

PREFAZIONE

Questa pubblicazione dovrebbe permettere la comprensione del funzionamento dell'orologio solare costruito nella zona verde antistante l'ingresso studenti dell'ITIS "Nobili" di Reggio Emilia e la lettura su di esso dell'ora vera locale e di quella civile. Contiene, inoltre, alcuni brevi articoli che dovrebbero risultare utili ai lettori non esperti per comprendere meglio i problemi astronomici. Le parti indispensabili, per saper rispondere alla domanda "che ore sono?", sono quelle che vanno da pag. 9 a pag. 17; dunque un lettore frettoloso può limitarsi ad esse oppure più semplicemente può consultare il suo orologio e, allo stesso tempo, restituire la presente pubblicazione che non gli sarebbe di alcuna utilità. Chi, invece, volesse approfondire l'argomento, troverà alcuni suggerimenti nella bibliografia riportata alla fine del testo.

L'interesse mostrato, negli anni passati, da molti allievi per l'astronomia, mi ha suggerito la progettazione di un orologio solare, da posizionare nel nostro istituto, un orologio che potesse essere utilizzato non solo dagli allievi del polo di via Makallè, ma anche dagli studenti reggiani e dalle loro maestre, che spesso si servono delle colonne del teatro Municipale e dei gessi colorati per le loro "osservazioni astronomiche".

Nell'aprile dell'anno 2003, è stato perciò formato un gruppo di lavoro con alcuni studenti di classi ed età diverse, ma avventi in comune l'interesse per il problema; negli incontri iniziali, sono stati progettati i modelli e le apparecchiature necessarie alla raccolta dei dati sperimentali utili alla costruzione definitiva dell'orologio. Tutto ciò è stato possibile grazie all'eccellente, appassionato e gratuito lavoro del nostro tecnico di laboratorio Franco D'Angelo, che ringrazio sentitamente, perché senza

di lui l'orologio non sarebbe mai stato realizzato.

I dati sono stati ricavati mediante osservazioni effettuate ad intervalli di circa 15 giorni, sole permettendo, dal settembre 2003 al settembre 2004. Nel giugno 2004 è stato realizzato un basamento circolare in cemento armato di raggio 3,50 metri; in esso sono state tracciate le direzioni Nord-Sud ed Est-Ovest e nella loro intersezione, che è il centro del basamento, è stato posto un chiodo di acciaio che ha coordinate $10^{\circ} 38' 14''$ di longitudine Est e $44^{\circ} 42' 24''$ di latitudine Nord, che rappresentano i valori di riferimento per i nostri calcoli (fig. 1). Il lavoro è stato poi completato, nei mesi successivi, mediante l'incisione di due lastre d'acciaio ed il loro posizionamento sul basamento del cortile dell'istituto (fig. 2).

La speranza, che mi ha spinto alla realizzazione dell'orologio solare, è quella di accendere la curiosità sui movimenti degli oggetti celesti a noi più vicini: il Sole, la Luna, i pianeti visibili ad occhio nudo. Poiché, però, in questi ultimi anni l'interesse per lo studio della fisica (ma non solo di essa ed in ogni genere di scuola...) è diminuito esponenzialmente, il timore, che è sopraggiunto durante il lavoro, è che l'orologio possa diventare il monumento funebre all'insegnamento scientifico. Infatti, tutte le riforme della scuola, proposte negli ultimi trent'anni, non hanno ostacolato, ma anzi favorito, tale tendenza.

La fisica è giudicata da molti studenti materia difficile ed è vero, ma insegna a ragionare, ad essere critici, ad esaminare con attenzione i problemi, non può essere imparata se la si studia per pochi minuti dopo che in classe si è stati disattenti. In tali condizioni, diventa conveniente avvalersi fin dall'inizio dell'anno scolastico

del "debito formativo", debito che tra le altre cose, può anche non essere pagato! Che sia davvero questo il significato dell'aggettivo "formativo" ?

Forse sono pessimista, ma bisognerà prima o poi dire ai ragazzi e ai loro genitori che il mondo d'oggi è un mondo di competizione durissima, in cui prevale chi è preparato ed è abituato a gareggiare e che da una scuola permissiva, lassista, indisciplinata, non possono che uscire in maggioranza giovani disabituati ad ogni regola, impreparati culturalmente e spiritualmente, del tutto disarmati nei confronti del loro futuro.

Reggio Emilia, li 14 aprile 2005

Luciano Burani

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato possibile grazie all'aiuto di molte persone.

Ringrazio pertanto il Collegio Docenti ed il Consiglio d'Istituto dell'ITIS "Nobili" per aver approvato il progetto per la realizzazione dell'orologio solare e di questa pubblicazione.

Sono grato ai miei allievi: Aldini Manuel, Beltrami Luca, Bonacini Riccardo, Borciani Serena, Nguyen Luca e Pedretti Davide, che hanno partecipato alla progettazione iniziale dell'opera ed hanno poi scritto alcuni degli articoli che compaiono nel presente libretto; sono ragazzi e ragazze in gamba, sono orgoglioso che siano stati miei allievi e sono certo che diventeranno tecnici e uomini di valore.

Ringrazio i colleghi proff. Cellario Massimo, Feola Claudio, Mattina Giuseppe, Rosselli Luigi, Vercalli Ivan e Ghirardini Patrizia, Luppi Adelmo, Marra Massimo e Veroni Grazia che mi hanno

aiutato in varie fasi del lavoro; grazie anche ai colleghi e alle colleghe che non hanno mai smesso di incoraggiarmi e di mostrare apprezzamento per quanto stavo facendo, permettendomi di superare le molte difficoltà incontrate. Ringrazio il personale tecnico ed ausiliario dell'Istituto, che ha spesso aiutato me e D'Angelo nel trasporto delle apparecchiature e nella rilevazione dei dati sperimentali.

Grazie alla dott. Bennicelli Anna che ha ideato la copertina del libro e mi ha fornito preziosi suggerimenti grafici.

Per ultimo, ma non certo in ordine di importanza, voglio ringraziare di nuovo il tecnico del laboratorio di Fisica, D'Angelo Franco che ha mostrato eccezionali capacità progettuali e realizzative: una breve spiegazione del problema era sufficiente per giungere in tempi brevi alla sua soluzione. Tutte le parti meccaniche e le regolazioni, sono state da lui costruite nei laboratori e nelle officine dell'Istituto. Come ho già scritto, senza di lui l'Orologio Solare dell'ITIS " Nobili" di Reggio Emilia, non sarebbe mai stato realizzato; la mia gratitudine nei suoi confronti discende anche dall'amicizia che mi ha mostrato in questi tre anni di difficile lavoro.

Le persone sopra citate non hanno ricevuto alcun compenso per la loro opera.

Tutte le figure ed i disegni che compaiono nella pubblicazione, tranne le figg. 1, 10, 11, sono state eseguite da me o da D'Angelo e possono essere utilizzate, soltanto a scopo didattico, all'interno delle scuole.

Questa pubblicazione, assieme al file per la stampa di un quadrante solare simile all'originale, può essere scaricato dal sito:

www.itisnobili.org

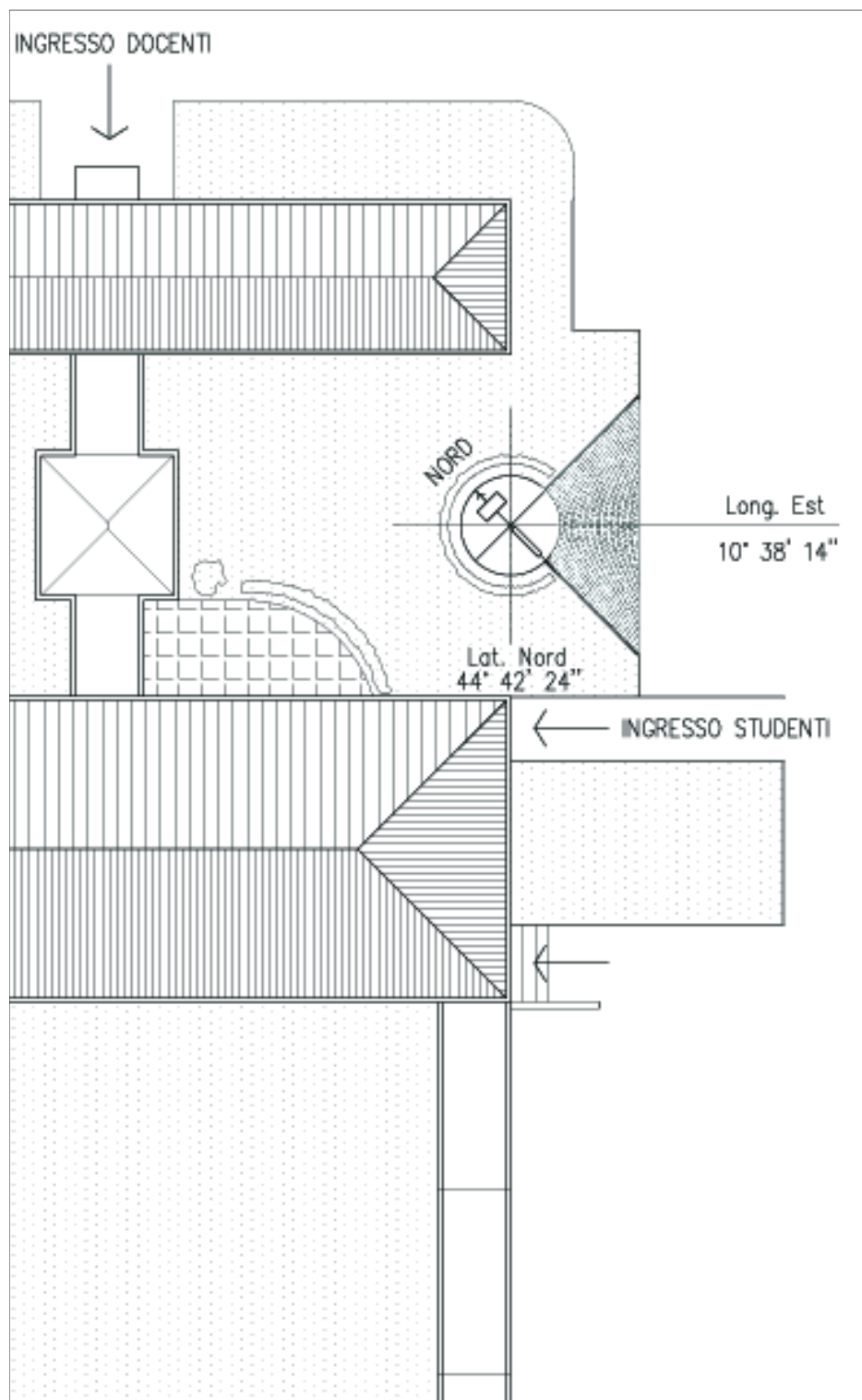


Fig. 2. Planimetria dell'intervento.

INDICE

Prefazione	1
1. Il tempo: realtà o illusione?	7
2. La misura del tempo.	9
3. Meridiane ed orologi solari.	11
4. Misura astronomica e misura civile del tempo.	17
5. Determinazione del tempo medio civile.	19
6. Il tempo.	21
6.1. Unità di misura.	21
6.2. Fusi orari.	24
6.3. Tempo universale coordinato.	25
7. Da Platone a Newton: brevi note di storia dell'astronomia.	27
7.1. L'enunciato di Platone.	27
7.2. Tolomeo e il sistema geocentrico.	28
7.3. Copernico e il sistema eliocentrico.	28
7.4. Tyco Brahe, Keplero, Newton.	30
8. Il cerchio di Ipparco.	34
9. La precessione degli equinozi.	38
10. Eratostene misura la Terra.	39
11. Il calendario.	40
11.1. Cenni astronomici.	42
11.2. Il calendario Giuliano.	43
11.3. La chiesa cattolica e la data della Pasqua.	44
11.4. Gregorio XIII e la riforma del calendario.	44
11.5. Futuro del calendario.	47
12. Orologi antiorari.	49
13. Astronomia e astrologia.	50
13.1. Astrologia	50
13.1.1. Fondamenti "scientifici".	50
13.1.2. La stesura di un oroscopo.	51
13.1.3. Come si avverano le previsioni.	53
Appendice	58
Bibliografia.	

1. IL TEMPO: REALTA' O ILLUSIONE?

di Massimo Cellario.

Non c'è risposta più difficile da dare, quando ci si sente chiedere che cosa sia il tempo.

Tutti noi facciamo uso del tempo: lo consideriamo qualcosa di nostro, parte integrante di noi stessi, che ci permette di cambiare il nostro modo di essere e in parte anche ciò che ci circonda, compatibilmente con la libertà che ci è concessa e con la analoga libertà degli altri esseri che abbiamo intorno a noi, non disgiunta dalle leggi naturali dell'ambiente in cui siamo immersi.

Contemporaneamente però ci accorgiamo di vivere nel tempo, in un particolare tempo storico, frammento di un tempo universale; esso mette a dura prova la nostra immaginazione, perché ha le sue radici in un lontanissimo passato, nel quale poniamo istintivamente l'origine del mondo (evitando con cura di chiederci che cosa ci fosse "prima"), e soprattutto perché si proietta in un futuro che ci sembra destinato a non finire mai e che consideriamo come l'inconoscibile per antonomasia, pur sapendo che lo costruiamo tutti insieme momento per momento tramite il presente: in questa accezione, il tempo ci appare come qualcosa che scorre con una regolarità assoluta, che non ha riguardi per nessuno, che ci conduce inesorabilmente lungo tutte le fasi della vita, dalla infanzia fino alla vecchiaia, a meno che il ciclo naturale non venga interrotto lungo il cammino da vicende avverse.

Molti pensatori da sempre si sono prodigati nel penetrare questo mistero con la sola forza della mente umana, mettendone in rilievo gli aspetti psicologici oltre che quelli filosofici; su questo argomento si è visto convergere l'attenzione di umanisti e di scienziati, alla ricerca di una concezione condivisibile. Il contributo degli scienziati ha spaziato dal tempo assoluto

ipotizzato da Newton nel diciassettesimo secolo fino al tessuto spazio-temporale descritto da Einstein nel secolo testé trascorso.

Lungo questo percorso, la natura fondamentale del tempo è rimasta un problema aperto, ma un barlume di luce è comparso quando ci si è accorti che sarebbe stato bene distinguere il tempo, genericamente inteso, dalla durata dei fenomeni: se il primo permane sostanzialmente un mistero, la seconda invece è entrata nel pieno dominio della scienza perché si è rivelata misurabile; con ciò la durata di un fenomeno ha assunto le qualità di una vera e propria grandezza fisica (anche se dipendente dal sistema di riferimento dell'osservatore).

In un primo momento, la regolarità, percepita come caratteristica dello scorrere del tempo, è parsa descrivibile tramite il ripetersi di determinati fenomeni: l'alternarsi del dì e della notte ha fatto sorgere l'idea del giorno, il ciclo lunare ha dato origine al computo dei mesi, il ciclo delle stagioni - tramite l'osservazione della posizione del sole tra le stelle cosiddette "fisse" - al computo degli anni: tutti questi fenomeni hanno portato alla definizione dei vari calendari. Di quando in quando però è stato necessario modificare il calendario in vigore, perché nel susseguirsi degli anni non appariva più in grado di descrivere correttamente il succedersi dei fenomeni ricorrenti.

Fondamentale fu la scoperta dell'isocronismo delle piccole oscillazioni del pendolo fatta da Galileo Galilei: effettivamente, la simmetria delle posizioni assunte di volta in volta dal pendolo e la ripetizione del medesimo valore assoluto della sua accelerazione tangenziale in corrispondenza di ogni sua posizione sono la causa della regolarità con cui si presenta la durata di

una sua piccola oscillazione, senza nemmeno risentire della riduzione dell'ampiezza del moto dovuta all'intervento dell'attrito con l'aria.

Ci si accorse così che né il sole né la luna sono in grado di fornirci esempi di orologi "perfetti" ed iniziò la corsa alla identificazione di un fenomeno rigorosamente riproducibile, da utilizzare per la individuazione migliore possibile della unità di misura della durata: pertanto il minuto secondo (chiamato poi semplicemente "secondo") subì successive ridefinizioni tendenti a migliorarne la precisione, né più né meno di quanto successe all'unità di misura delle lunghezze, il metro. Oggi siamo soddisfatti di una sua definizione che si appoggia su una specialissima regolarità che è stata trovata nell'intimo della materia, all'interno dell'atomo di Cesio133.

Potendo ora contare su misure precisissime di durata, basterà dunque sincronizzarsi su quanto indicato dall'orologio atomico? Può sembrare strano, ma non è così. Il ritmo della nostra vita non può prescindere dal sorgere e dal tramontare del sole, fonte primaria di luce e di vita: è troppo importante per noi basarsi su un orario che non si discosti troppo dalle indicazioni del pur non perfetto orologio naturale costituito dal sole. Anche nella nostra era supertecnologica continuano a destare interesse le meridiane, antichi strumenti che, proiettando l'ombra generata dal sole (quando è visibile) su un apposito quadrante, sono le uniche a dirci la verità sul mezzogiorno locale (il vero momento in cui il sole è a metà del suo corso nel cielo nel luogo ove ci troviamo), quasi sempre non coincidente con quello indicato convenzionalmente dai nostri sofisticati orologi elettronici. Una corretta ripartizione operativa delle ore

di luce disponibili non può fare a meno di quanto indicato dal lento e silenzioso roteare dell'ombra di uno gnomone sul quadrante sapientemente e talvolta anche artisticamente disegnato da un esperto, innamorato della natura. Né serve caricare delle molle spiraleggianti o sostituire periodicamente delle pile: non esiste orologio più "ecologico" di una meridiana (e non dimentichiamo che ne esistono di tutte le dimensioni: da quelle che assurgono alla dignità di veri monumenti a quelle portatili, che starebbero anche in una tasca...).

Un orologio solare si presta non soltanto per leggere l'ora, ma anche per meditare sugli aspetti più importanti della vita umana: suggerisce di fare buon uso di quel tempo che ci è offerto e che non tornerà mai più. Auguriamoci di non dover mai applicare con mestizia a noi stessi l'antica frase:

"Allor che potea, non volle; or che vorria, non puote".

Ammiriamo invece quel disegno potente che, stabilendo l'ordine cosmico di cui godiamo e di cui abbiamo goduto fin da quando non lo conoscevamo, ha reso possibile la storia universale, nella quale l'uomo si ritrova come attore principale e nella quale ognuno di noi è chiamato a ricoprire la propria parte.

2. LA MISURA DEL TEMPO

Il tempo è una delle grandezze fondamentali della fisica ed è utilizzato continuamente anche al di fuori di essa; pare una comoda invenzione, ma è sorprendente sapere quanto invece esso sia complicato nella realtà. È importante quindi saper misurare correttamente la durata temporale di un evento, cioè confrontarla con la durata di un altro fenomeno scelto come unità di misura. In natura vi sono molti fenomeni adatti a tale scopo: l'alternarsi del giorno e della notte, causato dalla rotazione della terra attorno al proprio asse ed il susseguirsi delle stagioni, dovuto al moto di rivoluzione della terra attorno al sole, sono senza dubbio i fenomeni a cui si sono ispirati i popoli antichi per la costruzione dei primi "orologi". Le diverse posizioni e lunghezze dell'ombra

di un palo conficcato nel terreno, ma anche quelle di una cima di una montagna, mostrano con apparente facilità lo scorrere del tempo (figg. 3, 4).

Quando però si inizia a studiare con cura il fenomeno ci si accorge subito di strani comportamenti della posizione e del movimento dell'ombra e quindi, per porre rimedio a tali complicazioni, si è convenuto di regolare i nostri orologi non sul sole vero, che viaggia lungo l'eclittica (traiettoria apparente del Sole in cielo) con velocità non uniforme, ma su un Sole fittizio che viaggia lungo l'equatore celeste con velocità costante. Tutti questi problemi legati al moto del Sole diventano evidenti se si vuole costruire un orologio solare.

In tutto il seguito del lavoro si assumerà

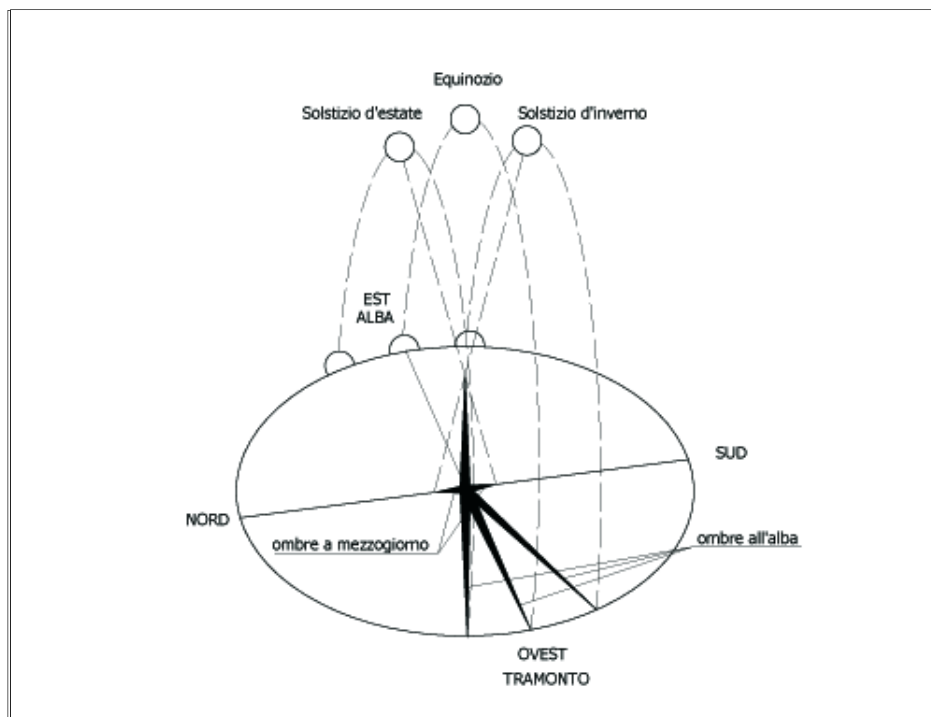


Fig. 3. Relazione fra la posizione del Sole all'alba, l'altezza sull'orizzonte del Sole a mezzogiorno e la variazione dell'ombra di uno gnomone posto all'equatore.

che sia il Sole a ruotare attorno alla Terra su di un'orbita ellittica con la Terra posta in uno dei due fuochi: tale scelta è dettata da ovvie ragioni di comodità ed è giustificata dal fatto che ogni movimento è relativo al sistema di riferimento adottato; è oggi infondato (o almeno lo spero) il timore di una condanna ecclesiastica per aver assunto posizioni "eretiche".

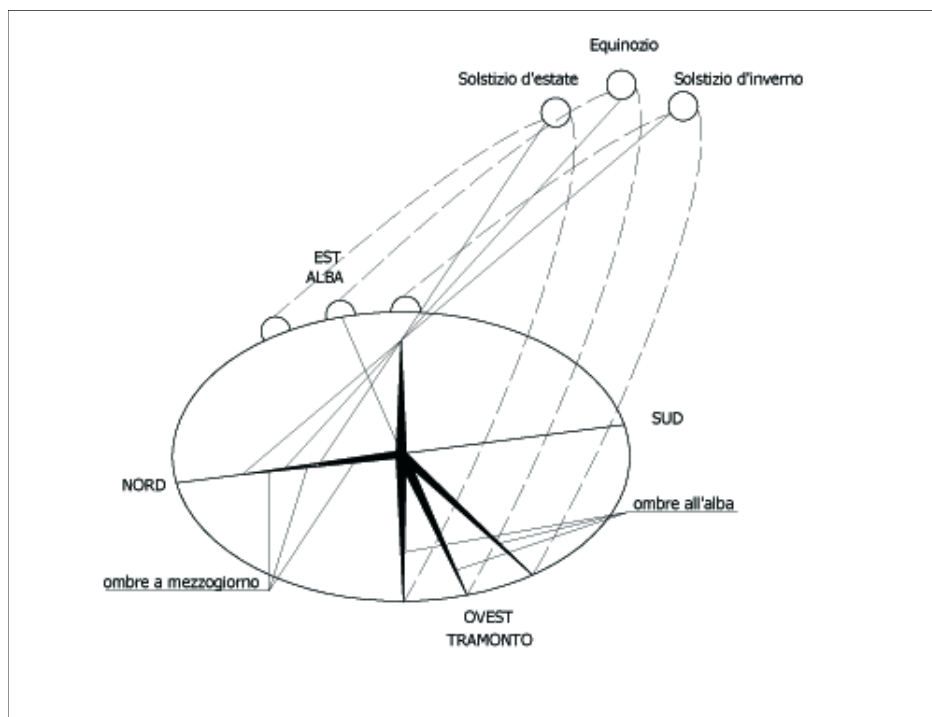


Fig. 4. Relazione fra la posizione del Sole all'alba, l'altezza sull'orizzonte del Sole a mezzogiorno e la variazione dell'ombra di un gnomone posto alla latitudine di Reggio Emilia.

3. MERIDIANE ED OROLOGI SOLARI.

La meridiana o linea meridiana, è, propriamente parlando, la linea retta secondo cui il piano meridiano, determinato dall'asse di rotazione terrestre e dalla verticale nel punto considerato, interseca il piano dell'orizzonte (caso della meridiana orizzontale) oppure un piano verticale o anche diversamente inclinato (caso della meridiana verticale). In senso esteso si designa con tale nome ogni orologio o quadrante solare in cui tale linea ne costituisca l'elemento essenziale. Le linee meridiane orizzontali sono in genere realizzate con una barra metallica inserita nel pavimento di un ampio locale, di solito una chiesa, sulla quale l'immagine del sole, prodotta da un piccolo foro praticato in copertura, fornisce al mezzogiorno di ogni giorno un'indicazione della posizione della terra lungo la sua orbita attorno al sole.

Nel pavimento della cattedrale di S. Petronio a Bologna, in corrispondenza della navata sinistra, si può osservare un pregevole esempio di meridiana che fu tracciata da G. D. Cassini nel 1655, rettificata da lui stesso e da D. Guglielmini nel 1695, meridiana avente il foro gnomonico ad altezza di 32 metri; per mezzo di essa furono condotte una serie di osservazioni rimaste famose nella storia dell'astronomia. Altre meridiane importanti sono quella nella Torre dei Venti in Vaticano, con la quale Egnatio Danti nel 1580, dimostrò al papa Gregorio XIII che il Sole era all'equinozio ben 10 giorni prima del 21 marzo, spingendolo così alla riforma del calendario, e quella nella basilica di S. Maria degli Angeli a Roma, costruita da Francesco Bianchini nel 1702 su ordine di papa Clemente XI che voleva controllare che la riforma Gregoriana fosse corretta. Nel nostro caso, più modestamente, la linea meridiana è stata incisa sulla lastra di acciaio orizzontale, posta sul setto verti-

cale di cemento armato e l'immagine del sole è stata prodotta da un piccolo foro praticato su un disco metallico verticale, posto ad un'altezza di metri 1,00 dal piano della lastra stessa (fig.5).

Sulla lastra sono stati incisi i punti sperimentali ottenuti al mezzogiorno locale medio in diversi giorni dell'anno: la curva che li congiunge, detta analemma, espressiva della cosiddetta "equazione del tempo", permette di apportare le correzioni all'ora vera locale segnata dall'orologio solare, per determinare così l'ora civile che leggiamo sui nostri orologi.

La linea meridiana si determina con precisione con metodi astronomici, con una bussola e con la conoscenza del valore della declinazione magnetica del luogo oppure tramite la direzione che ha l'ombra più breve portata su un piano orizzontale da un'asta, detta stilo o gnomone, eretta verticalmente su di esso. Quando la meridiana debba avere una notevole estensione ed essere assai precisa è necessario che lo stilo abbia una grande lunghezza ed è per questa ragione che spesso vengono utilizzate colonne ed obelischi che sorgono tuttora nelle piazze di molte città.

Per tracciare la linea meridiana su un piano verticale (la parete di un edificio) od obliquo, si utilizza il metodo su esposto dell'ombra più breve con uno stilo che può essere perpendicolare o inclinato rispetto al piano stesso. Nel nostro caso usiamo come quadrante solare un piano obliquo inclinato di $44^{\circ} 42' 24''$ e dunque la linea meridiana tracciata su di esso risulta parallela all'asse terrestre (fig. 6, 7); lo stilo è alto 50 cm. ed è perpendicolare al piano obliquo; alla sua estremità è posta una sferetta la cui ombra, assieme a quella dell'asta di acciaio passante per il suo centro e parallela alla linea meridiana

tracciata su di essa, fornisce l'ora locale. Questa seconda lastra d'acciaio, che usiamo come piano per l'orologio (fig. 8) è posta su due setti trapezoidali in cemento armato e su di essa sono tracciate una serie di curve che permettono di conoscere l'ora, il giorno ed il mese dell'anno: tale lastra costituisce dunque l'orologio solare vero e proprio.

Da quanto su scritto dovrebbe risultare evidente che i termini meridiana ed orologio solare si riferiscono ad oggetti diversi e, anche se spesso vengono usati come sinonimi, non dovrebbero essere confusi. Nel nostro caso però, essendo i due oggetti posti nella stessa struttura, chiameremo per semplicità orologio solare l'intero complesso (fig. 9).

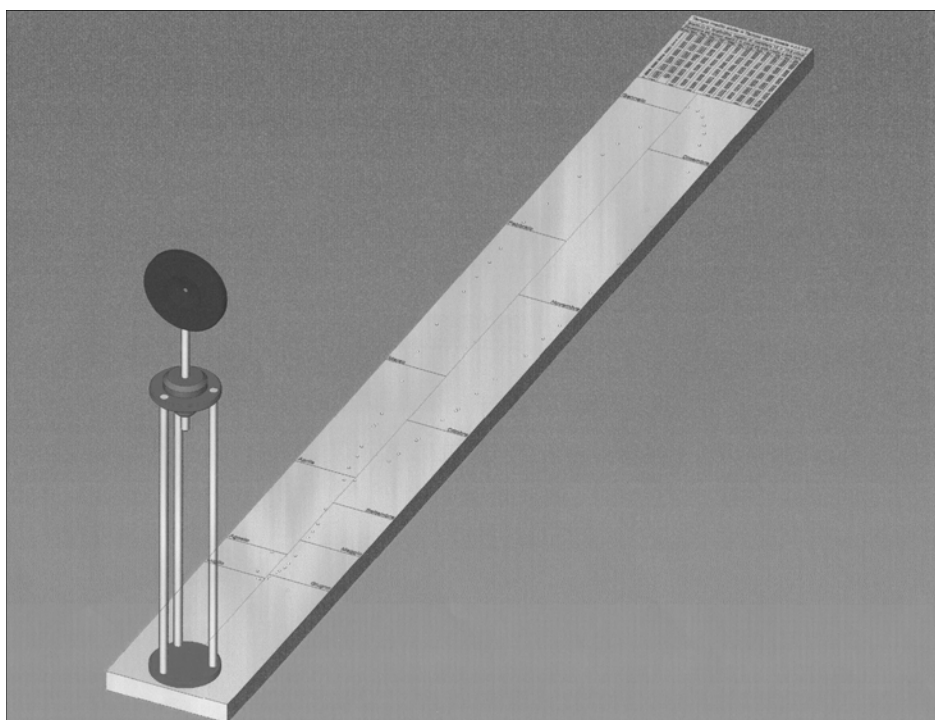


Fig. 5. Lastra d'acciaio con incisa la linea meridiana, l'analemma, la tabella per la conversione del tempo locale nel tempo medio civile e sostegno per il foro gnomonico.

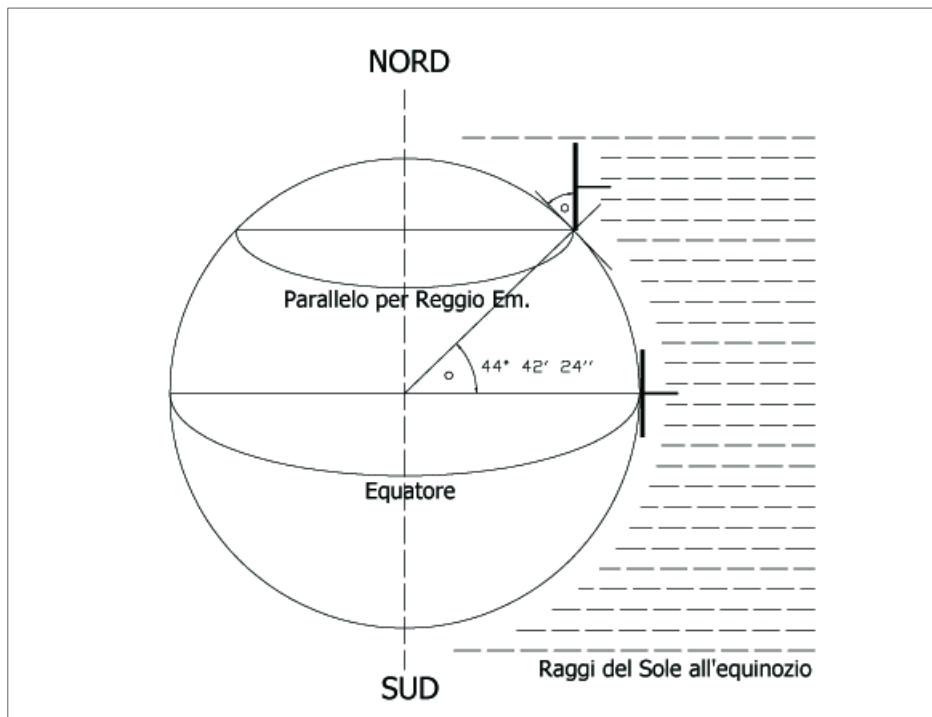


Fig. 6. Inclinazione del quadrante solare rispetto al piano orizzontale.

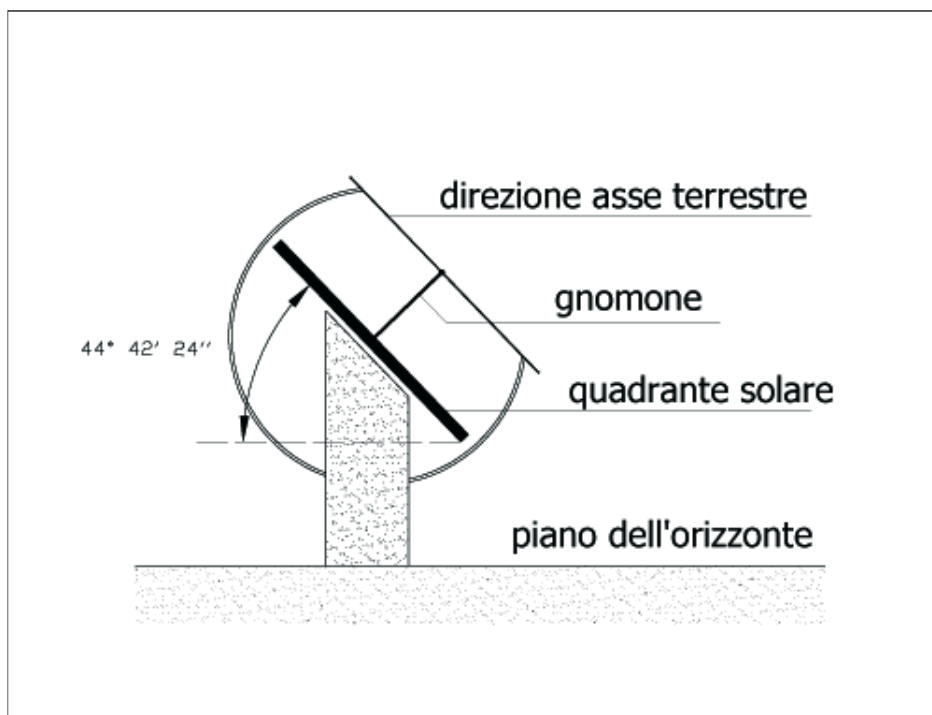


Fig. 7. Inclinazione del quadrante solare rispetto al piano orizzontale (particolare).

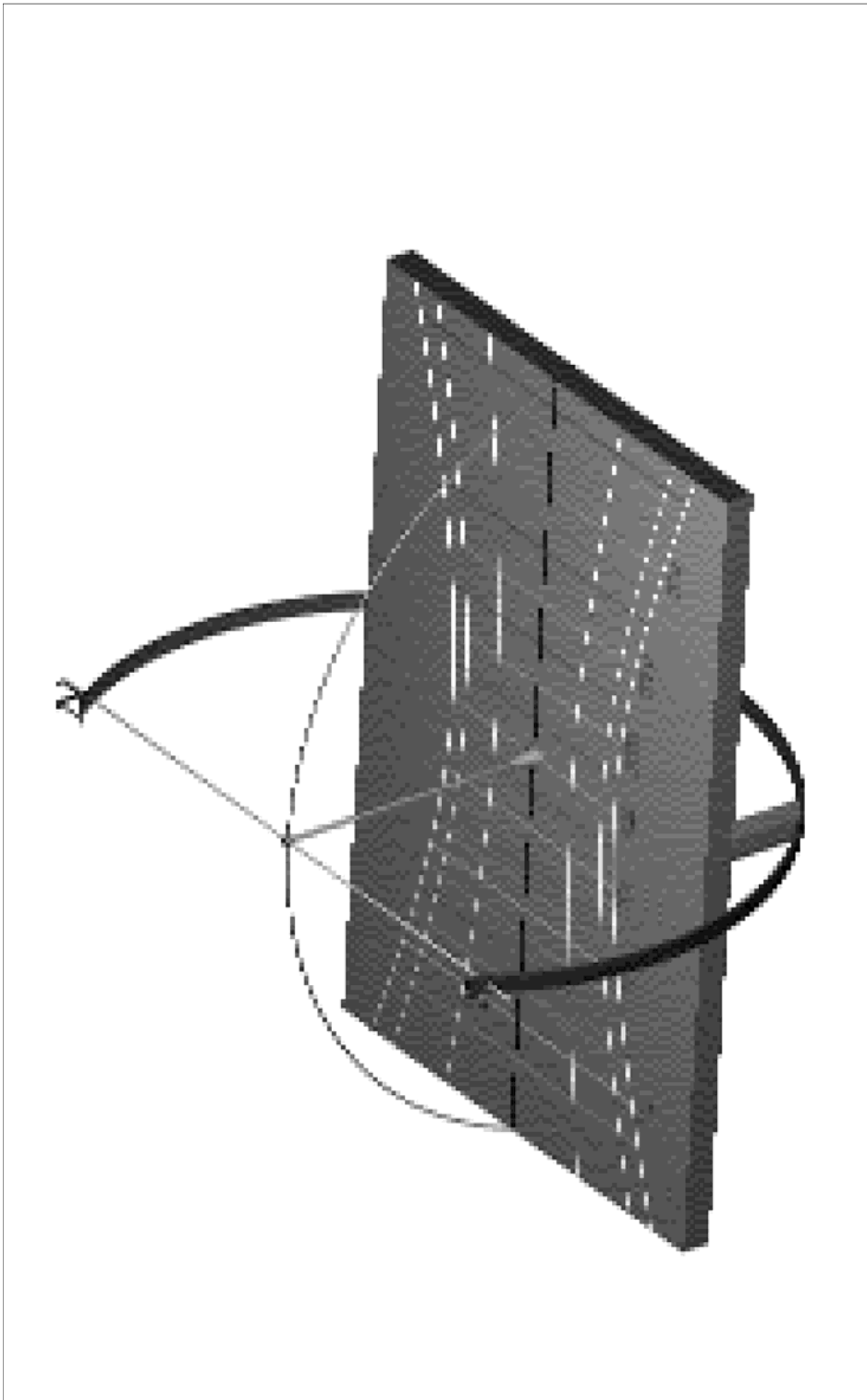


Fig. 8. Il quadrante dell'orologio solare.

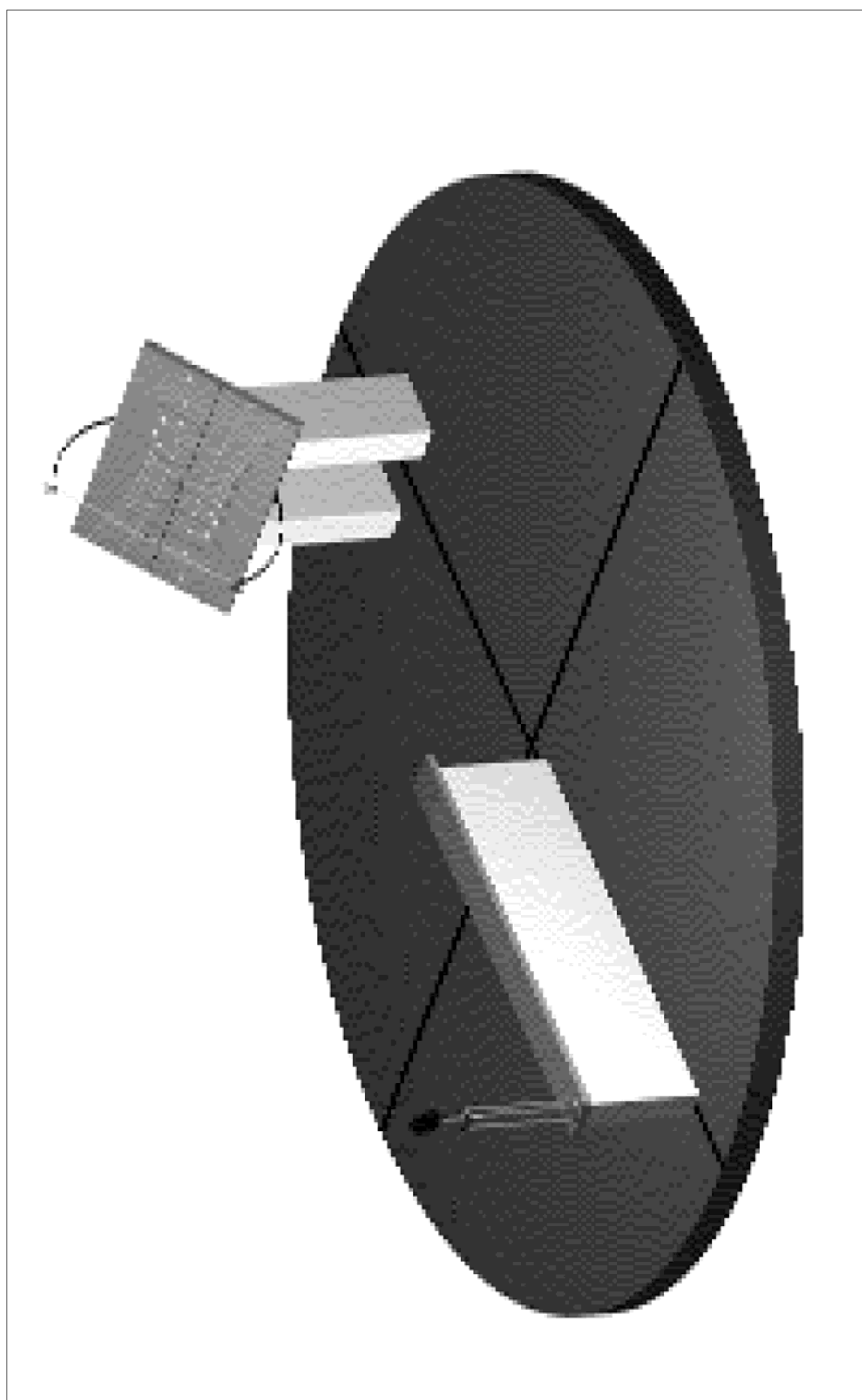


Fig. 9. Orologio solare, vista d'assieme.

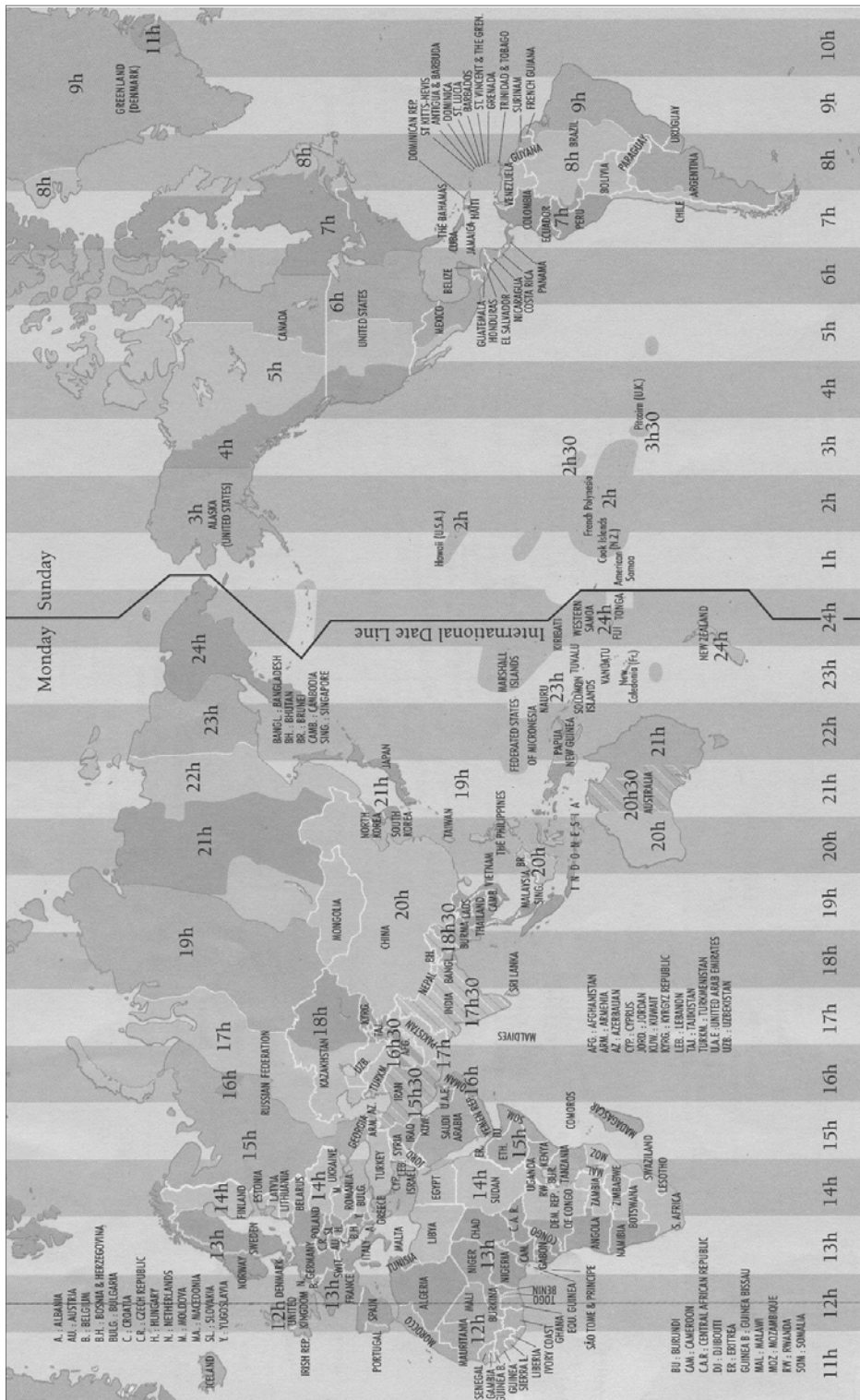


Fig. 11. Suddivisione della superficie terrestre in 24 fusi orari.

4. MISURA ASTRONOMICA E MISURA CIVILE DEL TEMPO.

La misura del tempo consiste nel contare i cicli di un fenomeno ricorrente, suddividendoli in multipli e sottomultipli.

Il fenomeno più usato, per la sua straordinaria regolarità, è stato per lungo tempo la rotazione terrestre, conteggiata in giorni e nei suoi multipli e sottomultipli: mesi, ore, minuti. I giorni si misurano osservando il passaggio delle stelle al meridiano locale e si suddividono poi mediante orologi di alta precisione, giungendo così ad apprezzare variazioni della loro durata dell'ordine di $1/10^{14}$ secondi.

Se la stella di riferimento è il Sole, si parlerà di tempo solare e poiché esso varia sulla terra da luogo a luogo (se ci si trova su meridiani diversi) è stato necessario, per i sistemi di trasporto e comunicazione attuali, suddividere la superficie terrestre in 24 fusi orari, di ampiezza $360^\circ/24 = 15^\circ$, in base ai quali si misura il tempo in quella zona e in ciascuno di essi l'ora è convenzionalmente la stessa.

Il mezzogiorno, ora di Greenwich, è tale indipendentemente dalla reale posizione del Sole in ogni località compresa all'interno del fuso corrispondente (fig. 11).

Il sistema dei fusi orari fu istituito dalla Conferenza internazionale di Washington nel 1884 ed entrò in vigore in Italia nel 1893. Da allora gli orologi sono regolati sul tempo solare medio del meridiano centrale del fuso: per il riferimento italiano è quello dell'Europa centrale (TMEC), che attraversa l'Etna e indica un'ora in più rispetto a quello del meridiano di Greenwich (fig. 12).

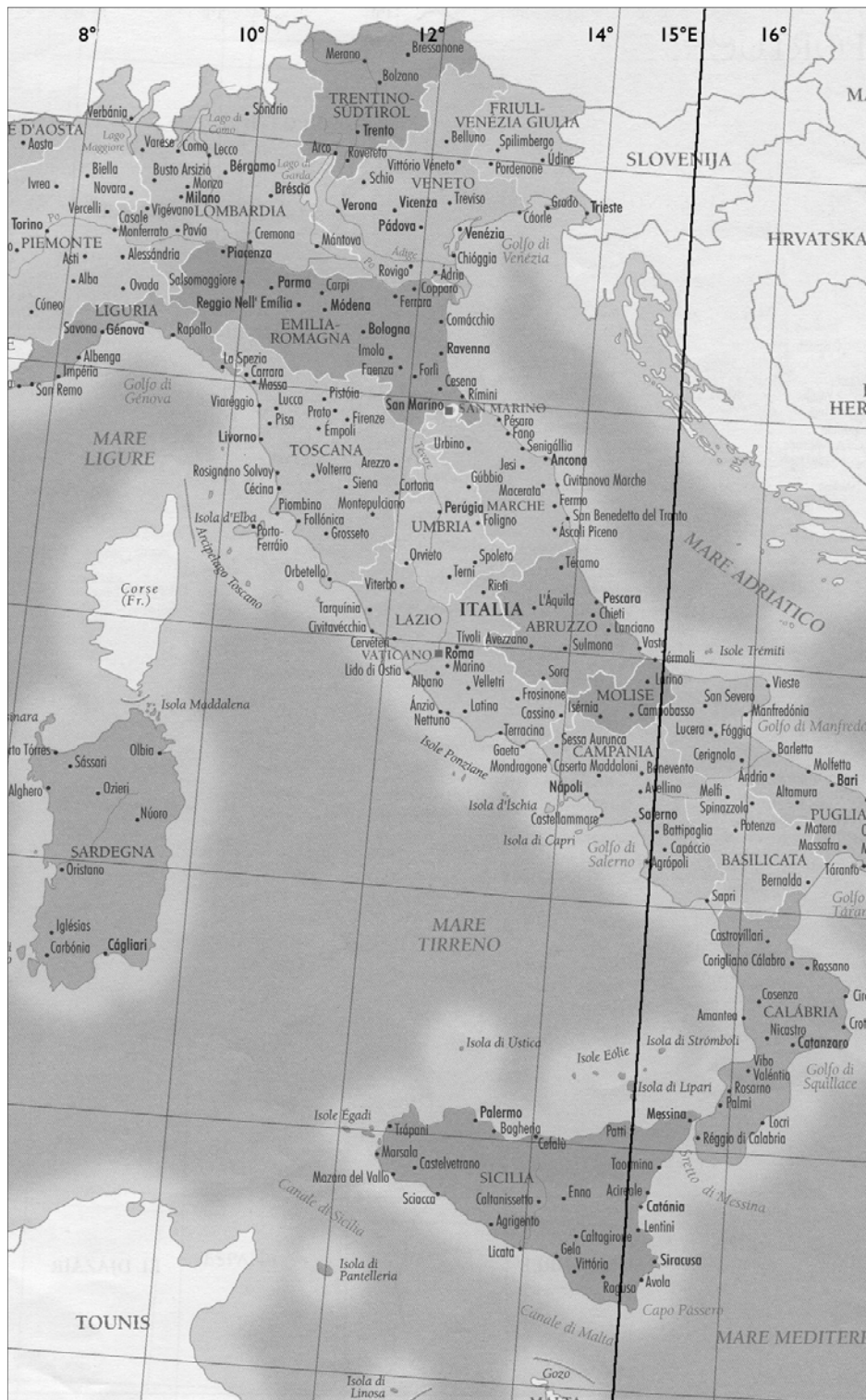


Fig. 12. Il meridiano di riferimento per l'Italia: meridiano 15 per l'Etna.

5. DETERMINAZIONE DEL TEMPO MEDIO CIVILE

Il nostro orologio solare si trova sulla linea meridiana di longitudine Est $10^{\circ} 38' 14'' = 10,637^{\circ}$.

Il sole fittizio che usiamo per il tempo civile, si muove alla velocità costante di $360^{\circ}/24 \text{ ore} = 15^{\circ}/\text{ora} = 0,25^{\circ}/\text{minuto}$. Per calcolare l'intervallo di tempo che trascorre tra il passaggio del Sole sul meridiano dell'Etna e su quello del nostro orologio, dovrò determinare lo spazio angolare tra i due e dividerlo per la velocità del sole:

$$t = s / v = (15^{\circ} - 10,637^{\circ}) / 0,25 = 17,45 \text{ minuti} = 17 \text{ min. } 27 \text{ sec.}$$

Dunque, se il Sole si muovesse a velocità costante, quando l'orologio solare locale segna le 12.00, gli orologi (... e i telefonini) che segnano il tempo civile, riferito al meridiano dell'Etna, dovrebbero segnare le 12 h 17 m 27 s (+ 1 h nel caso sia in vigore l'ora legale).

Dal momento però che il Sole non si muove a velocità costante, è necessario apportare un'ulteriore correzione: infatti il Sole vero non passa mai sulla nostra

linea meridiana esattamente alle 12 h 17 m 27 s, ma ritarda o anticipa da un valore minimo di 12 sec. il 25 dicembre, ad un massimo di 16 min. e 24 sec. il 4 di novembre. Non fatevi ingannare dalle curve dell'equazione del tempo riportate sui libri: i punti d'intersezione con la linea meridiana sono quattro, ma in realtà la curva serve a raccordare una successione discreta di punti e nessuno di essi cade sulla linea meridiana.

Sulla lastra orizzontale di figura 5, abbiamo segnato, con un paziente lavoro durato un anno, le posizioni del Sole alle 12 h 17 m 27 s e contestualmente abbiamo misurato, con un cronometro, i suoi tempi di anticipo o di ritardo rispetto all'istante di passaggio sulla linea meridiana: tali valori andranno quindi sottratti o sommati a 12 h 17 m 27 s per ottenere l'ora civile del passaggio del sole al meridiano locale. Sulla medesima lastra è stata incisa una tabella (fig. 13) che fornisce, per ogni giorno dell'anno, lo scarto in minuti tra il tempo di passaggio teorico del Sole sul meridiano e il tempo reale. Dunque:

$$\text{Tempo medio civile} = \text{Tempo vero locale} + \text{DI} + e$$

ove:

Tempo medio civile = tempo segnato dagli orologi (ora civile)

Tempo vero locale = tempo segnato dal nostro orologio solare

DI = Tempo di ritardo dovuto allo scarto in longitudine rispetto al meridiano 15.

e = Tempo dovuto allo scarto tra Sole fittizio e Sole vero (già dotato di eventuale segno negativo, così da poter effettuare sempre la correzione mediante una somma algebrica)

Se ad esempio, il 20 marzo leggete il nostro orologio solare quando segna esattamente le 12.00, dovrete leggere sul vostro orologio o sul telefonino: $12.00 + 17.5 + 7.7 = 12 \text{ h } 25 \text{ min.}$

Se non sarà così ... fidatevi del Sole e but-

tate il telefonino.

La lunghezza dell'ombra dello gnomone fornirebbe inoltre la conoscenza del giorno dell'anno in cui si effettua la misura; in realtà le curve tracciate sul nostro quadrante non permettono una tale precisio-

ne, date le dimensioni ridotte del nostro orologio.

Il procedimento sopra descritto può anche essere utilizzato per determinare la longitudine e la latitudine del luogo in cui si effettua la misura: infatti, conoscendo il tempo medio di Greenwich del mezzogiorno solare e misurando l'ora del passaggio del Sole sul meridiano del luogo in cui siamo, sarà sufficiente apportare la correzione mediante l'equazione del tempo, convertire il risultato in gradi (4 minuti = 1 grado) e trovare così la longitudine che sarà ad est o ad ovest di Greenwich a seconda che il nostro valore dell'ora di osservazione sia minore o maggiore di 12.00. Il valore di latitudine si trova poi con la misura dell'altezza dell'ombra dello gnomone. Queste operazio-

ni erano indispensabili durante la navigazione, per conoscere la propria posizione in mare aperto, prima dell'avvento dei sistemi satellitari (G.P.S.) che invece forniscono senza fatica (e gratuitamente, almeno per ora ...grazie George!) la posizione di un osservatore in qualsiasi punto della Terra.

Tempo medio civile = Tempo vero locale + $\Delta\lambda$ + ϵ												
Scarto $\Delta\lambda$ in longitudine rispetto al meridiano 15 = 17.5 minuti												
Equazione del tempo: scarti ϵ in minuti tra sole medio e sole vero												
Giorno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1	+3.4	+13.6	+12.5	+4.1	-2.6	-2.3	+3.6	+6.3	+0.2	-10.1	-16.3	-11.2
2	+3.9	+13.7	+12.3	+3.8	-2.9	-2.2	+3.8	+6.2	-0.1	-10.4	-16.4	-10.8
3	+4.3	+13.8	+12.1	+3.5	-3.1	-2.0	+4.0	+6.2	-0.5	-10.6	-16.4	-10.4
4	+4.6	+13.9	+11.9	+3.2	-3.2	-1.9	+4.2	+6.1	-0.7	-11.1	-16.4	-10.0
5	+5.2	+14.0	+11.7	+2.9	-3.3	-1.7	+4.4	+6.0	-1.1	-11.4	-16.4	-9.6
6	+5.7	+14.1	+11.5	+2.6	-3.4	-1.5	+4.6	+5.9	-1.5	-11.7	-16.3	-9.2
7	+6.1	+14.2	+11.2	+2.3	-3.4	-1.3	+4.7	+5.8	-1.9	-12.0	-16.3	-8.8
8	+6.5	+14.2	+11.0	+2.1	-3.5	-1.2	+4.9	+5.7	-2.1	-12.3	-16.3	-8.3
9	+6.9	+14.3	+10.7	+1.8	-3.6	-1.0	+5.0	+5.6	-2.5	-12.6	-16.2	-7.9
10	+7.3	+14.3	+10.5	+1.5	-3.6	-0.8	+5.2	+5.4	-2.8	-12.8	-16.1	-7.5
11	+7.8	+14.3	+10.2	+1.2	-3.7	-0.6	+5.3	+5.2	-3.2	-13.1	-16.0	-7.0
12	+8.2	+14.3	+10.0	+0.9	-3.7	-0.4	+5.4	+5.1	-3.5	-13.4	-15.9	-6.6
13	+8.5	+14.3	+9.7	+0.7	-3.7	-0.2	+5.6	+4.9	-3.9	-13.6	-15.8	-6.1
14	+8.9	+14.3	+9.4	+0.4	-3.7	0.0	+5.7	+4.7	-4.2	-13.8	-15.8	-5.6
15	+9.3	+14.2	+9.1	+0.2	-3.7	+0.2	+5.8	+4.5	-4.6	-14.1	-15.6	-5.1
16	+9.6	+14.2	+8.9	-0.1	-3.7	+0.4	+5.9	+4.3	-5.0	-14.3	-15.3	-4.6
17	+9.9	+14.1	+8.6	-0.2	-3.7	+0.7	+6.0	+4.1	-5.3	-14.5	-15.1	-4.1
18	+10.3	+14.0	+8.3	-0.5	-3.7	+0.9	+6.1	+3.9	-5.5	-14.7	-14.9	-3.6
19	+10.6	+13.9	+8.0	-0.7	-3.6	+1.1	+6.2	+3.7	-5.0	-14.9	-14.7	-3.2
20	+10.9	+13.8	+7.7	-0.9	-3.6	+1.3	+6.2	+3.5	-5.4	-15.1	-14.5	-2.7
21	+11.2	+13.7	+7.4	-1.2	-3.5	+1.5	+6.3	+3.2	-5.7	-15.2	-14.3	-2.2
22	+11.5	+13.6	+7.1	-1.4	-3.5	+1.7	+6.3	+3.0	-7.1	-15.4	-14.0	-1.7
23	+11.8	+13.5	+6.8	-1.6	-3.4	+2.0	+6.4	+2.8	-7.4	-15.6	-13.7	-1.2
24	+12.0	+13.4	+6.5	-1.8	-3.3	+2.2	+6.4	+2.5	-7.8	-15.7	-13.4	-0.7
25	+12.3	+13.2	+6.2	-1.9	-3.2	+2.4	+6.4	+2.3	-8.1	-15.8	-13.1	-0.2
26	+12.5	+13.1	+5.9	-2.1	-3.1	+2.6	+6.4	+1.9	-8.4	-15.9	-12.9	+0.3
27	+12.7	+12.9	+5.6	-2.3	-3.0	+2.8	+6.4	+1.7	-8.8	-16.0	-12.5	+0.8
28	+12.9	+12.7	+5.3	-2.4	-2.9	+3.0	+6.4	+1.4	-9.1	-16.1	-12.2	+1.3
29	+13.1	+12.5	+5.0	-2.6	-2.8	+3.2	+6.4	+1.1	-9.5	-16.2	-11.9	+1.8
30	+13.3	+12.3	+4.7	-2.7	-2.6	+3.4	+6.4	+0.8	-9.8	-16.3	-11.5	+2.3
31	+13.4	+12.1	+4.4	-2.8	-2.5	+3.6	+6.3	+0.5	-10.1	-16.3	-11.2	+2.8

Fig. 13. Tabella degli scarti in minuti per il calcolo del tempo medio civile.

6. IL TEMPO

di Serena Borciani e Riccardo Bonacini .

Il tempo è un concetto che esprime la successione e la durata di eventi. In meccanica classica il tempo è stato considerato come fluente indipendentemente da qualsiasi fenomeno che accada in natura e dal sistema di riferimento considerato (tempo assoluto). Per Newton, infatti, il "tempo vero, assoluto e matematico, per proprio conto e per sua natura fluisce uniformemente senza riferimento ad alcunché di esterno". Da questo punto di vista il tempo scorre indipendentemente dal fatto che avvenga qualsiasi cambiamento; i cambiamenti avvengono nel tempo ma non sono essi stessi il tempo. La nozione di tempo assoluto è stata abbandonata in seguito alla critica del concetto di contemporaneità svolta dalla teoria della relatività. Nella fisica relativistica il concetto di contemporaneità dipende dal sistema di riferimento considerato e si può pertanto concludere che sistemi di riferimento diversi in moto gli uni rispetto agli altri hanno tempi diversi; lo stesso tempo è valido solo per sistemi di riferimento in quiete l'uno rispetto all'altro.

Per il suo carattere di grandezza legata intuitivamente al concetto di successione degli eventi, il tempo è assunto nei sistemi di unità di misura come grandezza fondamentale. Di grande importanza è la determinazione degli intervalli di tempo, cioè della durata dei fenomeni.

E' possibile dire che un evento avvenga dopo un altro. E' inoltre possibile misurare quanto un evento è avvenuto dopo un altro. La risposta alla domanda "quanto dopo" è la quantità di tempo che separa i due eventi.

Uno dei modi di definire il concetto di successione temporale è basata sull'assunzione della causalità. Il lavoro compiuto dall'umanità per incrementare la com-

preensione della natura e della misurazione del tempo, con la creazione e il miglioramento dei calendari e degli orologi, è stato uno dei principali motori della scoperta scientifica.

6.1 Unità di misura.

L'unità di misura standard del Sistema Internazionale è il secondo.

Fino alla prima metà del 1900, le misure di tempo col maggior grado di precisione venivano effettuate per mezzo di osservazioni astronomiche. Questa situazione cambiò nel 1955, quando venne realizzato il primo orologio atomico al cesio, dopo due decenni di ricerche in diversi laboratori scientifici. Oggi esistono diversi tipi di orologi atomici basati su diversi elementi naturali come il cesio e l'idrogeno, che hanno diversi principi di funzionamento. Tutti, però, sfruttano la comune proprietà che hanno gli atomi, se posti in opportune condizioni, di assorbire ed emettere radiazioni elettromagnetiche ad una sola frequenza estremamente stabile nel tempo. Semplificando, si può dire che l'orologio atomico è un dispositivo elettronico che misura il tempo contando le oscillazioni dell'atomo. La precisione nel lungo termine ottenibile dai moderni orologi atomici al cesio (il tipo più diffuso) è migliore di un secondo ogni milione di anni. Gli orologi atomici all'idrogeno hanno una precisione nel breve termine (una settimana) circa 10 volte superiore a quelle degli orologi al cesio. Dunque, gli orologi atomici hanno aumentato di circa 1 milione di volte la precisione della misura del tempo, rispetto alle misure effettuate con osservazioni astronomiche. Questa enorme superiorità di precisione portò nel 1967, durante la 13ª Assemblea Internazionale dei Pesi e delle Misure,

all'adozione di una nuova definizione dell'unità fondamentale di tempo del Sistema Internazionale (SI): il secondo SI, detto anche secondo atomico. Il secondo atomico venne definito come l'intervallo di tempo necessario al compimento di 9.192.631.770 oscillazioni dell'emissione dell'atomo di cesio 133 eccitato in modo opportuno. Il numero delle oscillazioni fu stabilito eguagliando la durata del secondo atomico alla durata del secondo medio del tempo universale, misurato con le osservazioni astronomiche della rotazione terrestre nell'anno 1900. I circa 60 laboratori, che oggi si dedicano alla metrologia del tempo nel mondo, dispongono complessivamente di alcune centinaia di orologi atomici su cui basare la misura del tempo.

Dall'insieme delle misure di tempo di questi orologi, l'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure (BIPM) calcola a posteriori, con metodi statistici di minimizzazione degli errori, il tempo atomico internazionale (TAI) che ha come unità di misura il secondo atomico. Il tempo TAI è utilizzato dai laboratori di misura del tempo per verificare ed aggiustare la scala di tempo dei propri orologi atomici.

In base al secondo sono definite misure più ampie come il minuto, l'ora, il giorno, il mese, l'anno, il decennio, il secolo e il millennio. Il tempo può essere misurato, esattamente come le altre grandezze fisiche. Gli strumenti per la misurazione del tempo sono chiamati orologi. Orologi molto accurati vengono detti cronometri. I migliori orologi disponibili, come citato sopra, sono gli orologi atomici.

Esistono svariate scale temporali continue di utilizzo corrente: il tempo universale, il tempo atomico internazionale (TAI), che è la base per le altre scale, il tempo universale (UTC), che è lo stan-

dard per l'orario civile, il tempo terrestre (TT), ecc. L'umanità ha inventato i calendari (vedi pag. 40) per tenere traccia del passaggio di giorni, settimane, mesi e anni. Sin dall'età più remota la prima unità di misura del tempo fu certamente il giorno, considerato come ciclo completo di luce e di buio; in seguito, con il progredire della civiltà, furono introdotti nell'uso l'anno, riferendosi al sole, e il mese, prendendo in considerazione dapprima le fasi lunari e poi una suddivisione convenzionale dell'anno.

La misura del tempo presuppone l'esistenza di una unità che risponda a due precisi requisiti: invariabilità e disponibilità, che sia cioè immutabile comunque trascorra il tempo e che ad essa si possa far ricorso senza difficoltà ogni qualvolta si voglia far un controllo dei mezzi ordinari di misurazione. La misura si compie indirettamente, facendo riferimento al verificarsi di fenomeni che si susseguono con grande regolarità. Tuttavia, data la difficoltà di trovare una unità assoluta che possa rispondere a questi requisiti, si considerano in pratica varie unità che si differenziano per il diverso fenomeno preso come base della misurazione; tra le più importanti sono quella per la misurazione del tempo siderale, del tempo solare e del tempo civile. Infatti prendendo in considerazione il moto di rotazione terrestre (quello che la Terra compie attorno al suo asse) e il movimento di rivoluzione (quello che la Terra compie attorno al Sole) si sono create le due seguenti unità di misurazione: il giorno (durata della rotazione) e l'anno (durata della rivoluzione).

Si definiscono innanzitutto un giorno sidereo e un giorno solare, a seconda che si riferisca la rotazione terrestre ad una stella o al Sole.

Il **giorno sidereo**, o siderale, è l'interval-

lo di tempo compreso fra due passaggi consecutivi di una stella sullo stesso meridiano; la sua durata, pressoché invariabile, è di 23 ore e 56 minuti, e corrisponde al tempo impiegato dalla Terra per compiere un'intera rotazione. Infatti si può considerare trascurabile lo spostamento che la Terra effettua, nel contempo, lungo la sua orbita intorno al Sole, data l'enorme distanza del sistema solare dalla stella presa come punto di riferimento.

Il **giorno solare** è l'intervallo di tempo compreso fra due passaggi consecutivi del Sole sullo stesso meridiano. Esso è più lungo di circa 4 minuti del giorno sidereo (e dura perciò all'incirca 24 ore), non essendo più trascurabile lo spostamento che la Terra compie intorno al Sole mentre effettua la sua rotazione, data la vicinanza di quest'ultimo. Inoltre, il giorno solare non è una misura costante, ma è un po' più lungo in inverno e un po' più corto in estate, poiché variano sia la velocità della Terra durante il suo moto di rivoluzione attorno al Sole sia la sua distanza da esso.

Il **giorno solare medio**, che rappresenta la media aritmetica di tutti i giorni solari di un anno, è invece una misura costante, adatto quindi alle esigenze della vita civile, ed è preso come unità-base per la misurazione del tempo.

La sua durata risulta così di 24 ore esatte, ognuna delle quali (**ora solare media**) viene suddivisa a sua volta in 60 minuti primi, suddivisi anche questi in 60 minuti secondi.

Si deve però ricordare che il moto rotatorio della Terra subisce un rallentamento regolare, a causa di una progressiva trasformazione di energia meccanica in calore: la durata del giorno si allunga perciò di due millesimi di secondo ogni cento anni.

Così come per il giorno, anche per l'anno si può distinguere quello sidereo da quello solare.

L'**anno sidereo**, o siderale, corrisponde all'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi del Sole per uno stesso punto dell'eclittica, riferito a una stella. Misura la durata di una completa rivoluzione della Terra, che è di 365 giorni, 6 ore, 9 minuti e 10 secondi (in giorni solari medi).

L'**anno solare**, o tropico o tropicale, è il periodo di tempo compreso fra due passaggi successivi del Sole all'equinozio di primavera (misura dunque il periodo di tempo intercorrente tra l'inizio della primavera e l'inizio della primavera successiva), e ha una durata di 365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 45 secondi (in giorni solari medi, nell'anno 2000), risultando così di circa 20 minuti e 25 secondi più corto dell'anno sidereo. Questa differenza è dovuta all'effetto di un moto secondario compiuto dalla Terra, detto di precessione degli equinozi (vedi pag. 38), causato dall'azione perturbatrice che gli astri vicini esercitano sulla direzione dell'asse terrestre. In realtà, la durata dell'anno solare si accorcia di circa mezzo secondo ogni secolo, per cui l'anno 1 d.C. ebbe una lunghezza di 365 g, 5 h, 48 m e 55 s, cioè 10 secondi più dell'anno 2000.

Ed è proprio l'anno solare il periodo a cui si è fatto riferimento per l'istituzione dell'**anno civile**, unità di misura del tempo effettivamente utilizzata e basata su un arrotondamento dell'anno solare, per esigenze di praticità. Per questo l'anno civile è sempre costituito da un numero intero di giorni, che possono essere 365 (nel caso si tratti di un anno comune) o 366 (nel caso di un anno bisestile).

Negli usi pratici il tempo civile si differenzia da quello solare per due ragioni pratiche: anziché da mezzogiorno, prende ini-

zio dalla mezzanotte; inoltre il tempo solare, analogamente al tempo siderale, varia da luogo a luogo con successione progressiva; se questa gradualità fosse mantenuta, ogni volta che un uomo si spostasse da un luogo ad un altro, dovrebbe spostare le lancette dell'orologio. A parte tutte le altre difficoltà di controllo e di misura si è perciò convenuto di suddividere l'intero globo in 24 fusi orari (fig. 10).

6.2 Fusi Orari.

Quando nel passato, per la lentezza dei mezzi di trasporto, occorrevano giorni per percorrere distanze anche brevi, nessuno, se non gli astronomi, poteva accorgersi che il tempo solare in uno stesso istante cambia da un luogo all'altro. Infatti, se per un certo luogo il Sole è nella posizione di mezzogiorno, per un altro luogo situato più ad ovest, il Sole nello stesso istante non ha ancora raggiunto il mezzogiorno; il contrario accade per un luogo situato più ad est.

Se due luoghi sono allineati esattamente secondo la direzione nord-sud, hanno lo stesso tempo solare, perché vedono il Sole con lo stesso angolo orario rispetto al mezzogiorno. Questo allineamento, definito geograficamente come meridiano, è dato dal semicerchio passante per quei luoghi ed avente i poli terrestri come estremi.

La figura 14 riporta un esempio di queste situazioni. La Terra, vista dalla direzione del polo nord (N), è illuminata dal Sole (S) con raggi luminosi che si possono considerare paralleli per la grande distanza Terra-Sole. La freccia intorno al polo nord (N) indica il verso della rotazione terrestre. Nella località M sono le ore 12: il Sole è allineato con la direzione del meri-

diano locale MN. Nella località A, più ad est, sono le ore 15: il Sole forma un angolo orario di + 3 ore con la direzione del meridiano locale AN. Nella località B, più ad ovest, sono le ore 9: il Sole forma un angolo orario di - 3 ore con la direzione del meridiano locale BN. Nella località L sono le ore 12 come nella località M: entrambe si trovano sullo stesso meridiano locale MN.

Verso la metà del 1800, con l'avvento di sistemi di trasporto più rapidi e per avere un riferimento di tempo certo per la navigazione marittima, venne introdotto il **tempo medio di Greenwich (GMT)**, successivamente detto **tempo universale (UT)**: un tempo misurato con tecniche astronomiche presso l'osservatorio di Greenwich in Inghilterra, corrispondente con buona approssimazione al tempo solare medio dell'osservatorio stesso.

Nel frattempo, in varie località del mondo, erano stati adottati centinaia di tempi solari diversi, ciascuno corrispondente al proprio meridiano. Per semplificare questa situazione, si divise la superficie terrestre in 24 spicchi adiacenti, detti fusi orari, uguali e perpendicolari all'equatore, ciascuno delimitato da due meridiani formanti un angolo orario di 1 ora ai poli. A tutte le località di un fuso orario venne assegnato per convenzione il tempo solare medio del meridiano centrale del fuso e venne assunto come riferimento il fuso orario di Greenwich, centrato sull'omonimo meridiano. In questo modo, il fuso orario immediatamente ad est di Greenwich presenta una ora in più rispetto al tempo universale (UT +01:00), mentre quello immediatamente ad ovest ne presenta una in meno (UT -01:00) e così via per tutti gli altri. Il sistema dei fusi orari venne adottato ufficialmente il 1

novembre 1884 durante la Conferenza Internazionale dei Meridiani a Washington D.C. Si nota che, per ragioni politiche ed amministrative, spesso il fuso orario è delimitato dai confini degli stati anziché dai meridiani. Per ciascun fuso orario è indicata l'ora che si ha quando al fuso orario di riferimento di Greenwich sono le ore 12:00. Nel fuso diametralmente opposto, quello con ore 00:00, è indicata la linea del cambiamento di data (linea tratteggiata): per convenzione a sinistra della linea si è nel giorno seguente, a destra nel giorno precedente (fig. 11).

6.3 Tempo Universale Coordinato.

L'estrema precisione degli orologi atomici fece presto desiderare di sostituire il

tempo atomico al tempo universale, assai meno preciso, come misura ufficiale del tempo nel mondo. Proprio la grande precisione del tempo atomico non lo rende direttamente utilizzabile per l'impiego nella vita quotidiana, da sempre regolata dal tempo solare. Infatti, gli orologi atomici resero ancor più evidente ciò che con minor precisione si era scoperto in precedenza attraverso le osservazioni astronomiche: il continuo rallentamento della rotazione della Terra. Questo fenomeno, dovuto principalmente all'azione frenante delle maree, aumenta la durata dell'anno solare medio di circa 0,8 secondi ogni secolo, 1 ora ogni 450.000 anni circa. Quindi dal 1900, anno in cui per convenzione 1 secondo solare medio = 1 secondo atomico, sino ad oggi, il giorno solare

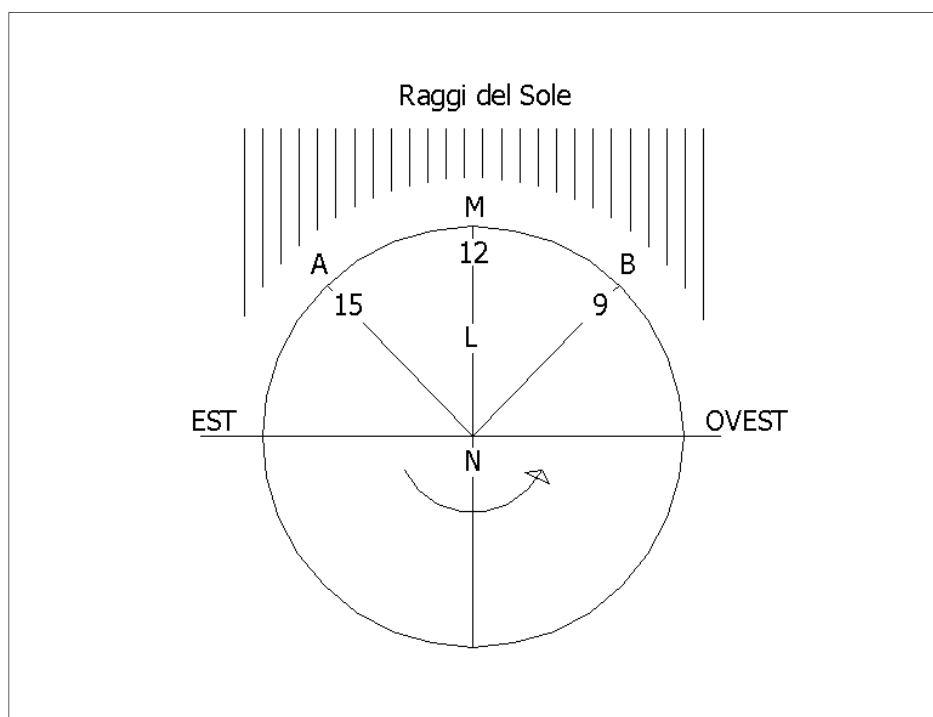


Fig. 14. Tempo solare su meridiani diversi.

medio si è allungato di circa 0,002 secondi atomici e di conseguenza il tempo universale accumula un ritardo rispetto al tempo atomico di circa un secondo ogni 500 giorni. Per tenere conto di questo progressivo sfasamento tra le due scale di tempo e per non rinunciare alla precisione consentita dagli orologi atomici, nel 1972 si trovò un compromesso che portò alla definizione del **tempo universale coordinato (UTC)**, attualmente usato come misura ufficiale del tempo nel mondo. In sostanza, il tempo UTC scorre come il tempo atomico internazionale (TAI), ma quando la differenza rispetto al tempo universale (UT) diventa di un secondo, si aggiunge un secondo, detto **secondo intercalare**, alla scala del tempo UTC in modo da mantenere questa differenza inferiore a 0,9 secondi. L'inserzione del secondo intercalare viene decisa dall'International Earth Rotation Service che misura con continuità la velocità della rotazione terrestre. Le date preferenziali per l'inserzione del secondo intercalare sono il 30 giugno ed il 31 dicembre.

7. DA PLATONE A NEWTON : brevi note di storia dell'astronomia

di Luca Nguyen e Luca Beltrami .

7.1 L'enunciato di Platone.

La maniera di affrontare il problema astronomico che contraddistinse per molti secoli i Greci e i loro discepoli intellettuali, ci è indicata in un enunciato di Platone, risalente al quarto secolo a.C. Egli pose il problema astronomico ai suoi allievi in questi termini:

" Le stelle, rappresentando oggetti eterni, divini e immutabili, si muovono con velocità uniformi attorno alla terra, come noi possiamo constatare, e descrivono la più regolare e perfetta di tutte le traiettorie, quella della circonferenza senza fine. Ma alcuni oggetti celesti, cioè il sole, la luna i pianeti, vagano attraverso il cielo e seguono cammini complessi, con inclusione anche di moti retrogradi. Tuttavia, essendo corpi celesti, anch'essi debbono sicuramente muoversi in maniera conforme al loro rango elevato: i loro moti debbono perciò derivare da una qualche combinazione di cerchi perfetti, dal momento che non descrivono esattamente cerchi perfetti. Quali sono le combinazioni di moti circolari con velocità uniforme che possono spiegare così peculiari variazioni in un insieme coerente di moti regolari nel cielo?"

Per quasi duemila anni il problema così posto fu il più significativo che gli astronomi dovettero affrontare e non vi è alcun dubbio che, per quei tempi, le loro soluzioni furono accurate, valide e geniali, anche se la condizione del moto circolare condizionò e rese davvero complicato il loro lavoro.

L'enunciato di Platone illustra inoltre adeguatamente tre contributi basilari dei filosofi greci, contributi che sono considerati ancor oggi fondamentali per la comprensione della natura delle teorie fisiche:

1. una teoria deve essere basata su idee semplici.
2. una teoria deve essere fondata sulle misure ottenute dall'osservazione dei fenomeni e, per sistemare organicamente i dati ottenuti, il linguaggio dei numeri e della geometria è assai utile.
3. per spiegare fenomeni complessi occorre sviluppare un modello in grado di formulare poi previsioni che si avverino.

Dalle loro osservazioni i Greci avevano concluso che la Terra era grande, solida, fissa al centro dello spazio e che l'apparente varietà delle sostanze osservabili su di essa fossero il risultato della combinazione di quattro elementi (fuoco, acqua, aria e terra), mentre il cielo era popolato da piccoli oggetti remoti che dovevano essere perfetti in quanto lontani dalla terra, nel regno degli dei. Per questi corpi celesti fu dunque proposto un quinto elemento, l'etere, che, pur non esistendo, resiste ancora oggi così bene che molti non dubitano della sua esistenza.

Tale concezione, che poneva la Terra al centro dell'universo, è detta geocentrica e permetteva di spiegare facilmente il moto delle stelle, che venivano fissate su di una grande sfera nel cui centro era posta la Terra, ed il moto del Sole che era fissato su di un'altra sfera, il cui asse passante per la Terra, era inclinato di $23,5^\circ$ rispetto alla sfera delle stelle. Il problema era più complicato per il moto dei pianeti, strani corpi celesti che si muovevano anch'essi attorno alla Terra ma che possedevano moti caratteristici e a volte invertivano pure il loro moto.

L'autorità di Platone e poi quella di Aristotele non permisero l'affermazione di un modello radicalmente diverso che era stato proposto nel terzo secolo a.C. da un astronomo greco, Aristarco da

Samo, il quale suggerì che una spiegazione più semplice dei moti celesti, sarebbe scaturita dal considerare il Sole al centro e la Terra, i pianeti e le stelle in rotazione attorno ad esso. Aristarco fu giudicato empio perché la sua teoria era in contraddizione col buon senso comune!

7.2 Tolomeo e il sistema geocentrico

Il moto dei pianeti diede parecchi grattacapi, ma fu risolto brillantemente nel secondo secolo d.C. da Claudio Tolomeo che spiegò il suo modello, nel suo famoso libro "Almagesto". Tolomeo giunse ad un sistema capace di predire la posizione dei pianeti e le eclissi, con un grado di accuratezza così alto che neppure il sistema

Copernicano, dodici secoli dopo, riuscirà a raggiungere.

Tolomeo mise a punto un modello che faceva uso di circonferenze, in accordo con le ipotesi di Platone, ma anche di accorgimenti geometrici (eccentrico, epiciclo ed equante, vedi figg. 15, 16, 17) che lo portarono a non considerare la Terra come centro esatto dei moti celesti.

7.3 Copernico e il sistema eliocentrico.

Il modello Tolemaico era alquanto complicato e giunse ad aver bisogno di un migliaio di circonferenze per descrivere il moto dei cinque pianeti conosciuti. Per tale ragione, ma non solo, un astronomo polacco, che era anche un importante

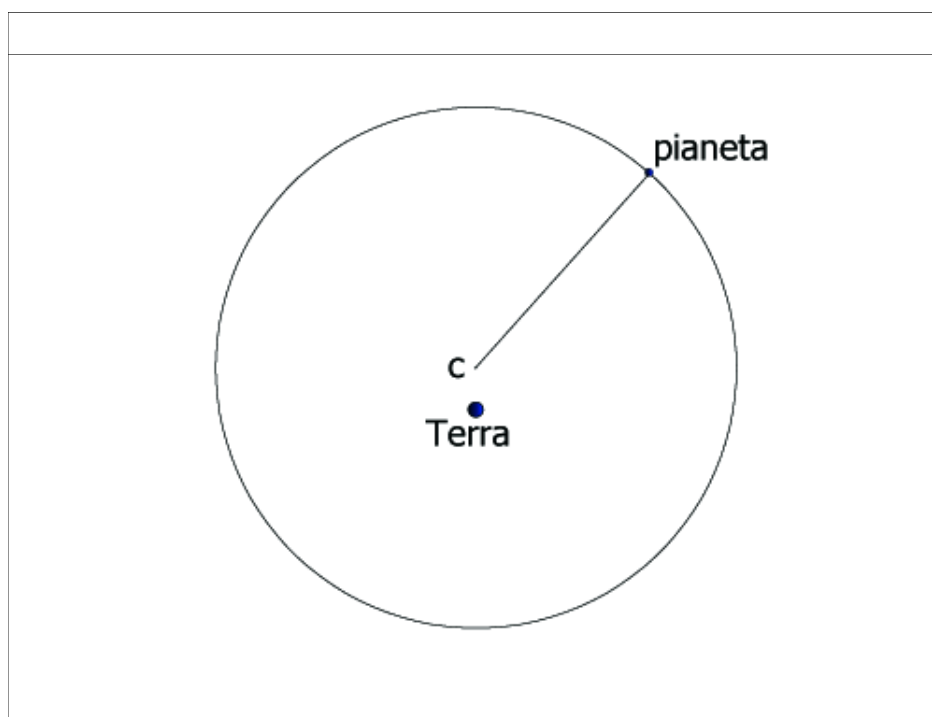


Fig. 14. Il pianeta si muove, a velocità costante, su di una circonferenza (**eccentrico**) il cui centro non coincide con il centro della Terra.

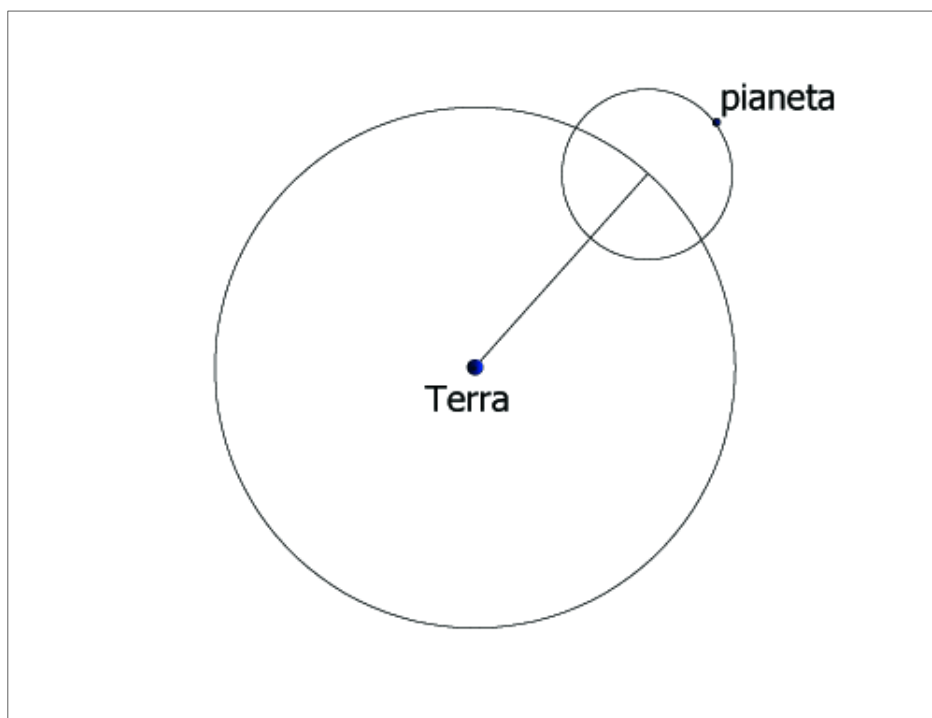


Fig. 16. Il pianeta si muove su di una circonferenza (**epiciclo**) il cui centro ruota su di una circonferenza (**deferente**) centrata sulla Terra. Tutti i moti sono a velocità costante.

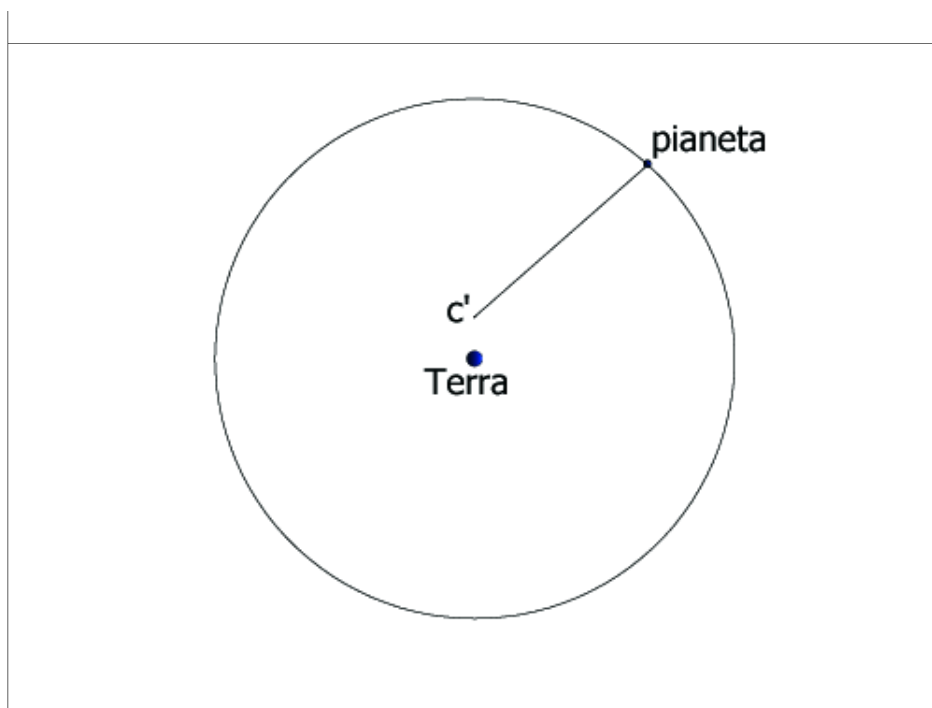


Fig. 17. Il pianeta si muove a velocità angolare costante su di una circonferenza (**equante**) rispetto ad un punto C' che non è il centro della circonferenza che, invece, ha centro la Terra.

uomo di chiesa, Nicola Copernico (1473-1543) propose una nuova visione dell'universo descrivendola nel suo libro "De revolutionibus orbium coelestium" che fu pubblicato nel giorno della sua morte...forse anche per timore di vendite ecclesiastiche. In esso scrive:

...Dobbiamo tuttavia ammettere che questi movimenti (del sole, della luna e dei pianeti) sono circolari o composti di movimenti circolari, poiché solo essi possono mantenere le irregolarità in accordo con una legge immutabile e con ricorsi periodici ben determinati, e ciò non potrebbe aver luogo se i moti non fossero circolari. Infatti solo il cerchio può far ripresentare esattamente ciò che è passato e finito.

Trovai per la prima volta in Cicerone che Nicita credeva che la Terra fosse in movimento. Poi in Plutarco trovai che qualcun altro era della stessa opinione... Perciò anch'io cominciai a meditare sul fatto che la Terra fosse in movimento. E benché l'idea sembrasse assurda, tuttavia, sapendo che ad altri prima di me era stata concessa la libertà di immaginare cerchi arbitrari per spiegare i fenomeni astronomici, ritenni che anche a me sarebbe stato certamente permesso di cercare se, supponendo la Terra animata da un qualche tipo di moto, si potessero trovare spiegazioni più valide di quelle degli astronomi che mi hanno preceduto, per render conto delle rivoluzioni delle sfere celesti. Trovai, dopo lunghe e accurate osservazioni che, se i moti delle altre stelle erranti vengono posti in relazione al movimento circolare della Terra, e se i moti sono studiati tenendo presente il moto di rivoluzione di ogni pianeta, non solamente i fenomeni ad essi relativi trovano logica spiegazione, ma altresì le posizioni e le dimensioni delle orbite dei pianeti e dei cieli stessi risultano collegate tra di loro in modo che in nessuna parte si potrà modifi-

care qualcosa senza sconvolgere le restanti parti e tutto l'universo.

Dopo quaranta anni di studi, Copernico propose un sistema centrato sul Sole e formato da una trentina di circonferenze con eccentrici ed epicicli; il suo sistema era semplice ed elegante ma aveva un piccolo difetto: non funzionava o meglio permetteva previsioni molto meno precise di quelle fatte con il modello Tolemaico, aveva però un grande vantaggio perché descriveva in maniera molto semplice i moti dei pianeti.

Per lungo tempo la teoria Copernicana e i suoi pochi sostenitori, tra cui Galileo, incontrarono una accanita opposizione fondata su argomenti in gran parte analoghi a quelli usati da Tolomeo per confutare il sistema eliocentrico di Aristarco e nel 1616 il De Revolutionibus fu messo all'Indice dalla chiesa cattolica perché "erroneo, in contrasto con la dignità dell'uomo e nell'insieme contrario alle Sacre Scritture" e Lutero chiamò Copernico "lo stolto che vuole sovvertire la scienza dell'astronomia".

7.4 Tycho Brahe, Keplero, Newton.

Negli anni seguenti la morte di Copernico, un astronomo danese, Tycho Brahe, notando che le tavole astronomiche dell'epoca con la posizione dei pianeti non avevano una grande precisione, iniziò una serie di osservazioni estremamente accurate, osservazioni rese possibili da un costosissimo osservatorio e dagli strumenti che il re di Danimarca, Federico II, gli aveva fatto costruire su di un'isola che gli aveva espressamente regalato. I dati sperimentali di Tycho, ottenuti senza l'ausilio di strumenti ottici, che saranno costruiti da Galileo solo qualche

anno dopo, furono utilizzati, alla sua morte, dal suo allievo prediletto, Joannis Keplero.

Keplero rivoluzionò il mondo dell'astronomia attraverso le sue intuizioni: partendo dai dati rilevati da Tycho riguardanti le orbite dei pianeti, riuscì a dimostrare che queste non sono circolari ma ellittiche e che il Sole occupa uno dei due fuochi. Utilizzando e completando egli stesso le numerose osservazioni del moto apparente del Sole e dei pianeti, eseguite da Tycho, cercò la forma della curva che potesse spiegare i dati di osservazione relativi al moto di Marte intorno al Sole. Provò dapprima con una circonferenza in cui il Sole fosse leggermente spostato dal centro lungo la linea degli apsi, poi con un ovale e, sebbene le differenze tra le posizioni del pianeta determinate da Tycho e quelle predette in base al suo modello presentassero differenze davvero piccolissime, di soli otto minuti d'arco (un quarto del diametro della Luna piena), la sua fiducia in Tycho, i cui dati avevano un errore sperimentale di due minuti d'arco, lo portarono a provare con una nuova figura geometrica che si rivelò vincente: un'ellisse con il Sole in uno dei fuochi.

Tale scoperta, che gli era costata due anni di lavoro, si applicava anche agli altri pianeti: dopo duemila anni era stata finalmente trovata la soluzione. I risultati così ottenuti vennero pubblicati nel 1609 nell'opera "Astronomia nova" insieme alla seconda legge relativa alla velocità con cui i pianeti si muovono attorno al Sole (la congiungente Sole-Pianeta spazza aree uguali in tempi uguali). Le ellissi di Keplero segnarono la fine del concetto di perfezione associato al moto circolare introdotto nell'astronomia due millenni prima e conservato ancora da Copernico.

Nell'opera "Harmonices mundi", espose infine la terza legge sulla relazione tra i tempi di rivoluzione dei pianeti attorno al Sole e la loro distanza media da esso ($R^3/T^2 = \text{costante}$) e iniziò a cercare le leggi fisiche in grado di descrivere l'intero universo. Scrive in una lettera del 1605:

...Sono molto occupato nella ricerca delle cause fisiche. Vorrei mostrare che la macchina celeste può essere considerata non tanto come un dispositivo in cui si risente in continuazione della presenza divina, ma piuttosto come un meccanismo d'orologeria ..., poiché tutti i diversi movimenti sono provocati da una singola e semplice forza magnetica, come avviene nell'orologio, in cui tutti i movimenti derivano da un unico peso. Inoltre, già mostrai come questa concezione fisica dei cieli debba essere presentata attraverso il calcolo e la geometria.

Keplero non riuscì nel suo intento, ma le sue scoperte riguardo alla posizione del Sole rispetto ai pianeti e al moto di questi costituirono, assieme alla legge d'inerzia trovata da Galileo, il punto di partenza di Newton per giungere alla scoperta della legge di gravitazione universale, che finalmente spiegò la ragione per cui il Sole, di massa molto maggiore di quella dei pianeti, debba essere il centro di rotazione del nostro sistema.

La legge di Newton, pubblicata nel 1686, afferma che ogni corpo esercita su di un altro qualsiasi, una forza attrattiva che è direttamente proporzionale alle masse dei due corpi, è inversamente proporzionale al quadrato della distanza che li separa ed è diretta lungo la congiungente dei loro centri. La costante G, necessaria per rendere vera l'uguaglianza fu determinata sperimentalmente da Cavendish solo un secolo dopo, nel 1798, ed il suo valore di

$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$, permise di misurare le masse del Sole e dei pianeti. Il grande successo della teoria della gravitazione sta nel fatto che il moto degli oggetti celesti è governato da una regola semplice, che l'uomo è stato in grado di capirla e che con essa ha previsto che il sistema solare aveva altri pianeti oltre a quelli noti fino ad allora!

Nonostante tutto l'entusiasmo suscitato, la legge di Newton è ...errata o meglio è approssimata (come tutte le leggi fisiche): fu modificata da Einstein un secolo fa, ma qui il discorso comincia a farsi difficile ed esula dallo scopo di questa pubblicazione.

7.4 Cenni di geometria.

L'ellisse è una figura geometrica definita

come luogo dei punti la somma delle cui distanze da due punti fissi detti fuochi è costante (fig. 18). L'eccentricità di un'ellisse è data dal rapporto tra distanza tra i fuochi e l'asse maggiore; nella fig. 19, si può notare (?) la differenza tra una circonferenza ed un'ellisse di eccentricità 0,3, eccentricità che non è posseduta da alcun pianeta del sistema solare, come si può vedere dalla tabella sotto riportata.

Pianeta	eccentricità
Mercurio	0,205615
Venere	0,00681
Terra	0,01675
Marte	0,09331
Giove	0,04834
Saturno	0,05589

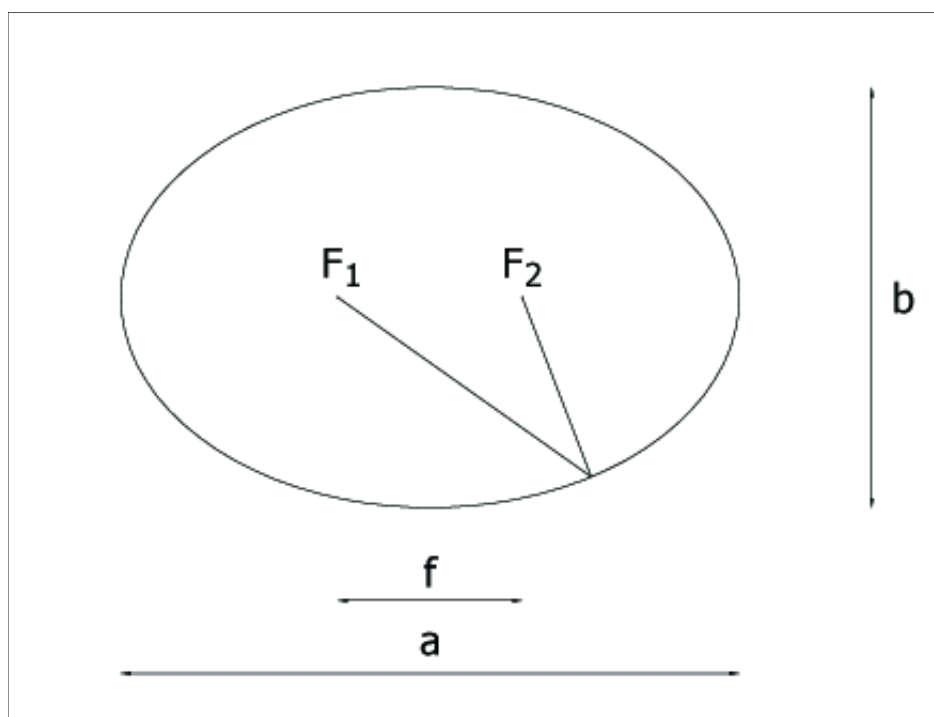


Fig. 17. Ellisse

Urano	0,04634
Nettuno	0,00899
Plutone	0,09331

$$f = e \cdot a = 0,017 \cdot 7000 = 119 \text{ mm.}$$

$$b = a \cdot (1 - e^2)^{0,5} = 7000 \cdot 0,999855 = 6999 \text{ mm.}$$

$$b/2 = 3499,5 \text{ mm.}$$

Riportiamo ora alcuni calcoli che mostrano come la piattaforma circolare su cui è posto il nostro orologio solare sia a tutti gli effetti ...un'ellisse! Tutto ciò per mostrare le difficoltà incontrate dagli antichi per riconoscere come ellittiche le orbite dei pianeti.

Assumiamo che la nostra piattaforma sia circolare e abbia raggio 3500 mm.

L'eccentricità e di una ellisse è definita come rapporto tra la distanza tra i fuochi f e l'asse maggiore a , e poiché per la Terra $e = 0.017$ risulta:

Dunque la piattaforma del nostro orologio solare, che avevamo supposto circolare di raggio 3,50 m. e col Sole nel suo chiodo centrale, può, nei limiti degli errori sperimentali, essere considerata ellittica con i semiassi che differiscono di 1 millimetro (!) e con il Sole posto in uno dei due chiodi posti sull'asse maggiore e distanti tra loro 12 cm.

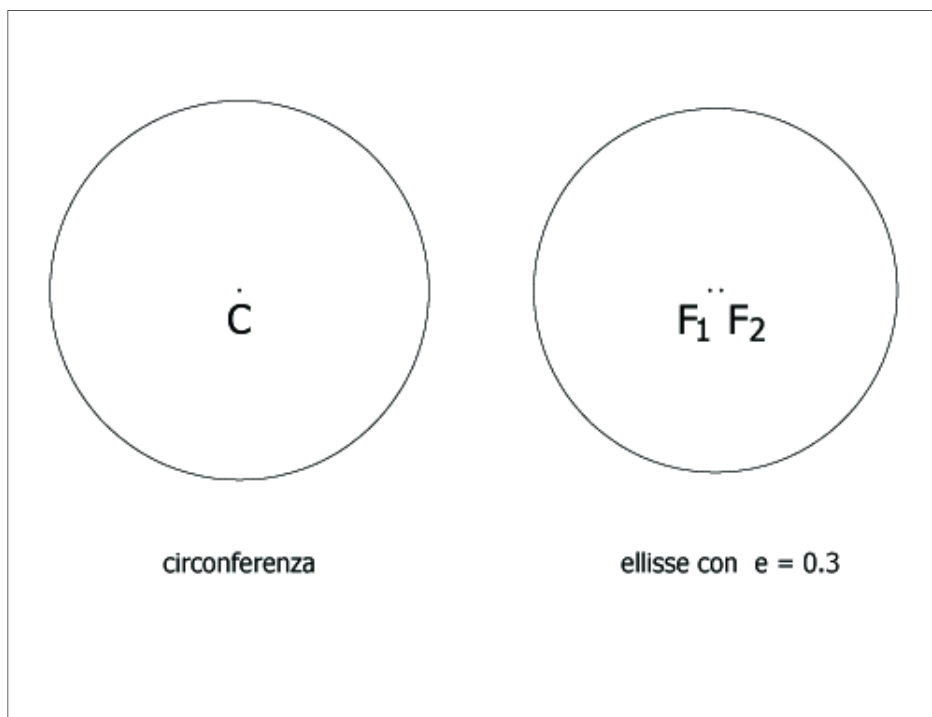


Fig. 19. Confronto tra una circonferenza ed un ellisse di eccentricità 0,3.

8. IL CERCHIO DI IPPARCO.

di Luca Beltrami .

Uno dei più grandi astronomi dell'antichità fu Ipparco di Nicea, vissuto intorno al 130 a.C. Il suo nome è legato, in modo particolare, agli Equinozi. Nel 134, a seguito dell'apparizione di una stella nova, decise di compilare un catalogo in cui registrare la posizione di tutte le stelle visibili e note. Confrontando i suoi calcoli con quelli tramandati da precedenti e più antiche osservazioni, si rese conto che tutto il sistema di riferimento delle coordinate aveva subito una sorta di slittamento. Poiché riteneva che la differenza riscontrata non potesse essere addebitata ad errori di osservazione, in quanto coinvolgeva la quasi totalità delle stelle e si ripercuoteva maggiormente sulla loro longitudine, arrivò alla conclusione che il sistema di riferimento delle coordinate delle stelle non era invariabile, ma soggetto ad un lentissimo, secolare spostamento.

Tale fenomeno, oggi noto con il termine Precessione degli Equinozi, vedi pag. 38, (precessione sta a significare che il punto degli Equinozi, che veniva ed è tutt'ora assunto quale punto di riferimento per le longitudini celesti, ogni anno si sposta di una minima quantità, andando incontro al Sole, per cui la sua data tende ogni anno a verificarsi un po' prima dell'anno precedente) fu in seguito spiegato da un altro grande della Scienza, forse il più grande di tutti, Newton, grazie alla Teoria della Gravitazione Universale, che prevedeva necessariamente, nella sua applicazione al sistema Terra-Luna-Sole-Pianeti, un tale evento.

Per individuare la data esatta del verificarsi dell'Equinozio, l'astronomo greco ideò uno strumento semplicissimo, oggi noto come cerchio di Ipparco.

Poiché l'Equinozio è il momento in cui il Sole, passando dall'emisfero Nord a quello Sud (o viceversa), giace esattamente

sulla verticale dell'Equatore terrestre, se disponessimo un cerchio perfettamente parallelo all'Equatore in tale occasione, e solo in tale occasione, l'ombra proiettata dal cerchio su una qualunque superficie piana, assumerebbe rigorosamente la forma di una linea e l'ombra della parte alta del cerchio si proietterebbe esattamente sul bordo interno inferiore che, a differenza degli altri giorni, risulterebbe non illuminato ; in tutti gli altri giorni dell'anno il cerchio proietta un'ombra a forma di ellisse più o meno schiacciata. Chiunque voglia provare, per curiosità o a scopo didattico, a ripetere l'esperienza e dotarsi di un cerchio di Ipparco, può farlo a costo praticamente zero e senza particolari difficoltà seguendo i suggerimenti in seguito riportati.

8.1. Costruzione del modello.

Occorre innanzitutto munirsi ovviamente di un cerchio di qualunque materiale e dimensioni : si può usare una hula-op, un semplice braccialetto, un anello, il cerchione di una ruota di bicicletta; ovviamente se le dimensioni del cerchio sono piccole, si commetteranno errori più grandi. Questo cerchio (fig. 20) va disposto inclinato sull'orizzonte in maniera che il suo asse sia esattamente nella direzione Nord-Sud e in modo che l'inclinazione del suo piano sia pari ad un angolo che in Astronomia viene chiamato Colatitudine che è il complemento della Latitudine, cioè $\text{Colatitudine} = 90^\circ - \text{Latitudine}$ (per capire meglio potete riferirvi alle figg. 6, 7). Si misuri il diametro del cerchio D e si calcolino:

$$D_x = D \cdot \cos(\text{Latitudine})$$

$$D_y = D \cdot \sin(\text{Latitudine})$$

Chi non ha conoscenze matematiche o non è in grado di determinare la propria Latitudine può tranquillamente utilizzare le seguenti espressioni semplificate in cui è utilizzata una Latitudine di 44,5° Nord (all'incirca quella di Reggio Emilia):

$$D_x = D \cdot 0.695$$

$$D_y = D \cdot 0.719$$

Occorre considerare che l'esperienza è di natura più qualitativa che quantitativa e quindi, per la sua realizzazione pratica, non è richiesta una eccessiva precisione. Su una tavoletta di compensato si tracci una linea (sarà la linea Nord-Sud) e su di essa, distanti la quantità D_x si fissino due bastoncini, di cui uno sia più alto dell'altro

della quantità D_y , quindi su di essi si appoggi e si fissi il cerchio. Ad esempio per un cerchio di diametro 1 metro e sollevato nella parte più bassa di 20 cm. la parte più alta dovrà essere posta a 92 cm. (20+72) e distante 69.5 cm. Realizzato il cerchio, la parte più delicata consiste nel suo corretto orientamento. Facendo riferimento a quanto spiegato a pag. 11, 12 saremo certi di arrivare al fatidico 20-21 Marzo con lo strumento correttamente posizionato. A questo punto non resta che osservare, giorno dopo giorno, la trasformazione dell'ombra da ellisse fortemente schiacciata ad una linea più o meno sottile per poi, passato questo fugace momento di transizione, ritornare ad assumere la forma ellittica. Al posto del

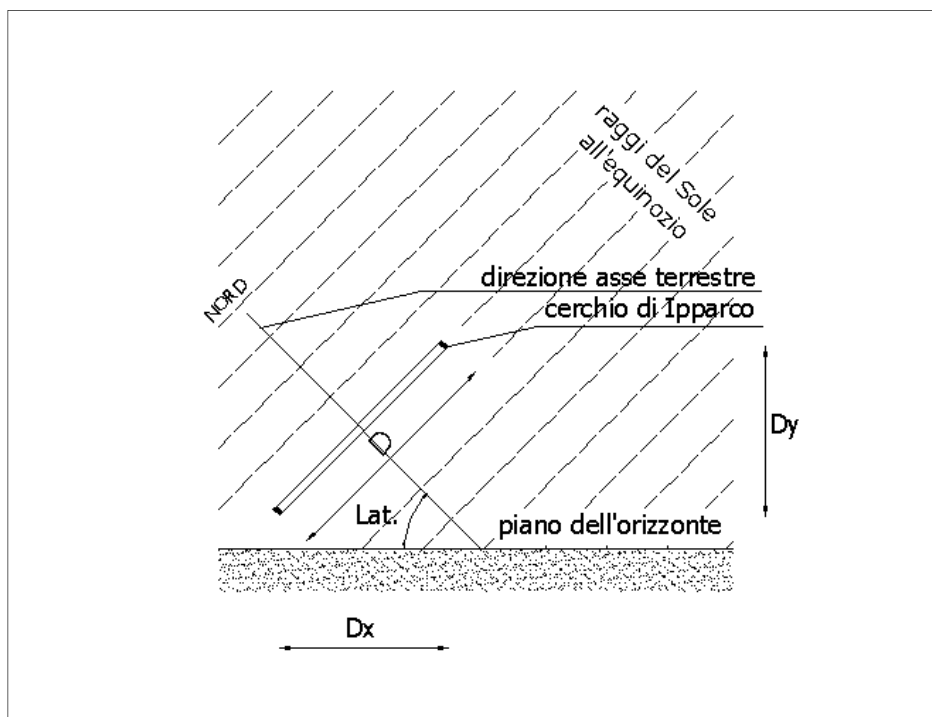


Fig. 20. Il cerchio di Ipparco (sezione).

cerchio si può utilizzare un disco pieno, di cartone o di compensato; il risultato ovviamente non cambia. Probabilmente la proiezione di un'ombra piena comporterà una maggiore difficoltà nell'apprezzare l'istante della sua linearizzazione. Il cerchio, specie se di grandi dimensioni può anche essere appoggiato direttamente al suolo con il suo bordo inferiore (il bordo superiore sarà sollevato dal suolo della sola quantità D_y); in tal caso, poiché l'ombra sarebbe mascherata dal contatto del cerchio con il terreno, è preferibile fare riferimento all'istante dell'oscuramento del bordo interno inferiore. Un metodo che consente una grande precisione è quello di praticare con un trapano dei fori passanti sull'arco superiore. Al momento dell'Equinozio, il bordo inferiore sarà oscurato, ma la posizione delle macchie luminose generate dai fori su di esso consentirà di valutare l'istante del fenomeno. Per questa soluzione vi consiglio un vecchio cerchione metallico di ruota di bicicletta che già contiene i fori per il fissaggio dei raggi.

Nel quadrante del nostro orologio solare, abbiamo posto (Fig. 9.) un (arco di) cerchio di Ipparco, che possiamo montare qualche giorno prima del 20 marzo e del 20 settembre, in modo da determinare l'esatto momento dell'equinozio.

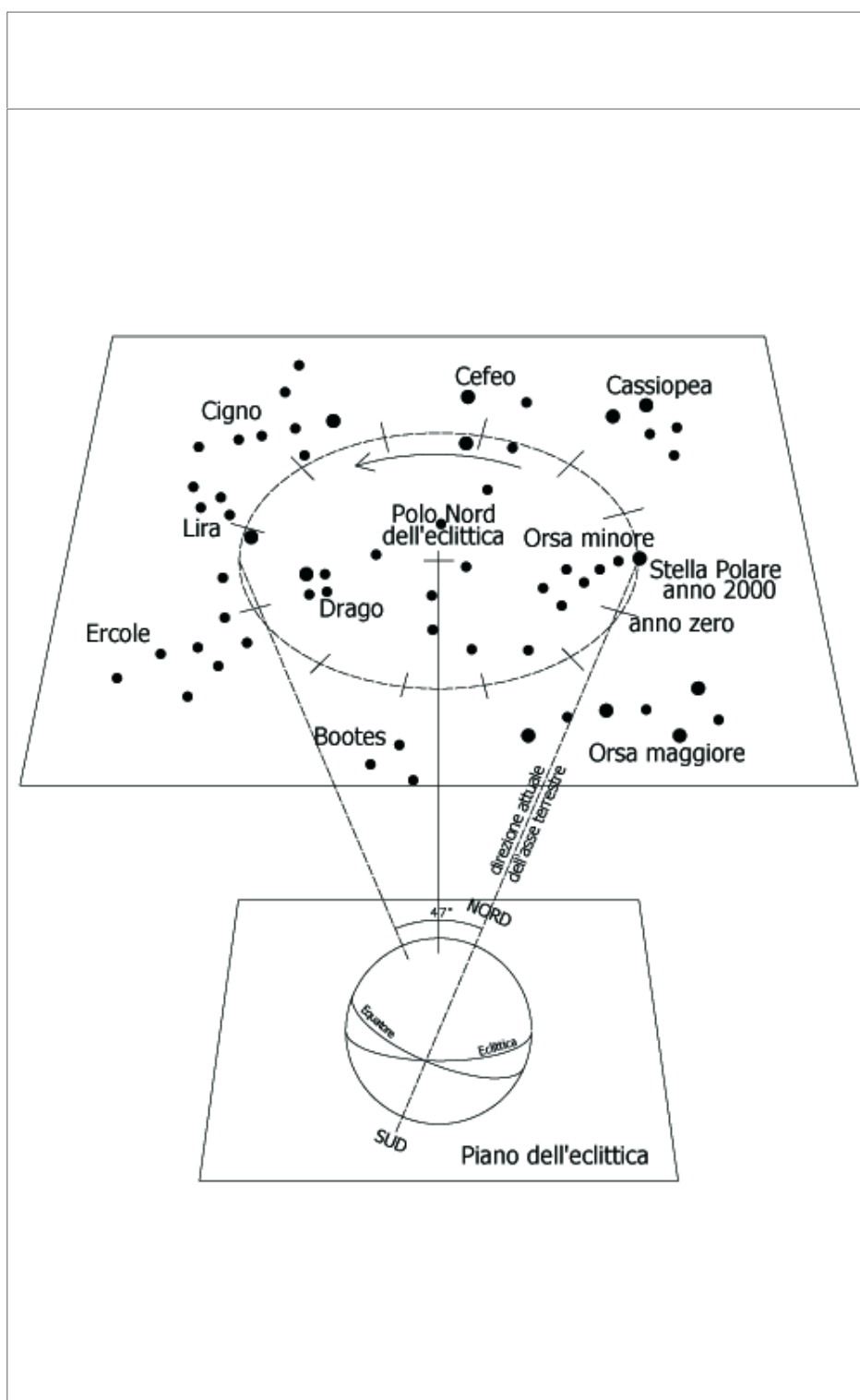


Fig. 21. La precessione degli equinozi.

9. LA PRECESSIONE DEGLI EQUINOZI.

Con tale termine si designa un graduale moto verso ovest della linea degli equinozi, moto causato da un lento cambiamento della direzione dell'asse di rotazione terrestre. Tale fenomeno fu osservato da Ipparco nel 134 a. C. confrontando la posizione di alcune stelle con quella misurata un secolo prima da altri astronomi greci.

Vi sono due tipi di precessione, conosciuti col nome di precessione lunisolare e precessione planetaria. La precessione totale è la somma di queste due.

Il fenomeno della precessione lunisolare, che è di gran lunga il più importante, è quello scoperto appunto da Ipparco e di esso fu data una prima interpretazione da Newton agli inizi del 1700.

Il moto annuo verso ovest degli equinozi causato dalla precessione ammonta a 50,37" (circa 34" a causa della Luna, circa 16" a causa del Sole, la parte restante a causa dei pianeti)

La precessione lunisolare degli equinozi è causata dalla forza di attrazione gravitazionale del Sole e della Luna che, come risultato dello schiacciamento polare della Terra e dell'inclinazione del suo asse, dà origine a una debole coppia torcente sulla Terra durante il suo moto orbitale. Questa coppia non è costante a causa delle posizioni variabili che assumono i tre corpi nello spazio. Per la minore distanza della Luna dalla Terra, la coppia provocata da essa è maggiore di quella dovuta al Sole. Per effetto di tali coppie l'asse della Terra descrive, per effetto giroscopico, un cono attorno alla normale al piano della sua orbita (fig. 21) ; il periodo di tale precessione ha una durata di circa 26 000 anni (anno platonico), in direzione opposta a quella della rotazione della Terra, e quindi gli equinozi procedono da est verso ovest.

La precessione planetaria è invece un moto verso est degli equinozi, dovuto all'effetto degli altri pianeti, che porta a una alterazione della posizione del piano orbitale terrestre modificando di poco l'entità della precessione lunisolare.

Quale risultato della precessione l'attuale Stella Polare, alfa Ursae Minoris, non è stata né sarà per sempre la stella alla quale è diretto l'asse di rotazione terrestre.

Infatti la nostra Stella Polare al tempo di Ipparco era a 12° dal polo e attualmente è a circa 10°. La distanza diminuirà lentamente fino a circa 30', poi crescerà di nuovo fino a circa 46° fra 13 000 anni. La stella alfa Draconis, che 46 secoli fa era presso il polo, oggi ne è lontana oltre 25°. Le costellazioni zodiacali dunque non coincidono più con i segni zodiacali: ad esempio il segno dell'Ariete è attualmente nella costellazione dei Pesci e questo comporta un grave disappunto agli astrologi ed ai veggenti.

10. ERATOSTENE MISURA LA TERRA

Nel 230 a.C. Eratostene effettuò la prima misura della lunghezza del meridiano terrestre. Egli sapeva che a Siene, l'attuale Assuan, città dell'Egitto a sud-est di Alessandria, ogni anno al mezzogiorno locale del solstizio d'estate, il Sole illuminava il fondo dei pozzi. Ciò dipendeva dal fatto che i raggi del Sole erano, in quel momento, esattamente verticali e dunque un palo, piantato verticalmente, non proiettava al suolo alcuna ombra. Nello stesso giorno ad Alessandria, ove egli viveva, notò, al mezzogiorno locale, che i raggi del Sole non erano verticali, ma formavano un angolo di $7,2^\circ$ con la verticale stessa. Eratostene assunse che la distanza Terra-Sole fosse molto grande e che dunque i raggi solari fossero paralleli quando raggiungevano la superficie terrestre. Nell'ipotesi che la Terra abbia forma sferica, l'angolo di $7,2^\circ$ risulta congruente

all'angolo che ha per vertice il centro della Terra e i cui lati passano rispettivamente per Siene ed Alessandria (fig. 22) e quindi rappresenta la distanza angolare tra le due città: esso è uguale ad un cinquantesimo dell'angolo giro. Concluse che la distanza effettiva tra loro, ritenuta di 5.000 stadi, fosse un cinquantesimo della lunghezza della circonferenza terrestre, trovando così il valore di 250.000 stadi: la prima misura della Terra. A quel tempo la stima di distanze così grandi era sicuramente molto imprecisa ed è inoltre difficile stabilire una corrispondenza esatta tra stadio e metro attuale; il valore più accreditato dello stadio è di 185 metri, che darebbe come risultato della circonferenza terrestre 46.250 Km valore che, pur superando di 6.000 Km. la misura reale, è davvero stupefacente, viste le imprecisioni degli strumenti utilizzati.

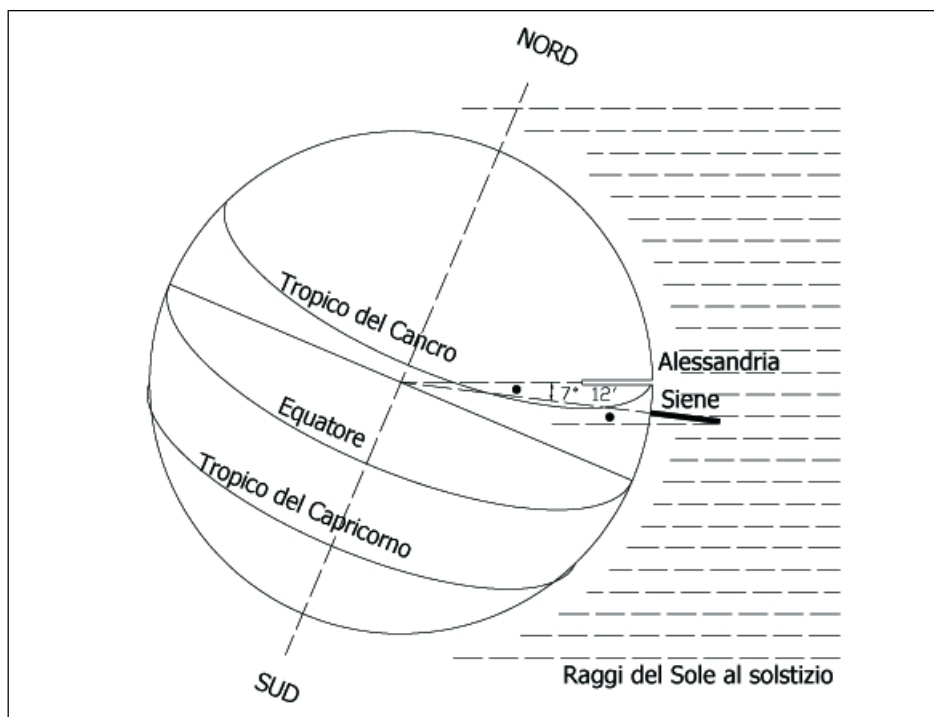


Fig. 22. Il metodo di Eratostene.

11. IL CALENDARIO

di Davide Pedretti e Manuel Aldini .

Il calendario è un oggetto tra i più intricati che si possano incontrare nella storia dell'umanità. Per comprendere l'etimologia della parola occorre tornare indietro all'epoca romana, quando, con il termine "calendarium", si designava il libro in cui i banchieri registravano gli interessi sulle somme date a prestito e le "calende", primo giorno del mese, rappresentavano il momento in cui maturavano tali interessi e dunque si pagavano i conti. In seguito sostituì la parola "fasti" per indicare le tabelle dei giorni, dei mesi e delle fasi lunari ed infine, nel Medioevo, passò ad indicare il complesso delle regole, in uso presso ciascun popolo, per la ripartizione del tempo in periodi più o meno lunghi (giorni, settimane, mesi, anni) e per la fissazione della data rispetto ad un determinato punto di partenza, detto era. Circa l'odierno significato, possiamo dire che il calendario è un sistema per raggruppare coerentemente le unità di misura del tempo di livello superiore; se chiamiamo "giorno" il tempo corrispondente ad una rotazione completa della Terra intorno a se stessa e lo consideriamo come unità fondamentale per la misura del tempo, possiamo dire che il calendario è il sistema per raggruppare i giorni secondo multipli di varie dimensioni (settimane, mesi, anni, e così via) allo scopo di far corrispondere, nel miglior modo possibile, lo scorrere del tempo agli usi della vita sociale e religiosa delle comunità umane. Le modalità di tali raggruppamenti sono state le più diverse nelle varie civiltà e nelle varie epoche, ma la concezione di base, comune a tutti i calendari inventati nella storia dell'uomo, è che essi legavano e correlavano il passare del tempo ai cicli astronomici che si svolgono intorno alla Terra. E' facile comprendere che l'attenzione dell'uomo sia sempre

stata attratta da quei fenomeni astronomici che si manifestano in modo più evidente; in particolare il fenomeno di maggior spicco che è l'alternarsi del giorno e della notte, causato dal moto apparente del Sole, l'evoluzione periodica del ciclo lunare, con il succedersi delle fasi della Luna e la sequenza delle stagioni, collegata con la variazione di durata del giorno e della notte. Di conseguenza, i calendari inventati nelle varie civiltà furono semplicemente dei mezzi per ottenere una certa forma di legame tra il passare del tempo e i cicli astronomici del Sole e della Luna. Nel quadro di questo processo culturale o intellettuale, il guaio peggiore che l'uomo ha dovuto affrontare è stato il fatto che i cicli astronomici del Sole e della Luna non sono tra loro aritmeticamente compatibili e confrontabili con esattezza; infatti, fissato in ogni caso il giorno come unità di misura di base, la Terra gira intorno al Sole in circa 365 giorni e la Luna gira intorno alla Terra, completando il ciclo delle sue fasi, in circa 29,5 giorni; sono proprio quei numeri e soprattutto quei due "circa" che hanno complicato la storia dei calendari. I due numeri che abbiamo citato non hanno un rapporto aritmetico intero e nemmeno costante sia tra loro sia con il giorno; di conseguenza la fantasia dell'uomo ha dovuto sbizzarrirsi in grande misura, dando maggior rilievo all'uno o all'altro evento astronomico, inserendo approssimazioni e correttivi e producendo quindi diversi tipi di calendario. In generale essi si possono raggruppare, a seconda del ciclo astronomico di cui si servono, in calendari solari, lunari, lunisolari e vaghi. In estrema sintesi, i calendari solari si fondano esclusivamente sulla durata della rivoluzione della Terra intorno al Sole, periodo che viene chiamato "anno", l'anno gene-

ralmente è diviso in 12 mesi di durata variabile; essi grossolanamente ricordano la durata delle lunazioni, pur slittando lentamente rispetto ad esse. I calendari luni-solari si regolano sulla stessa durata dell'anno, ma cercano di far coincidere meglio i mesi e le lunazioni; di conseguenza, ogni tanto, essi debbono inserire un tredicesimo mese per rifasare l'anno solare con il ciclo lunare. I calendari lunari regolano l'anno esclusivamente sul ciclo della Luna; quindi, in essi, i mesi slittano continuamente rispetto alle stagioni. Infine il calendario vago comprende un numero fisso di giorni nell'anno, secondo un sistema che comporta un lento slittamento dei mesi rispetto alla situazione stagionale. Notiamo sin d'ora che, ormai in quasi tutto il mondo, si è affermato il calendario solare gregoriano, di cui parleremo compiutamente in seguito; gli altri calendari, che possiamo chiamare "storici", quasi dovunque servono solamente per fissare le date di feste e cerimonie tradizionali.

L'anno, sia esso solare, o siderale o lunare si distingue poi in anno astronomico ed in anno civile: il primo è esattamente la durata del fenomeno celeste preso come base, mentre il secondo è un arrotondamento del primo, fatto allo scopo di eliminare le frazioni del giorno. Si chiama anno solare o tropico, il periodo di tempo che intercorre fra due successivi apparenti ritorni del Sole ad un medesimo punto equinoziale (di solito quello di primavera); esso in media è di 365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 46 secondi; l'anno siderale, corrispondente al tempo che occorre al Sole per ripassare al medesimo cerchio di declinazione d'una data stella fissa, da cui lo si era immaginato partito, è invece leggermente più lungo e vale 365 giorni, 6 ore, 13 minuti e 37 secondi.

E' interessante notare che i calendari a base lunare hanno avuto origine presso i popoli con vita essenzialmente nomade o pastorale, mentre i calendari a base solare nacquerò fra le popolazioni agricole. Un ulteriore sottomultiplo dell'anno (o multiplo del giorno) è la "settimana", diffusa ormai in modo del tutto generale; essa corrisponde circa ad un quarto di lunazione.

La settimana nacque nell'ambito della civiltà babilonese, ma ha anche importanti riferimenti biblici e ad essa è particolarmente legata la liturgia cristiana. Si può inoltre notare che nella tematica della misura del tempo escogitata dall'uomo, appare ripetutamente la presenza del numero 12 e dei suoi multipli (12 mesi nell'anno, 24 ore nel giorno, 12 ore per il buio e per la luce, 60 minuti nell'ora e 60 secondi nel minuto); l'uso del 12 come base di conteggio è di origine babilonese; evidentemente i dotti di quel popolo giustamente consideravano il numero 12 (divisibile per 1, 2, 3, 4) preferibile al 10 (dita della mani, ma divisibile solo per 1, 2 e 5). Per finire questa rapidissima e sommaria panoramica sui calendari, dobbiamo ancora ricordare che, nel passato, il giorno d'inizio dell'anno ha oscillato spesso lungo l'arco dei mesi nelle varie epoche e nelle varie regioni; nella storia troviamo infatti come primo giorno dell'anno, ad esempio, il 1 Gennaio, il 1 Marzo, il 21 Marzo, il giorno dell'Annunciazione (25 Marzo), l'equinozio di primavera, l'equinozio d'autunno, ecc.; il nome degli odierni mesi ottobre, novembre e dicembre ricorda ancora che in epoca romana, prima del 143 a.C., l'anno iniziava con il mese di marzo, sicché gli odierni ultimi tre mesi erano allora l'ottavo, il nono ed il decimo mese. Oggi il capodanno è quasi dovunque generalizzato al 1 gennaio.

11.1 Cenni astronomici

Il calendario gregoriano, di cui vogliamo parlare, è un calendario solare. Per vedere bene che cos'è un calendario solare, e in particolare com'è nata la riforma gregoriana, quando e perchè è stata promulgata, dobbiamo cominciare col dare qualche rapido cenno di astronomia che integra quanto compare nell'articolo "da Platone a Newton" a pagina 27.

I fatti astronomici che sostanzialmente interessano il calendario sono i due movimenti del pianeta Terra su cui ci troviamo:

- a) il movimento di rotazione su se stessa che la Terra compie in senso antiorario intorno all'asse polare, la cui durata è chiamata "giorno";

- b) il movimento di rivoluzione intorno al Sole che la Terra effettua su un'orbita ellittica, la cui durata è chiamata "anno". Gli assi delle due rotazioni sono inclinati tra loro di $23^{\circ} 27'$, quindi dello stesso angolo sono inclinati tra loro i piani dell'equatore terrestre e dell'orbita ellittica su cui gira la Terra. L'inclinazione dei due assi di rotazione causa, tra l'altro, il succedersi delle stagioni, poichè, a seconda della posizione della Terra sulla sua orbita annuale, il Sole illumina e riscalda in maggior misura l'emisfero nord o quello sud del pianeta. Se vogliamo mettere in relazione questi due movimenti della Terra, cioè sapere quanti giri essa fa durante un'intera rivoluzione intorno al Sole, ci accorgiamo che questi giri sono "365 più una frazione di giro"; in termini pratici possiamo dire che in un anno vi sono "365 giorni più una frazione di giorno". Quelli che abbiamo visto succintamente sono i movimenti "reali" della Terra che influenzano il calendario; però, siccome gli uomini sono inguaribilmente egocentrici, si immagina che invece sia il Sole a girare

intorno alla Terra, sia nella rotazione diurna che porta al giorno e alla notte, sia nella rivoluzione annuale che porta alle variazioni di clima e di durata del dì. Perciò attribuiamo al Sole dei moti "apparenti" corrispondenti a quelli reali della Terra; per esaminare questi fatti astronomici apparenti alla maniera di Tolomeo, mettiamo la Terra ferma al centro dell'universo, intorno alla Terra poniamo la volta celeste, sulla quale proiettiamo tutti gli astri, compreso il Sole; ad essi attribuiamo tutti i loro moti apparenti e vediamo che cosa succede. Per effetto della rotazione reale della Terra su se stessa, tutti gli astri, Sole compreso, apparentemente ruotano sulla sfera celeste in senso orario, completando un giro in 24 ore. Per effetto della rivoluzione annuale della Terra, il Sole in apparenza percorre sulla volta celeste un cammino, che gli astronomi chiamano eclittica (da "eclisse": infatti l'eclittica è la linea sulla quale si manifestano le eclissi, sia di Sole sia di Luna), completando un giro in un anno.

Il piano dell'eclittica è inclinato di $23^{\circ} 27'$ sul piano dell'equatore, quindi essa incontra l'equatore in due punti opposti che vengono chiamati "equinozi" (da "notti eguali"; infatti quando il Sole è all'equinozio, giorno e notte sono di ugual durata). L'eclittica si può considerare divisa in quattro archi di 90 gradi ciascuno; questi tratti sono percorsi dal Sole nelle quattro stagioni, che dividono climaticamente in quattro settori il suo percorso annuale. Il punto equinoziale in cui il Sole tocca l'equatore e comincia a "salire" sull'emisfero nord è chiamato "equinozio di primavera" e punto gamma d'Ariete; in quel punto inizia la primavera e la durata del dì è uguale a quella della notte; a mano a mano che il Sole sale verso nord in questo emisfero, il giorno si allunga rispetto alla

notte e il clima diventa sempre più mite; dopo 90 gradi di cammino sull'eclittica, il Sole raggiunge il punto di massima elevazione sull'equatore, nel punto dell'eclittica detto "solstizio estivo" (solstizio da "sol stat", il Sole sta, cessa di salire); qui inizia l'estate, che dura per altri 90 gradi, sino a che il Sole, scendendo verso l'equatore, raggiunge l'altro equinozio, detto "autunnale"; seguono lungo l'eclittica le altre due stagioni, autunno e inverno, separate dall'altro solstizio, quello "invernale", nel punto di massima depressione; al termine dell'inverno il Sole raggiunge nuovamente il punto dell'equinozio di primavera dove completa il suo giro annuale e si appresta ad iniziare il giro successivo, cioè il nuovo anno.

Se vogliamo contare i giorni in cui il Sole percorre la sua eclittica basta distribuire sull'eclittica 365 punti e, cominciando da un punto qualsiasi, distribuire su di essa, in successione, i giorni di un calendario di 365 giorni. In sostanza, stabilire un calendario solare significa appunto accordare i 365 giorni del calendario con le posizioni che il Sole ha sulla sua eclittica nel corso dell'anno. Tutto ciò funzionerebbe perfettamente se il giro annuale del Sole durasse un numero intero di giorni; purtroppo ciò non succede; abbiamo visto infatti che l'anno dura qualcosa di più di 365 giorni, e questo "qualcosa in più" innesca una complicata tematica del calendario solare in generale.

11.2 Il calendario Giuliano.

Iniziamo ora a esaminare come si è sviluppato il nostro attuale calendario solare, partendo dalla situazione che era in vigore a Roma, prima di Giulio Cesare. Il calendario di quel tempo, stabilito forse da Romolo e poi corretto da Numa

Pompilio, era di carattere essenzialmente lunare; esso si basava su un anno civile che durava 355 giorni, corrispondenti a 12 lunazioni; per rifarlo sull'anno solare ogni tanto si inseriva un mese intercalare, della durata di una ventina di giorni, secondo calcoli che i sacerdoti facevano in modo del tutto approssimato.

Al passare degli anni, questa incerta procedura aveva determinato un sensibile sfasamento tra calendario e astronomia, sino a quando Giulio Cesare, assistito dall'astronomo alessandrino Sosigene, nel 46 a.C. decise di mettere le cose a posto, riportando le stagioni in fase con il calendario. Per ottenere questo risultato Cesare dovette aumentare di 90 giorni l'anno 46 a.C. in cui fece la riforma, anno che per questo motivo venne chiamato "l'anno della confusione". Oltre a rifare la situazione calendariale, Cesare trasformò il calendario romano da lunare a solare. Valutando, secondo il parere di Sosigene, che la durata della rivoluzione terrestre intorno al Sole (o, meglio, del Sole intorno alla Terra) fosse di 365,25 giorni, egli stabilì che il calendario annuale fosse di 365 giorni, e che, per compensare l'eccesso di 0,25 giorni, cioè di 1/4 di giorno, ogni 4 anni fosse inserito un giorno intercalare aggiuntivo, che doveva raddoppiare il 24 febbraio.

Poichè, secondo la terminologia romana, il 24 febbraio era il sesto giorno prima delle calende di marzo, il giorno aggiuntivo venne chiamato "bis sextus dies ante calendas martias", da cui derivò il suo nome abbreviato "bisextilis" (bisestile) tuttora in uso. Questo calendario romano, che giustamente venne chiamato "giuliano", restò in vigore per molti secoli in tutti i paesi che prima o poi fecero parte dell'impero romano. Basato sulla durata dell'anno astronomico valutata da

Sosigene in 365,25 giorni, rispetto alla realtà manifestava ancora una piccola differenza dato che l'anno dura esattamente 365,2422 giorni; e qui siamo arrivati al nocciolo della questione. Il piccolissimo scarto dalla realtà comportava un lievissimo slittamento del calendario rispetto alla situazione astronomica, ma esso era talmente esiguo (0.78 giorni al secolo) che poteva essere apprezzato dall'uomo solo dopo lunghissimi periodi di tempo, dell'ordine di molti secoli.

Dobbiamo anche aggiungere che lo slittamento di pochi giorni che si sarebbe manifestato dopo molti secoli, non poteva avere alcuna importanza agli effetti delle attività sociali calendariali della gente. All'atto pratico Giulio Cesare e Sosigene potevano essere ben soddisfatti della loro opera e i loro discendenti non avrebbero avuto alcun motivo sociale per intervenire con cambiamenti; lo slittamento tra calendario e astronomia a tutt'oggi sarebbe arrivato soltanto a 13 giorni: davvero ben poca cosa.

11.3 La chiesa cattolica e la data della Pasqua.

Prima di proseguire dobbiamo per un momento cambiare scenario. Passiamo al IV secolo d.C., in periodo di pieno fulgore della Chiesa cristiana, che si trovava in una posizione di grande espansione e di riassetto teologico sul piano delle fede e della liturgia. Nel 325, di fronte al divulgarsi dello scisma di Ario, l'imperatore Costantino il Grande giudicò che fosse venuto il momento di intervenire e convocò a Nicea, in Bitinia, un famoso Concilio Universale che condannò solennemente l'arianesimo.

Tra le altre decisioni, il Concilio promulgò anche la regola generale per stabilire la

data in cui celebrare annualmente la festa della Pasqua, che fino ad allora veniva osservata in modo diverso nelle varie regioni cristiane. La regola stabiliva che "tutte le Chiese celebreranno la Pasqua nella domenica che segue il plenilunio successivo all'equinozio di primavera".

E' una regola a carattere calendariale luni-solare, sembra facile, ma non lo è. Le irregolarità dei moti del Sole e della Luna e le loro reciproche incompatibilità, obbligarono a definire in modo permanente, ma non corretto per l'astronomia, il significato di equinozio e di plenilunio. Gli astronomi alessandrini, appositamente interpellati dai padri conciliari, indicarono il 21 marzo come la data in cui a quell'epoca si verificava l'equinozio primaverile; così il concilio di Nicea stabilì che nella regola della Pasqua per "equinozio" si dovesse intendere il 21 marzo e per "Luna Piena" la Luna che segue di 14 giorni il novilunio. In sostanza il tutto venne interpretato alla luce di un calendario lunisolare ecclesiastico che non necessariamente corrispondeva al calendario astronomico. Si poté così continuare a usare nella liturgia ecclesiastica il complesso rapporto tra i moti del Sole e della Luna e nel contempo governare con maggior ordine e uniformità la data della Pasqua.

11.4 Gregorio XIII e la riforma del calendario.

Torniamo ora ai problemi del calendario, che avevamo lasciato al tempo di Giulio Cesare.

Mentre attraverso i secoli scorreva placidamente il calendario giuliano, la durata dell'anno solare, mal compensata da Sosigene, che aveva dettato quel calendario, faceva allontanare piano piano il 21 di marzo dall'equinozio di primavera, alte-

rando il rapporto tra religione e astronomia fissato dal Concilio di Nicea.

Al ritmo di 8 decimi di giorno al secolo, al passare dei secoli lo sfasamento cominciò a divenire sensibile, spostando la Pasqua cristiana dalla sua conciliare posizione astronomica. In conseguenza la Chiesa iniziò una serie di studi per correggere questa inaccettabile anomalia liturgica. Com'è noto (e siamo finalmente giunti al culmine del nostro tema) le azioni necessarie vennero intraprese nel 1582, quasi 13 secoli dopo il Concilio di Nicea, dal Papa Gregorio XIII.

Era questi il bolognese Ugo Boncompagni, di formazione giuridica, la cui attività papale è registrata nella storia in modo piuttosto controverso. Arrivato tardi al sacerdozio (aveva già un figlio legittimo e forse altri non riconosciuti...), partecipò attivamente al Concilio di Trento e nel 1572, all'età di 70 anni, succedette nel papato a Pio V. Governò con un rigoroso senso della giustizia, fortemente alieno da ogni forma di nepotismo; fu un Papa certamente molto combattivo e la sua politica fu soprattutto l'arte del possibilismo, talvolta anche eccessivo. Instancabile nel perseguire i protestanti, dovunque essi fossero, finanziò rivolte contro il regime inglese, combatté energicamente eretici, turchi e in generale tutti i non cattolici. In politica interna cercò di raccogliere in ogni modo i fondi necessari per le sue imprese, ricorrendo anche a confische di ogni genere e, in conseguenza, alimentando reazioni e lotte tra i partiti e le fazioni e un sensibile aumento del banditismo. Ma è stato soprattutto il suo intervento nel campo della liturgia pasquale a fargli ottenere un eminente posto perenne nella storia dell'umanità. Durante il suo papato, gli astronomi del tempo, e soprattutto Egnatio Danti, gli dimostrarono,

senza possibilità di dubbio, che dal tempo del Concilio di Nicea, il calendario era rimasto indietro di 10 giorni rispetto al Sole; il 21 marzo, giorno teorico dell'equinozio, sul quale si gestiva la data di Pasqua per dettato del Concilio di Nicea, il Sole non si trovava più all'equinozio, ma lo aveva passato da ben 10 giorni.

Nella Torre dei Venti del Vaticano vi è ancora tracciata sul pavimento, la linea meridiana sulla quale Egnatio Danti dimostrò al Papa che il Sole passava sull'equinozio l'11 marzo, anziché nel conciliare 21 marzo, alterando in modo grossolano il momento per celebrare la Pasqua secondo le intenzioni del Concilio di Nicea.

Per apportare le necessarie correzioni e mettere d'accordo calendario e Sole, nel 1582 il Papa decise di adottare il brillante studio del calabrese Luigi Lilio (presentato dal fratello Antonio, perché nel frattempo Luigi era scomparso) e ordinò la famosa riforma del calendario che ancor oggi è in vigore in tutto il mondo civile e che ha iscritto il nome di Gregorio XIII nella storia dell'umanità. In sostanza lo scopo della riforma consisteva nel riportare il 21 di Marzo sull'equinozio di primavera e di tenerlo perennemente in quel punto dell'eclittica. Per ottenere questo risultato la riforma interveniva sul calendario con due provvedimenti fondamentali; il primo consisteva nel drastico immediato riasamento della data rispetto alla situazione astronomica, saltando di colpo 10 giorni di calendario; perciò nell'anno 1582 dal giovedì 5 Ottobre si passò direttamente al venerdì 16 ottobre (la successione dei giorni della settimana, che non ha rilevanza astronomica, rimase invariata); il secondo provvedimento del Papa fu quello di modificare la regola dei giorni bisestili, per evitare che lo slittamento della data tornasse a verificarsi nel

futuro. Per comprendere questo secondo provvedimento, notiamo che la durata dell'anno, accertata con precisione in 365,2422 giorni (anziché i 365,25 di Sosigene), può essere scritta in forma frazionaria:

$$1 \text{ anno} = (365 + 1/4 - 1/100 + 1/400 + - 0,0003) \text{ giorni}$$

da questa espressione si vede che, assumendo un calendario di 365 giorni, si commettono errori di:

- 1 giorno ogni 4 anni
- + 1 giorno ogni 100 anni
- 1 giorno ogni 400 anni
- + 1 giorno ogni 3333 anni.

Per evitare questi errori la riforma stabilì l'assetto dei giorni bisestili come segue:

- inserimento di un giorno bisestile ogni 4 anni, negli anni divisibili per 4, per correggere il primo errore; il giorno viene aggiunto come 29 febbraio;
- esclusione del giorno bisestile negli anni centenari, anche se divisibili per 4, per correggere il secondo errore;
- inserimento del giorno bisestile negli anni divisibili per 400 (o con le prime due cifre divisibili per quattro), anche se centenari, per correggere il terzo errore;
- nessun provvedimento per correggere il quarto microscopico errore.

Per meglio chiarire questa regola, diciamo che, a causa della riforma gregoriana, sono stati e saranno bisestili, ad esempio, gli anni 1980, 1984 ... 1996 eccetera perché sono divisibili per 4; non sono stati né saranno bisestili gli anni 1800, 1900 ... 2200 eccetera perché sono centenari; sono stati bisestili e lo saranno gli anni 1600, 2000, e così via, perché sono divisibili per 400.

Adottando la regola gregoriana, nel cerca-

re di ottenere l'accordo tra calendario e Sole rimane non corretto l'ultimo termine della formuletta dell'anno (- 0,0003 giorni) che comporta l'errore di 1 giorno circa ogni 33 secoli; diciamo che questo errore si può considerare accettabile, ovvero che i nostri posteri del secolo 4900 dovranno togliere 1 giorno dal calendario, saltando uno dei prescritti giorni bisestili.

Per concludere il discorso vediamo una breve sintesi di come la riforma venne accolta e assimilata nei vari paesi del mondo. Il cambio del calendario disposto dal Papa fu applicato immediatamente da tutti gli stati italiani e dagli stati iberici, mentre la Francia si adeguò con un ritardo di due mesi; all'inizio dell'anno successivo la riforma fu applicata nei Paesi Bassi e due anni dopo anche dai settori cattolici della Germania e della Svizzera; nel 1586, cioè quattro anni dopo, Polonia e Ungheria chiusero l'elenco delle nazioni che accettarono la riforma relativamente presto. I protestanti, pur riconoscendo l'opportunità scientifica del provvedimento, non vollero accettare che essa venisse imposta con un ordine del Papa; però nel 1610 la Prussia ruppe il loro fronte adeguandosi alla riforma; gli altri Stati protestanti attesero un secolo, ma nel 1700 anche Germania, Olanda, Danimarca e Norvegia si allinearono, seguite nel 1750 da Gran Bretagna e Svezia. I paesi più resistenti furono quelli ortodossi. La Russia aspettò sino al 1918, quando il governo comunista decise di passare al calendario gregoriano; una conseguenza di questo ritardo fu che la cosiddetta "rivoluzione d'ottobre" in pratica si svolse nel nostro mese gregoriano di novembre. Altri paesi ortodossi (tra cui Jugoslavia e Romania) seguirono la Russia nel 1919; l'ultima ad adeguarsi fu la Grecia, che adottò il nuovo

calendario solo nel 1928, ma con alcune riserve circa la data della Pasqua.

Anche i paesi extra-europei dovettero adeguarsi alla novità calendariale europea; usando calendari diversi da quello giuliano, essi seguirono schemi diversi di armonizzazione; comunque il Giappone si allineò nel 1873, la Cina nel 1911, la Turchia nel 1927, nel quadro del modernismo di Atatürk. Naturalmente va tenuto presente che ogni sensibile ritardo nell'applicazione del nuovo calendario comportava, rispetto a quello giuliano, un aumento dei giorni da saltare, poichè il loro numero cresceva al ritmo di quasi un giorno per secolo. Il rilevante scalamiento nel tempo dell'adesione alla riforma gregoriana da parte dei vari paesi europei e asiatici, può essere stato causato, oltre che da motivi di rivalità religiosa e politica, anche da qualche incertezza sulla correttezza tecnica dei conteggi su cui era basata. Nell'ambito stesso della Chiesa cattolica qualche dubbio aleggiò ancora per qualche tempo dopo la riforma e un episodio lo conferma con evidenza; la costruzione della grande meridiana nella Basilica di Santa Maria degli Angeli a Roma. Questo impianto, pur essendo stato completato nel 1702, è strettamente legato alle vicende del calendario gregoriano. L'anno 1600, pur essendo secolare, era anche divisibile per 400 e, secondo la nuova regola, fu bisestile come sarebbe stato nel calendario giuliano; quindi passò praticamente inosservato; ma, negli anni successivi, i Papi che seguirono Gregorio XIII furono assillati dalle istanze di coloro che chiedevano rigorosi controlli per verificare che il calendario riformato fosse realmente in armonia con la "legge dei tempi" e corrispondesse alle intenzioni del Concilio di Nicea.

Questa ansia di controllo divenne parti-

colarmente acuta all'avvicinarsi dell'anno 1700, sotto il papato di Innocenzo XII: infatti si verificava in quell'anno una delle innovazioni della riforma, poichè il 1700 era il primo anno che, bisestile nel calendario giuliano, non lo era più in quello gregoriano. Innocenzo XII non ebbe il tempo ne' la voglia di far nulla, ma il suo successore, Clemente XI, appena eletto, fece subito costruire da Francesco Bianchini, eclettico scienziato al servizio del Papa, la gigantesca e stupenda meridiana tuttora esistente sul pavimento michelangiolesco della Basilica di Santa Maria degli Angeli a Roma; essa doveva servire soprattutto per controllare in quale giorno esattamente si verificava l'equinozio di primavera, pilastro del procedimento per la definizione della data della Pasqua.

L'inaugurazione di questa meridiana fu celebrata anche con l'emissione di una medaglia commemorativa, sulla quale l'immagine dell'impianto era accompagnata dalla scritta "gnomone astronomico ad usum kalendari constructo" che spiega esattamente lo scopo dell'impresa. Naturalmente i controlli eseguiti dal Bianchini usando la sua gigantesca e precisissima meridiana, dettero risultati pienamente soddisfacenti circa l'esattezza del calendario riformato.

11.5 Futuro del calendario

Per concludere queste note segnaliamo qualche curiosità circa le future prospettive che si possono presentare per il nostro calendario gregoriano, la cui eventuale ulteriore riforma è blandamente in discussione da molto tempo. I principali difetti che gli vengono attribuiti sono la durata variabile dei mesi e la variazione dei giorni della settimana da un anno

all'altro; secondo alcuni, questi difetti disturberebbero l'organizzazione della vita sociale contemporanea; un ulteriore fastidio amministrativo sarebbe causato dalla variabilità della data di Pasqua, che può oscillare tra il 22 marzo e il 25 aprile per colpa della Luna e della domenica mobile. Nel 1927 l'allora Società delle Nazioni condusse un'inchiesta sul problema del calendario e accolse due possibili progetti di riforma:

- il primo progetto presentava un cosiddetto "calendario fisso", costituito da 13 mesi di 28 giorni ciascuno, per un totale di 364 giorni; ogni mese comincerebbe di domenica e avrebbe quattro settimane; il capodanno sarebbe festivo e verrebbe inserito come 29 dicembre, giorno intercalare fuori del ciclo delle settimane; il giorno bisestile seguirebbe l'attuale regola e resterebbe anch'esso fuori del ciclo settimanale

- il secondo progetto proponeva un calendario detto "universale" costituito da 4 trimestri eguali di 91 giorni, anche questo quindi con un totale di 364 giorni: il primo mese comincerebbe sempre di domenica e avrebbe 31 giorni; gli altri due mesi, con 30 giorni, comincerebbero sempre rispettivamente di mercoledì e di venerdì; il capodanno, 365esimo giorno e il giorno bisestile resterebbero esclusi dal ciclo settimanale come nel precedente progetto, e verrebbero intercalati alla fine di dicembre e alla fine di giugno.

All'atto pratico nulla è accaduto sinora per una eventuale revisione del calendario gregoriano; anzi, negli ultimi decenni la tendenza di studiare forme di calendario più razionali di quello vigente si è andata attenuando. Vedremo che cosa ci riserverà il futuro. Unico indizio di cui possiamo disporre per ora è che la Chiesa cattolica, in sede di Concilio Vaticano, ha già

fatto presente di non opporsi a eventuali modifiche del calendario, purchè rimanga rispettato l'istituto della settimana di sette giorni con la "domenica" e di non respingere, in linea di principio, la possibilità che la Pasqua venga celebrata in una domenica fissa, eguale per tutti gli anni.

Prima di finire mostriamo quale sfasamento tra calendario e Sole si sia manifestato sino ad oggi per effetto di quel dannato errore residuo di 0,0003 (tre decimillesimi) di giorno nella durata dell'anno, errore che non viene compensato nella regola gregoriana degli anni bisestili. Il calcolo ha come risultato che dopo 410 anni di funzionamento, il calendario gregoriano è rimasto indietro rispetto al Sole di quasi 3 ore (per l'esattezza 2 h 57 m) e dunque le nostre generazioni ed i prelati che debbono calcolare la data della Pasqua, possono sopportare questo scarto senza grandi problemi.

12. OROLOGI ANTIORARI

Il quadrante degli orologi meccanici deriva direttamente dagli orologi solari, ove abbiamo visto che lo scorrere del tempo è dato dallo spostamento dell'ombra di uno gnomone su di un quadrante. Nel nostro emisfero settentrionale l'ombra è rivolta verso Ovest quando il Sole sorge, per poi spostarsi nel corso della giornata verso Est per un osservatore che guardi verso Nord.

Negli orologi meccanici, il cui uso risale alla fine del XV secolo, il movimento delle lancette copia quello dell'ombra degli orologi solari e dunque è ragionevole ipotizzare che se l'orologio fosse nato nell'emisfero meridionale le lancette andrebbero in senso opposto (fig. 23).

Ecco come sarebbe un orologio di tale tipo.



Fig. 23. Orologio "antiorario".

13. ASTRONOMIA E ASTROLOGIA

Una delle domande più frequenti che ci hanno rivolto da quando abbiamo iniziato la progettazione dell'orologio solare, ha riguardato i segni zodiacali e l'astrologia. Ho spiegato cortesemente a tutti il mio pensiero e si è deciso poi di non far comparire sul quadrante dell'orologio solare neppure i segni zodiacali, per non essere trascinati tutte le volte in lunghe discussioni con chi prende ancora sul serio queste antiche superstizioni. A dir il vero, confesso che la tentazione di porre i segni zodiacali sul quadrante dell'orologio solare, per fare oroscopi "scientifici" a pagamento e arrotondare così lo stipendio di insegnante, mi aveva sfiorato la mente, ma un sussulto di dignità e una sorta di pudore infantile, mi ha dissuaso dal cattivo pensiero.

L'articolo che segue e che condivido in pieno, è tratto liberamente da una pubblicazione del CICAP (Centro Italiano per il Controllo delle Affermazioni sul Paranormale) che ringrazio per la gentile concessione.

13.1 Astrologia

Questa disciplina esoterica afferma che: "sulla base di misurazioni astronomiche (quindi su un fondamento apparentemente scientifico) si può prevedere il futuro dell'uomo". Le tecniche fondamentali risalgono a circa 4.000 anni fa, ma non si è certi di chi l'abbia inventata.

Gli studi più recenti sembrano indicare i Minoici come i più probabili candidati a tale onore e ciò per diversi motivi:

- è abbastanza plausibile che la funzione primitiva per cui nacque l'astrologia fosse quella di avere punti di riferimento per la navigazione notturna, ed i Minoici erano senza dubbio i migliori navigatori del loro tempo;

- i loro commerci erano al massimo dello sviluppo proprio nel periodo che pare il più indicato per l'inizio delle valutazioni astrologiche (tra il 3000 e il 2000 a.C.);

- infine, Creta è situata tra 35° e 36° di latitudine Nord, e dunque si trova in una posizione ideale per rilevare le costellazioni, così come sono state descritte nei testi più antichi che abbiamo oggi a disposizione.

Le "regole degli oroscopi", scrive il prof. Bart J. Bok, astronomo dell'Università dell'Arizona, "risalgono ai lavori di Tolomeo, nel secondo secolo dopo Cristo. Questi scrisse due famosi libri: *Almagesto*, il trattato più completo sul movimento dei pianeti pubblicato nei grandi giorni dell'astronomia greca, e *Tetrabiblos*, la "bibbia" dell'astrologia.

"L'*Almagesto*" commenta Bok, "è oggi considerato con rispetto e ammirazione dagli storici della scienza, ed è senza dubbio una delle grandi opere del passato. Tuttavia a nessun astronomo verrebbe mai in mente di far riferimento oggi a questo libro, per studiare i problemi del movimento dei pianeti. Il *Tetrabiblos* invece è sempre un punto di riferimento per gli astrologi.

Astronomia e Astrologia camminarono di pari passo per diversi secoli, finché i continui progressi della prima portarono a concludere che la Terra non occupa affatto una posizione privilegiata nel cosmo, nozione che invece è alla base dell'astrologia che è rimasta ferma ai concetti di migliaia di anni fa.

13.1.1 Fondamenti "scientifici".

L'astrologia è una disciplina che rientra nell'ambito dei fenomeni "paranormali" poiché presuppone l'esistenza di influenze degli astri sulla vita umana che, se fossero

reali, sarebbero in netto contrasto con ciò che la scienza afferma.

Le uniche influenze che i corpi celesti possono esercitare su di noi sono di tipo gravitazionale oppure di tipo elettromagnetico (luce visibile e altre radiazioni) o di tipo nucleare.

Per quanto riguarda la luce visibile è facile rendersi conto, senza fare alcun calcolo e senza bisogno di nessuno strumento, che l'intensità luminosa che noi riceviamo dai corpi celesti (a parte il Sole) è molto debole. Di conseguenza, se essa avesse una certa influenza, dovremmo subire effetti sicuramente maggiori da parte delle lampade abitualmente usate per l'illuminazione. Inoltre, poiché secondo l'astrologia avrebbe una grande influenza la posizione degli astri al momento della nascita, e siccome di norma le nascite avvengono in ambienti chiusi, non si capisce come la luce possa avere effetto.

Scartata l'ipotesi luminosa (per altri tipi di radiazione elettromagnetica il discorso è analogo) non restano che gli effetti gravitazionali.

Dal punto di vista strettamente fisico, i pianeti potrebbero avere una qualche influenza gravitazionale su di noi? In fondo conosciamo bene gli effetti di marea provocati dalla Luna, ma per i pianeti le cose vanno diversamente: se per esempio qualcuno volesse valutare l'effetto dei pianeti sulle maree non riuscirebbe neppure a misurarle.

Questo perché, come tutti gli studenti di Fisica dovrebbero sapere, l'effetto di attrazione diminuisce col quadrato della distanza, cioè se raddoppia la distanza tra due corpi, la forza di attrazione diventa quattro volte minore, quando sono 100 volte più lontani la loro attrazione diminuisce di 10.000 volte, e così via. Se un astro è molto distante l'effetto diventa, in

pratica, inesistente.

La teoria della gravitazione universale di Newton ci consente di svolgere semplici calcoli per valutare tali effetti gravitazionali.

La stella più vicina alla Terra (Proxima Centauri) dista 4.3 anni luce, corrispondenti a circa 4×10^{16} metri. Assumendo una massa della stella pari a 2×10^{30} kg (corrispondente a quella del Sole, visto che la maggior parte delle stelle hanno una massa compresa tra 0.25 e 30 volte quella del Sole), possiamo calcolare la forza gravitazionale esercitata sul corpo di un uomo con massa pari a 70 kg:

$$F = G \cdot \frac{m \cdot M}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{70 \cdot 2 \cdot 10^{30}}{(4 \cdot 10^{16})^2} = 6 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

Per renderci conto di quanto piccola sia l'intensità della forza calcolata, possiamo ripetere il calcolo per la forza gravitazionale esercitata da un'automobile di massa pari a 1.000 kg, posta alla distanza di 1 metro dallo stesso uomo:

$$F = G \cdot \frac{m \cdot M}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{70 \cdot 10^3}{1^2} = 4,66 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

Tale forza risulta quindi un milione di volte superiore a quella esercitata dalla stella a noi più vicina e quindi non si capisce perché, al momento della nascita debba avere una grande importanza la posizione delle stelle e non la massa dell'ostetrica e delle attrezzature poste in sala parto!

13.1.2 La stesura di un oroscopo

Fare un oroscopo, come tutti sanno, non è cosa semplice: occorrono calcoli complessi! Questo aspetto apparentemente scientifico del lavoro ha dato un certo

tono di credibilità all'astrologia; infatti un cliente vede nell'elaborazione del suo oroscopo uno studio oggettivo della sua posizione astrale, una ricerca approfondita nel suo dossier cosmico, quasi come se venissero analizzati i globuli bianchi del suo sangue o il tasso di emoglobina.

Ma l'astrologia dei nostri giorni si basa ancora su principi e conoscenze antichissime e sicuramente obsolete, infatti continua a fare riferimento ad un modello del cosmo completamente superato dalle attuali cognizioni scientifiche: la corrispondenza tra costellazioni e mesi dell'anno utilizzata dagli astrologi, è quella di oltre duemila anni fa. Oggi, tale corrispondenza è del tutto sfasata; così, ad esempio, se una persona è nata nella seconda metà di agosto, secondo gli astrologi è una Vergine mentre in realtà, nella nostra epoca, in quel periodo dell'anno il Sole si trova nella costellazione del Cancro. Molti astrologi ignorano questo fenomeno e altri, pur conoscendolo superficialmente, continuano a comportarsi come se niente fosse.

Come mai oggi i segni zodiacali non corrispondono più a quelle tradizionali? Sostanzialmente per due motivi: la precessione degli equinozi e l'esistenza di una tredicesima costellazione zodiacale.

Il primo è il risultato di un movimento dell'asse di rotazione, dovuto all'attrazione combinata di Sole e Luna sulla Terra, che genera una regressione continua della linea degli equinozi (vedi pag. 38).

Il secondo è più buffo: una costellazione grande come Ofioco (il Serpentario) che porta via quasi i tre quarti del povero Scorpione, è presente anch'essa sulla fascia zodiacale e gli astrologi non se ne sono accorti o fanno finta di nulla!

Come potete notare un individuo passa una vita a sforzarsi per adeguare le pro-

prie caratteristiche a quelle del proprio segno zodiacale, poi arrivano degli scienziati e gli dicono che il suo segno è un altro. Anche se concediamo agli astrologi il beneficio del dubbio su tutti questi aspetti e accettiamo che gli influssi astrologici possano esistere indipendentemente dalle conoscenze correnti sull'universo, esiste una devastante prova finale: l'astrologia non funziona!!!

Eccovi alcuni esempi chiarificatori:

Per superare le obiezioni degli astrologi che affermano che il segno zodiacale da solo non è sufficiente per una predizione, il fisico Shawn Carlson, del Lawrence Berkeley Laboratory, ha eseguito un esperimento. Gruppi di volontari furono interpellati per fornire le informazioni necessarie per trarre un oroscopo. Una rispettabile organizzazione astrologica costruì gli oroscopi per i volontari e 28 astrologi professionisti, che avevano approvato in anticipo la procedura, ricevettero ciascuno un oroscopo e tre profili di personalità, uno dei quali apparteneva al soggetto dell'oroscopo. Il loro compito consisteva nell'interpretare l'oroscopo e decidere quale dei tre profili gli si adattava. Sebbene gli astrologi avessero previsto di fornire più del 50% di risposte giuste, il loro punteggio effettivo su 116 prove fu soltanto del 34%, proprio quello che ci si sarebbe aspettato tirando a indovinare. Carlson ha pubblicato i suoi risultati sul fascicolo del 5 dicembre 1985 di "Nature", con grande imbarazzo della comunità astrologica.

Altri test mostrano che importa poco ciò che un oroscopo dice, se il soggetto è convinto che le interpretazioni vengano date per lui (o lei) personalmente. Alcuni anni fa lo statistico francese Michel Gauquelin inviò l'oroscopo di uno dei peggiori assassini della storia francese a

SEGNO ZODIACALE	DATE TRADIZIONALI		DATE ASTRONOMICHE EFFETTIVE	
	DAL	AL	DAL	AL
ARIETE	21 MARZO	20 APRILE	19 APRILE	13 MAGGIO
TORO	21 APRILE	21 MAGGIO	14 MAGGIO	20 GIUGNO
GEMELLI	22 MAGGIO	21 GIUGNO	21 GIUGNO	19 LUGLIO
CANCRO	22 GIUGNO	22 LUGLIO	20 LUGLIO	19 AGOSTO
LEONE	23 LUGLIO	22 AGOSTO	20 AGOSTO	15 SETTEMBRE
VERGINE	23 AGOSTO	22 SETTEMBRE	16 SETTEMBRE	30 OTTOBRE
BILANCIA	23 SETTEMBRE	22 OTTOBRE	31 OTTOBRE	22 NOVEMBRE
SCORPIONE	23 OTTOBRE	21 NOVEMBRE	23 NOVEMBRE	29 NOVEMBRE
OFIUCO	X	X	29 NOVEMBRE	17 DICEMBRE
SAGITTARIO	22 NOVEMBRE	21 DICEMBRE	18 DICEMBRE	18 GENNAIO
CAPRICORNO	22 DICEMBRE	21 GENNAIO	19 GENNAIO	15 FEBBRAIO
ACQUARIO	22 GENNAIO	19 FEBBRAIO	16 FEBBRAIO	11 MARZO
PESCI	20 FEBBRAIO	20 MARZO	12 MARZO	18 APRILE

150 persone e chiese loro quanto andasse bene a ciascuno. Il 35 % dei soggetti dichiarò di riconoscersi nella descrizione. Geoffrey Dean, un ricercatore australiano che ha condotto ampie indagini sull'astrologia, rovesciò le descrizioni astrologiche di 22 soggetti, sostituendole con frasi che affermavano l'opposto di ciò che ciascun oroscopo sosteneva. Tuttavia i soggetti di questo studio affermarono che le descrizioni si adattavano loro quasi con la stessa frequenza (95%) delle persone che avevano ricevuto le frasi "giuste".

Tempo fa gli astronomi Roger Culver e Philips Ianna seguirono le predizioni rese pubbliche da ben noti astrologi e organizzazioni astrologiche per cinque anni. Su più di 3000 predizioni (comprese quelle su uomini politici, divi del cinema, e altri personaggi famosi), circa il 10% si realizzarono. Vecchi cronisti (come del resto il CICAP ha fatto) potrebbero fare molto meglio con pronostici guidati dall'esperienza.

Se le stelle guidano gli astrologi a predizioni sbagliate 9 volte su 10, essi difficilmente possono apparire come guide affidabili per le decisioni della vita e gli affari di stato. Tuttavia milioni di persone sembrano credere in loro.

In tantissimi pensano che l'astrologia sia

più che altro un gioco, un passatempo innocuo per evadere verso le favole, e che in definitiva non sia poi così dannosa. Lo vorrei, ma molta gente, in realtà, organizza la propria vita in base agli oroscopi, ne tiene conto per cose importanti, come sposarsi o divorziare oppure assumere personale dipendente nella propria azienda. A Washington c'era un'astrologa che influenzava gente del governo (c'è stato anche un caso che riguardava la guerra del Vietnam e il presidente Reagan).

A questo punto si capisce non si tratta più di un gioco di società!

13.1.3 Come si avverano le previsioni.

Naturalmente le predizioni astrologiche si "avverano" seguendo il meccanismo di tutte le altre profezie e previsioni fatte da veggenti e cartomanti: come sempre, infatti, il cliente inconsciamente "seleziona" i risultati, si identifica con certe descrizioni caratteriali che si adatterebbero a molte altre persone, ricorda solo le cose azzeccate, interpreta le altre adattandole alle sue situazioni.

Nonostante la mancanza di fondamenti teorici e di dimostrazioni empiriche sul funzionamento dell'astrologia, sono mol-

tissime le persone convinte che l'astrologia abbia dei fondamenti, funzioni davvero, descriva sul serio una parte profonda della nostra personalità, il mondo che ci circonda e i fenomeni che vi accadono. Questo non deve sorprendere: le teorie astrologiche, infatti, sono strutturate in modo da sembrare perfettamente funzionanti al vaglio di un'osservazione superficiale e priva di verifiche. Come molte altre pseudoscienze riscuotono quindi successo con molta facilità.

Vediamo alcuni dei meccanismi caratteristici che permettono, hanno permesso e purtroppo permetteranno all'astrologia di essere ritenuta veritiera.

Ecco un esempio concreto di oroscopo: *"Tu sei una persona molto sensibile e curiosa che riflette e valuta tutte le alternative prima di prendere una decisione importante; certe volte hai l'impressione che gli altri non ti capiscano fino in fondo, hai potenzialità e risorse che non ti hanno ancora permesso di sfruttare al meglio le tue capacità; sei leale, generoso e ami la libertà"*.

A questo punto è facile pensare "Diavolo! Sono proprio io! È incredibile!"

Ma proviamo a rovesciare la frase per metterne in risalto l'ovvietà e come nessuno possa riconoscersi nella frase rovesciata e dunque tutti possano riconoscersi nella precedente:

"Tu sei un tipo poco sensibile e non te ne importa un accidente di niente; prendi anche le decisioni più importanti della tua vita senza riflettere; tutti ti capiscono; non hai alcuna potenzialità nascosta o risorsa che tu non abbia già pienamente sfruttata, sei sleale, avaro e non ami la libertà".

Chiaro, non vi pare?

L'assenza di un vero contenuto nelle frasi fatte dell'astrologia si riempie di significati non appena la persona che ascolta pensa alla propria particolare situazione.

Per esempio, un'affermazione del tutto generale e vaga come *"vedo che tu hai un progetto che ti sta molto a cuore... è una cosa a cui tieni molto e in questo momento sei molto vicino al tuo scopo, ma c'è un ostacolo, forse una persona che non ti è amica..."*, verrà caricata di significati particolari, e tutt'altro che vaghi, da chi ascolta. Così per una ragazza innamorata "il progetto" sarà la conquista del suo amore e "l'ostacolo" sarà una rivale; per lo studente "il progetto" potrebbe essere la promozione e "l'ostacolo" il professore di fisica o di matematica; la persona non amica sarà facile da individuare.

Fra le cento storie raccontate da un astrologo, il suo cliente ricorderà soltanto quelle sei o sette che più si adattano alla sua situazione, sarà cioè molto colpito da ciò che l'astrologo indovina e tenderà a dimenticare tutto il resto. Inoltre elaborerà le informazioni e colmerà le varie lacune, deformerà e adatterà il ricordo e infine racconterà una storia ben strutturata e precisa che facilmente metterà in risalto gli "incredibili poteri" dell'astrologia. L'astrologo, nelle testimonianze che seguiranno, avrà quindi detto "con estrema precisione" delle cose "che non poteva assolutamente sapere".

L'eventuale verifica di una previsione astrologica (di solito generica) viene sempre fatta a posteriori, quando cioè si ritiene sia finalmente accaduta. In questo modo, grazie alla alta percentuale di previsioni generiche, l'astrologia sarà sempre confermata.

Per esempio "farete un viaggio" prima o poi diverrà un'affermazione veritiera per forza, perché chi crede all'astrologia sarà disposto ad adattare tale previsione anche ad un qualsiasi viaggio. La forza dell'astrologia sta proprio in questo tipo di affermazioni: essa, in pratica, non ci dà

alcuna reale informazione, non ci dice assolutamente niente, ma così facendo non può in alcun modo sbagliare.

In astrologia ci sono moltissime variabili che permettono di far tornare i conti e questo è un altro punto fondamentale che va a suo discredito. Non le stelle o i mesi dell'anno, ma una vera e propria arte della dietrologia porta acqua al mulino dell'astrologia, abilissima a spiegare le cose solo dopo che sono accadute. È come tirare una freccia e poi disegnare il bersaglio. Per fare questo l'astrologia ha moltissime variabili. Pochi ci fanno caso, ma badate che ognuno di noi è nato sotto un certo segno ed ha un certo ascendente; i segni sono poi divisi in tre decadi e ci sono i dieci pianeti che si possono posizionare nelle varie case e nei vari segni con le cuspidi delle case che si posizionano a loro volta nei 12 segni. Poi ci sono le geometrie fra i vari pianeti che generano gli aspetti. Insomma centinaia di variabili, ognuna delle quali può portare con sé una decina di attributi. Quindi nel nostro tema natale ci sono sempre centinaia di aggettivi che possono essere utilizzati per descriverci. Si può quindi dire una cosa e poi l'esatto contrario, sempre dando l'impressione che si stia leggendo una configurazione del cielo. Ecco qualche esempio:

- Il Cancro, essendo un segno cardinale, è energico, autoritario e attivo. Ma essendo un segno d'acqua è anche intuitivo, sensibile ed emotivo.

- Il Capricorno, essendo un segno cardinale, è anch'esso energico e attivo. Ma essendo un segno femminile è anche passivo e ricettivo.

- La Vergine, essendo un segno di terra, ha una natura pratica e conservatrice. Ma essendo un segno mobile, poiché cade alla fine di una stagione, ha anche una natura

flessibile...

Quindi utilizzando qualche decina di aggettivi sui mille disponibili per ogni tema natale, una persona può essere al contempo conservatrice e rivoluzionaria, dura e sensibile, attiva e passiva, maschile e femminile, etc...

Come ci si può meravigliare se poi gli astrologi non sono mai d'accordo uno con l'altro? Come ci si può aspettare che due astrologi prevedano gli stessi fenomeni o lo stesso carattere per una singola persona?

La statistica applicata dagli astrologi è scorretta: ci sono solo le "foto" migliori. I risultati positivi vengono selezionati, quelli negativi scartati. Nell'astrologia manca la controprova e l'attenzione della gente è sempre rivolta a ciò che l'astrologo dirà per il futuro, mai al controllo di quale percentuale delle previsioni fatte nel passato si sono poi effettivamente verificate o a quali cose sono accadute senza che l'astrologo le avesse previste. Fra i rari esempi di controprova ci sono le analisi del CICAP sulle previsioni, non generiche, fatte nei vari anni. E i risultati sono eclatanti.

Vediamo infine alcune domande a cui pensare e da rivolgere all'astrologo.

- *Perché è il momento della nascita e non quello del concepimento, l'istante cruciale per l'astrologia?*

L'astrologia sembra scientifica ad alcuni perché l'oroscopo è basato su un dato preciso: il momento della nascita. Quando essa si sviluppò, molto tempo fa, tale momento era considerato l'istante della magica creazione della vita. Ma oggi noi sappiamo che la nascita è la fase culminante di nove mesi di costante sviluppo nel ventre materno; il motivo per cui gli astrologi si affidano ancora al momento della nascita ha poco a che fare con la

"teoria" astrologica. Quasi ogni cliente sa quando è nato/a, ma è difficile e a volte forse imbarazzante (mater certa est...), identificare il momento del concepimento di una persona.

- Se il ventre della madre può proteggere dagli influssi astrologici fino alla nascita, possiamo ottenere lo stesso effetto con un involucre di bistecche?

Se così potenti forze emanano dai cieli, per quale motivo esse vengono inibite prima della nascita da un sottile schermo di muscoli, carne e pelle? Se il possibile oroscopo di un bambino risultasse insoddisfacente, potremmo ritardare l'azione delle influenze astrologiche avvolgendo immediatamente il neonato con un involucre di bistecche, fino a che i segni celesti non diventino più favorevoli.

- Dobbiamo condannare l'astrologia come una forma di fanatismo?

In una società civile noi deploriamo tutti i sistemi che giudicano l'individuo semplicemente in base al sesso, al colore della pelle, alla religione, alla nazione di origine, o alle altre circostanze casuali della nascita. Nonostante ciò gli astrologi si vantano di poter valutare la gente basandosi su un'altra circostanza casuale legata alla nascita: le posizioni degli oggetti celesti. Forse che rifiutare un appuntamento ad un Leone o un lavoro ad una Vergine non è così riprovevole come rifiutare un appuntamento ad un cinese o un lavoro ad una persona di colore?

- Se l'influenza astrologica è trasportata da una qualsiasi forza nota, perché sono i pianeti ad avere l'effetto maggiore?

- Se gli effetti dell'astrologia possono essere attribuiti alle forze fondamentali presenti in natura (ciascuna di queste cause è invocata da una scuola diversa), anche uno studente di fisica alle prime armi può eseguire i calcoli necessari per

stabilire che cosa realmente influenzi un bambino appena nato. Questi calcoli sono stati eseguiti per molte diverse situazioni nel volume di Roger Culver e Philip Ianna "Astrology: True or False". Per esempio, risulta che un'ostetrica che assiste alla nascita del bambino genera un'attrazione gravitazionale che è sei volte quella di Marte: infatti l'ostetrica possiede certamente meno massa di Marte, ma è enormemente più vicina al bambino.

- Se l'influsso astrologico è trasportato da una forza ignota, perché questa è indipendente dalla distanza? Tutte le forze ad ampio raggio d'azione che noi conosciamo nell'universo diventano sempre più deboli con l'allontanarsi degli oggetti. Ma, come ci si potrebbe aspettare in un sistema geocentrico costruito migliaia di anni fa, le influenze astrologiche non dipendono affatto dalla distanza. L'importanza di Marte nel vostro oroscopo è la stessa, sia che il pianeta si trovi dalla stessa parte del Sole insieme con la Terra sia che si trovi sette volte più lontano dal lato opposto. Una forza che non dipende dalla distanza sarebbe una scoperta rivoluzionaria!

- Se gli influssi astrologici non dipendono dalla distanza, perché non esiste un'astrologia delle stelle, delle galassie dei quasar? L'astronomo francese J. Pecker ha osservato che pare segno di chiusura mentale degli astrologi il limitare la loro attività al nostro sistema solare. Miliardi di corpi celesti in tutto l'universo sommerebbero il loro influsso a quello dei nostri esili e piccoli Sole, Luna e pianeti. Un cliente il cui oroscopo ometta gli effetti di Sirio, della pulsar del Granchio o di M13 ha veramente ricevuto indicazioni complete? Noi crediamo di no e che dunque abbia il diritto di non pagare alcuna somma per la prestazione ricevuta.

Per concludere sorridendo, ecco due sto-

rielle sull'argomento.

- Dunque papà, gli oroscopi sono tutte falsità e non devo credere ai veggenti e ai maghi....

- Certo figliolo, non hai letto sopra? .. e poi tu sei del cancro e come si sa, i nati sotto quel segno sono estremamente diffidenti!

- Gran sacerdote, puoi prevedere il mio futuro scolastico?

- Certamente ragazzo! Vediamosei un Toro con ascendente Vergine, Luna in Bilancia e in seconda casa, Sole in Ariete e in ottava casa.

Esaminiamo ora i transiti planetari: la collocazione di Giove è sintomatica di una curiosa inversione dei valori; la sensualità del pianeta, che è generalmente espansiva e proiettata verso l'esterno, qui assume un ruolo puramente ricettivo, assorbe senza donare. Il senso materiale si adegua a principi di tipo difensivo e ne consegue una certa contraddittorietà comportamentale, che limita gli spazi di sincerità istintuale e sensuale a momenti precisi e limitati nel tempo, in un oggi subito proiettato nel domani e

- Ma gran sacerdote, io vorrei solo sapere se sarò promosso...

- Scusa, ragazzo, ma tu non sei il figlio del Faraone?... il tuo oroscopo è chiaro... sarai promosso, certamente promosso!

L'oroscopo dell'ultima storiella è realmente tratto da un manuale di astrologia di un veggente che compare spesso in televisione.

Il figlio del Faraone fu ovviamente promosso, ma ebbe il "debito formativo" in Fisica e Laboratorio. Gli insegnanti responsabili del fatto, furono allontanati dalla scuola pubblica e contribuirono, come schiavi, alla costruzione delle Piramidi.

Nota.

APPENDICE

Sugli orologi solari compaiono spesso pensieri e frasi su argomenti di filosofia o di religione, che vengono chiamati massime sulle ore. Sono spesso scritte in latino e si è deciso di non scriverne alcuna sul nostro orologio solare.

Si è pensato però di riportarne ugualmente qualcuna, delle migliaia che si possono trovare, scrivendone la traduzione a lato. Per le prime tre, il riferimento ai nostri studenti, spesso in ritardo alla prima ora di lezione, non è puramente casuale.

SERIUM EST QUAM COGITAS	<i>E' PIU' TARDI DI QUANTO TU CREDI</i>
FESTINALENTE	<i>AFFRETTATI CON MODERAZIONE</i>
HORA FUGIT NE TARDES	<i>L'ORA FUGGE NON INDUGIARE</i>
SIT FAUSTA QUAE LABITUR	<i>CHE QUEST'ORA TI SIA PROPIZIA</i>
SOL OMNIBUS LUCET	<i>IL SOLE SPLENDE PER TUTTI</i>
SOL REX REGUM	<i>IL SOLE COMANDA I RE</i>
TEMPUS OMNIA DABIT	<i>IL TEMPO ACCORDERA' TUTTO</i>
TEMPUS BREVE EST	<i>IL TEMPO E' BREVE</i>
TEMPUS VICIT OMNIA	<i>IL TEMPO PREVALE SU TUTTO</i>
TEMPUS FUGIT	<i>IL TEMPO FUGGE</i>
HORAS NON NUMERO NISI SERENAS	<i>SEGNO SOLO LE ORE SERENE</i>
LET OTHERS TELL OF STORMS AND SHOWERS I ONLY MARK THE SUNNY HOURS	<i>LASCIA CHE GLI ALTRI PARLINO DI TEMPESTE E DI ACQUAZZONI IO SEGNO SOLO LE ORE SERENE</i>
MACH' ES WIE DIE SONNENUHR ZAHL DIE HEITERN STUNDEN NUR	<i>FA' COME LA MERIDIANA CONTA SOLO LE ORE LUMINOSE</i>
CARPE DIEM	<i>COGLI IL GIORNO</i>

BIBLIOGRAFIA

Sul tempo, sugli orologi solari e sulle meridiane sono stati pubblicati moltissimi libri e su Internet le pagine di siti su tali argomenti sono centinaia. Questa bibliografia si limita perciò a pochi libri essenziali ed economici, rintracciabili in quasi tutte le biblioteche.

1. R. J. Rohr, Meridiane, storia, teoria, pratica. Ulisse Edizioni, (Torino), 1988.

(Si tratta di un'opera fondamentale per chi vuole avvicinarsi al mondo della gnomonica, pubblicata in Francia nel 1965 e poi tradotta in molte lingue. Si rivolge sia a chi ha solo conoscenze matematiche elementari, sia a chi vuole approfondire le sue cognizioni ed avere anche notizie storiche su orologi solari di tutti i tempi e di tutti i paesi.)

2. Perina-Zanoni, Meridiane, le tecniche. Demetra Edizioni, (Verona), 1996.
3. Perina-Zanoni, Meridiane antiche e moderne. Demetra Edizioni, (Verona), 1996

(Questi libri sono di facile lettura e presentano le foto di molti orologi solari del nostro paese. Permettono inoltre di apprendere le tecniche per progettare un orologio solare)

4. P.P.C. Moto nei cieli. Unità 2, Zanichelli Editore, (Bologna), 1977.

(Testo scolastico chiaro e rigoroso che purtroppo è stato adottato in pochissime scuole perché la Fisica può essere insegnata anche da matematici e da ingegneri che, tranne rare eccezioni, non nutrono particolari interessi per argomenti astronomici. Se vi è piaciuta la parte di storia dell'astronomia, potete approfondire le conoscenze su questo volume.)

5. T. Kuhn, La rivoluzione Copernicana, Einaudi Editore, (Torino), 1972.

(Opera fondamentale per comprendere i numerosi mutamenti concettuali che si verificarono nel campo dell'astronomia, della fisica, della filosofia e della religione nei duemila anni che precedettero Newton. Non sempre di facile lettura, rappresenta però la "Bibbia" di chi non si accontenta di spiegazioni superficiali sul processo ampio e complesso che portò appunto alla Rivoluzione Copernicana.)

6. W. Schroeder, Astronomia pratica, Longanesi Editore, (Milano), 1967.
7. J. Ridpath, Guida delle stelle e dei pianeti, Muzzio Editore, (Milano), 2003

(questi libri, scritti davvero in modo semplice, sono dei manuali per gli astronomi dilettanti; il primo, più volte esaurito e ristampato, è ormai un classico per chi osserva il cielo notturno; il secondo, più attuale, presenta molte carte chiare del cielo che permettono di identificare stelle e costellazioni in qualsiasi notte dell'anno nell'emisfero settentrionale. Entrambi possono servire molto bene da introduzione ad un autentico studio scientifico di questa affascinante disciplina.)