asse congiungente i due fori passa esattamente per il centro dello strumento.

Essa serve per misurare le altezze degli astri; questa viene letta sulle due scale circolari più esterne che sono divise in gradi sessagesimali (ad intervalli di 5° ed 1° rispettivamente).

La lettura può essere effettuata con entrambe le estremità dell'alidada, proseguendo la graduazione simmetricamente anche al di sotto della linea orizzontale. In tal modo è possibile compensare l'inevitabile imprecisione della graduazione; dalla media delle due letture si otteneva un valore maggiormente attendibile.

Procedendo verso l'interno vi è il gruppo delle scale relative alla posizione del Sole. Essa è espressa sia in longitudini celesti zodiacali sia in giorni di calendario.

Con questo blocco si può calcolare, per ogni giorno dell'anno, la corrispondente longitudine eclittica del Sole e viceversa. La realizzazione di queste scale, al di là di quel che appare, era piuttosto laboriosa, in quanto il moto in longitudine del Sole non è rigorosamente costante ma variabile nel corso dell'anno.



Ciò a causa della forma ellittica dell'orbita terrestre e della diversa velocità con la quale essa viene percorsa, in ossequio alla seconda legge di Keplero.

La corrispondenza pertanto tra scala delle longitudini e scala del calendario deve tener conto di questo fenomeno. Se si decide di rappresentare in maniera uniforme la graduazione delle longitudini, occorrerà opportunamente adattare la scala del calendario rappresentando i mesi e gli spazi tra i giorni in maniera diversa, e viceversa.

Sugli astrolabi si adottava anche un'altra soluzione: i cerchi delle longitudini e del calendario erano entrambi suddivisi uniformemente; uno dei due veniva posizionato eccentricamente rispetto all'altro in maniera tale ed opportuna da garantire una precisa corrispondenza tra data e longitudine del Sole. Questa soluzione è sicuramente più interessante perché tiene conto delle teorie cosmologiche dell'epoca.

Senza addentrarci nei meandri della cosmologia medievale, accenniamo brevemente che gli astronomi per giustificare la velocità variabile del Sole e le differenti lunghezze delle stagioni, non potendo rinunciare per motivi filosofici alla perfezione del moto circolare uniforme, di cui pensavano fossero dotati tutti i corpi celesti, pensarono di risolvere il problema ritenendo che il Sole

ruotasse attorno alla Terra su un'orbita sì circolare e a velocità costante, ma eccentrica rispetto al centro dell'universo (che poi era la Terra stessa).

In tale maniera era possibile brillantemente spiegare le irregolarità del moto del Sole. Per completare il modello matematico restava poi da stabilire il valore di questa eccentricità e verso quale direzione (segno dello zodiaco) fosse orientata.

Questa rappresentazione ridotta del sistema solare sul dorso dell'astrolabio prende il nome di Equatorium (strumento che permette di determinare l'equazione del Sole, intendendosi per equazione la differenza tra posizione media e posizione reale).

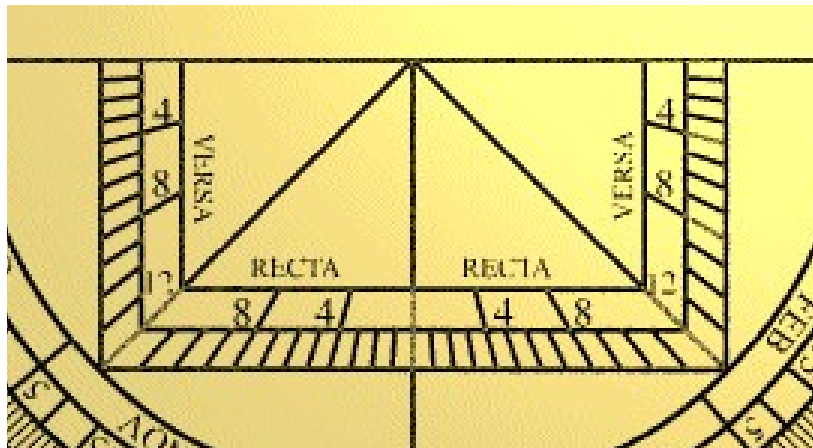
Poiché l'orientamento della eccentricità è variabile nel tempo, dall'esame dell'Equatorium è possibile datare l'epoca dello strumento.

La parte centrale del dorso veniva utilizzata (lo spazio era ottimizzato al massimo) per inserire grafici o tabelle di utilità matematico-astronomica.

Uno dei grafici più frequentemente riportati, e visibile nel nostro modello, è una sorta di grossolana tavola delle tangenti e serviva ad effettuare calcoli di tipo trigonometrico. Grazie all'uso dell'alidada infatti, non solo è possibile misurare l'altezza astronomica di astri, ma anche l'angolo di elevazione della sommità di torri, colline e costruzioni con il quale, nota la distanza, se ne può calcolare l'altezza e viceversa.

Il grafico è noto con il termine "umbra recta e versa", poiché per i calcoli di cui sopra si poteva utilizzare anche la lunghezza dell'ombra dell'oggetto.

Un metodo, questo, assai ingegnoso, in linea con la versatilità dell'astrolabio e che tratteremo nel capitolo dedicato all'uso dello strumento.



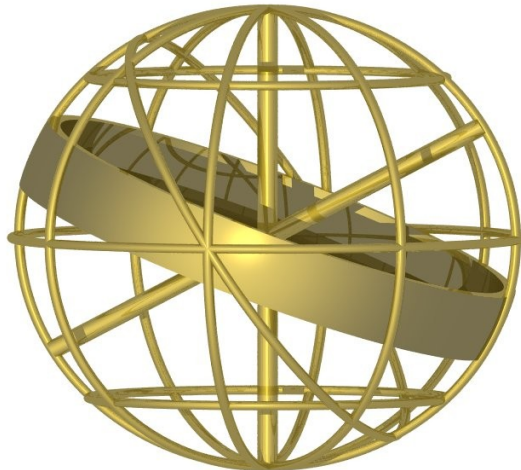
LA COSTRUZIONE DELL'ASTROLABIO

Prima di entrare nei dettagli della costruzione di ogni singola parte dello strumento è necessario fornire alcune nozioni relative alla Sfera Celeste e al tipo di proiezione utilizzato per la realizzazione della lamina e della rete.

LA PROIEZIONE STEREOGRAFICA

Gli astronomi usavano spesso modelli materiali del cielo per poter meglio comprendere, far comprendere e risolvere i problemi di tipo matematico che si presentavano nell'astronomia. In tempi in cui la trigonometria sferica non esisteva, o era appena agli albori, tali modelli erano, più che utili, indispensabili. Erano insomma sussidi di carattere didattico, si direbbe oggi e, contemporaneamente, strumenti di calcolo speditivo.

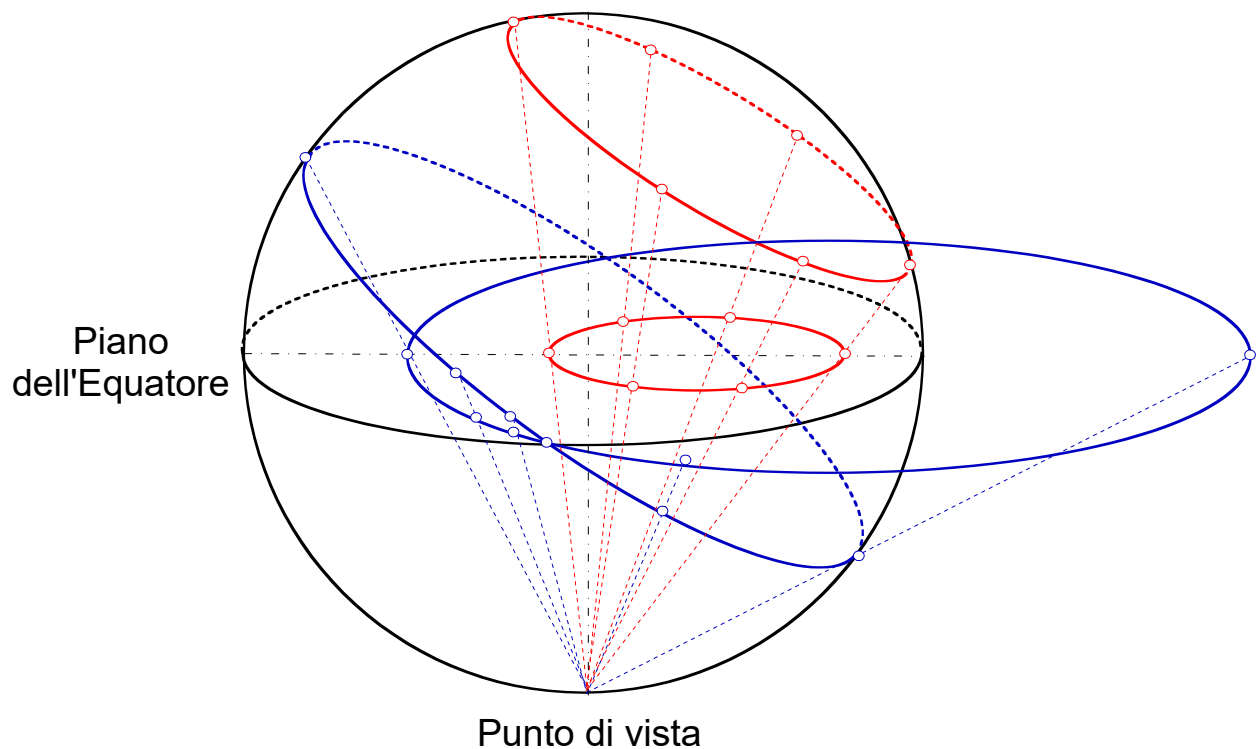
Lo strumento più diffuso era sicuramente la sfera armillare e che si vede in quasi tutte le stampe e le iconografie classiche dell'antichità. Era semplicemente una specie di mappamondo vuoto, con alcune parti mobili, in cui, anziché la Terra era rappresentata la sfera celeste ed i suoi principali cerchi di riferimento (equatore celeste, eclittica, orizzonte, cerchi orari, tropici, ecc.).



Ve ne erano di diversi tipi e dimensioni ed alcune, dotate di opportuni traguardi e mire fungevano anche da strumento di osservazione e misura. Data la loro forma sferica erano piuttosto ingombranti.

Se fosse stato possibile schiacciarle e ridurle ad un piano, salvaguardando la loro funzionalità e capacità di elaborazione delle informazioni, si sarebbe potuto ottenere uno strumento ugualmente versatile ma sicuramente più comodo da maneggiare e soprattutto portatile.

Poiché non è ovviamente possibile schiacciare una sfera a colpi di martello senza perderne le prerogative si può aggirare l'ostacolo utilizzando i metodi della proiezione geometrica. Scelto un arbitrario punto di vista a partire da esso si proiettano su una superficie, detta quadro, tutti i punti della sfera. Sia il punto di vista che il quadro possono essere scelti opportunamente in modo da privilegiare alcuni aspetti della proiezione.



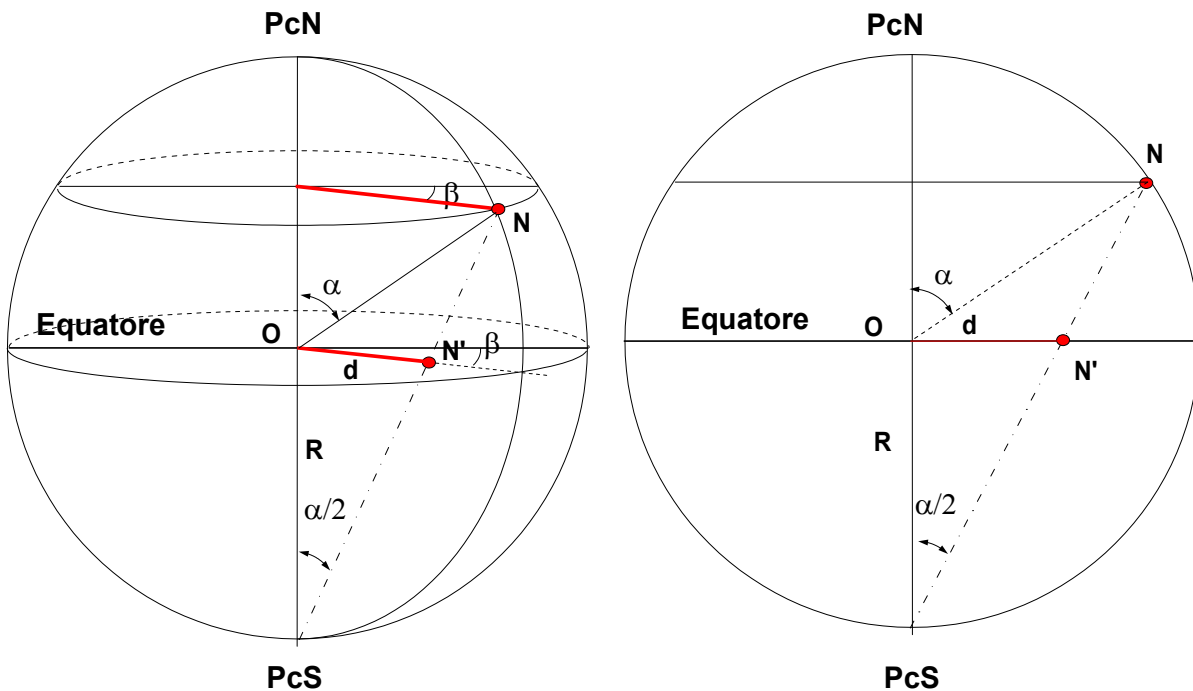
Nella proiezione stereografica si assume come quadro il piano dell'Equatore Celeste e come punto di vista il Polo Celeste Sud. L'osservatore pone dunque il proprio occhio sul Polo australe e, come se il piano dell'Equatore fosse trasparente, osserva su di esso la porzione di cielo settentrionale. Tre sono le prerogative geometriche di questo tipo di proiezione che risultano favorevoli al suo impiego in questo contesto:

- tutte le circonferenze tracciabili sulla sfera, comunque orientate e di qualunque raggio, vengono sempre rappresentate con altrettante circonferenze;
- i cerchi massimi passanti per il Polo Celeste Sud e Nord sono rappresentati con linee rette
- gli angoli sulla sfera sono riportati sul piano senza distorsioni (proprietà nota con il termine isogonismo).

La proiezione di un punto qualunque è regolata dalla seguente relazione.
Il punto N viene proiettato in N' che dista dal centro O

$$d = R \tan (\alpha/2)$$

dove *alfa* è la distanza del punto dal Polo Celeste Nord e R il raggio della sfera rappresentativa, cioè la sfera materiale che intendiamo *schacciare* sul piano.



Per il principio della conservazione degli angoli il segmento ON' forma lo stesso angolo *beta*, formato dalla direzione del punto originale N , rispetto ad una comune direzione di riferimento. Con queste semplici regole è possibile trasferire sul piano punti e cerchi fondamentali della sfera celeste.

Utilizzando due piani distinti, uno per i riferimenti relativi all'orizzonte dell'osservatore ed uno per la posizione degli astri, e facendoli ruotare l'uno rispetto all'altro, è possibile rappresentare il cielo ad una data latitudine e simulare il moto diurno apparente della volta stellata.

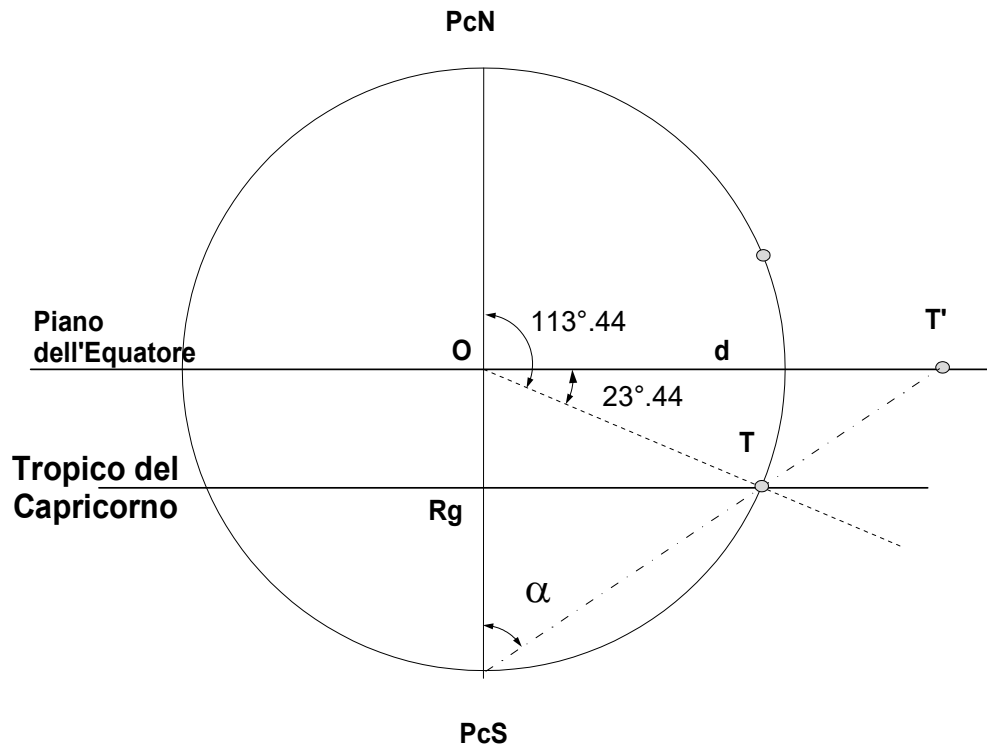
LE DIMENSIONI DELL'ASTROLABIO

La prima cosa da fare è stabilire le dimensioni che dovrà avere l'astrolabio, in particolare il disco della lamina, e quindi il raggio della sfera rappresentativa, cioè del modello fisico di sfera celeste che vogliamo rappresentare sulla superficie piana.

Normalmente nell'astrolabio viene rappresentata la parte di cielo di tutto l'emisfero nord e quello al di sotto dell'Equatore sino al Tropico del Capricorno il quale veniva fatto coincidere con il bordo della lamina stessa.

Fissato quindi il raggio di questa (OT') quello della sfera rappresentativa è dato da

$$R_g = OT' / \tan(\alpha)$$



L'angolo alfa, con vertice PcS, sottende l'arco di circonferenza PcN-T, esattamente come l'angolo con vertice nel centro O della sfera. Per un principio geometrico l'angolo alfa è pari alla metà dell'angolo al centro (ricordiamoci di questo principio perché lo dovremo applicare molte volte in seguito).

Essendo l'angolo al centro pari a 90° più la declinazione del Tropico ($23^\circ.44$), l'angolo alfa sarà pari a

$$\text{alfa} = (90^\circ + 23^\circ.44) / 2 = 56^\circ.72$$

Nel caso volessimo limitare la rappresentazione della sfera ad una declinazione (delta) diversa da quella del Tropico del Capricorno l'espressione generale del raggio della sfera diventa

$$R_g = OT' / \tan(45 - \text{delta}/2)$$

Ove delta assume il consueto segno algebrico negativo per le declinazioni meridionali e positivo per quelle settentrionali.

LA LAMINA

Stabiliamo che il modello di astrolabio che ci accingiamo a costruire abbia il raggio della lamina di 8 cm, e la madre di 9.5 cm, con un bordo pertanto di 1.5 cm.

Vogliamo poter rappresentare una parte di cielo anche oltre il Tropico del Capricorno che quindi renderemo di raggio più piccolo, ad esempio 6.5 cm.

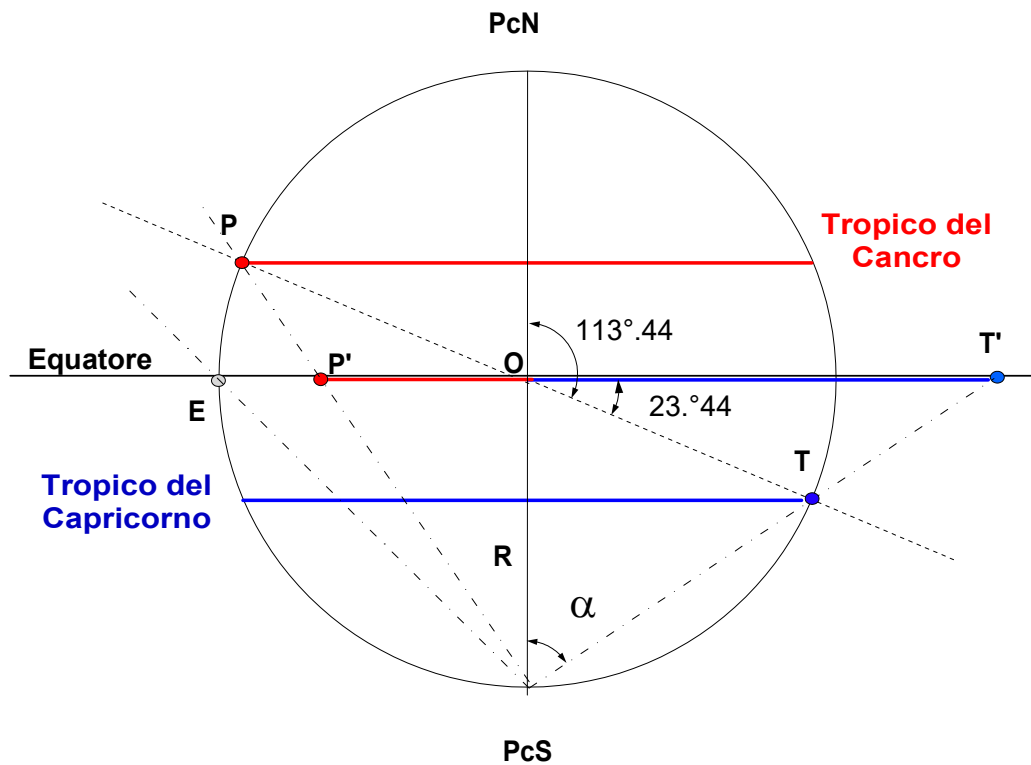
Il raggio della sfera sarà dunque

$$R_g = 6.5 / \tan(56.72) = 4.27$$

E che per comodità poniamo pari a $R_g = 4.25$

Il parallelo di massima declinazione meridionale rappresentato sarà pertanto circa 34° .

L'Equatore e i Tropici



Equatore e Tropici, essendo cerchi sulla sfera vengono rappresentati sulla proiezione con altrettanti cerchi., il cui raggio sarà dato dall'espressione generale

$$OT' = R \tan(\alpha)$$

dove abbiamo già visto che l'angolo alfa è pari a

$$(90 - \delta)/2$$

ovvero

$$45 - \delta/2$$

Gli angoli alfa sono rispettivamente

Tropico del Cancro

$$\delta = +23.44 \quad \alpha = (90 - 23.44)/2 = 33.28$$

Equatore

$$\delta = 0^\circ \quad \alpha = 90$$

Tropico del Capricorno

$$\delta = -23.44 \quad \alpha = (90 + 23.44)/2 = 56.72$$

e i raggi dei cerchi diventano

Tropico del Cancro

$$4.25 \tan(33.28) = 2.79$$

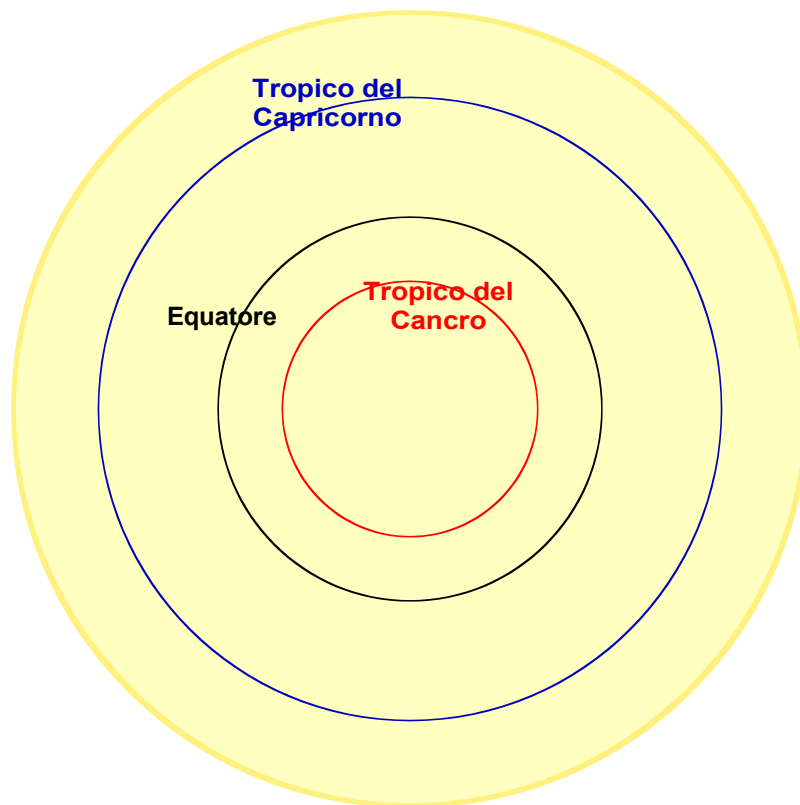
Equatore

$$4.25 \tan(45) = 4.25$$

Tropico del Capricorno

$$4.25 \tan(56.72) = 6.47$$

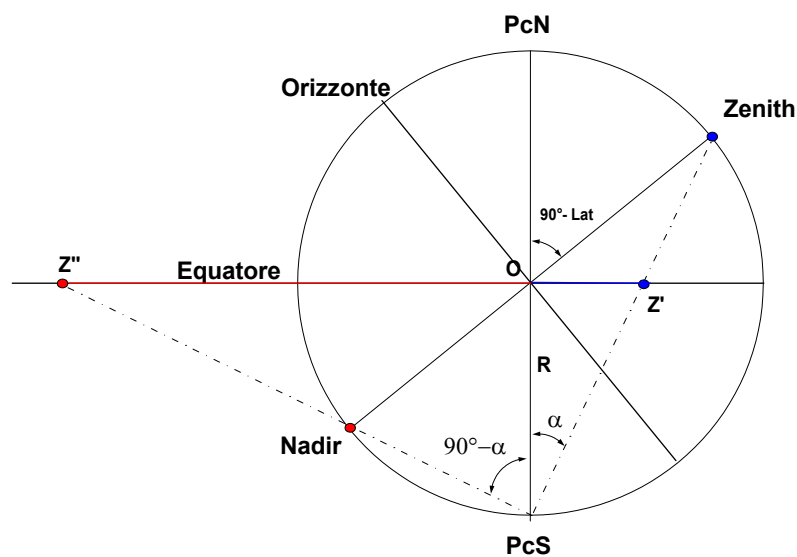
La lamina si presenta come nella figura sottostante



Zenith e Nadir

I tre cerchi sopra tracciati sono relativi alla sfera celeste senza alcun riferimento alla posizione dell'osservatore, pertanto a parità di dimensioni dello strumento essi sono universali e la loro collocazione è identica per tutte le lamine di cui è dotato l'astrolabio.

La parte restante, e più cospicua, della lamina contiene invece quella parte di sfera che è funzione della latitudine dell'osservatore. Questi riferimenti sono pertanto variabili. Ciò giustifica la dotazioni di diverse lamine che accompagnava lo strumento, costruite per diverse latitudini ed in genere relative alle principali città dell'epoca (La Mecca, Granada, Parigi, Roma, ecc.) o di rilevanza religiosa.



Lo Zenith viene proiettato nel punto Z' e la distanza OZ' è data dalla relazione

$$OZ' = R \tan (\alpha)$$

dove α è pari alla metà dell'angolo $90^\circ - \text{Latitudine}$ (noto come colatitudine); pertanto

$$OZ' = R \tan [(90 - \text{Lat})/2]$$

ovvero

$$OZ' = R \tan (45 - \text{Lat}/2)$$

L'angolo sotto il quale è visto il Nadir è complementare ad α e la distanza OZ'' diventa

$$OZ'' = R \tan [90 - (45 - \text{Lat}/2)]$$

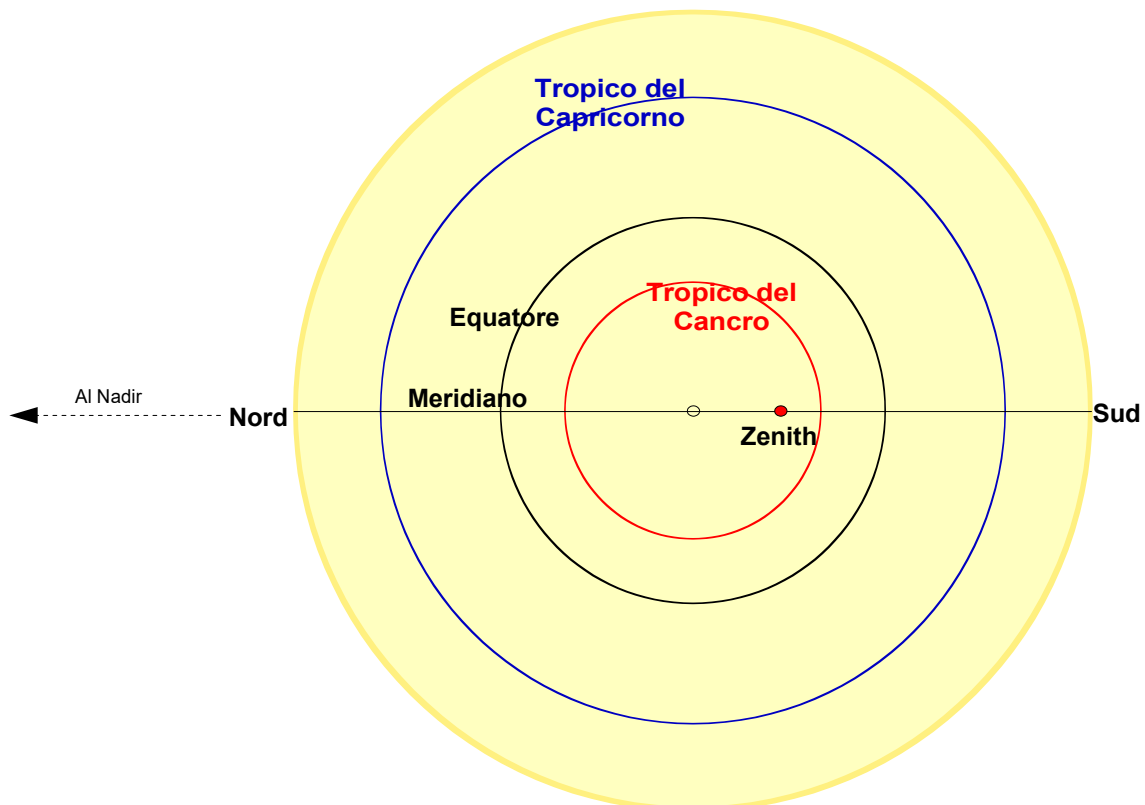
$$OZ'' = R \tan (45 + \text{Lat}/2)$$

Per il nostro modello, con $R = 4.25$ e per la Latitudine 44° N si ha

$$OZ' = R \tan (45 - \text{Lat}/2) = 4.25 \tan (45 - 22) = 1.8 \text{ cm}$$

$$OZ'' = R \tan (45 + \text{Lat}/2) = 4.25 \tan (45 + 22) = -10.01 \text{ cm}$$

Di norma è improbabile che il nadir possa essere proiettato sulla lamina. La distanza alla quale viene proiettato è talmente elevata da caderne sicuramente fuori. Ciò non ostante è necessario calcolarne la posizione per i successivi calcoli. Il segno negativo ha il solo scopo di mettere in evidenza che il Nadir si trova dalla parte opposta dello Zenith, rispetto al centro della lamina.



La linea congiungente lo zenith con il centro è la proiezione e la rappresentazione del meridiano astronomico dell'osservatore. La direzione Sud è, rispetto al centro del disco, dalla parte dello zenith, mentre il Nord è dalla parte opposta.

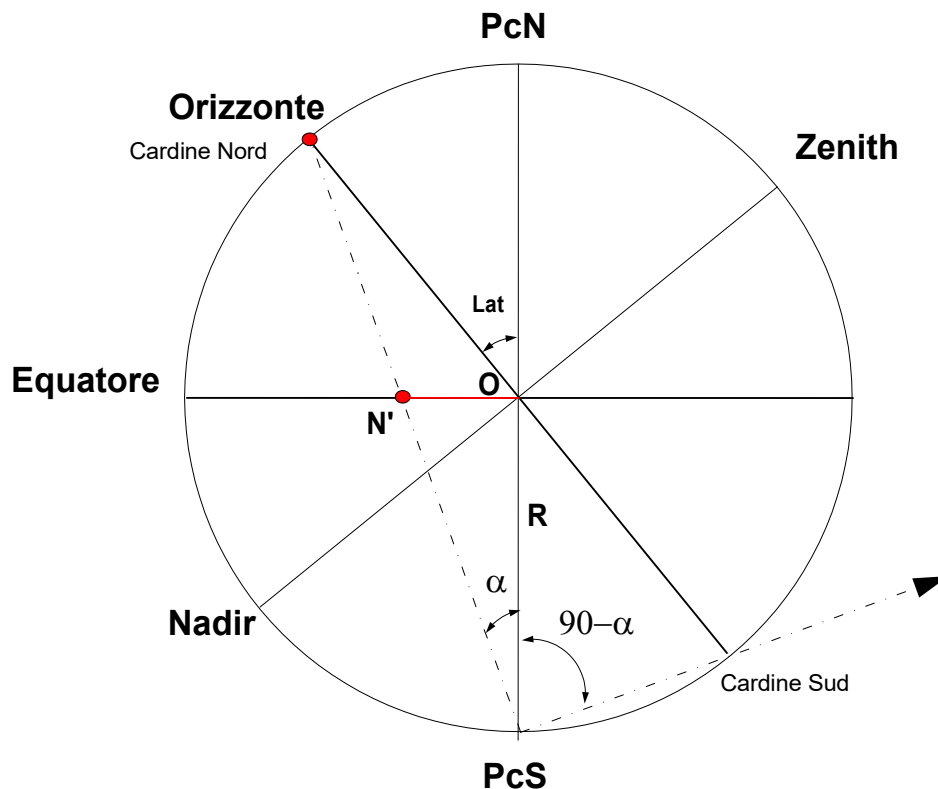
Orizzonte e paralleli di altezza (almucantarath)

La distanza ON' del cardine Nord è data dalla (ormai consueta) relazione

$$ON' = R \tan (\text{Latit}/2)$$

analogamente, il cardine Sud, verrebbe proiettato alla distanza

$$OS' = R \tan (90-\text{Lat}/2)$$



per il nostro astrolabio, si ottiene:

$$\begin{aligned} ON' &= R \tan (\text{Latit}/2) = 4.25 \tan (22^\circ) = 1.72 \text{ cm} \\ OS' &= R \tan (90-22) = 4.25 \tan (68^\circ) = 10.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

Individuati i due punti diametralmente opposti per i quali passa la proiezione dell'orizzonte, sarà semplice tracciare materialmente il cerchio sul timpano; il raggio è dato da

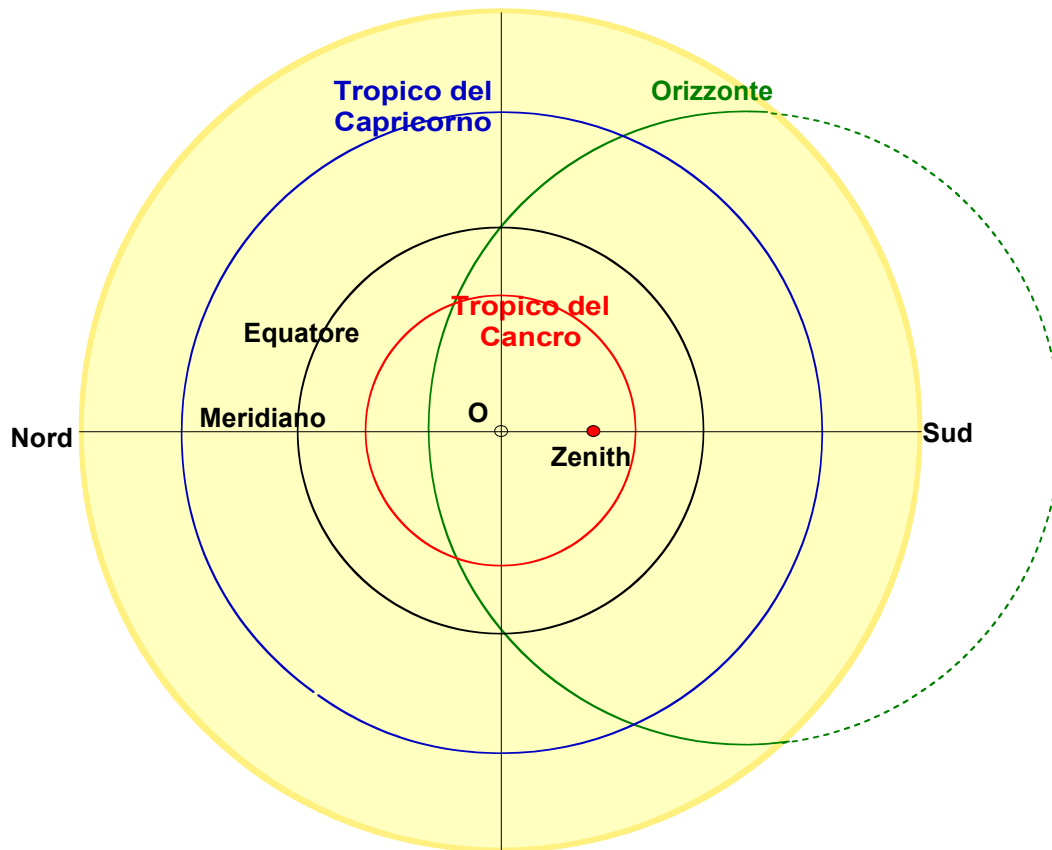
$$(1.72 + 10.52) / 2 = 6.12 \text{ cm}$$

ed il suo centro dista dal punto O

$$6.12 - 1.72 = 4.4 \text{ cm.}$$

Rispetto al centro della lamina il centro dell'orizzonte giace lungo il meridiano e dalla parte del cardine Sud.

E' opportuno notare che tale centro, come già annotato, serve solo a tracciare l'orizzonte sulla lamina ed è il centro geometrico della proiezione. Non corrisponde al centro vero dell'orizzonte che, come noto, coincide con il centro della sfera indicata dal punto O.

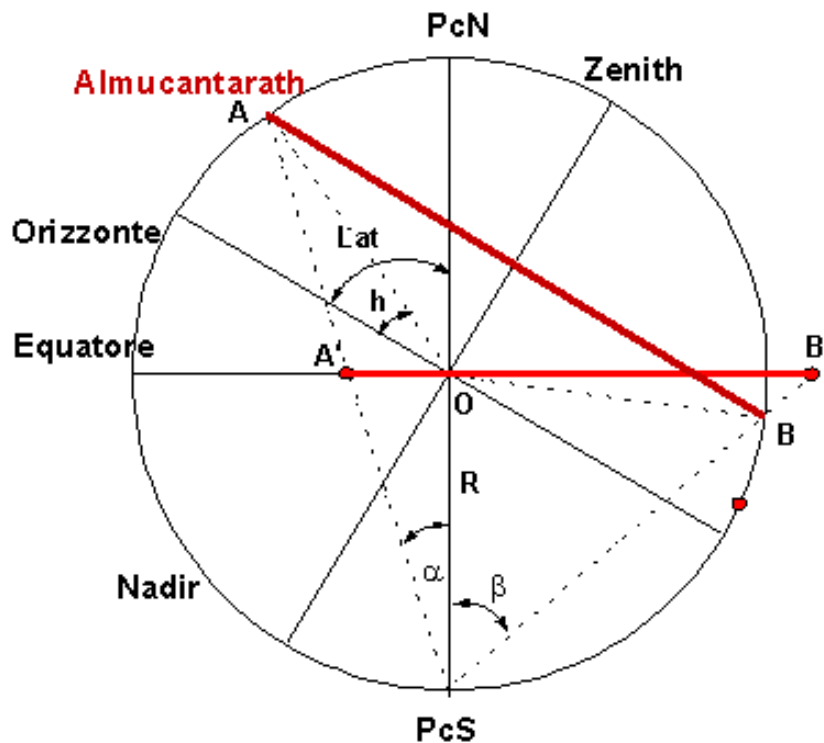


Paralleli di altezza (almucantarath).

La costruzione degli almucantarath è analoga a quella dell'orizzonte, di cui quest'ultimo anzi è un caso particolare.

Si determinano le proiezioni dei punti di intersezione di un qualunque parallelo con il meridiano; la loro distanza costituisce il diametro del cerchio proiettato ed il loro punto medio il centro geometrico.

Con questi elementi è possibile con un compasso disegnare qualsiasi almucantarath di altezza h . Le dimensioni dei cerchi sono decrescenti, a partire dall'orizzonte, e per una altezza di 90° il cerchio si riduce ad un punto coincidente con lo Zenith.



Gli angoli alfa e beta sono pari a:

$$\alpha = (\text{Lat} - h)/2 \quad \beta = (90 - \text{Lat} + 90 - h)/2 = (180 - \text{Lat} - h)/2$$

ed i punti A e B vengono proiettati alle distanze

$$\begin{aligned} OA' &= R \tan(\alpha) = R \tan((\text{lat} - h)/2) \\ OB' &= R \tan(\beta) = R \tan((180 - \text{Lat} - h)/2) \end{aligned}$$

Il raggio dell'almucantarath proiettato è

$$rh = (OA' + OB')/2$$

e la posizione del centro dal centro O della lamina è

$$xc = OA' - rh$$

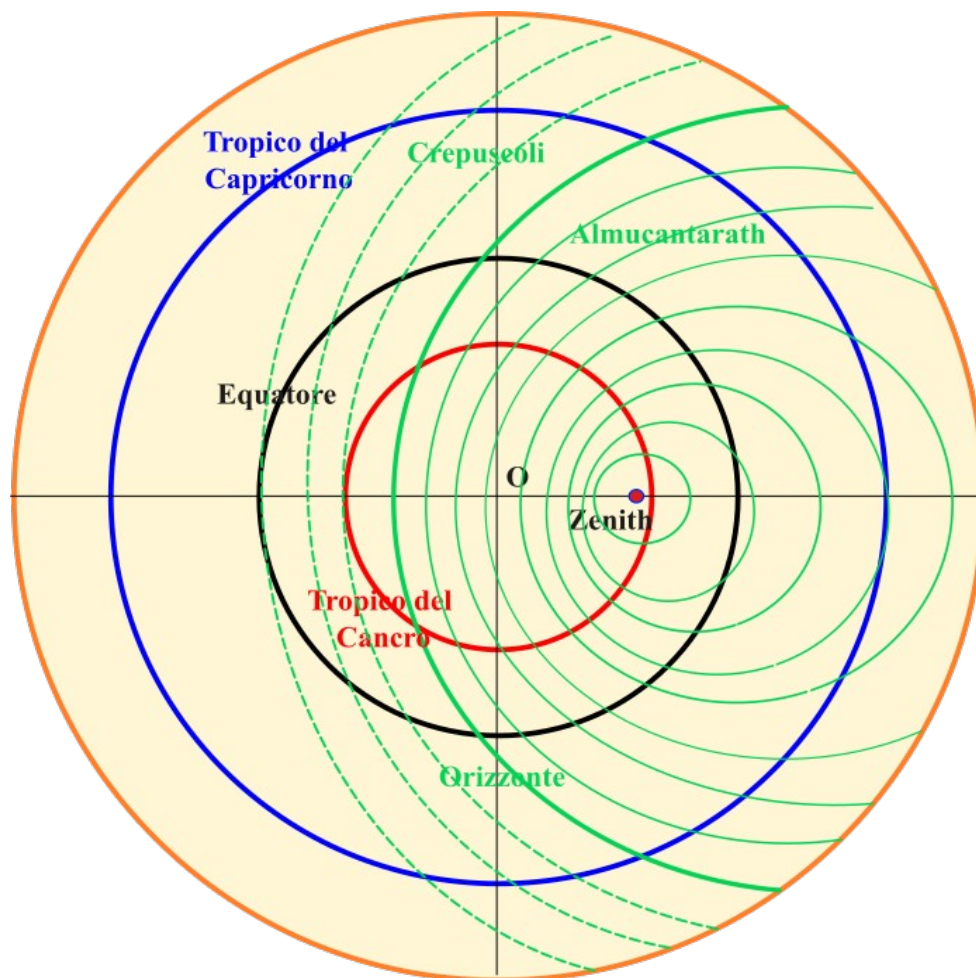
Qui di seguito forniamo i calcoli già risolti per i paralleli di altezza multipli di 10° ed in più quelli relativi agli istanti dei crepuscoli (altezza negative 6°, 12°, 18°):

alt.	alfa°	beta°	OA'	OB'	rh	xc	
-6°	25	71	-2.00	12.30	7.10	5.20	(crep.civ.)
-12°	28	74	-2.20	14.80	8.50	6.30	(crep.naut.)
-18°	31	77	-2.50	18.40	10.40	8.00	(crep.astr.)
0°	22	68	-1.72	10.52	6.12	4.40	(orizzonte)
10°	17	63	-1.30	8.34	4.82	3.52	
20°	12	58	-0.90	6.80	3.85	2.95	

30°	7	53	-0.52	5.64	3.08	2.56	
40°	2	48	-0.15	4.72	2.43	2.29	
50°	-3	43	0.22	3.96	1.87	2.09	
60°	-8	38	0.60	3.32	1.36	1.96	
70°	-13	33	0.98	2.76	0.89	1.87	
80°	-18	28	1.38	2.26	0.44	1.82	
90°	-23	23	1.80	1.80	0.0	1.80	(zenith)

Sono stati forniti anche i dati relativi all'orizzonte e allo zenith in quanto costituiscono casi particolari di un generico parallelo di altezza.

I valori negativi di OA' devono essere riportati dal centro O della lamina nella direzione Nord del meridiano, quelli positivi nella direzione Sud. Le distanze OB' vanno riportate tutte verso Sud. Gli archi di cerchio tratteggiati e al di sotto dell'orizzonte sono quelli relativi ai crepuscoli. A questo stadio del lavoro la lamina appare così (la posizione dei cerchi è puramente illustrativa):



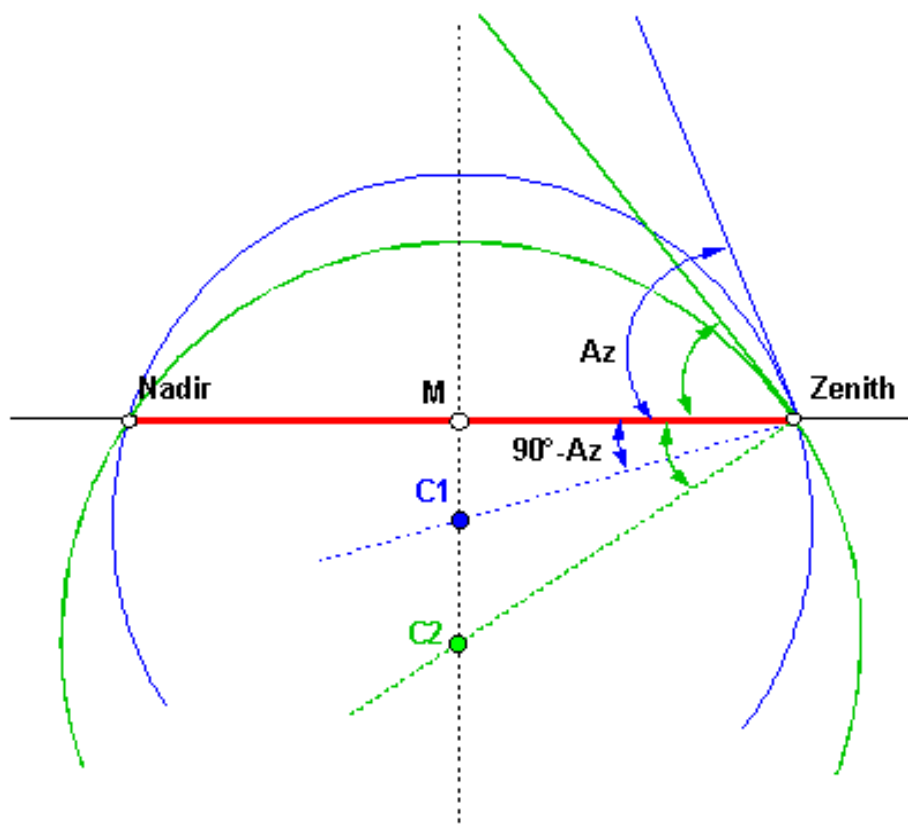
Cerchi verticali o di azimuth

I cerchi verticali sulla sfera sono circoli massimi, ortogonali all'orizzonte e passanti per lo Zenith ed il Nadir.

In quanto cerchi sono rappresentati sulla lamina mediante altrettante circonferenze. Solo il verticale coincidente con il meridiano astronomico, giacendo in un piano contenente il punto di vista della proiezione (Polo Celeste Sud), è rappresentato con un segmento.

Anche sulla lamina i cerchi proiezione dovranno passare tutti dai punti proiezione dello Zenith e del Nadir; la loro costruzione è un po' laboriosa ma diventa di facile comprensione se teniamo presente le due seguenti considerazioni.

- 1) Il segmento congiungente lo Zenith ed il Nadir è una corda comune a tutti i verticali; poichè il centro di una qualunque circonferenza giace sull'asse di una qualunque sua corda, ne risulta che l'asse perpendicolare al meridiano ed equidistante da Zenith e Nadir (passante per il punto M nella figura sottostante) è il luogo dei centri di tutti i verticali-proiezione, qualunque ne sia il raggio.
- 2) Una delle proprietà della proiezione stereografica è quella di conservare immutati gli angoli. Questo significa che nello Zenith (o nel Nadir) il verticale (o meglio la sua tangente) forma con il meridiano un angolo pari al suo azimuth.



I centri dei verticali, oltre a giacere sull'asse passante per il punto M, giacciono anche sulla normale alla tangente in un qualsiasi punto. Prendendo in considerazione la le tangenti nello Zenith, il centro C1 di un qualsiasi verticale dista dal punto M la quantità

$$M-C1 = \text{Zenith-M} \tan(90\text{-azimuth})$$

E' inoltre possibile calcolare le dimensioni del raggio

$$r = ZC = ZM / \cos(90^\circ - \text{az})$$

$$r = ZM / \text{sen}(\text{az})$$

Per il nostro astrolabio, con raggio della sfera rappresentativa pari a 4.25 cm, la distanza tra Zenith e Nadir è 11.81 cm (vedi più sopra) e la distanza del punto M dallo Zenith è 5.9 cm. Si ottiene così la tabella di costruzione dei verticali per i diversi valori di azimuth

azimuth	Z-M	M-C	raggio
10°	5.90	33.46	33.97
20°	5.90	16.21	17.25
30°	5.90	10.22	11.80
40°	5.90	7.03	9.18

50°	5.90	4.95	7.70
60°	5.90	3.41	6.81
70°	5.90	2.15	6.28
80°	5.90	1.04	6.00
90°	5.90	0.00	5.90

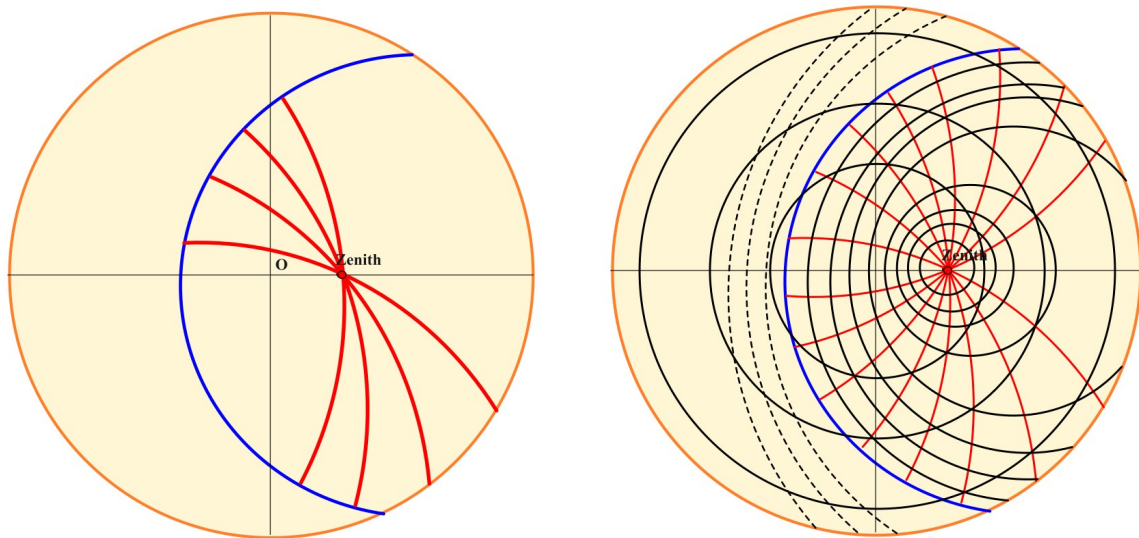
Non è necessario tabellare i valori oltre i 90° in quanto i cerchi calcolati consentono di tracciare non solo gli azimuth nominali ma anche quelli opposti potendosi tracciare i cerchi da orizzonte ad orizzonte, passando per lo zenith.

I rimanenti azimuth sono inoltre simmetrici a quelli già calcolati e i cerchi si possono tracciare mutando di segno al valore MC (spostando cioè i centri dei cerchi in basso, se prima si erano posizionati in alto e viceversa).

Il Primo Verticale ($az=90^\circ$ o 270°) ha il centro sulla linea meridiana ed incontra l'orizzonte in corrispondenza dell'Equatore.

La linea meridiana ($az=0^\circ$ o 180°) ha il centro all'infinito e quindi appare, correttamente, come un segmento.

Il gruppo dei cerchi verticali tagliati in corrispondenza dell'orizzonte, e l'intera lamina finalmente completa, appaiono così.



N.B. La rappresentazione dei cerchi è puramente dimostrativa

ORE INEGUALI

Genesi delle ore

Sul bordo della madre sono riportate le ore con le quali misurare il tempo degli eventi astronomici. Tali ore, poiché risultano dalla divisione del giorno intero in 24 parti, sono dette ore uguali o equinoziali, e corrispondono a quelle che usiamo attualmente (fatta salva l'applicazione dell'equazione del tempo e della correzione per il fuso orario).

Anticamente, per gli usi correnti della vita quotidiana, si usava dividere il giorno e la notte, ciascuno, in dodici parti, uguali sì, ma in funzione della durata del giorno e della notte.

Ne consegue che, ad es. d'inverno, un'ora notturna era più lunga di un'ora diurna e viceversa.

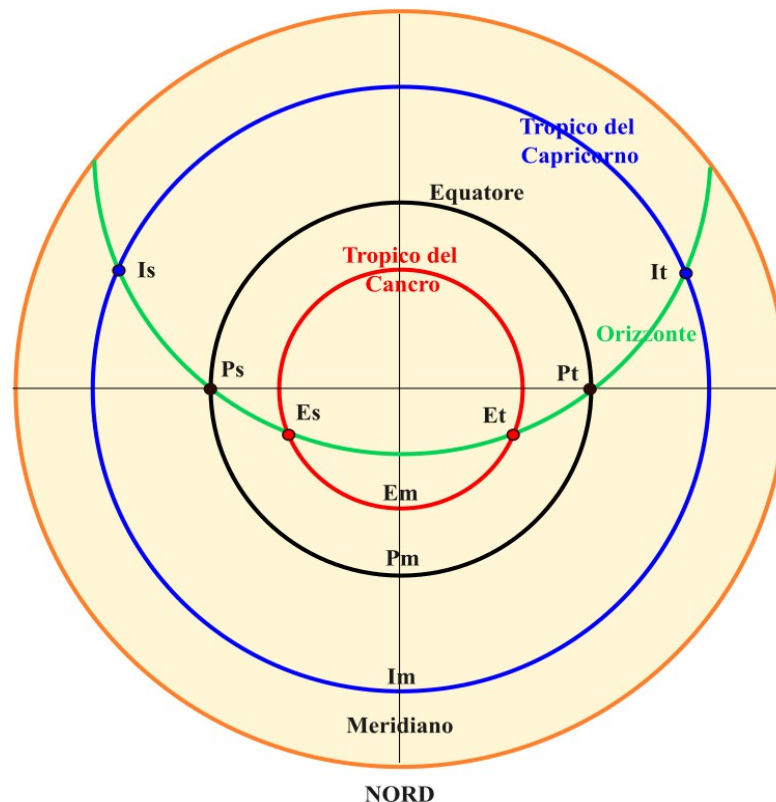
Solo in prossimità degli equinozi le ore tornavano ad avere la stessa durata di tempo e pari, ovviamente ad 1/24 della giornata.

Tali ore prendono il nome di ore diseguali o ineguali, che dir si voglia.

Poiché la durata dell'arco diurno dipende non solo dalla stagione, ma anche dalla Latitudine (nei pressi dell'Equatore le ore sono tutte uguali indipendentemente dalla stagione), i tratti indicativi di queste ore venivano riportate sulla lamina mediante archi di cerchio, anche se a rigore non lo sono.

Per evitare una eccessiva complicazione grafica vengono riportate solo le linee orarie ineguali per la notte, cioè quelle al di fuori dell'orizzonte dell'osservatore.

Osservando la lamina si nota che l'arco notturno in corrispondenza del tropico del Cancro è rappresentato dalla parte di tropico tagliato dal cerchio dell'orizzonte, compreso tra i punti Es-Em-Et, che indicano gli istanti del sorgere e del tramonto per tale giorno; l'arco notturno equinoziale è compreso tra i punti Ps-Pm-Pt che staccano un arco notturno uguale all'arco diurno; l'arco notturno invernale (Tropico del Capricorno) è compreso tra i punti Is-Im-It ed è più lungo del corrispondente arco diurno.



Dividendo ciascuno di questi archi in 12 parti si ottengono, per ciascun periodo, le ampiezze relative alle singole ore disuguali.

Per il tracciamento sarà sufficiente considerare solo un lato rispetto al meridiano, essendo l'altro perfettamente simmetrico.

L'ampiezza in gradi dell'arco semidiurno P, cioè dal sorgere al passaggio in meridiano, può essere calcolato rigorosamente con la seguente formula

$$\cos(P) = -\tan(\text{Latitudine}) \tan(\text{declinazione})$$

dove per declinazione si intende quella che il Sole assume ai tropici ($\pm 23^\circ.43$) e all'Equatore (0°).

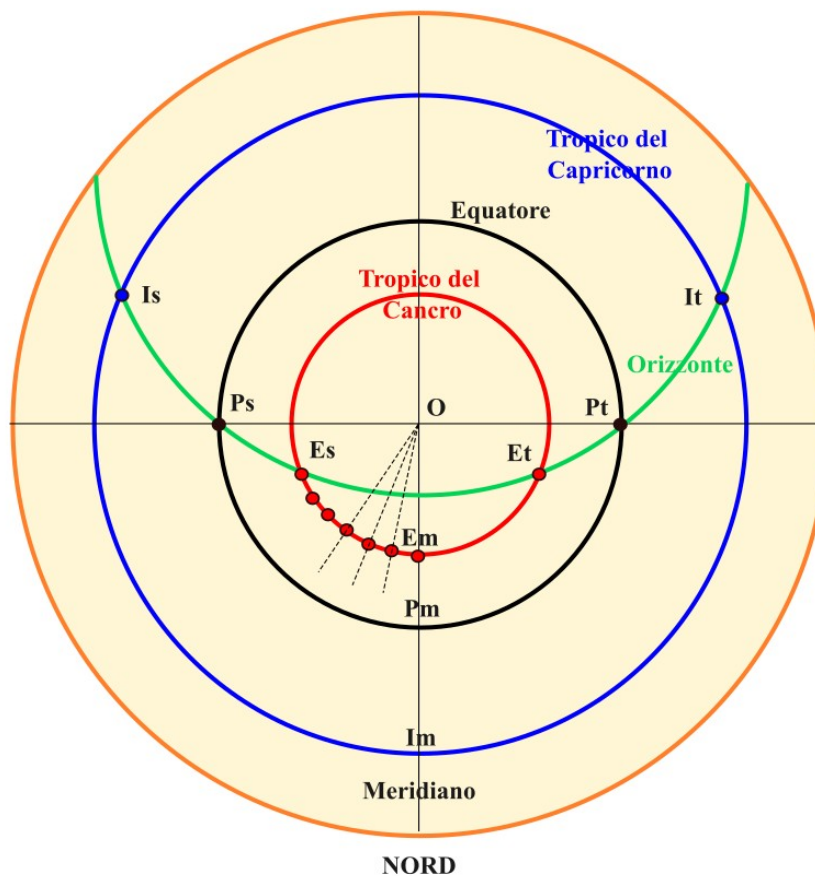
L'arco seminotturno, che è quello che a noi interessa, sarà dato da $180^\circ - \text{l'arco semidiurno}$ testè calcolato.

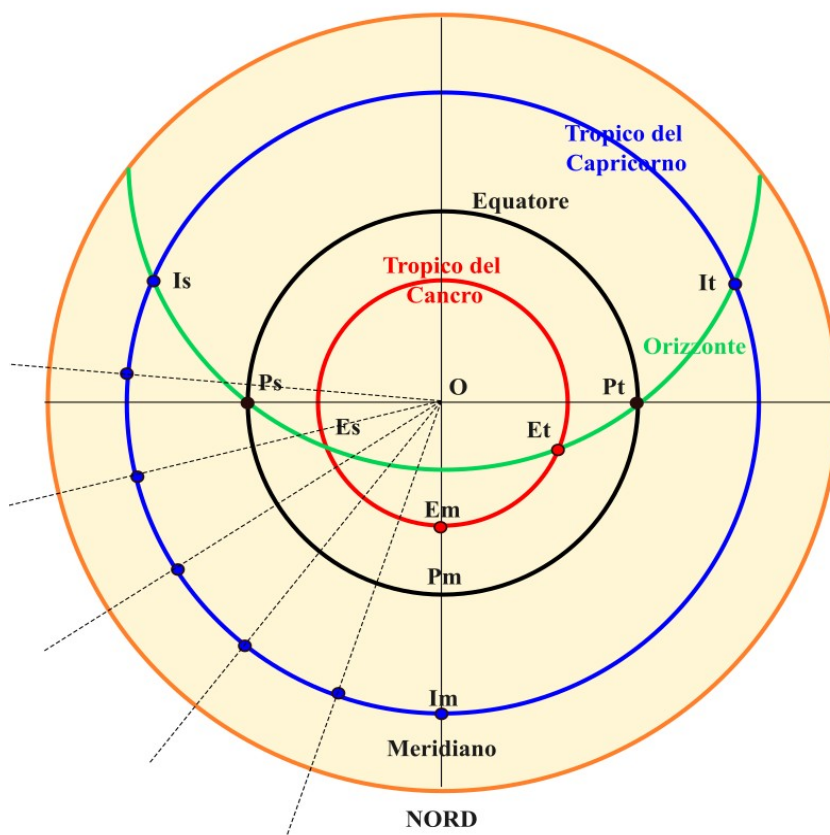
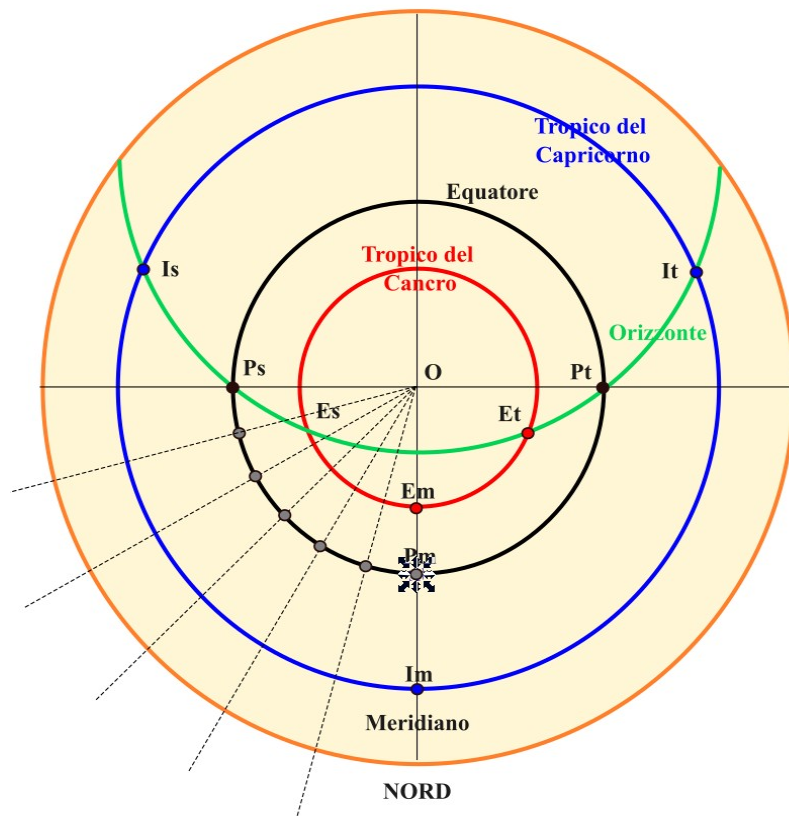
Misurato tale angolo è sufficiente dividerlo per 6 per ottenere le 6 ore ineguali per ognuno dei tre semiarchi notturni.

Per la Latitudine 44° si ottiene

	Arco semidiurno	arco seminott.	1/6 arco seminott.
Tropico del Cancro ($23^\circ.43$)	$114^\circ.7$	$65^\circ.3$	$10^\circ.9$
Equatore (0°)	90°	90°	15°
Tropico del Capricorno ($-23^\circ.43$)	65.3	$114^\circ.7$	$19^\circ.1$

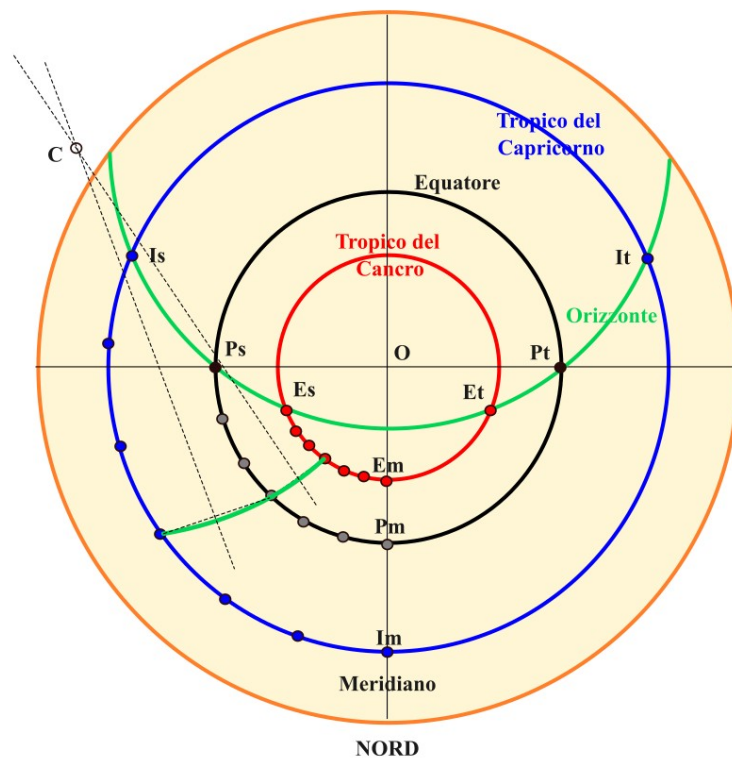
Si riportano quindi sui rispettivi archi i segni delle ore.



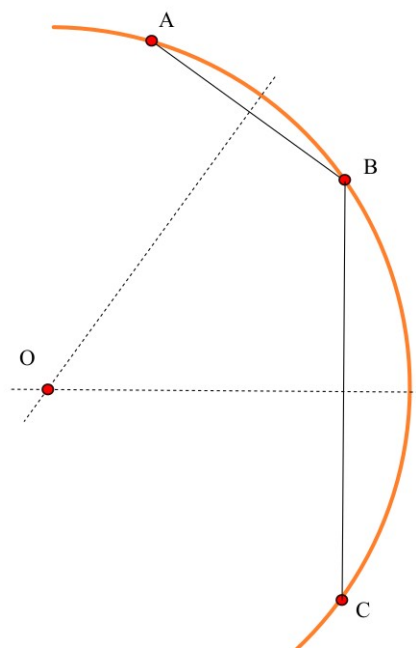


Costruzione geometrica

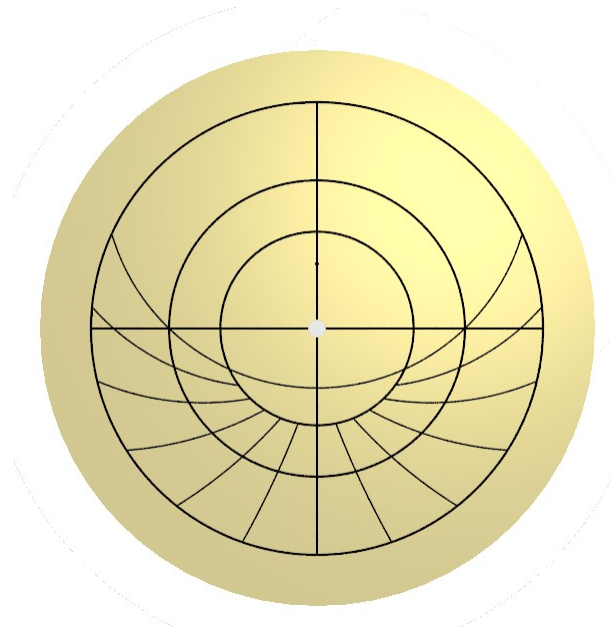
Le tre serie di punti che si ottengono non sono allineati e vanno uniti tre a tre con un arco di circonferenza, come indicato nel disegno (per semplicità espositiva è stato fatto per una sola ora).



Per ottenere l'arco di cerchio che passa per i tre punti si esegue la nota costruzione geometrica: prendendo i tre punti per due alla volta si uniscono con un segmento e si traccia l'asse perpendicolare a tale corda. Il punto di incontro tra i due assi è il centro della circonferenza cui appartiene l'arco da tracciare.



Una volta trovati i punti e tracciate le linee da un lato esse vanno riportare simmetricamente dal lato opposto, ottenendo una configurazione come la seguente.

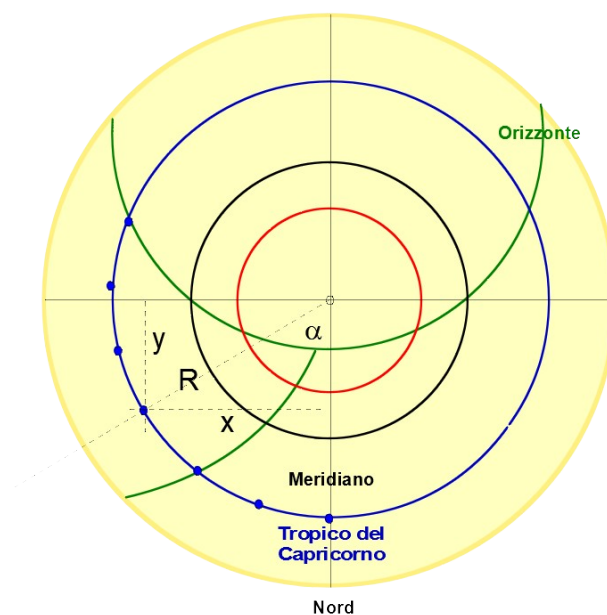


Queste operazioni possono essere effettuate per via geometrica (misura dell'arco seminotturno con un goniometro, divisione per sei, riporto dei vari angoli, tracciamento dei punti, far passare un arco di cerchio per i tre punti corrispondenti alla stessa ora).

Costruzione analitica

Anche in questo caso però è possibile determinare la posizione del centro del cerchio ed il suo raggio per via analitica e quindi automatizzare il calcolo.

Si prende come origine del piano cartesiano il centro O dell'astrolabio e rispetto ad esso si misurano le coordinate (x_1, y_1) di ciascuno dei tre punti dai quali deve passare una data linea oraria ineguale.



R1, R2 e R3 sono i raggi con i quali sono stati costruiti i tropici e l'angolo alfa è multiplo (in funzione dell'ora considerata) di quel sesto di arco seminotturno che è stato calcolato precedentemente.

Le coordinate dei tre punti che giacciono sui tropici e per i quali passa la linea sono:

$$x1=R1 \text{ seno}(\text{alfa1}) \quad (\text{Cancro})$$

$$y1=R1 \text{ coseno}(\text{alfa1}) \quad (\text{Cancro})$$

$$x2=R2 \text{ seno}(\text{alfa2}) \quad (\text{Equatore})$$

$$y2=R2 \text{ coseno}(\text{alfa2}) \quad (\text{Equatore})$$

$$x3=R3 \text{ seno}(\text{alfa3}) \quad (\text{Capricorno})$$

$$y3=R3 \text{ coseno}(\text{alfa3}) \quad (\text{Capricorno})$$

A questo punto si applicano le seguenti formule preparatorie:

$$a_1 = -2x_1 + 2x_2$$

$$b_1 = -2y_1 + 2y_2$$

$$c_1 = (x_1^2 + y_1^2) - (x_2^2 + y_2^2)$$

$$a_2 = -2x_2 + 2x_3$$

$$b_2 = -2y_2 + 2y_3$$

$$c_2 = (x_2^2 + y_2^2) - (x_3^2 + y_3^2)$$

e quindi si calcolano le coordinate cartesiane del centro della circonferenza, rispetto al centro dell'astrolabio

$$X_c = (b_1 c_2 - b_2 c_1) / (a_1 b_2 - a_2 b_1)$$

$$Y_c = (a_2 c_1 - a_1 c_2) / (a_1 b_2 - a_2 b_1)$$

Il raggio del cerchio cui appartiene la linea oraria è dato da

$$r = \text{RadQuadr}((x1-xc)*(x1-xc)+(y1-yc)*(y1-yc));$$

Poichè le linee sono simmetriche, per tracciare quelle corrispondenti all'altro lato del meridiano è sufficiente invertire il segno della coordinata X_c .

Riportiamo il calcolo esplicito per una linea d'ora ineguale, ad esempio la terza ora dopo la mezzanotte e che sarà valido anche per l'ora nona (ora terza prima della mezzanotte).

Nel nostro modello i raggi dei tropici e dell'Equatore, e gli angoli che distanziano i punti delle singole ore, per la Latitudine di progetto che è 44° , sono

	Raggio	alfa
Tropico del Cancro	2.79 cm	$10^\circ.9$
Equatore	4.25 cm	15°
Tropico del Capricorno	6.47 cm	$19^\circ.1$

Quindi le coordinate dei tre punti sono

Cancro	$x_1 = R_1 \sin(\alpha_1 * 3) = 2.79 * \sin(32.7) = -1.50$ $y_1 = R_1 \cos(\alpha_1 * 3) = 2.79 * \cos(32.7) = -2.35$
Equatore	$x_2 = R_2 \sin(\alpha_2 * 3) = 4.25 * \sin(45) = -3.01$ $y_2 = R_2 \cos(\alpha_2 * 3) = 4.25 * \cos(45) = -3.01$
Capricorno	$x_3 = R_3 \sin(\alpha_3 * 3) = 6.47 * \sin(57.3) = -5.45$ $y_3 = R_3 \cos(\alpha_3 * 3) = 6.47 * \cos(57.3) = -3.49$

Adesso troviamo le coordinate del centro

$$\begin{aligned} a_1 &= -2x_1 + 2x_2 = -2 * -1.51 + 2 * -3.00 = -3.00 \\ b_1 &= -2y_1 + 2y_2 = -2 * -2.35 + 2 * -3.00 = -1.31 \\ c_1 &= x_1^2 + y_1^2 - (x_2^2 + y_2^2) = -1.51^2 - 2.35^2 - (-3.00^2 - 3.00^2) = -10.28 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= -2x_2 + 2x_3 = -2 * -3.00 + 2 * -5.44 = -4.89 \\ b_2 &= -2y_2 + 2y_3 = -2 * -3.00 + 2 * -3.49 = -0.96 \\ c_2 &= x_2^2 + y_2^2 - (x_3^2 + y_3^2) = -3.00^2 - 3.00^2 - (-5.44^2 - 3.49^2) = -23.80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_c &= (b_1 c_2 - b_2 c_1) / (a_1 b_2 - a_2 b_1) = \\ &= (-1.31 * -23.80 - 0.96 * -10.28) / (-3.00 * -0.96 - 4.89 * -1.31) = 6.06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_c &= (a_2 c_1 - a_1 c_2) / (a_1 b_2 - a_2 b_1) = \\ &= (-4.89 * -10.28 - 3.00 * -23.80) / (-3.00 * -0.96 - 4.89 * -1.31) = 6.04 \end{aligned}$$

ed il suo raggio

$$\begin{aligned} R &= \text{RadQuad}((x_1 - x_c) * (x_1 - x_c) + (y_1 - y_c) * (y_1 - y_c)) \\ R &= \text{RadQuad}((-1.50 - 6.06)^2 + (-2.35 - 6.04)^2) = 9.55 \end{aligned}$$

Per la corrispondente ora simmetrica prima della mezzanotte è sufficiente cambiare solo il segno della coordinata X_c .

Segue il prospetto per tutte le ore dopo la mezzanotte

Ora	X_c	Y_c	Raggio
1	-24,61	-6,58	25,83
2	-11,07	-6,38	13,46
3	-6,06	-6,04	9,55
4	-3,24	-5,59	7,73
5	-1,36	-5,03	6,72
6	0,01	-4,39	6,10

e prima della mezzanotte

Ora	X_c	Y_c	Raggio
1	24,61	-6,58	25,83
2	11,07	-6,38	13,46
3	6,06	-6,04	9,55
4	3,24	-5,59	7,73
5	1,36	-5,03	6,72
6	0,01	-4,39	6,10

Come si leggono le ore disuguali

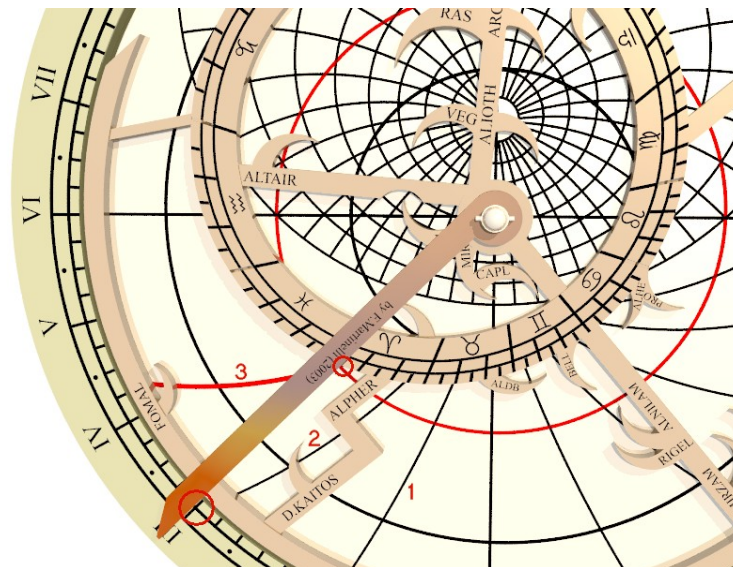
La lettura delle ore uguali (dette anche astronomiche o equinoziali) è semplice e viene fatta mediante la posizione della punta del puntatore rispetto al bordo della Madre, dove sono riportate le ore.

Per le ore disuguali il discorso è un po' più complicato. Occorre fare sempre riferimento al puntatore ma non più alla sua estremità bensì ad una posizione corrispondente alla data e indicata dal punto di intersezione dell'indice con il bordo esterno dell'Eclittica.

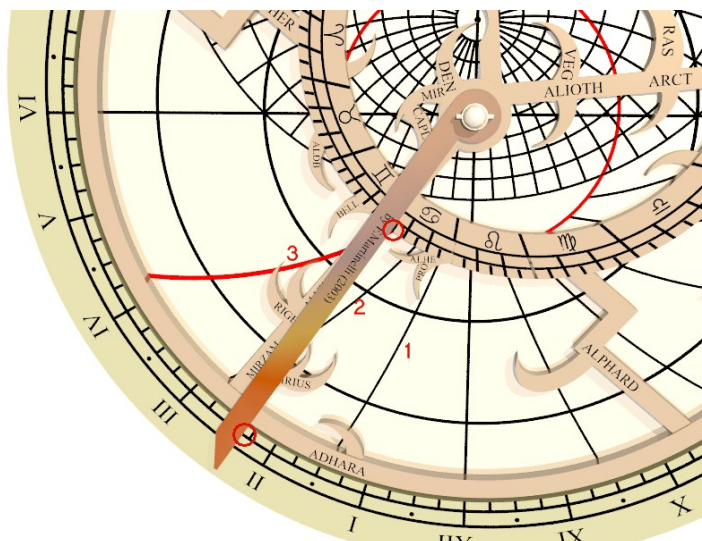
Citiamo i tre casi più semplici.

Se il Sole ha declinazione zero, cioè siamo agli Equinozi e quindi il Sole giace sull'Equatore, occorrerà prendere in esame la curva dell'ora disuguale indicata dal puntatore in corrispondenza del cerchio dell'Equatore. Si noterà che però in questo caso l'ora disuguale coincide con l'ora astronomica avendo il Sole declinazione zero.

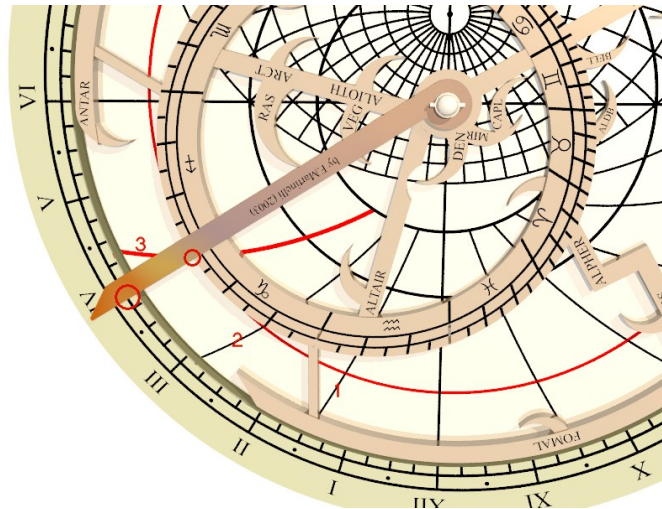
Nel caso raffigurato nella figura sottostante, sono le ore disuguali 3 dopo la mezzanotte, ed anche le ore 3 equinoziali.



Se il Sole si trova sul Tropico del Cancro (Solstizio estivo) l'ora andrà letta in corrispondenza della posizione dell'indice sul tropico del Cancro. In questo caso, ad es. si leggerà la terza ora disuguale dalla mezzanotte, corrispondente all'ora astronomica di circa le 2 e un quarto.

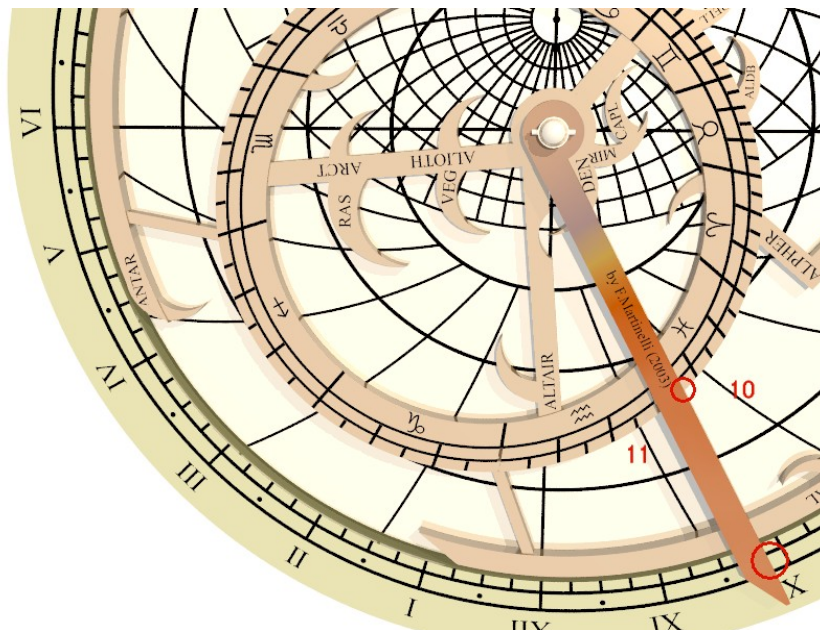


Se il Sole si trova sul Tropico del Capricorno (Solstizio invernale) si leggerà ore disuguale 3 mentre l'ora astronomica è 3 e 50 minuti circa.



Per le date intermedie e le ore non intere, occorrerà valutare ad occhio la posizione del punto di lettura dell'indice tra lo spazio di due ore ineguali adiacenti.

Nella figura sottostante è rappresentata, per la prima decade di Febbraio l'ora inuguale 10 e 20 circa prima della mezzanotte corrispondente all'ora astronomica 10 e 10 circa.



Si constata che nel periodo Primavera-Estate le ore disuguali anticipano le ore astronomiche, mentre nel periodo Inverno-Primavera le ore disuguali ritardano rispetto alle ore uguali.

Nota

Negli astrolabi classici antichi il cielo della Lamina è rappresentato fino alla declinazione del Tropico del Capricorno e pertanto, correttamente, le ore disuguali sono tracciate a partire dal Tropico del Cancro fino al bordo esterno della Lamina, che coincide appunto con il Tropico del Capricorno.

Si ricorda che lo spazio compreso tra i due Tropici è quello percorso dal Sole e che la sua declinazione non può superare quella dei Tropici stessi.

In questa pubblicazione, ho deliberatamente scelto di rappresentare una porzione di cielo leggermente superiore e quindi il Tropico del Capricorno non corrisponde al bordo della Lamina ma è leggermente spostato più all'interno.

In questo caso, ovviamente non ha senso tracciare le ore disuguali fino al bordo della Lamina, e quindi ben oltre il Tropico del Capricorno, ove il Sole non può avventurarsi.

Il fatto che siano tracciate oltre il Tropico del Capricorno è da considerarsi un evidente errore astronomico e storico, ma è un errore deliberato e voluto dal sottoscritto solo per esigenze di tipo estetico e personale.

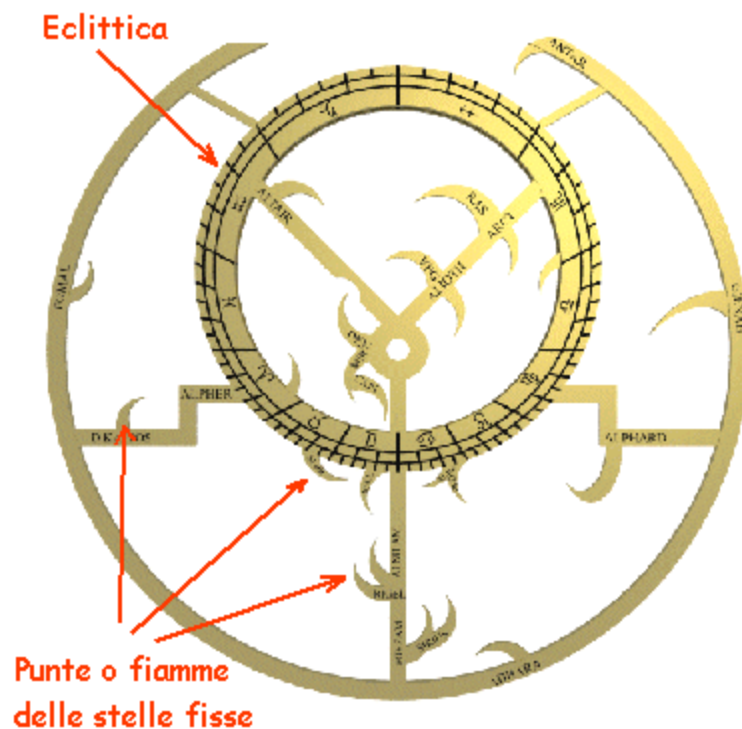
Chi vorrà dilettersi a costruire un astrolabio seguendo queste note, potrà ovviamente evitare l'errore tracciando gli archi delle ore disuguali esclusivamente tra Tropico del Cancro e quello del Capricorno, evitando di prolungarle oltre.

Oppure potrà decidere di far coincidere il bordo della Lamina con il Tropico del Capricorno, modificando opportunamente le dimensioni dell'astrolabio, potendo quindi tracciare le ore disuguali fino al bordo esterno della Lamina, come nella maggior parte degli astrolabi tradizionali.

LA RETE

Le stelle

A differenza della lamina che è funzione della latitudine dell'osservatore, il disegno della rete è identico per tutti gli astrolabi, rappresentando la posizione delle stelle cosiddette "fisse" ed il percorso annuale del Sole rispetto ad esse, cioè l'eclittica. Osservando diversi modelli di astrolabio si noterà, invece, che le reti possono differire anche notevolmente l'una dall'altra.



Nel descrivere, nella seconda parte di questa monografia, la struttura dell'astrolabio ed in particolare della rete, abbiamo già spiegato che tali differenze sono dovute alla quantità di stelle rappresentate e quali si sia preferito rappresentare. Poichè la rete necessariamente è lavorata traforo per consentire la visione e la lettura della lamina sottostante, le stelle vengono indicate da "punte" variamente lavorate a forma di fiammella, o a punta di lancia o freccia, sostenute da una telaio di archi o segmenti che attraversano il disco. La forma del telaio e la posizione dei bracci che lo costituiscono è legata alla posizione delle punte. Questo è uno dei motivi della estrema variabilità dell'aspetto delle reti.

Occorre però tenere in considerazione anche un altro elemento: il fenomeno della *precessione degli Equinozi* che fa sì che le stelle fisse, proprio fisse non lo siano. Senza voler entrare nei dettagli ricordiamo brevemente che per tale fenomeno tutte le stelle, in blocco, subiscono uno slittamento parallelo al piano dell'Eclittica. Cambia la loro longitudine celeste e resta pressochè invariata la latitudine. In questo slittamento la posizione reciproca delle stelle rimane immutata. Il fenomeno è lentissimo, inapprezzabile nell'arco di tempo della vita di un uomo, ma al passare dei secoli gli effetti cominciano a farsi sentire.

Tanto per quantificare il fenomeno, in 2000 anni le stelle si spostano di circa 30°. Questo comporta sostanzialmente due cose. Il percorso annuo del Sole sullo sfondo delle stelle rimane immutato ma cambiano i tempi in cui esso incontra le diverse costellazioni. Seconda conseguenza è che le stelle visibili ad una data latitudine cambiano. Grazie a questo slittamento, nei secoli, stelle che prima erano visibili ad un certo punto scompaiono ed altre, che erano invisibili, si mostrano al di sopra dell'orizzonte.

In questa maniera è evidente che una rete disegnata nel medioevo non può essere utilizzata ai giorni nostri e comunque che ogni rete è irrimediabilmente "datata"; la posizione delle stelle deve essere calcolata per il periodo in cui si vuole utilizzare lo strumento e, tenendo conto della sua comunque limitata precisione, ha una durata non superiore ad un centinaio di anni.

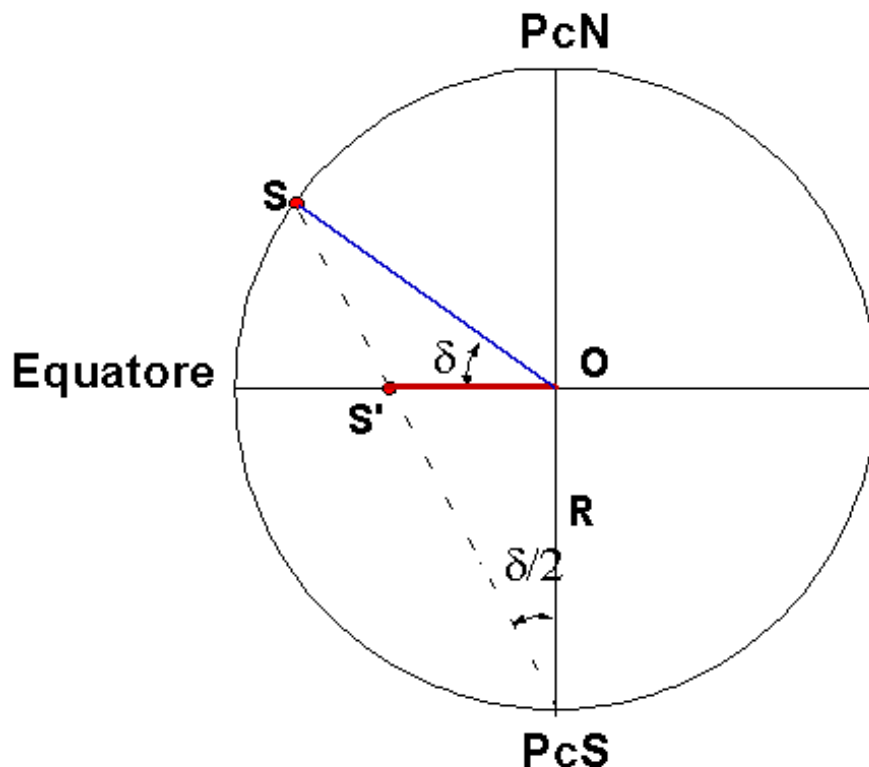
Ciò premesso passiamo alla costruzione della rete utilizzando un disco dello stesso diametro della lamina e riportandovi sopra la posizione di un certo numero di stelle, opportunamente selezionate.

Si dovrà successivamente lavorare a traforo il disco in modo da mettere in evidenza le stelle rispetto alle linee tracciate sulla lamina.

Non dimentichiamo che il disco della rete deve essere sovrapposto a quello della lamina. La posizione delle stelle che proponiamo è stata calcolata per l'anno 2000. Vuol dire che il nostro strumento potrà essere usato per calcoli compresi tra il 1950 ed il 2050, decennio più, decennio meno.

Essendo l'astrolabio una proiezione sul piano dell'Equatore celeste, la posizione delle stelle va fornita in coordinate equatoriali, e cioè ascensione retta e declinazione.

La declinazione è la distanza angolare rispetto all'Equatore e che noi dovremo trasformare in distanza lineare; l'ascensione retta è l'angolo, misurato in senso antiorario lungo l'Equatore tra un punto fisso convenzionale di riferimento e la stella considerata. Il riferimento prende nome di "Punto Gamma" e corrisponde al punto in cui passa il Sole nell'istante dell'Equinozio di primavera, quando attraversando l'Equatore transita dall'Emisfero celeste Sud a quello Nord.

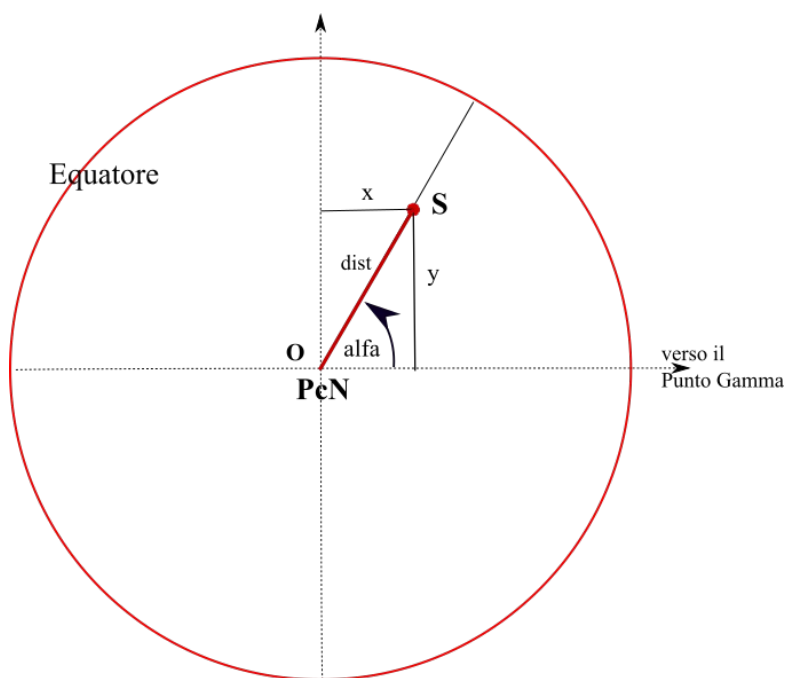


Dalla figura sopra si ricava il valore della distanza lineare OS' in funzione della declinazione delta dell'astro S, che andrà riportata in direzione della ascensione retta

$$OS' = R \tan((90-\delta)/2)$$

Osservando dall'alto la sfera celeste, come in figura sottostante, e cioè sul prolungamento del Polo Celeste Nord, si comprende anche il ruolo dell'ascensione retta, indicata con la lettera alfa, nel

posizionamento della generica stella S. L'angolo alfa rimane invariato durante la proiezione grazie alla proprietà di conservazione degli angoli della proiezione stereografica.



Vista sulla proiezione dell'Equatore

Posizionare le stelle sarà dunque semplice. Scelte le più opportune, se ne calcolerà la distanza dal centro in funzione della declinazione e, scelta arbitrariamente la direzione del Punto Gamma, basta riportare tale distanza con un angolo pari all'ascensione retta.

Qui di seguito forniamo la tabella di ventiquattro stelle, con i valori già pronti per il trasferimento sul disco della rete.

Nome stella	Asc.Retta	Declinazione	Distanza	X	Y
1 ALPHERATZ	2.10	29.10	2.50	2.50	0.09
2 DENEK KAITOS	10.90	-17.98	5.85	5.74	1.11
3 MIRFAK	51.08	49.87	1.55	0.98	1.21
4 ALDEBARAN	68.98	16.52	3.17	1.14	2.96
5 RIGEL	78.63	-8.20	4.91	0.97	4.81
6 CAPELLA	79.18	46.00	1.72	0.32	1.69
7 BELLATRIX	81.28	6.35	3.80	0.58	3.76
8 ALNILAM	84.05	-1.20	4.34	0.45	4.32
9 MIRZAM	95.68	-17.95	5.84	-0.58	5.82
10 ALHENA	99.43	16.40	3.18	-0.52	3.14
11 SIRIO	101.28	-16.72	5.71	-1.12	5.60
12 ADHARA	104.67	-28.97	7.21	-1.83	6.98
13 PROCIONE	114.83	5.22	3.88	-1.63	3.52
14 ALPHARD	141.90	-8.67	4.95	-3.89	3.05
15 GIENAH	183.97	-17.53	5.80	-5.79	-0.40
16 ALIOTH	193.50	55.95	1.30	-1.27	-0.30
17 SPICA	201.30	-11.17	5.17	-4.82	-1.88
18 ARTURO	213.92	19.18	3.02	-2.51	-1.69
19 ANTARES	247.35	-26.43	6.86	-2.64	-6.33
20 RASALAGUE	263.73	12.57	3.41	-0.37	-3.39
21 VEGA	279.23	38.78	2.04	0.33	-2.01
22 ALTAIR	297.68	8.87	3.64	1.69	-3.22
23 DENEK	310.35	45.28	1.75	1.13	-1.33
24 FOMALAUT	344.35	-29.62	7.30	7.03	-1.97

Attenzione! Ascensione e declinazione, per comodità di calcolo sono riportate in formato decimale e non sessagesimale.

Sono state riportate le posizioni anche in termini di coordinate cartesiane, assumendo come asse positivo delle x la direzione del Punto Gamma e asse delle y la sua perpendicolare passante per il centro del disco.

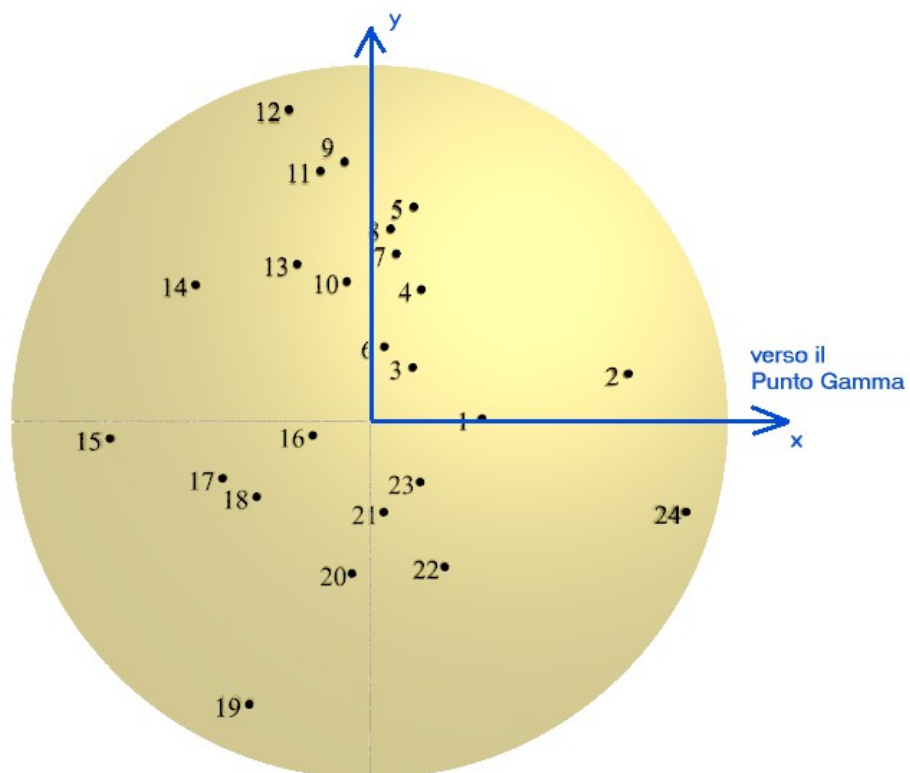
La distanza e l'angolo possono essere infatti trasformati, per un più semplice posizionamento, in coordinate cartesiane x e y mediante le formule

$$x = d \cdot \cos(\alpha)$$

$$y = d \cdot \sin(\alpha)$$

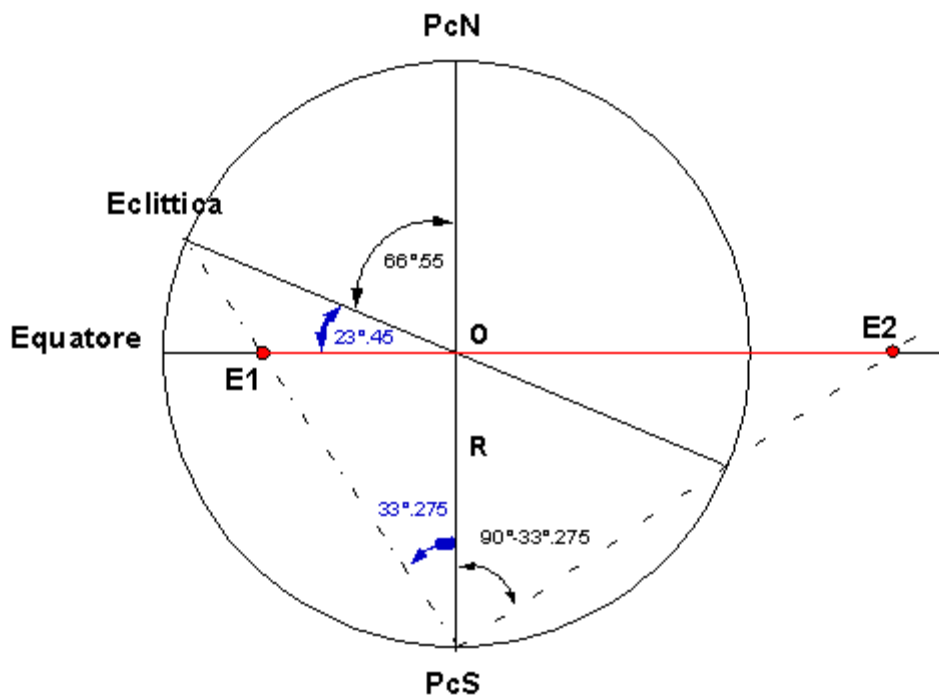
Posta dunque la direzione del Punto Gamma sulla destra, i valori di x si devono intendere, come nelle normali coordinate cartesiane, positivi a destra del centro del disco e a sinistra se negativi; i valori delle y andranno riportati in alto se positivi e in basso se negativi.

Le stelle di cui sopra risultano così distribuite sul disco che poi sarà quello dal quale si ritaglia la rete:



L'eclittica

L'eclittica viene rappresentata come una circonferenza. Le sue dimensioni sono fisse e, ovviamente, indipendenti dalla latitudine dell'osservatore.



I due punti estremi, al di sopra e al di sotto dell'Equatore sono i Solstizi, i punti cioè in cui il Sole assume la massima distanza dall'Equatore. Le loro distanze rispetto al centro del disco sono:

$$OE1 = R \tan(33^\circ.275) \quad OE2 = R \tan(56^\circ.725)$$

Nel nostro caso specifico, avendo assunto il raggio R della sfera pari a 4.25 si ha

$$OE1 = 4.25 \tan(33^\circ.275) = 2.79 \quad OE2 = 4.25 \tan(56^\circ.725) = 6.48$$

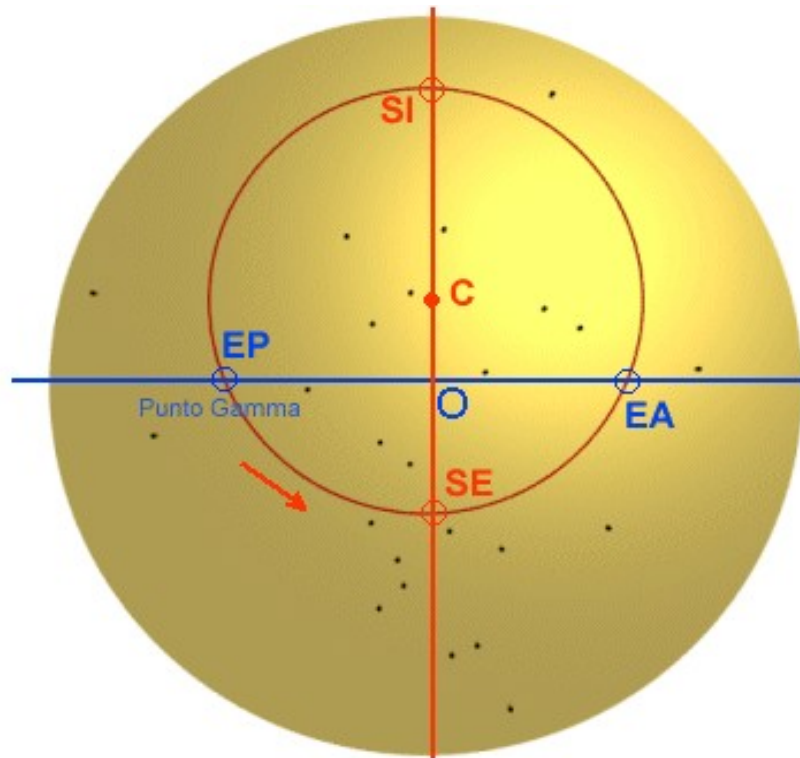
La posizione di questi due punti individua gli estremi del diametro della eclittica proiettata sull'Equatore; il centro sarà pertanto equidistante da essi e posto alla distanza

$$(6.48 - 2.79) / 2 = 1.84$$

nella direzione del Solstizio più lontano (E2), e precisamente quello invernale. Il raggio dell'eclittica proiettata sarà:

$$(6.48 + 2.79) / 2 = 4.63$$

La direzione dei Solstizi è perpendicolare a quella degli Equinozi e pertanto, fissata inizialmente la direzione del Punto Gamma (che corrisponde all'Equinozio primaverile), sarà semplice tracciare la proiezione dell'Eclittica sulla rete.



I punti notevoli che risultano in figura sono:

- C Centro dell'Eclittica
- EP Equinozio Primaveraile
- SE Solstizio Estivo
- EA Equinozio Autunnale
- SI Solstizio Invernale

che il Sole, nel suo moto annuo percorre i senso antiorario.

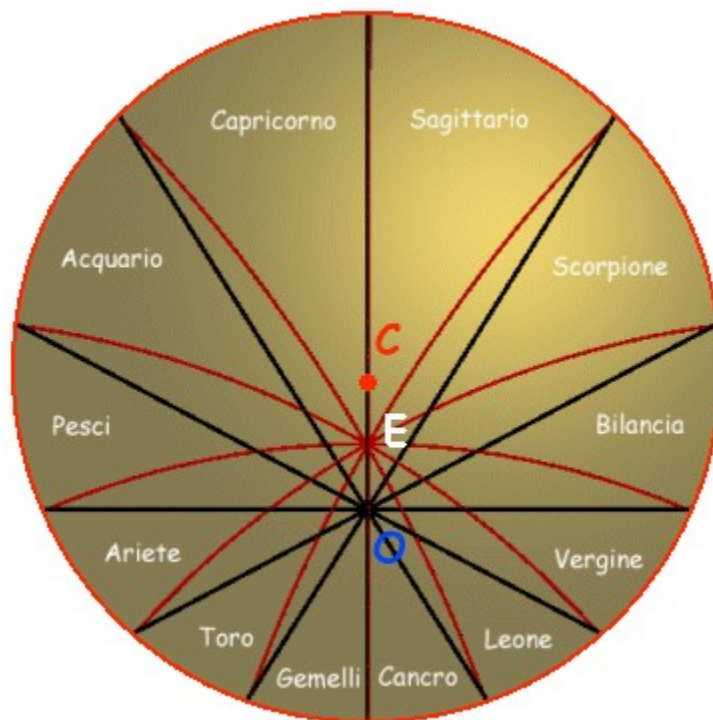
Gli astronomi dell'antichità, per fissare la posizione del Sole, dividevano l'Eclittica in 12 zone ampie 30°, ciascuna associata ad un segno zodiacale. Per indicare la posizione del Sole ci si riferiva al segno e al numero di gradi nel suo interno; così, ad es. si usava dire che il Sole era nell'8.vo grado del Leone, nel 23.mo grado dell'Ariete e così via.

Il punto di partenza era il Punto Gamma, chiamato anche Punto Vernale (vernale sta per primaveraile), Primo Punto o Testa dell'Ariete.

Ancora oggi contiamo le longitudini eclittiche a partire dall'Equinozio Primaveraile ma con continuità da 0° a 360° senza più fare riferimento ai segni.

Così il Punto Gamma ha longitudine zero gradi, Il Solstizio Estivo 90°, l'Equinozio d'Autunno 180° e il Solstizio Invernale 270°.

Trattandosi di una proiezione sul piano equatoriale non è purtroppo possibile suddividere direttamente l'eclittica nei settori zodiacali. E' pur vero che essendo l'astrolabio una proiezione stereografica, e quindi mantenendosi inalterati gli angoli, si potrebbero riportare le longitudini dal centro dell'Eclittica con un normale goniometro ma i meridiani assumerebbero una forma curvilinea non facile da riprodurre.



E' possibile però trasformare la longitudine eclittica in ascensione retta che per sua natura si misura proprio sul piano dell'Equatore.

Nel disegno sopra (che rappresenta solo il disco dell'Eclittica e non tutta la rete) in rosso sono tracciati i meridiani per l'inizio di ogni segno zodiacale. Essi si dipartono dal polo eclitticale e, in quanto cerchi sulla sfera, sono riprodotti con archi di circonferenza sulla proiezione stereografica. In nero sono invece disegnate le corrispondenti ascensioni rette che originano dal centro dell'astrolabio (Polo Celeste Nord) e pur essendo cerchi sulla sfera sono riprodotti sotto forma di segmenti in quanto i piani che li contengono passano tutti per il punto di vista (Polo Celeste Sud). Tracciare quest'ultimi, e individuare sull'Eclittica le divisioni tra i segni, è ovviamente più semplice. Mettiamo in evidenza che il centro geometrico **C** della proiezione dell'Eclittica non coincide con la proiezione del Polo Eclitticale (**E**), rispetto al quale si misurano le longitudini; il centro geometrico **O** dell'astrolabio coincide invece con la proiezione del Polo Celeste Nord, rispetto al quale si misurano le ascensioni rette.

La formula che mette in relazione ascensione retta, longitudine ed obliquità eclittica è la seguente:

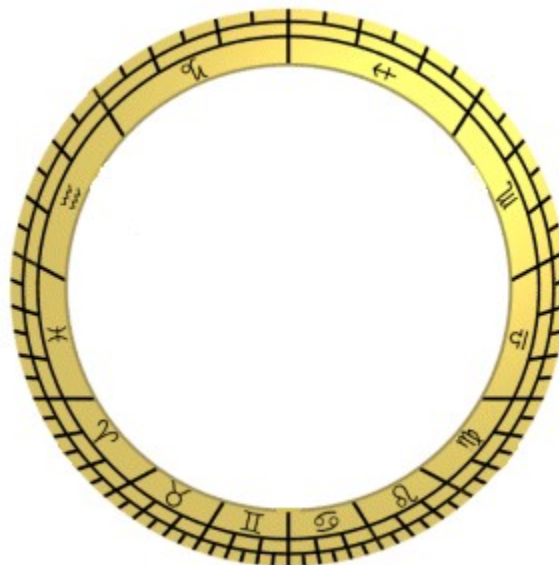
$$\tan(\text{ascens.}) = \tan(\text{long.}) * \cos(\text{obliquità})$$

ove valore dell'obliquità è considerato pari a $23^{\circ}26'$.

Qui di seguito forniamo i valori di ascensione retta per ogni 5° di longitudine, in base ai quali sarà possibile contrassegnare l'Eclittica con la posizione che mediamente assume il Sole ogni 5 giorni. Per il nostro scopo è più che sufficiente ma chi vuole una maggiore risoluzione può calcolarsi l'eclittica ogni singolo grado e cioè praticamente giorno per giorno.

Segno	Long.	Asc.	Segno	Long.	Asc.	Segno	Long.	Asc.
Ariete	0	0	Leone	120	122,2	Sagitt.	240	237,8
	5	4,6		125	127,4		245	243,1
	10	9,2		130	132,4		250	248,4
	15	13,8		135	137,5		255	253,7
	20	18,5		140	142,4		260	259,1
	25	23,2		145	147,3		265	264,6
Toro	30	27,9	Vergine	150	152,1	Capric.	270	270,0
	35	32,7		155	156,8		275	275,4
	40	37,6		160	161,5		280	280,9
	45	42,5		165	166,2		285	286,3
	50	47,6		170	170,8		290	291,6
	55	52,6		175	175,4		295	296,9
Gemelli	60	57,8	Bilan.	180	180,0	Acquar.	300	302,2
	65	63,1		185	184,6		305	307,4
	70	68,4		190	189,2		310	312,4
	75	73,7		195	193,8		315	317,5
	80	79,1		200	198,5		320	322,4
	85	84,6		205	203,2		325	327,3
Cancro	90	90,0	Scorp.	210	207,9	Pesci	330	332,1
	95	95,4		215	212,7		335	336,8
	100	100,9		220	217,6		340	341,5
	105	106,3		225	222,5		345	346,2
	110	111,6		230	227,6		350	350,8
	115	116,9		235	232,6		355	355,4

Una eclittica così suddivisa si presenta come nella figura sottostante. Abbiamo tagliato la parte centrale e quella esterna lasciando solo una sottile corona circolare di



dimensioni sufficienti a contenere le graduazioni e consentire la visione delle stelle al suo interno. Sottolineiamo ancora una volta che tali divisioni corrispondono alle longitudini celesti, pur avendole individuate tramite le corrispondenti ascensioni rette.

Si potrebbe anche suddividere l'eclittica in base al calendario, riportando su di essa, in luogo delle longitudini, i mesi, le decadi, le cinque, i singoli giorni. In questa maniera sarebbe senz'altro più semplice e comodo individuare sull'astrolabio la posizione del Sole.

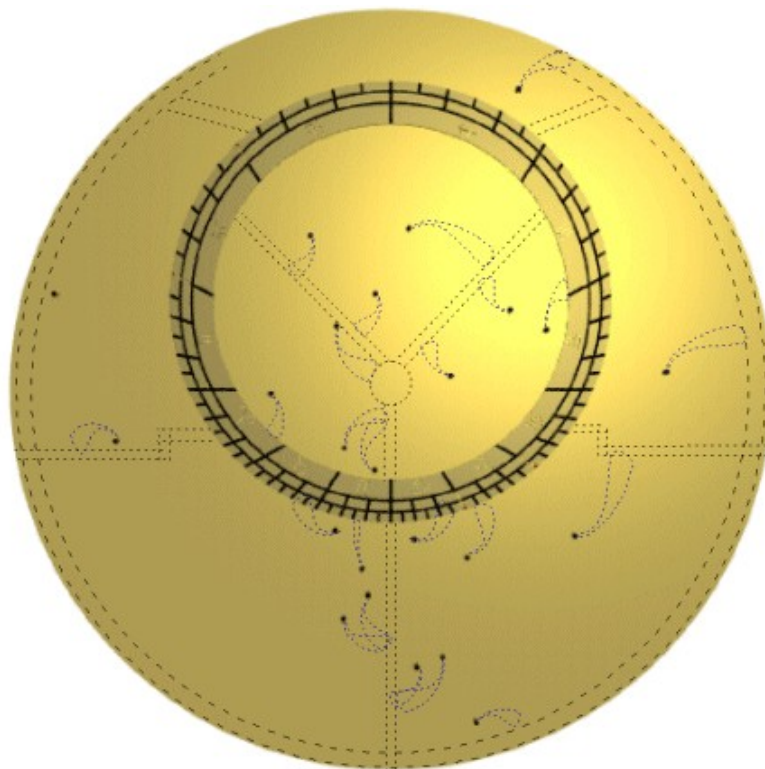
Una suddivisione del genere però è tutt'altro che semplice e lineare a causa della velocità variabile del Sole lungo l'Eclittica e dell'eccentricità dell'orbita terrestre; i mesi, ad anche i singoli giorni non potrebbero essere suddivisi in spazi uniformi e per ognuno di essi occorrerebbe calcolarne la giusta ampiezza.

D'altra parte occorre comunque poter associare alla data di calendario la longitudine del Sole, e viceversa, per poter operare sull'astrolabio. Nelle puntate precedenti abbiamo già spiegato come questo problema di conversione venisse risolto, incidendo sul retro della madre un **equatorium** cioè un regolo che consentiva una tale operazione.

Ne riparleremo quando prenderemo in esame la costruzione del dorso.

...IN PRATICA

A questo punto il nostro disco delle rete si dovrebbe presentare così.



Se abbiamo correttamente dimensionato la corona circolare dell'eclittica, questa cade proprio in mezzo alle stelle prescelte e già disegnate, senza occultarne alcuna.

Il problema è che il disco è solido e una volta sovrapposto alla lamina la nasconde completamente alla nostra vista. Non è quindi possibile riferire la posizione delle stelle e del Sole all'orizzonte dell'osservatore.

Per far questo occorre ritagliare e portare via il più possibile le parti inutili della rete, attraverso le quali sia possibile osservare i cerchi e le linee della lamina.

Qui entra in gioco la fantasia e l'abilità del costruttore di astrolabi. Si tratta di individuare dei percorsi, sotto forma di sottili segmenti o archi, attraverso le stelle e l'eclittica in modo da tenere tutte queste parti solidamente assieme e garantire il massimo di visibilità della sottostante lamina. Questa variabilità nella ricerca della struttura portante della rete era improntata criteri anche di

eleganza e di simmetria, ed era quello che caratterizzava uno strumento dall'altro, rendendolo bello, affascinante e nel contempo, e misterioso.

Oggigiorno si può evitare di traforare il disco della rete, disegnando il tutto su un foglio di plastica trasparente sottile ma resistente. Ciò consentirebbe anche di aumentare il numero delle stelle, ma sarebbe una soluzione poco elegante e non in linea con la tradizione.

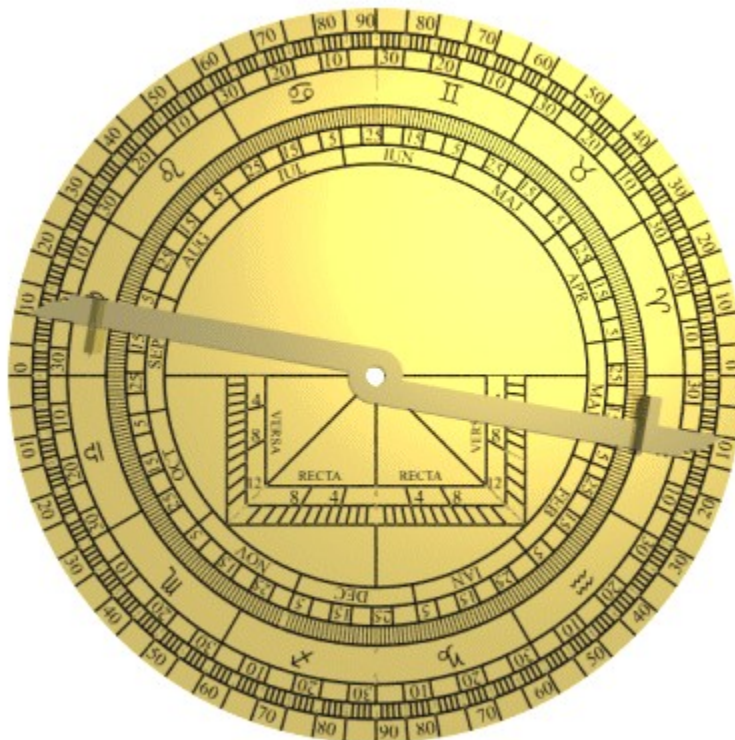
LA COSTRUZIONE DEL DORSO

Abbiamo già avuto occasione di descrivere nei particolari la struttura del dorso dell'astrolabio. Ora si tratta di fornire le spiegazioni per costruirne uno.

La faccia posteriore assolve alla duplice funzione di strumento di misura e regolo calcolatore per la posizione del Sole; inoltre spazio permettendo, al centro sono riportate scale e grafici per la soluzione speditiva dei più ricorrenti calcoli matematici e geometrici.

La misura delle altezze

La scala più periferica consiste in una semplice ripartizione in gradi sessagesimali e può essere ottenuta con l'ausilio di un normale goniometro.



La scala è divisa in quattro quadranti graduati ciascuno da 0° a 90°. Sulla linea verticale, passante per il punto di sospensione ed il centro dello strumento va riportato il valore di 90° (sia in alto che in basso), mentre sulla linea orizzontale il valore zero (sia sul lato destro che su quello sinistro). La scala serve per misurare, con l'ausilio dell'alidada imperniata al centro del dorso, le altezze degli astri o l'elevazione della sommità di punti notevoli (cime di monti, punte di campanili, ecc.). La graduazione può essere organizzata a piacere per una più comoda lettura del valore. Nel nostro caso vi è una prima ripartizione di 5° in 5° (quella più esterna) ed una ripartizione di grado in grado. Per eliminare errori di eccentricità dell'alidada e della graduazione il valore va letto sulle due scale opposte e ne va fatta la media.

Le longitudini celesti

Le successive e più interne scale concentriche devono essere intese come un tutt'uno. Esse infatti servono a calcolare la longitudine del Sole in funzione della data di calendario per poter orientare l'eclittica sulla faccia anteriore dell'astrolabio.

Sempre nelle precedenti parti, a suo tempo trattate, abbiamo illustrato la logica di queste divisioni e quindi non staremo a ripeterle.

La scala delle longitudini è, ancora una volta, una semplice ripartizione in 360° che si può ottenere con il goniometro. A questo scopo si può riutilizzare la graduazione già effettuata per la misura delle altezze, avendo cura di associarvi valori diversi. Intanto c'è da dire che le longitudini anticamente, a differenza da quanto facciamo adesso, non erano misurate circolarmente da 0° a 360° , ma semplicemente ripartite in dodici gruppi da 30° ciascuno. Tali gruppi corrispondevano ai segni astrologici.

Sfruttando quindi la scala delle altezze (grado per grado) vi affianchiamo internamente una ulteriore ripartizione in sei quinte, a loro volta raggruppate in base al segno zodiacale di appartenenza che verrà riportato in un'altra graduazione adiacente.

Non ha importanza dove iniziare la graduazione, qualunque punto può essere prescelto. In alto (in corrispondenza dei 90° di altezza) possiamo far coincidere l'inizio del segno zodiacale del Cancro, procedendo in senso antiorario per gli altri segni (Leone, Vergine, Bilancia, ecc.). Il senso antiorario non è tassativo ma è consigliabile. Esso infatti è il senso di spostamento del Sole all'interno dei segni zodiacali.

Più complessa è la costruzione della scala calendariale (giorni e mesi) dovuta al fatto che la velocità in longitudine del Sole non è costante, ma maggiore quando esso è più vicino alla Terra (intorno a Gennaio) e minore quando è più lontano (Luglio). Questo comporta che pur essendo ogni segno zodiacale rigorosamente ampio 30° la permanenza del Sole al suo interno è data da un variabile numero di giorni.

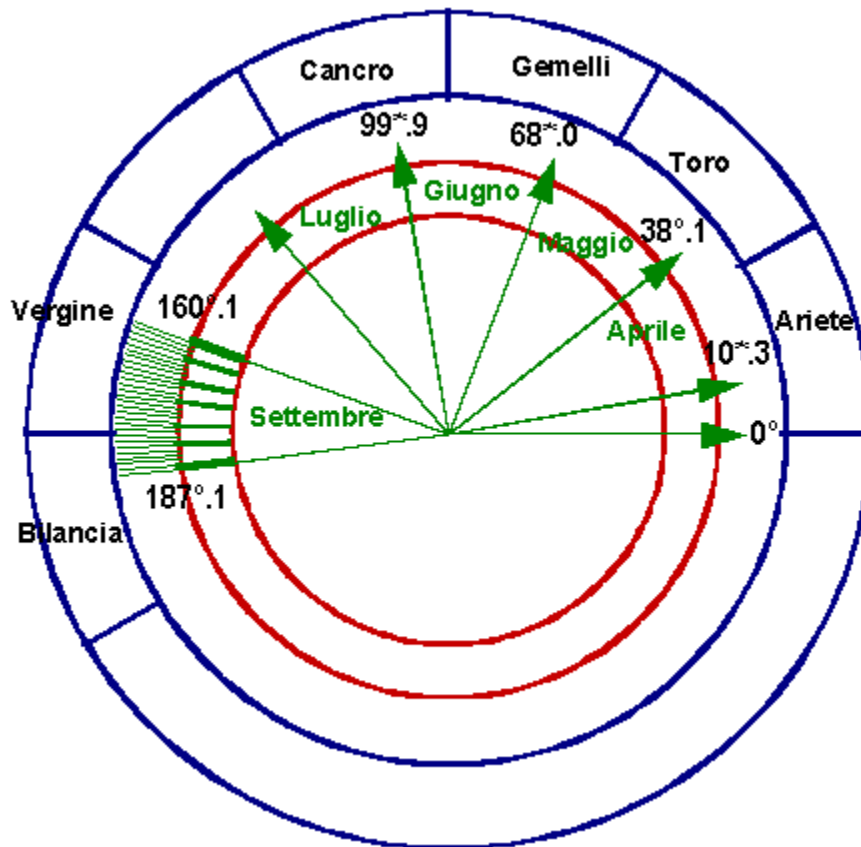
Così ad esempio nel segno del Cancro il Sole rimane per 32 giorni mentre nel segno dell'Acquario solo 29 giorni. L'ampiezza angolare di ogni singolo mese dovrà tenere conto di queste differenze e pertanto la graduazione non sarà uniforme. C'è inoltre da considerare che le date di ingresso nei segni non sono costanti ma possono variare di un giorno nel ciclo quadriennale degli anni bisestili. Tutte queste variabili complicano non poco il disegno della scala dei giorni che deve essere esattamente agganciata alla scala delle longitudini per una corretta conversione data-longitudine. L'aggancio viene effettuato valutando su un periodo di quattro anni la longitudine media del Sole in corrispondenza del primo giorno di ogni mese e disegnando una serie di scale concentriche (giorni, decenni, mesi) adiacenti alla scala dello zodiaco.

La tabella di corrispondenza tra primo giorno del mese e longitudine media del Sole è la seguente (è stata calcolata per il quadriennio 2004-2007);

Data	Longitudine	Data	Longitudine
1 Gennaio	$281^\circ.1$	1 Luglio	$99^\circ.9$
1 Febbraio	$314^\circ.4$	1 Agosto	$131^\circ.1$
1 Marzo	$341^\circ.9$	1 Settembre	$160^\circ.1$
1 Aprile	$10^\circ.3$	1 Ottobre	$187^\circ.1$
1 Maggio	$38^\circ.1$	1 Novembre	$216^\circ.1$
1 Giugno	$68^\circ.9$	1 Dicembre	$247^\circ.0$

Poichè in alto abbiamo deciso di porre l'inizio del segno del Capricorno, corrispondente a 90° di Longitudine, sul lato destro avremo il grado iniziale dell'Ariete cui corrisponde il valore di Longitudine di 0° . Da tale posizione misureremo i gradi di longitudine riportati in tabella per poter tracciare le divisioni della scala dei mesi.

Ogni mese andrà diviso in 28, 30 o 31 parti uguali in base ai giorni che contiene e, per meglio visualizzare il periodo costruiremo un'altra scala concentrica con divisioni ogni 5 giorni.



Se vogliamo costruire anche la scala dei singoli giorni il lavoro sarà molto impegnativo dovendo tracciare 365 divisioni di ampiezza mediamente inferiore al grado. Farlo a mano è praticamente impossibile.

Nel disegno schematico abbiamo riportato come esempio le modalità di ripartizione di alcuni mesi e di alcuni segni zodiacali, con i relativi angoli rispetto al segno dell'Ariete. Per il mese di Settembre, ampio solo 27° di longitudine, abbiamo riportato le divisioni ogni 5 giorni e sulla scala adiacente e più esterna, quella giornaliera. Ogni giorno sarà ampio $0^\circ.9$ ($27^\circ/30$ giorni) e ogni cinquina $4^\circ.5$. Considerando il mese di Febbraio pari a 28 giorni abbiamo introdotto un elemento di imprecisione che si rende evidente solo durante gli anni bisestili. Tale imprecisione risulta però di modesta entità e sicuramente inferiore alla capacità di suddividere correttamente e precisamente la scala dei giorni e desumerne la corrispondente longitudine. Negli anni bisestili, per il 29 di Febbraio si farà riferimento alla tacca compresa tra l'ultima del mese e la prima di Marzo.

La scala delle tangenti

Lo spazio libero al centro del disco veniva sfruttato inserendo tavole o diagrammi di uso particolare. A differenza delle scale delle altezze e delle longitudini, che erano praticamente obbligatorie su tutti i modelli se li si volevano utilizzare anche come strumenti di misura, ciò che veniva posto al centro era estremamente variabile ed il più delle volte, personalizzato sulle esigenze dell'utilizzatore dello strumento.

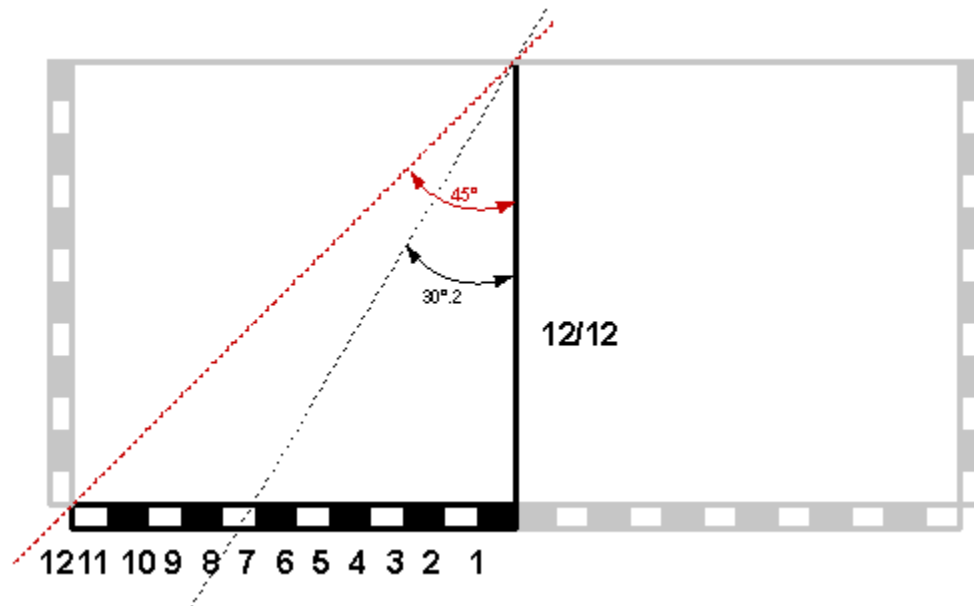
Un diagramma molto diffuso è quello cosiddetto *umbra recta* e *umbra versa*, termini con i quali anticamente si indicavano la tangente e cotangente trigonometrica. Tale diagramma consentiva la risoluzione di triangoli rettangoli e, tipicamente, si utilizzava per determinare la distanza di un oggetto di altezza nota e viceversa.

Il termine *umbra* deriva dall'impiego della lunghezza dell'ombra proiettata da un oggetto verticale (gnomone) per la determinazione dell'altezza del Sole.

Il diagramma è costruito sostanzialmente sotto forma di triangolo rettangolo i cui cateti sono divisi in un numero arbitrario di parti uguali; una tra le tante divisioni impiegate era in dodicesimi, come nel caso da noi proposto.

Anticamente la tangente trigonometrica era data sotto forma di rapporto tra numeri interi. Noto pertanto il rapporto tra la lunghezza del cateto orizzontale e quello verticale ($2/12$, $3/12$, ... $12/12$) era possibile determinare l'angolo al vertice e viceversa.

Il diagramma è fatto in modo che il vertice del triangolo rettangolo coincida con il centro dell'astrolabio materializzato dal perno di rotazione dell'alidada; posizionando quest'ultima sulla scala graduata delle altezze (il bordo graduato più esterno dello strumento) è possibile determinare il valore della tangente.



Il quadrato *umbra recta* e *umbra versa*

Il triangolo viene poi completato in modo da formare un quadrato ed estendere così la possibilità di calcolo fino ad angoli pari a 90° . Per un principio di simmetria, ma solo di natura estetica, il quadrato era riprodotto da entrambe le parti rispetto all'asse verticale dello strumento. La costruzione del quadrato è pertanto estremamente semplice e può essere personalizzata a piacere. Si tratta solo di dividere in parti uguali i suoi lati, qualunque sia il numero di parti e qualunque siano le sue dimensioni. E' ovvio che una suddivisione più fitta consente di effettuare calcoli più precisi. Nella figura di cui sopra sono riportati la modalità di costruzione del quadrato per rapporti in dodicesimi e due esempi di calcolo.

Con un rapporto di $12/12$ si ottiene una (moderna) tangente trigonometrica pari a 1 ed il corrispondente angolo di 45° ; per $7/12$ si ha la tangente pari a 0.5833 ed un angolo di circa 30° .

Con questa parte abbiamo terminato le istruzioni dettagliate per la progettazione di tutte le componenti dell'astrolabio; qualcosa è stato omesso per non appesantire eccessivamente la trattazione ed ulteriori approfondimenti saranno affrontati nelle parti seguenti. Adesso si tratta di mettere insieme le nozioni apprese sin qui e costruire materialmente lo strumento e, finalmente, utilizzarlo.

LA REALIZZAZIONE MATERIALE

A questo punto, avendo esaminato le parti costituenti un astrolabio, ed avendo illustrato le modalità di progettazione dei componenti geometrici e matematici, siamo in grado di costruirne materialmente uno.

Per coloro che non sono riusciti a seguirci completamente, probabilmente per nostri limiti nella capacità divulgativa, e quindi non sono in grado, o semplicemente non hanno voglia o tempo per disegnare cerchi, eclittiche, almicantharat, rete, ecc. mettiamo a disposizione un vero e proprio kit di montaggio con i disegni delle varie parti già pronti per l'uso. Sono gli stessi disegni che abbiamo utilizzato per le immagini di questo fascicolo, e sono allegati al termine del paragrafo.

Per prima cosa occorre procurarsi il materiale con il quale costruire l'astrolabio; non occorre fare spese folli, si può utilizzare del normale compensato (dello spessore di almeno 3 mm.), del robusto cartone o della plastica, tipo ad esempio, quei dischi che vengono utilizzati nelle pasticcerie per sostenere i dolci. Nei negozi fai da te si trovano, a bassissimo costo, fogli di diversi tipi di materiale plastico che possono andare benissimo per lo scopo.

Il migliore che ho trovato è costituito da fogli di plastica trasparente (detto vetro sintetico) disponibili in varie pezzature e spessori (2, 4, 6 mm). E' molto resistente, costa pochissimo ed è facile da lavorare, in particolare con il traforo ad archetto. Ulteriore materiale occorrente: un normale seghetto da traforo (quello che utilizzano anche i ragazzi per i lavori a scuola), un trapano con una punta da 4-5 mm, un tubetto di colla tipo superattack

Il supporto va ritagliato in tre fogli distinti di dimensioni 25 x 25 cm circa sui quali andranno incollati i tre diversi disegni. Il lavoro sarà più semplice stampando i disegni direttamente su carta autoadesiva.

Con il traforo tagliate tutti e tre i disegni lungo il bordo esterno della sagoma della madre compresa anche la prominente superiore con il foro centrale nel quale andrà fissato l'anello di sospensione. Avrete così ottenuto tre dischi esattamente identici e sovrapponibili.

Prendete adesso quello con la lamina e ritagliate esattamente il disco interno giallo facendo attenzione a ritagliare anche quel *dentino* che si vede in corrispondenza delle ore 12.

Avrete ottenuto il disco della lamina e la prima corona circolare del lembo. Prendete adesso il secondo disegno (la rete) e ritagliate internamente lungo il sottile bordo grigio scuro (tra cerchio esterno della rete e bordo interno del lembo) in modo da ricavare un'altra corona circolare, identica alla prima. Prendete il disco interno con il disegno della rete e ritagliate quest'ultima accuratamente. Questo forse è il lavoro più impegnativo perchè richiede maggior precisione nel taglio e cura nel non spezzare i sottili archi e le punte.

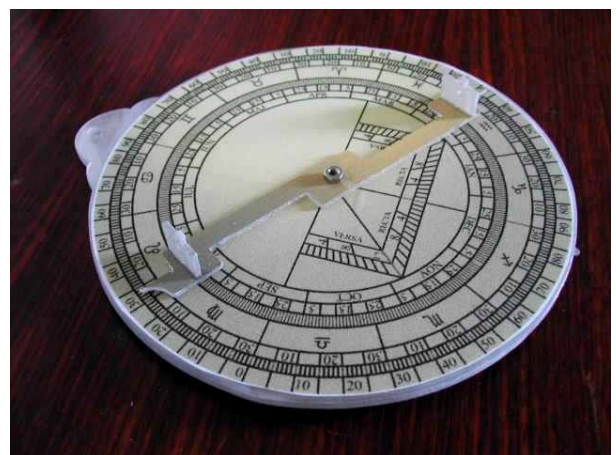
Adesso prendete le due corone, togliete la carta a quella di colore grigio e limatele internamente con un po' di tela abrasiva in modo da eliminare le piccole asperità e renderle uniformi e lisce; incollatele tra di loro e successivamente incollate il tutto sul disco del dorso, ovviamente dalla parte non stampata; fate in modo che tutte le parti coincidano esattamente.

Avete così ottenuto la madre.



I pezzi ritagliati. In alto la madre, costituita dai due lembi incollati sulla faccia anteriore del dorso (che si intravede in trasparenza).

Ritagliate adesso tutte le parti relative all'indice e all'alidada; i due quadratini identici e con il foro centrale costituiscono le mire: vanno incollate perpendicolarmente all'alidada facendo incastrare la due prominenze destre nei rispettivi intagli praticati alle estremità dell'alidada. Fate in modo che i due forellini siano esattamente allineati con il foro centrale.



Le due piccole sporgenze a sinistra (pinnule) servono per puntare oggetti poco luminosi (stelle). Ebbene adesso abbiamo veramente tutto.

Inserite la lamina all'interno della madre (rispettando l'incastro del dentino); sovrapponetela rete e controllate che possa ruotare agevolmente. In caso contrario si dovrà limarne il bordo con la carta

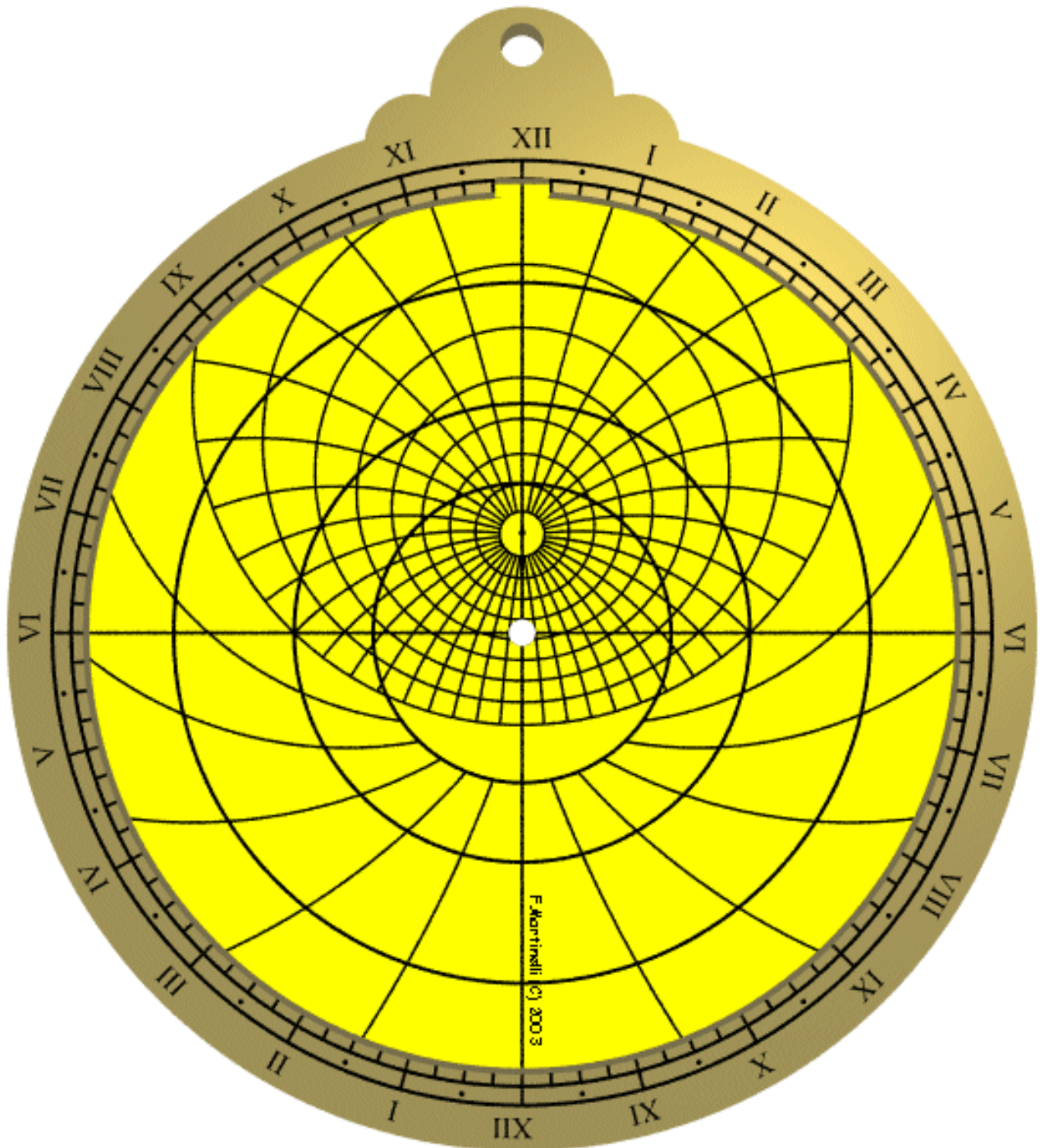
vetrata.

Con il trapano forate lo strumento esattamente al centro; sovrapporgete alla rete l'indice, fate passare un bulloncino nel foro centrale e fissate sul dorso l'alidada.

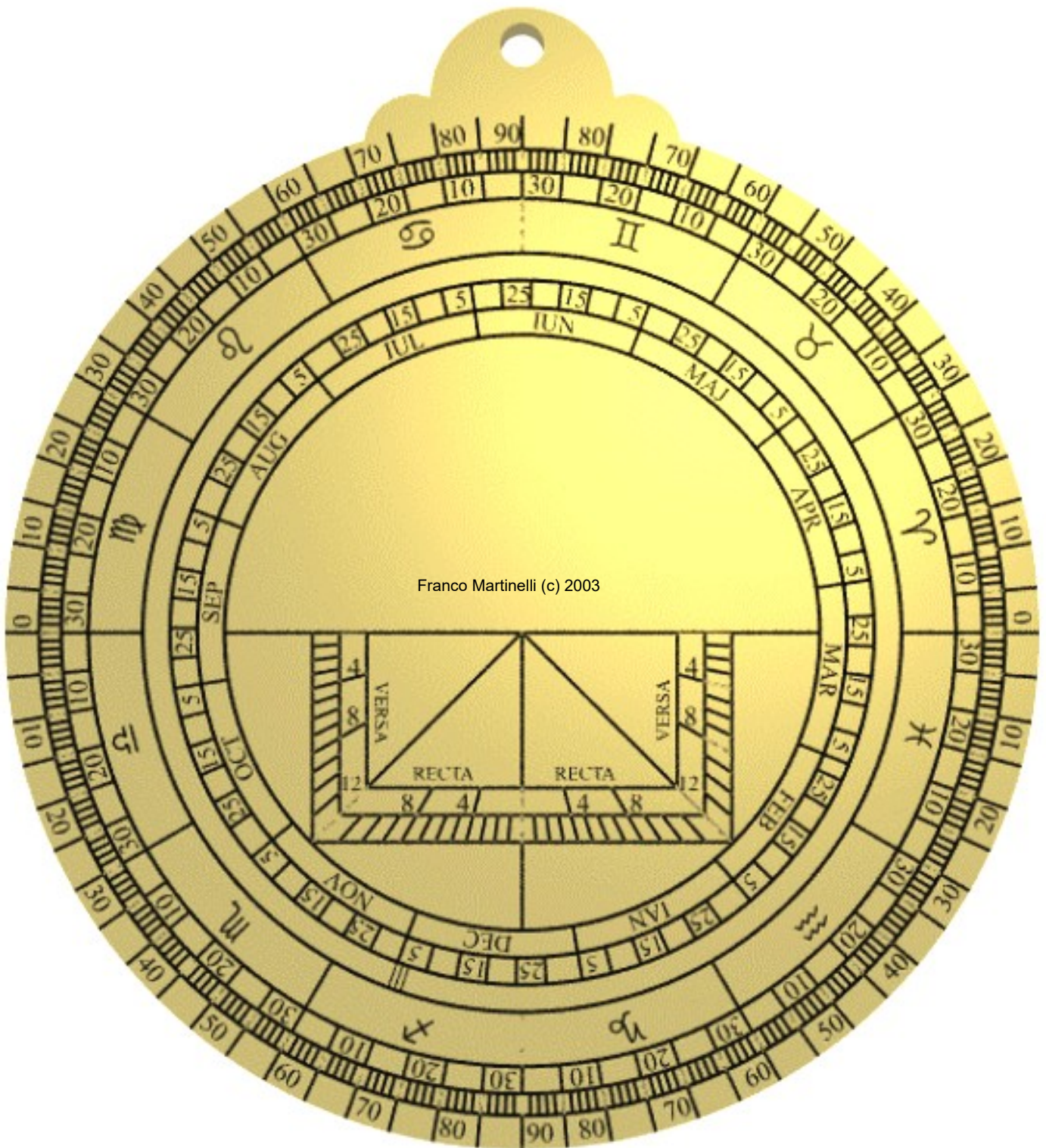
Serrate il bulloncino con un dado lasciando la possibilità alle parti mobili di ruotare dolcemente e senza sforzo.

L'astrolabio è pronto e dovrebbe apparire come nelle due fotografie più sopra.

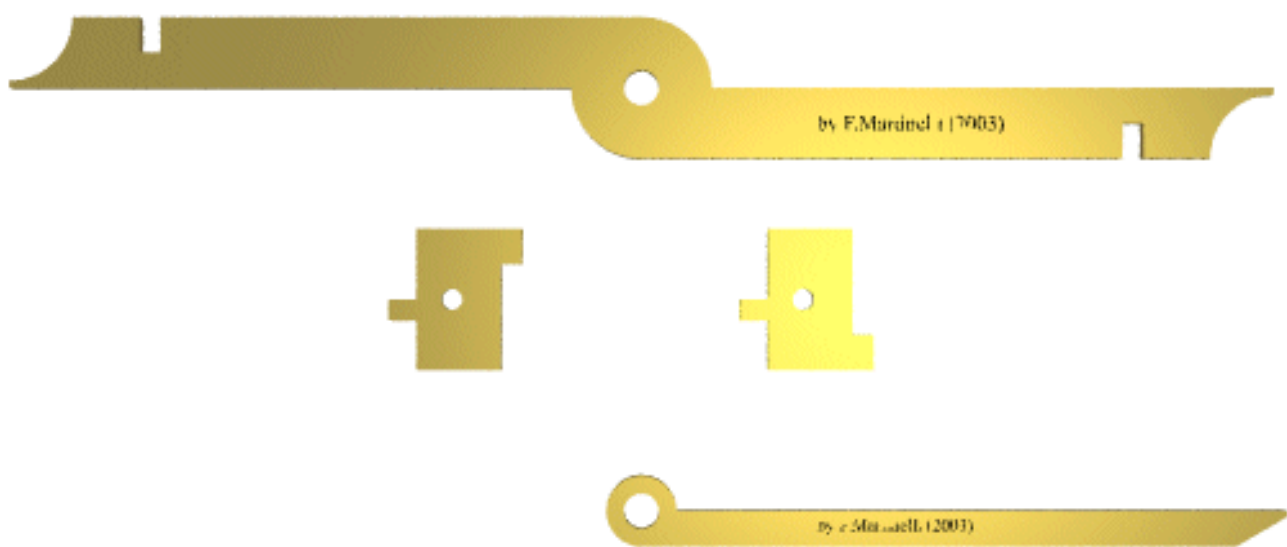
I MODELLI DA RITAGLIARE



La madre, il bordo e la lamina



Il dorso

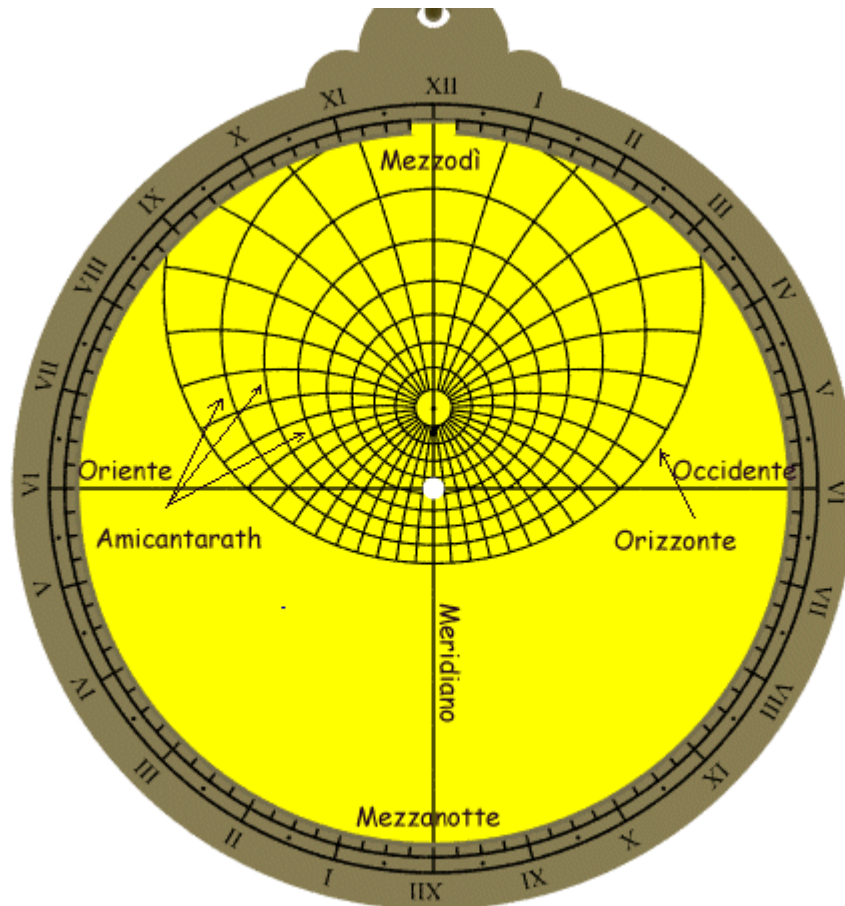


L'indice, l'alidada posteriore e le pinnule

USIAMO L'ASTROLABIO

Adesso che lo strumento è stato realizzato apprestiamoci ad usarlo.

Ricordiamo intanto alcuni particolari del modello, facendo riferimento all'immagine sotto riportata.



La lamina rappresenta la parte di sfera celeste relativa all'osservatore. Essa è pertanto calcolata per una e solo una latitudine, nel caso specifico 44° Nord.

Nel disegno essa è costituita dal disco giallo interno alla madre (di cui per semplicità non sono stati riportati, in questo caso, tutti i particolari).

La lamina è divisa verticalmente in due parti dalla linea meridiana, quella orientale posta alla sinistra e quella occidentale alla destra.

La parte alta del meridiano indica il cardine Sud (o mezzogiorno) e quella inferiore il cardine Nord (o mezzanotte),

I cerchi decentrati sono gli almicantarath, esprimono l'altezza di un astro sull'orizzonte e sono disegnati per multipli di 10° . Il cerchio più grande, interrotto in alto, è l'orizzonte (altezza 0°). Gli astri, ruotando la rete in senso orario, sorgono quando transitano sul lato orientale dell'orizzonte e tramontano quando toccano la linea destra dell'orizzonte (occidente).

Il puntino al centro del cerchio più piccolo è lo Zenith (altezza 90°).

Gli archi che intersecano perpendicolarmente gli almicantarath, e poggiano sull'orizzonte, sono i cerchi verticali e consentono la misura dell'azimuth. Sono tracciati ogni 10° . I due archi che toccano

l'orizzonte esattamente sulla linea orizzontale centrale rappresentano la direzione del punto cardinale Est ed Ovest; il loro azimuth sarà rispettivamente 90° e 270° .

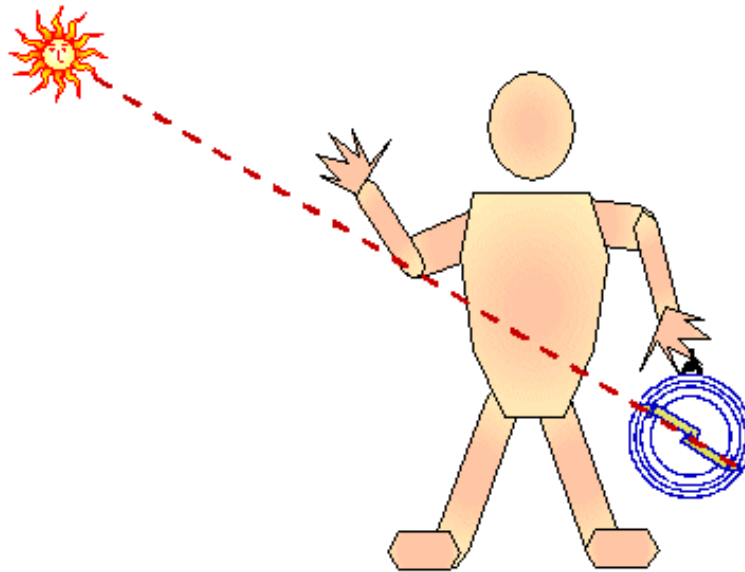
MISURARE L'ALTEZZA DI UN ASTRO

Questa è la prima operazione che bisogna imparare ad eseguire, perchè è di presupposto per alcuni impieghi dello strumento.

Si utilizza il dorso dell'astrolabio e l'alidada.

Nel caso del Sole occorre sospendere liberamente lo strumento tramite gli anelli superiori e disporlo nel piano verticale dei raggi solari; la superficie del dorso deve essere illuminata a luce radente e piccoli spostamenti la devono portare alternativamente in luce o in ombra.

A questo punto l'alidada va ruotata in modo che l'ombra della piastrina forata rivolta al Sole si proietti sulla piastrina opposta.



Con un po' di attenzione si fa in modo che il forellino luminoso al centro dell'ombra vada esattamente a cadere sul forellino della piastra in ombra.

Attenzione! Nella maniera più assoluta, il Sole NON va osservato direttamente attraverso i due forellini dell'alidada. L'osservazione diretta del Sole provoca danni irreversibili alla retina.

Fissata l'alidada in linea con i raggi solari, si legge sull'ultima scala circolare, in corrispondenza delle punte dell'alidada, il valore in gradi dell'altezza del Sole.

La scala delle altezze è fatta in modo che si può leggere indifferentemente da una o dall'altra estremità dell'alidada.

E' buona norma leggere entrambi i valori ed effettuarne la media, per ridurre gli errori di costruzione dello strumento.

Se ce la fate apprezzate la lettura sino al mezzo grado.

Nel caso delle stelle o dei pianeti, la misura va fatta osservando direttamente l'astro attraverso i due forellini, o se si preferisce, nel caso i cui l'astro sia poco luminoso, attraverso le due pinnule sporgenti sulla sinistra delle piastrine i cui bordi superiori sono esattamente allineati con il centro dei fori.

DETERMINARE LA LONGITUDINE DEL SOLE PER UNA DATA

Sul dorso dello strumento, si ruoti l'alidada in modo da allineare il bordo interno dell'alidada (quello passante per il centro dell'astrolabio) sulla data di calendario; in corrispondenza della scala zodiacale adiacente si leggano i gradi ed il segno.

Es. per il 6 Agosto lo strumento fornisce il valore 18 gradi nel segno del Leone; per il 5 Febbraio 15 gradi nell'Acquario; 21 Marzo zero gradi nell'Ariete.

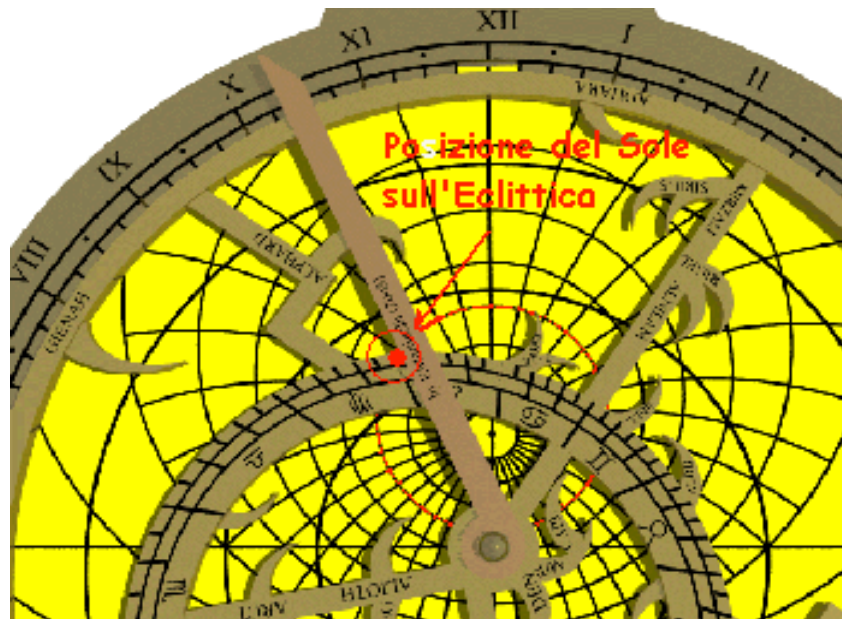
DETERMINARE L'ORA

Di giorno

Determinare la longitudine del Sole per la data.

Misurare l'altezza del Sole con l'alidada.

Sulla faccia anteriore dell'astrolabio ruotare l'indice in modo che segni sull'eclittica il valore in longitudine. Tale punto, sul bordo della rete, rappresenta la posizione del Sole sulla sfera celeste.



Ruotare solidalmente rete e indice in modo da portare il punto rappresentativo del Sole in corrispondenza dell'almicantarath relativo all'altezza misurata (nell'immagine è disegnato in rosso). Rispetto alla linea verticale centrale (meridiano) andrà portato sulla sinistra se l'ora è antimeridiana (questo almeno bisogna saperlo!), a destra se si è di pomeriggio.

L'indice stesso indicherà sul lembo l'ora corrispondente.

Es. Il 21 Agosto, di mattina, si misura l'altezza del Sole pari a 50°.

Dal retro si desume la longitudine del Sole pari a 29° nel Leone. Sulla faccia anteriore si imposta la rete e l'indice e si legge che sono le ore 10:15 poco più.

Aggiungendo l'ora legale estiva (che l'astrolabio ovviamente ignora) si arriva alle ore 11:15; un nostro orologio moderno indicherebbe le ore 11:30.

Beh, non c'è male, ma si può fare di meglio. Ovvio che da un tale strumento non ci si possa attendere la precisione di un orologio al quarzo; errori di costruzione, di osservazione, di misura, approssimazioni, posizionamento non perfetto dell'indice e della rete faranno sì che ci sia sempre una differenza tra l'ora ufficiale e quella dell'astrolabio. Anche se però lo strumento fosse perfetto riscontreremmo comunque alcune differenze tra le ore indicate dall'astrolabio e quelle di un nostro orologio.

Il nostro strumento infatti misura, come una meridiana, il tempo cosiddetto "vero", relativo cioè alla effettiva posizione del Sole nel cielo.

I nostri moderni orologi invece segnano il "tempo medio" che è leggermente diverso da quello vero ed in più lo segnano, non per il nostro meridiano bensì per quello centrale del fuso orario in cui siamo posizionati.

Ad es. a Viareggio, la seconda di queste due differenze comporta una correzione positiva sull'astrolabio di 19 minuti circa; quindi anziché 10:15 dovremmo leggere 10:34; l'altra correzione,

chiamata "equazione del tempo" è variabile durante l'anno e per il 21 di Agosto ammonta a circa 3 minuti, anche in questo caso da aggiungere, e si arriva così alle 10:37, se poi teniamo conto dell'ora legale si arriva alle 11.37.

Ben, abbiamo ottenuto una indicazione molto più vicina alla realtà e sufficientemente accettabile; in certi casi però l'errore potrebbe essere anche superiore ad una decina di minuti.

Vista con occhi moderni questa differenza ci potrebbe apparire notevole; magari è in grado di farci perdere un appuntamento, un treno, una trasmissione televisiva, farci arrivare tardi a pranzo. Nel medioevo, a prescindere che il tempo che si misurava era quello vero e quindi non vi era necessità di fare ulteriori aggiustamenti non c'erano le esigenze di precisione della nostra vita moderna e quindi le indicazioni dello strumento non erano messe in discussione.

Ricordiamo comunque, ogni volta che determiniamo un orario, di aggiungere le necessarie correzioni.

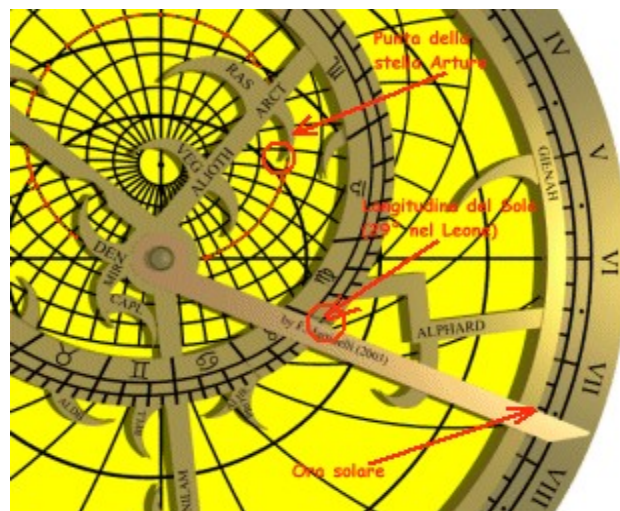
Di notte

Determinare la Longitudine del Sole per la data.

Misurare l'altezza di una stella qualsiasi (tra quelle rappresentate sullo strumento, ovviamente) e ruotando la rete portare la punta della fiamma in corrispondenza del relativo almicantarath. Se l'astro è ad Est del meridiano va portato a sinistra della linea centrale, a destra nel caso contrario.

Ruotare l'indice e portarlo ad indicare la posizione del Sole sull'Eclittica. L'indice stesso, sul bordo indicherà l'ora attuale.

Esempio, sempre il 21 di Agosto si misura l'altezza della stella Arturo, 41° , osservata in direzione più o meno occidentale.



Si porta la punta indicante la posizione di Arturo (sulla rete abbreviata in Arct) sull'almicantarath di 40° (segnato in rosso) spostandolo un capellino verso i 50° . Avendolo osservato verso Ovest la punta andrà posizionata sulla metà destra dello strumento. Si porta l'indice a segnare sull'eclittica la longitudine 29° nel Leone (corrispondente al 21 di Agosto). Troveremo le 7:40 pomeridiane alle quali andranno aggiunti i consueti 25 minuti (sempre per Viareggio). Otteniamo così le ore 8:05 cui bisogna ancora aggiungere l'ora estiva e si arriva alle 9:05 circa.

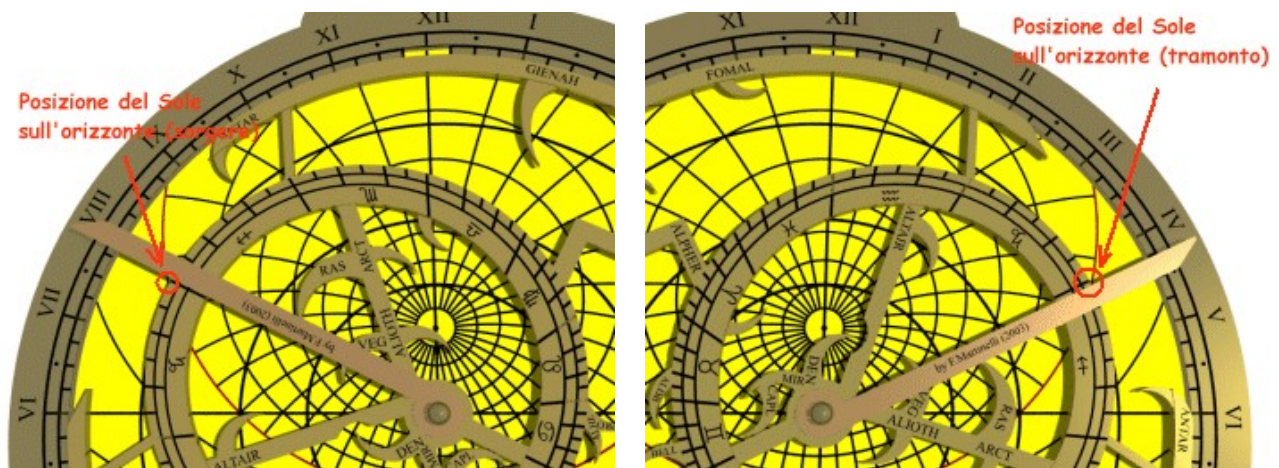
Essendo di sera in realtà leggeremo le ore 21:05, esattamente quanto segnerebbe il nostro orologio. Questa volta ci è andata meglio, lo strumento è stato preciso.

SORGERE , TRANSITO E TRAMONTO DEL SOLE

Proviamo ora ad esaminare il comportamento del Sole in un dato giorno, ad esempio il 21 Dicembre, Solstizio invernale e giorno più corto dell'anno.

Dal calendario notiamo che il 21 Dicembre il Sole ha longitudine 0° nel segno del Capricorno. Poniamo sulla faccia anteriore l'indice in corrispondenza di tale posizione sull'eclittica e ruotandolo solidalmente con la rete allineiamo tale punto con l'orizzonte, lato sinistro). Nelle due figure sotto riportate l'orizzonte è disegnato in colore rosso.

Leggiamo sul lembo le ore 07:45 circa. Questa, opportunamente corretta, è l'ora del sorgere del Sole. Spostiamo adesso rete ed indice sul lato destro, in corrispondenza ancora dell'orizzonte e leggiamo, per il tramonto, le ore 0415 circa.



Si nota che la differenza orarie tra il sorgere ed il mezzogiorno e tra il mezzogiorno e il tramonto sono identiche: quattro ore e quindici minuti.

Non è certo una novità; anche se per il Sole non è rigorosamente vero, l'arco diurno di un astro è simmetrico rispetto all'istante del passaggio in meridiano.

Non è pertanto necessario calcolare i due istanti separatamente ma è sufficiente determinarne uno solo per avere automaticamente anche l'altro.

Lo strumento ci dice che il 21 Dicembre il giorno dura 8 ore e 30 minuti e la notte 15 ore e 30 minuti.

Il Sole sorge tra il terzo ed il quarto verticale più a Sud di quello del cardine Est (90°); l'azimuth pertanto è circa 125° . Analogamente si ricava per l'azimuth al tramonto il valore di circa 235° .

Se spostiamo eclittica ed indice in modo che corrispondano con il meridiano possiamo determinare l'altezza massima del Sole a mezzogiorno (vero) e troveremmo che è circa 21° - 22° .

Confrontiamo adesso questi dati con quelli reali: A Viareggio il 21 Dicembre il Sole sorge alle ore 08:00 e tramonta alle 16:42; il giorno dura 8 ore e 42 minuti; l'azimuth al sorgere è 125° , al tramonto 235° e l'altezza al transito in meridiano è esattamente $21^\circ 05'$.

Lasciamo a voi il compito di correggere gli orari e verificare la precisione dei calcoli. Gli stessi elementi si possono ovviamente ricavare per qualunque stella riportata sulla rete.

LUNA E PIANETI

Sull'astrolabio questi astri non sono riportati semplicemente perchè non è possibile farlo. Il loro moto sia rispetto allo sfondo delle stelle che rispetto al Sole è estremamente complicato e vario da non consentirne alcun tipo di rappresentazione.

Questo non esclude che non sia possibile eseguire calcoli per tali astri. Pianeti e Luna infatti non si discostano mai molto dal piano dell'orbita terrestre e quindi dal circolo dell'eclittica; desumendo la loro longitudine da tavole astronomiche è possibile riportare, con una certa approssimazione, la loro posizione sull'astrolabio ed eseguire i calcoli.

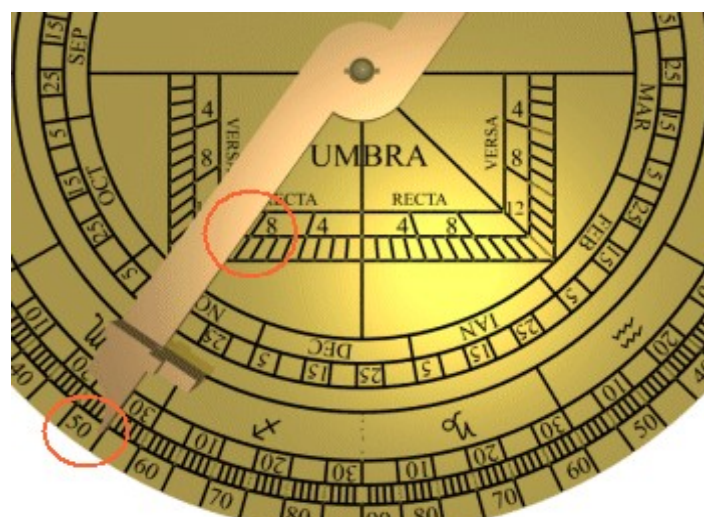
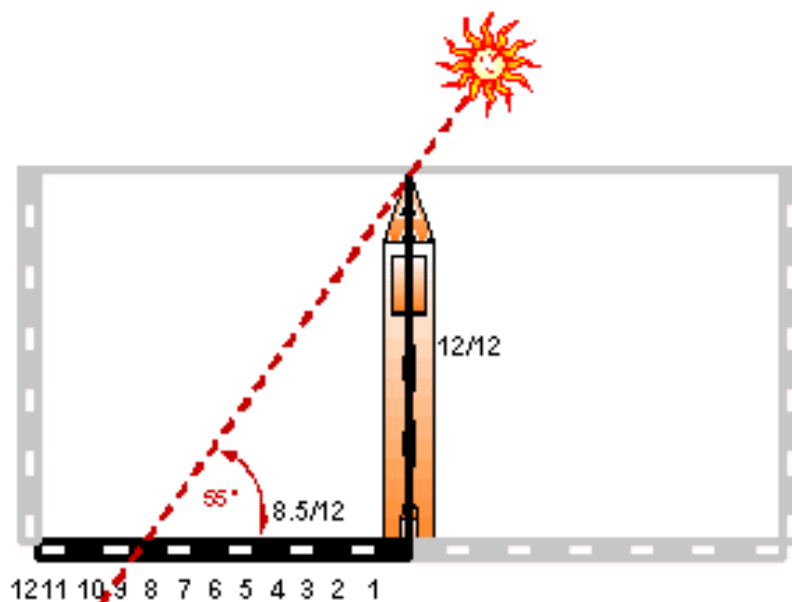
La longitudine può anche essere determinata senza tavole, con un po' di esperienza. Ad esempio quando la Luna è piena, essa è dalla parte opposta del Sole; basterà così prendere in esame il punto dell'eclittica esattamente opposto alla posizione occupata dal Sole, ed il gioco è fatto. Quando la

Luna è al primo quarto, la sua longitudine differisce di 90° da quella del Sole, il che equivale a tre segni zodiacali esatti, e così via.

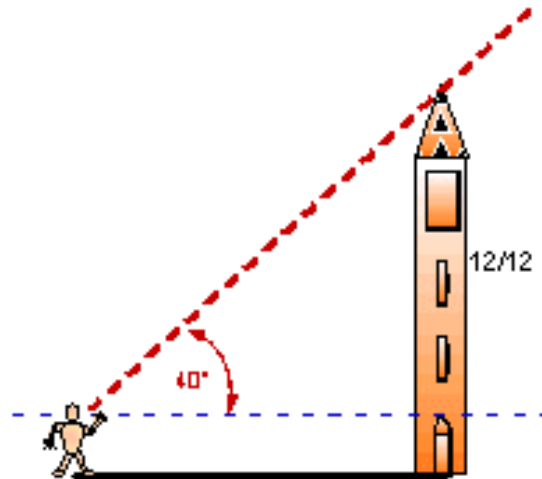
Facciamo un esempio. Nel mese di Agosto 2003 la Luna è piena il giorno 12. Sul dorso dell'astrolabio posizioniamo un braccio dell'alidada su tale data; l'altro braccio ci indicherà la posizione diametralmente opposta, cioè la longitudine della Luna che sarà pari a 20° nell'Acquario. Giriamo l'astrolabio e posizioniamo la rete in modo che tale punto coincida con l'orizzonte orientale; spostiamo l'indice, senza muovere la rete, sulla effettiva posizione del Sole (20° in Leone) ed otteniamo l'ora (vera) del sorgere della Luna: 07:00 del pomeriggio più i nostri consueti 25 minuti e l'ora legale ed abbiamo le ore 20.25. In effetti la Luna si leva alle ore 21.10. Siamo un po' lontani, a causa della non perfetta corrispondenza tra posizione della Luna ed eclittica, però tutto sommato, un'idea dell'ora del sorgere ce lo siamo fatto.

L'ASTROLABIO COME TEODOLITE

Ad una certa ora del pomeriggio l'ombra gettata da un campanile è lunga ad es. 20 passi; se ne vuole misurare l'altezza.



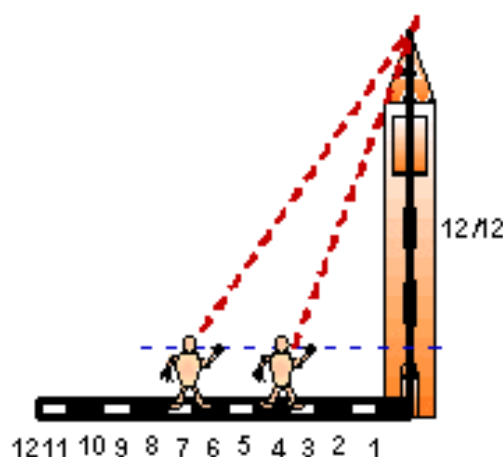
Con l'alidada si misura l'altezza istantanea del Sole e supponiamo risulti essere 55° . Senza muovere l'alidada si osservi la sua parte inferiore sovrapposta al quadrato dell'umbra recta, posto nella parte centrale dello strumento e si noti che passa tra la tacca 8 e 9. Essendo i lati del quadrato divisi in dodici parti significa che l'ombra è pari a $8.5/12$ dell'altezza che quindi risulta essere 28.3 passi.



Allo stesso risultato si arriva, misurando, anziché la altezza del Sole e la lunghezza dell'ombra, l'elevazione orizzontale della sommità del campanile e la distanza del punto di osservazione dalla base. Trovato sul quadrato delle ombre il rapporto tra distanza ed altezza sarà facile calcolare quest'ultima, ricordandoci di aggiungere l'altezza dell'osservatore.

Nel caso in cui l'altezza del Sole, o l'angolo sotteso dall'oggetto, fosse inferiore ai 45° e quindi la lunghezza dell'ombra maggiore dell'altezza del campanile, occorrerà utilizzare la parte del quadrato indicato con il termine versa e si assumerà come unità di riferimento la lunghezza dell'ombra anziché l'altezza del campanile.

Così con una altezza del Sole di circa 20° l'alidada si ferma poco oltre la tacca 4 e l'ombra sarà lunga circa 78 passi circa. Vuol dire che l'altezza sarà i $4/12$ della lunghezza dell'ombra.



Estremamente versatile si presenta lo strumento quando invece, come accade per la maggior parte delle volte, si debba misurare l'altezza di un oggetto di cui non sia possibile raggiungere la base come, ad esempio, la vetta di una montagna.

In questo caso, ricordando che ogni intervallo delle tacche sul lato orizzontale corrisponde ad altrettanti dodicesimi del lato verticale, sarà sufficiente osservare la sommità dell'oggetto da due

punti tali che la differenza di distanza corrisponda a due intervalli scelti a piacere. Ad esempio si osserva la sommità in modo che l'alidada segni 7 e poi avvicinandosi all'oggetto che segni 4. Si marchino sul terreno i punti corrispondenti e se ne misuri la distanza (base); questa sarà i tre dodicesimi (7 meno 4) dell'altezza, la quale a sua volta sarà pari $12/3$, ovvero 4 volte, la misura della base.

Gli esercizi proposti sono solo alcuni esempi delle ampie possibilità offerte dallo strumento; tra l'altro non sono nemmeno neanche i più complicati, e sono quelli che potrebbero avere un senso ancora oggi, nella nostra vita quotidiana.

Il *Trattato sull'astrolabio* di G. Chaucer, da cui abbiamo attinto a piene mani e al quale si rimandano gli interessati, riporta addirittura 46 esercizi e proposte didattiche alcune delle quali molto raffinate e da veri esperti astronomi.

L'ASTROLABIO COME STRUMENTO DI NAVIGAZIONE

Sin dalla più remota antichità gli astronomi sono stati in grado di calcolare la latitudine di un luogo misurando semplicemente l'altezza di un astro di coordinate astronomiche note, al suo passaggio in meridiano.

I naviganti, sempre alla ricerca di metodi per determinare la loro posizione nell'ampio e uniforme scenario del mare non potevano non adottare l'astrolabio quale strumento di navigazione. Colombo stesso nel suo Diario di bordo lo cita espressamente anche se poi si lamenterà del fatto di non essere riuscito a trarne informazioni affidabili.

Lo strumento poteva essere utilizzato, non solo come sussidio astronomico ma anche per la navigazione costiera. Misurando infatti l'elevazione di una montagna o torre costiera di altezza nota, con il diagramma *Umbra recta e versa* si poteva calcolare la distanza della nave da tale oggetto, così come si fa oggi con il radar.

L'astrolabio, nelle mani dei naviganti e particolarmente dopo il 1600, subì trasformazioni ed adattamenti continui sino a diventare quello strumento oggi noto con il nome di sestante. Con lo sviluppo della navigazione ed il periodo delle scoperte geografiche ogni nave aveva a bordo anche più di un esemplare. Ogni tanto, dai relitti di velieri e galeoni in fondo al mare, tornano ad affiorare stupendi esemplari di tali strumenti.

GLI ASTROLABI MODERNI



L'astrolabio è uno strumento medievale, ma data la sua estrema versatilità ciò non toglie che in versioni più semplici e moderne sia tutt'oggi utilizzato, in alcuni casi anche a livello professionale. L'uso più frequente è quello di semplice presentatore del cielo ad uso di astrofili e appassionati che, non avendo ancora dimestichezza con le stelle, hanno bisogno di qualcuno, o qualcosa, che li aiuti a riconoscerle. Il concetto di base rimane identico a quello dell'astrolabio planisferico; si tratta di due dischi sovrapposti, di cui uno trasparente, sui quali sono rappresentati l'insieme delle stelle fisse e l'orizzonte dell'osservatore, in genere calcolato per una sola latitudine. La rotazione di un disco rispetto all'altro permette di rappresentare le stelle visibili al di sopra del proprio orizzonte. Un esempio è quello riportato nell'immagine sopra, prodotto dalla rivista Nuovo Orione.

Molto noto tra i naviganti è un tipo di astrolabio conosciuto come Star-Finder.



E' costituito da un disco di plastica bianca e rigida sulle cui entrambe facciate sono riportate solo le stelle cosiddette navigabili, cioè quelle più frequentemente utilizzate dai marinai per le loro osservazioni astronomiche (una settantina circa).

Vi sono inoltre nove dischi trasparenti intercambiabili su cui sono tracciati gli almicantarath e i cerchi verticali, ognuno per una data latitudine.

Sovrapponendo i dischi e orientandoli opportunamente è possibile misurare l'altezza e l'azimuth delle stelle.

Lo strumentino serve a individuare quali siano le migliori stelle osservabili al momento dei crepuscoli nautici e quindi programmare l'insieme delle osservazioni con il sestante per la determinazione del punto nave astronomico.

E' inoltre fornito un decimo disco che consente di disegnare a matita sul supporto di base la posizione dei pianeti o di altre stelle.

CONCLUSIONE

POV-RAY

Il POV-RAY, abbreviazione di Persistence of Vision è un potentissimo programma di creazione di immagini virtuali fotorealistiche.

Descrivendo una serie di oggetti e ambientandoli in un dato contesto il programma si occupa di ricostruire la scena nei minimi dettagli di ombre e luci creando una immagine estremamente realistica e che, nelle mani di esperti utenti, spesso diventa indistinguibile da una fotografia. Il bello è che il programma, sostenuto da un team internazionale di appassionati, è completamente gratuito.

Tutte le immagini che hanno corredato questa monografia dedicata all'astrolabio sono state ottenute con il POV-RAY costruendo nei minimi dettagli ed in tutte le sue parti uno strumento virtuale e virtualmente funzionante.

Per chi conosce già il POV-RAY, o chi vuole provare ad utilizzarlo, mettiamo a disposizione il file completo dell'astrolabio, sufficientemente documentato per comprenderne la logica realizzativa.

L'astrolabio virtuale è personalizzabile in latitudine. Questo significa che è possibile impostare una qualunque latitudine da 0° a 90° ed il programma provvederà a calcolare automaticamente linee e curve della lamina.

Il file è molto lungo e la sua trascrizione può comportare inevitabilmente errori.

Ricercare questi errori e le eventuali cause di malfunzionamento, per chi non ha scritto direttamente il file, può essere molto complicato e richiedere molto tempo. Evitiamo quindi di riportarne il testo in questa sede (occuperebbe da solo una trentina di pagine) ed invitiamo, chi ne abbia interesse a richiederlo via posta elettronica al seguente indirizzo: fram@interfree.it

Il programma originale POV-RAY e completo di file di esempio può essere scaricato gratuitamente da chiunque, direttamente dal sito www.povray.org.

Il nostro trattello sull'astrolabio è finalmente concluso. Il nostro lavoro non vuole ovviamente essere esaustivo nè tanto meno perfetto; è solo un modesto contributo, tra i tanti che si possono trovare per una migliore comprensione di uno degli strumenti scientifici più geniali che l'uomo abbia mai inventato.

Ci auguriamo che qualcuno abbia tratto giovamento da quanto abbiamo presentato e se qualcuno è riuscito a realizzarne uno sulla base delle nostre indicazioni riteniamo che la nostra piccola fatica abbia raggiunto il suo scopo.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Per la stesura di questo articolo sono state consultate le seguenti pubblicazioni:

A treatise on the astrolabe - G. Chaucer

The history and practice of ancient astronomy - J. Evans

Masterpieces from the time museum - Sotheby's

L'astronomia - F. Hoyle

Meridiane - R. Rhor

L'astronomia prima del telescopio - C. Walker

Il libro degli astrolabi - N. Severino

Di un astrolabio settentrionale - Coelum 12/96 A. Da Schio

Sono stati letti articoli di riviste occasionalmente capitatemi tra le mani, voci di enciclopedie di cui non sono più in grado di citare i riferimenti.

Sono stati inoltre consultati diversi siti Internet.

Non ne riporto qui i vari indirizzi, in quanto spesso soggetti a variazioni e spostamenti.

Chi vuole scandagliare la rete potrà utilizzare un qualunque motore di ricerca, meglio se più di uno, digitando le voci: astrolabio, astrolabe, astrolabes, astrolabium.