Università degli Studi di Genova
Facoltà di Ingegneria - Polo di Savona
via Cadorna 7 - 17100 Savona
Tel. +39 019 264555 - Fax +39 019 264558

Cogne, 5-7 Giugno 2003

Tempo e calendari

P.Oliva

Introduzione.

In queste poche pagine esamineremo brevemente i metodi che l'uomo ha usato, dalla preistoria ad oggi, per misurare il tempo; dagli intervalli più lunghi, anni, mesi e giorni, (e quindi i calendari), a quelli più corti, ore e minuti (meridiane), ecc.

È interessante infatti vedere come sono nati e si sono evoluti strumenti di uso talmente quotidiano da sembrare naturali e sempre esistiti di per sé.

Naturalmente, prima di provare a definire una misura del tempo, sarebbe opportuno definire cos'è il tempo e una prima domanda che sorge è:

se tutto fosse immobile e immutabile, il tempo esisterebbe?

Probabilmente la prima risposta che viene spontanea è no, però una semplice riflessione ci fa notare ad esempio che per quel che riguarda lo spazio, che è intrinsecamente legato alle dimensioni degli oggetti, noi non abbiamo nessuna difficoltà ad ammetterne l'esistenza anche là dove vi è il vuoto cosmico.

Ora non è certo questo il posto per dissertare sul concetto di tempo, assoluto o relativo, su cui filosofi e scienziati hanno versato fiumi di inchiostro, fin dai tempi più antichi.

Ci limitiamo a citare tre autorevoli pareri

Scrive Lucrezio nel *De Rerum Natura*, I, 459

Tempus item per se non est, sed rebus ab ipsis
consequitur sensus transactum quid sit in aevo,
tum quae res instet, quid porro deinde sequatur;
nec per se quemquam tempus sentire fatendumst
semotum ab rerum motu placidaque quiete.

ovvero

Nemmeno il tempo sussiste come entità: sono le cose stesse
che creano il senso di ciò che è il corso degli anni,
di ciò che dura nel presente, di ciò che poi seguirà;
nessuno può avvertire il tempo di per sé,
avulso dal moto e dalla placida quiete delle cose.

Egli sembra condividere la prima riflessione precedente: il tempo esiste perché esistono le cose ed il movimento.

Newton, in una nota introduttiva ai suoi *Principia* dice

"Non definisco tempo, spazio, luogo e moto, in quanto notissimi a tutti"

e poi però, come a far capire la difficoltà del problema, seguono numerose pagine di commento.

Ma la dichiarazione forse più vera ed allo stesso tempo più disarmante è quella di S.Agostino, nel libro undicesimo delle *Confessioni*:

> "Cos'è il tempo? chi può spiegarlo in forma facile e concisa? ...
> Pure, nel discorso, di che parliamo con più familiarità e come se lo conoscessimo bene,
> se non del tempo"
> "Cos'è dunque il tempo? Se nessuno me lo chiede lo so;
> se voglio spiegarlo a uno che me lo domanda, non lo so più".

Misura del tempo.

Torniamo al nostro problema e mettiamoci nei panni di un normale uomo primitivo: egli passava il suo tempo vivendo (o cercando di sopravvivere) procacciandosi il cibo, mangiando e dormendo (con poca tranquillità, dovendo magari difendersi dalle bestie feroci).

In altre parole le sue domande quotidiane più pressanti non erano "cosa facciamo stasera", ma "chissà se oggi mangeremo" e "chissà se oggi ci mangeranno".

Non aveva bisogno né di calendari, né tantomeno di orologi; il suo corpo conteneva già orologi biologici opportuni, che gli dicevano quando era ora di riposare, o quando era ora di mangiare, ecc.

Forse durante le veglie notturne, magari sorvegliando il fuoco posto a protezione della grotta o della capanna, avrà cercato, nella sua solitudine, compagnia in quello splendido spettacolo che è il cielo stellato, immaginando in quei puntini luminosi animali, persone o divinità che lo accompagnassero e lo proteggessero nel suo cammino. E avrà notato la regolare rotazione della volta celeste, imparando così a capire quanto gli restava di buio, prima del nuovo sorgere del sole.

A questo proposito apriamo una breve parentesi: non so quante persone di oggi abbiano mai volto più di un rapido sguardo verso il cielo stellato; cosa resa attualmente molto difficile per l'inquinamento luminoso delle nostre città, e anche dei paesi, e dalla non proprio buona limpidezza dell'aria, legata agli scarichi industriali, auto, ecc.

Vorrei però invitare tutti a passare qualche ora con il naso all'insù, lontano dalle luci e dai rumori, possibilmente in alta montagna (e con un binocolo), per godersi lo spettacolo.

In un periodo come quello attuale l'informazione viaggia su Internet in tempi inimmaginabili fino a pochi anni fa, aumentando la possibilità di dialogo con gli altri, e paradossalmente rendendo sempre più difficile il dialogo con noi stessi.

Contemporaneamente le conquiste della scienza e della tecnica, dall'energia atomica (e quindi armi terribili), ai successi dell'elettronica e della meccanica (dalla conquista dello spazio, ai potentissimi elaboratori elettronici) fino all'ingegneria genetica (manipolazione di DNA e clonazione), hanno profuso nell'uomo un delirante spirito di onnipotenza.

La visione, nel silenzio e nel freddo della notte, di un cielo stellato, immaginando magari su uno di quei lontani puntini luminosi migliaia di persone che vivono, soffrono e anche si combattono tra loro, costringe ognuno di noi a riflettere su di noi stessi e sulla reale dimensione dell'uomo all'interno dell'Universo.

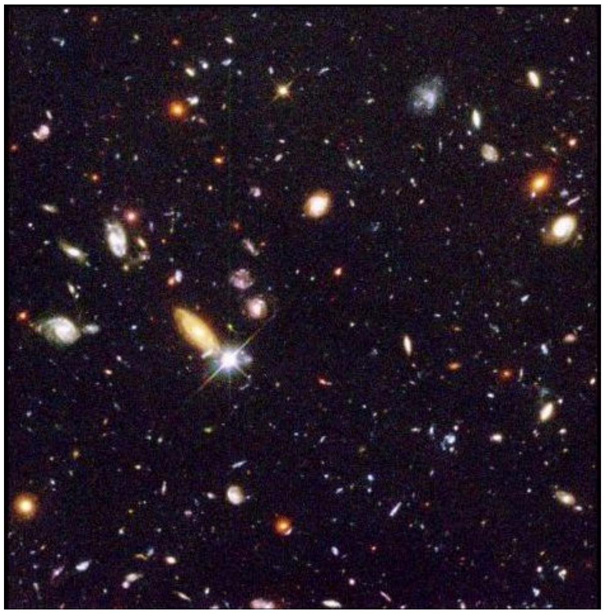
Senza arrivare allo sgomento del Pascoli (*La vertigine*) che perdendosi nell'abisso del cielo

> . . . . .
> Allora io, sempre, io l'una e l'altra mano
> getto a una rupe, a un albero, a uno stelo,
> a un filo d'erba, per l'orror del vano!
> a un nulla, qui, per non cadere in cielo!

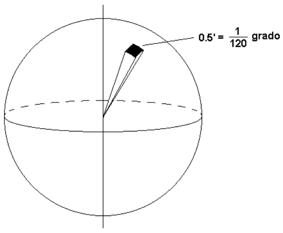
ricordiamo a questo proposito il Salmo VIII, il cui testo è stato trascritto per conto dell'allora pontefice Paolo VI sulla targa che gli astronauti Armstrong e Aldrin depositarono il 21 luglio 1969 sulla Luna, con i messaggi dei capi di Stato della Terra, a ricordo del primo sbarco sul nostro satellite:

> . . . . .
> Se guardo il tuo cielo, opera delle tue dita,
> la luna e le stelle che tu hai fissate,
> che cosa è l'uomo perché te ne ricordi
> e il figlio dell'uomo perché te ne curi?
> . . . . .

Chiudiamo questa breve parentesi con un'immagine, ricostruita utilizzando numerose fotografie scattate dal telescopio Hubble in orbita attorno alla terra. Tale immagine riproduce una piccolissima porzione di cielo di lato 1/120 di grado (1/60 del diametro della luna piena, circa 1/600 000 000 della volta celeste), in una zona dell'Orsa Maggiore; la scelta di tale zona è motivata principalmente dal fatto che ci si trova lontano dal piano della nostra galassia (via Lattea) e quindi in un luogo relativamente povero di stelle, che possono coprire gli oggetti più lontani.



L'oggetto luminoso vicino al centro dell'immagine è una stella di magnitudine 20 (si ricordi che l'occhio arriva a magnitudine 6), mentre gli altri oggetti sono galassie di magnitudine intorno a 40 (4 miliardi di volte inferiore al limite dell'occhio umano).



È impressionante notare l'enorme quantità di galassie presenti in una porzione così piccola di cielo! (La scala del quadratino nero qui sopra è ovviamente falsata).

Ma torniamo ora al nostro uomo primitivo; con il passare del tempo è probabile che egli si sia accorto che alcuni avvenimenti del mondo circostante si ripetevano con una certa regolarità, fornendogli particolari certezze, in un mondo abbastanza ostile; ad esempio:

- il sorgere ed il tramontare del sole, e quindi l'arrivo di un nuovo giorno dopo il buio della notte;
- il susseguirsi ciclico delle stagioni, che dopo il freddo inverno portava la primavera, con il germogliare di nuovi frutti, e poi la calda estate;
- la variazione delle fasi della luna.

Questi ultimi due periodi, di poco più di 365 giorni il primo, di circa 29 giorni e mezzo il secondo, hanno fatto sì che l'anno (inteso come ritorno ciclico delle stagioni) venisse ad avere circa 12 mesi (ritorno della luna nuova o piena) e che il mese avesse circa 30 giorni.

Tale circostanza, del tutto fortuita in quanto vedremo dopo che la durata del mese e dell'anno non è sempre stata uguale, a causa della differente velocità di rotazione della terra attorno al suo asse, ha indotto l'uomo all'uso di due particolari numeri, il 12 ed il 30, con caratteristiche molto interessanti.

Se si osserva la seguente tabella che riporta i primi numeri naturali ed i loro divisori, si nota che il 12 è il primo numero con ben quattro divisori

1		9	3	17		25	5
2		10	2,5	18	2,3,6,9	26	2,13
3		11		19		27	3,9
4	2	12	2,3,4,6	20	2,4,5,10	28	2,4,7,14
5		13		21	3,7	29	
6	2,3	14	2,7	22	2,11	30	2,3,5,6,10,15
7		15	3,5	23		31	
8	2,4	16	2,4,8	24	2,3,4,6,8,12	32	2,4,8,16

In altre parole, non avendo ancora molta dimestichezza con i numeri non interi, un oggetto diviso in dodici parti (ad esempio una torta con dodici fette) può essere facilmente diviso in 2, 3, 4 o 6 parti (dando a ciascuna rispettivamente 6, 4, 3 o 2 fette).

Allo stesso modo il 30 è il primo numero (se si esclude 24, doppio di 12) che ha ben sei divisori.

Ecco allora spiegato il motivo per cui gli antichi trovarono agevole dividere il giorno in dodici parti (e la notte in altre dodici) per facilitare i turni nelle attività lavorative, di guardia o di preghiera.

Allo stesso modo ritroviamo il 60 (che ha il vantaggio di avere come divisore anche il 4 e il 12) nella suddivisione successiva delle ore in minuti e secondi.

Vedremo nel seguito come l'uomo ha costruito i suoi calendari per misurare unità di tempo comprendenti parecchi giorni.

E per secoli queste sono state le unità di misura certamente più usate e vicine alle necessità umane: basta parlare con qualche anziano contadino o montanaro per capire il concetto di tempo nel periodo della sua gioventù: vi racconterà ad esempio di quando il padre ogni tanto partiva all'alba, magari per l'acquisto di una mucca in una delle fiere cittadine, ed in casa era sempre pronto un piatto di minestra calda, caso mai fosse tornato quella sera; se così non era, lo si sarebbe aspettato il giorno dopo o l'altro ancora.

Si noti quanto era diverso il modo di vivere; oggi se qualcuno ritarda di qualche minuto dal previsto ritorno, siamo subito alla sua ricerca con il cellulare, e magari diventiamo ultrairascibili se la linea è occupata o il telefono non è reperibile.

Più precise misure all'interno del giorno, ma sempre abbastanza approssimative, si potevano ottenere con interessanti strumenti quali meridiane (di cui ci occuperemo più approfonditamente in seguito), clessidre ad acqua o a sabbia (si noti come una clessidra ad acqua abbia grosse difficoltà di funzionamento nei paesi freddi, con il gelo) o con candele contrassegnate con opportune tacche che si consumavano nel tempo, o lanterne ad olio, o con ingegnosi congegni ad acqua che riempiendo un vaso facevano innalzare galleggianti che muovevano lancette, facevano cadere biglie, suonare carillon, ecc.

Tra l'altro, tutti questi strumenti, già in uso presso gli antichi Caldei, Egiziani, Greci, Cinesi, ecc., avevano un enorme vantaggio rispetto alle meridiane: funzionavano anche quando il cielo era coperto, o di notte.

Il problema fondamentale non era tanto quello di far muovere qualcosa nel tempo, quanto quello di farlo muovere con regolarità: ad esempio una corda arrotolata su di un asse, con un peso legato ad una estremità, lasciata libera di muoversi permette di far ruotare l'asse, per la caduta libero del peso; il problema è che il peso cade con velocità crescente e l'utilizzo di un freno può fornire una velocità abbastanza costante, ma non molto precisa.

Analogamento lo svolgimento di una molla caricata presenta le stesse difficoltà, anche se al contrario: all'inizio è più veloce e diventa via via sempre più lenta.

Molti orologi si sono per molto tempo basati su ingegnosissimi dispostivi atti a regolare appunto lo svolgimento di una corda o di una molla; bisogna considerare sempre che non era necessario che tutti possedessero un orologio, era sufficiente che ve ne fosse ad esempio uno sul campanile della chiesa, o sulla torre della piazza, che indicasse lo scorrere approssimativo del tempo per la popolazione e ne governasse le attività comuni fondamentali. All'inizio della nuova giornata una persona incaricata poteva poi, in base al sorgere del sole o a qualunque altro evento di riferimento, risistemare l'ora, che a volte poteva differire da quella esatta anche di ore.

Allo stesso modo, per chiamare al lavoro gli operai di una fabbrica, fino a pochi anni fa, bastava una sirena udibile da tutti gli interessati.

Notiamo tra l'altro che questi problemi non sono relativi alla preistoria; ad esempio fino a non più di 40 anni fa le cineprese (le antenate delle attuali telecamere, con le quali i nostri padri filmavano gli avvenimenti della loro vita) funzionavano a molla. Il movimento della pellicola veniva fornito dallo svolgimento di una molla caricata a mano ed è evidente il problema di far scorrere i fotogrammi a velocità costante (16 al secondo), in caso contrario la riproduzione del filmato risulterebbe falsata.

Tale regolarità veniva fornita, per la breve durata della ripresa che normalmente non superava gli 8 - 10 secondi (le pellicole duravano 3 minuti e costavano parecchio), da un dispositivo costituito da due masse rotanti che si allontanavano dall'asse di rotazione per effetto della forza centrifuga e man mano che la velocità tendeva a diminuire, riavvicinandosi all'asse, per un noto principio della fisica (conservazione della quantità di moto), contribuivano a farla riaumentare, garantendo in tal modo una certa regolarità (come le pattinatrici che ruotando sul ghiaccio variano la loro velocità di rotazione allontanando o avvicinando le braccia al corpo).

Un punto cruciale dell'evoluzione della misura del tempo arriva con Galileo Galilei (1600); per fondare il suo metodo scientifico egli necessitava di strumenti di misura più precisi, che gli permettessero di misurare intervalli di tempo paragonabili con i secondi (per studiare i movimenti, la caduta dei corpi, ecc.)

Si attribuisce a lui la scoperta dell'isocronismo del pendolo: la tradizione vuole che mentre si trovava nel duomo di Pisa abbia notato l'oscillazione di una lampada e l'allora studente in Medicina ne abbia controllato, utilizzando il suo battito cardiaco, i tempi di oscillazione, scoprendo appunto che il periodo del pendolo (per piccole oscillazioni) è costante.

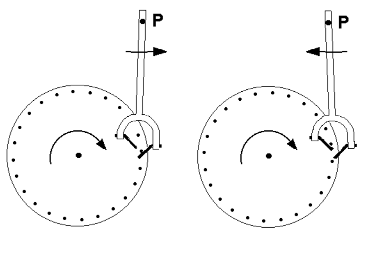
Galileo non utilizzò questa sua scoperta per realizzare un orologio, o meglio tentò di farlo quando era già vecchio e quasi cieco. Spetta all'olandese Christiaan Huygens, intorno alla metà del XVII secolo, la realizzazione del primo orologio a pendolo.

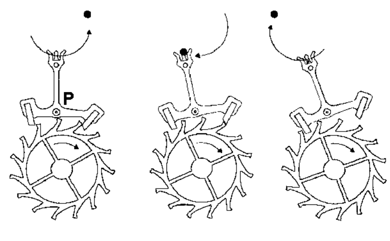
Bisogna poi arrivare fino all'inizio del 1700 (Robert Hooke) per avere la sostituzione del pendolo con un bilancere a spirale, cioè una molla che muove una rotellina in un senso e poi nell'altro alternativamente. In tal modo viene eliminata la dipendenza del pendolo dalla forza di gravità dando origine a numerosi tipi di orologi che condurranno al classico orologio da polso.

Nella figura seguente a sinistra è mostrato il meccanismo che permette di far muovere la rotella in maniera regolare nel tempo: per effetto della carica (molla, corda e peso, ecc.) essa tende a ruotare in senso orario, ma la barra verticale ne blocca i piolini neri, impedendone la rotazione; tale barra verticale, collegata rigidamente ad un pendolo, oscilla attorno al perno P, e quindi spostandosi verso destra libera per un breve tempo un piolino, bloccando però subito dopo il successivo, con l'altro arresto, lasciando quindi muovere la ruota ber un breve tratto.

Quando il pendolo ritorna indietro, si libera nuovamente il piolo, per ribloccare successivamente il seguente, e così via la ruota gira in modo controllato dal moto regolare del pendolo.

Si noti pure che il pendolo lentamente rallenterebbe la sua corsa per effetto degli attriti e finirebbe con il fermarsi, ma nella sua rotazione la ruota spinge sui fermi fornendo al pendolo quella piccola energia che gli serve per continuare il suo moto.





La figura di destra mostra l'analogo meccanismo che rilascia alternativamente i particolari denti di una rotellina, mediante un congegno a forma di ancora, che viene alternativamente spostato a destra e a sinistra, attorno al perno P, da un pernetto nero (in alto) che si muove solidale con un bilancere, mosso da una molla che lo fa ruotare in senso orario e quindi antiorario, e così via.

Tale meccanismo si può notare in ogni orologio da polso o vecchia sveglia.

In seguito comunque l'orologio a pendolo venne perfezionato fino a diventare uno strumento di grande affidabilità.

Così per molti anni la misura del tempo con una certa precisione fu una necessità dei soli fisici e dei marinai.

Per molti secoli infatti la navigazione era stata fatta costeggiando la terra; avendo quindi sempre dei precisi punti di riferimento.

In un mare come quello mediterraneo, relativamente piccolo, i tratti in mare aperto erano decisamente brevi, e l'uso di una bussola o l'orientamento con le stelle consentivano una navigazione sufficientemente sicura.

Ma con l'inizio delle grandi esplorazioni, i lunghi mesi passati senza vedere terra ferma costituivano una enorme incertezza sulla posizione della nave.

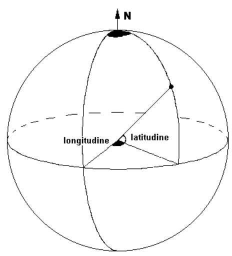
Nei diari di bordo venivano giornalmente annotate le distanze percorse e le relative rotte, ma la misurazione della velocità era basata su metodi molto approssimativi ed i risultati erano decisamente poco affidabili.

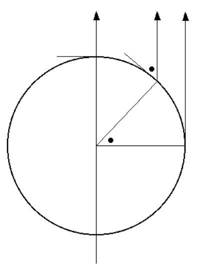
Il metodo classico per rilevare la velocità della nave consisteva nel lanciare un galleggiante a prua della nave e poi controllare l'intervallo di tempo necessario allo stesso per passare in due punti prefissati sul fianco dell'imbarcazione; tale intervallo di tempo, non avendo tra l'altro buoni strumenti di misura, era rilevato utilizzando una cantilena che l'addetto alla rilevazione iniziava a cantare al passaggio del galleggiante al primo punto di riferimento e finiva al secondo punto.

Non è difficile immaginare gli errori di misura, tenuto anche conto del fatto che tali rilevazioni diventavano molto difficili in caso di bonaccia o di forti tempeste; una ulteriore fonte di grossi errori era poi costituita da eventuali forti correnti marine che finivano con lo spostare la nave anche di parecchie miglia dalla posizione presunta.

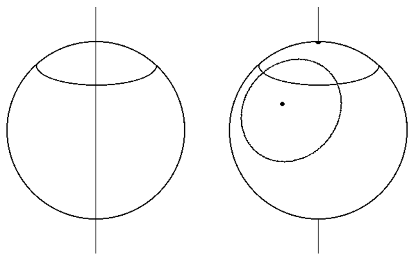
Diventava quindi essenziale conoscere la propria posizione con una relativa certezza, anche per poter redigere della mappe geografiche dei nuovi posti esplorati e definire con precisione le coste, onde rendere più agevole la navigazione di coloro che sarebbero tornati poi negli stessi posti per avviare attività commerciali o quant'altro.

Ricordando che la posizione sulla terra è identificata da due coordinate, la longitudine e la latitudine, va osservato che la latitudine è facilmente stimabile osservando l'altezza della stella polare sull'orizzonte; tale angolo infatti fornisce proprio il valore della latitudine, come mostrato dalla figura di destra.





Si nota infatti che conoscendo l'altezza di una stella (e sapendo naturalmente dove si trova in quel momento tale stella) è possibile identificare sulla superficie terrestre un cerchio, su cui si deve trovare l'osservatore.



Pertanto, ripetendo l'osservazione con un'altra stella (o con qualunque altro corpo celeste), e determinando quindi un altro cerchio, il punto di osservazione si troverà all'intersezione dei due cerchi. Per la verità i punti di intersezione sono due, ma uno dei due a volte può essere facilmente scartato se si conosce vagamente il punto in cui ci si trova; in caso contrario sarà sufficiente fare una terza osservazione per precisare meglio il risultato ottenuto.

Si noti anche che sarebbe sufficiente una sola osservazione, se venisse rilevata, oltre all'altezza dell'oggetto, anche la sua posizione rispetto ad una direzione prefissata, ad esempio nord-sud (ma questo su di una nave comporta ulteriori difficoltà).

Vi sono però due grossi problemi: il primo è che mentre la stella polare è sempre ferma in un posto ben preciso (il nord, trovandosi nella direzione dell'asse terrestre) qualunque altro corpo celeste visibile contemporaneamente si muove nella volta celeste per effetto della rotazione della terra. Non è pertanto possibile conoscerne la posizione se non si conosce l'istante in cui viene fatta l'osservazione; in altre parole bisogna sapere che ore sono in un punto prestabilito della terra a cui fare riferimento.

Un errore di soli 4 minuti determina un errore di un grado sulla posizione di una stella ed un errore di un grado in longitudine, sull'equatore, corrisponde a circa 111 Km (circa 80 Km ad una latitudine media di 45^0).

Orologi così precisi da contenere errori così piccoli dopo mesi di navigazione non esistevano.

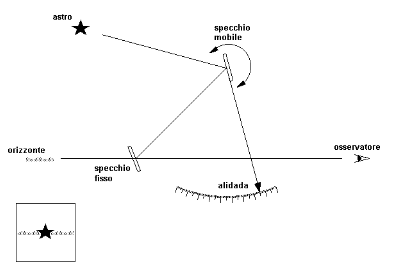
Si tenga infatti presente che un orologio a pendolo, per quanto preciso sia, diventa totalmente inutilizzabile a bordo di una nave.

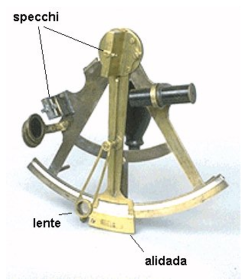
Fra l'altro, essendo il periodo di un pendolo dato dalla formula $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ esso è influenzato dalle variazioni della lunghezza l, dovute ad esempio a variazioni della temperatura, ed a quelle di g, accelerazione di gravità, che non è proprio costante in ogni luogo.

Un secondo problema sta nel fatto che misurare l'altezza di una stella richiede alcune semplici operazioni: puntare con qualcosa la stella e misurare l'angolo che si viene a formare con l'orizzontale o la verticale; questo richiede di aver preventivamente fissato un piano orizzontale, con una bolla, o traguardando l'orizzonte, o utilizzando un filo a piombo nel caso si voglia rilevare la verticale.

Naturalmente, né la bolla né il filo a piombo funzionano su di una nave in continua oscillazione, e se si punta l'orizzonte fissando un riferimento, quando poi si guarda la stella, l'orizzonte non è più dov'era, sempre per effetto dei rollii o dei beccheggi.

La soluzione è comunque stata trovata con l'utilizzo di uno strumento (il sestante, così chiamato perché la parte graduata dello strumento copriva un sesto di angolo giro) estremamente semplice quanto geniale, che permette, mediante l'uso di uno specchio semitrasparente e di un altro specchio mobile, di vedere contemporaneamente la stella e l'orizzonte; ruotando lo specchio mobile l'osservatore fa in modo che l'immagine riflessa sullo specchio fisso si vada a sovrapporre a quella dell'orizzonte; a questo punto lo strumento viene bloccato e su una opportuna scala si potrà leggere l'altezza della stella.

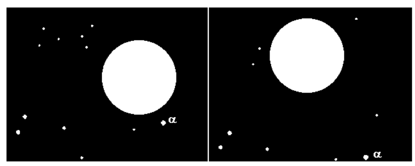




In tal modo si è risolto il secondo problema, quello di una accurata misura dell'altezza (poi comunque corretta per tenere conto della rifrazione atmosferica che, nulla allo zenit, arriva a mezzo grado sull'orizzonte).

Per quel che riguarda il primo problema, la determinazione dell'ora, furono proposte varie soluzioni: il punto di partenza sta nell'osservazione che nel cielo vi sono alcuni oggetti, osservabili da qualunque posto della terra, che si muovono rispetto allo sfondo delle stelle fisse (che pure loro ruotano per effetto della rotazione terrestre).

Escludendo i pianeti, il cui moto è estremamente lento, la luna è sicuramente l'oggetto più veloce a nostra disposizione; si tenga presente che la luna ha un tempo di rivoluzione di $27^g 7^h 43.2'$ e che quindi percorre circa 13.17 gradi al giorno, il che significa circa mezzo grado all'ora, e se si



intervallo = 1 ora

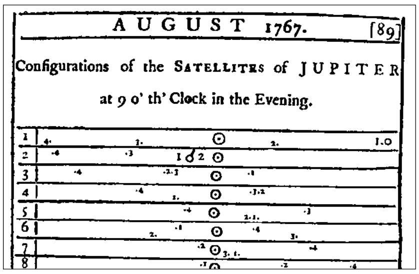
considera che il suo diametro apparente (ad un osservatore terrestre) è di circa mezzo grado, si può notare come essa si muova considerevolmente anche rispetto alle stelle fisse.

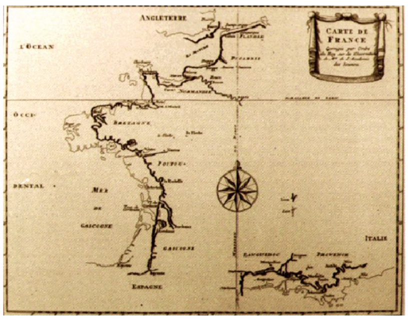
Naturalmente bisognerà conoscere la posizione della luna istante per istante ed avere una dettagliata mappa delle stelle presenti sul suo percorso, per rilevare esattamente la sua posizione relativa.

Sfortunatamente il calcolo della posizione della luna è un problema estremamente difficile, complicato dal fatto che essa risente dell'effetto congiunto della terra e del sole, ed il suo moto subisce innumerevoli fluttuazioni minime, ma rilevanti per il nostro problema, rispetto al percorso ideale, per una serie innumerevole di fattori.

Il primo a proporre il metodo delle distanze lunari fu Amerigo Vespucci, nel 1500, ma per molto tempo il metodo risultò inapplicabile per via delle difficoltà precedenti.

Una seconda proposta che venne fatta riguarda i satelliti di Giove; i quattro satelliti principali, Io, Europa, Ganimede e Callisto, scoperti da Galileo nel 1610 e osservabili bene con un comune binocolo, ruotano molto velocemente attorno a Giove (Io compie una rivoluzione in circa 42 ore) e la loro posizione può essere utilizzata, mediante l'uso di opportune tavole, per stabilire l'ora.



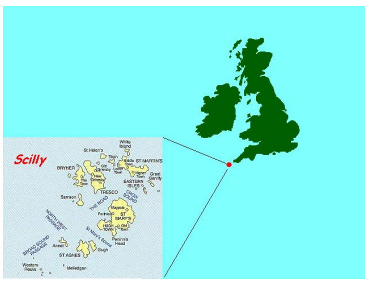


La precisione raggiunta è notevole e Cassini (astronomo ligure, di Perinaldo, in provincia di Imperia, trapiantato a Parigi) perfezionò tale metodo rendendo possibile, alla fine del 1600, la stesura di nuove e molto precise carte geografiche.

La carta seguente mostra le nuove rilevazioni della costa francese, confrontata con una vecchia mappa. La leggenda vuole che Re Luigi XIV, vedendo tale carta, si sia lamentato di "aver perso più terre per causa degli astronomi, che non dei suoi nemici".

L'osservazione dei satelliti di Giove da una nave in movimento si rivelò però molto difficile ed i risultati non furono mai soddisfacenti.

Il problema della longitudine fu l'assillo di molte menti eccelse per lungo tempo: a Newton, per sua ammissione, fece "venire il mal di testa"; l'esploratore Champlain intorno al 1600 disse "Dio non ha permesso all'uomo l'uso delle longitudini"; nel 1726 Jonatan Swift fa dire a Gulliver che solo tre cose sono impossibili all'uomo: il moto perpetuo, la medicina universale e la soluzione del problema delle longitudini.



La necessità di risolvere questi problemi, che era ben nota e pressante ai naviganti e agli astronomi del passato, subì un improvviso impulso nell'ottobre del 1707.

L'ammiraglio inglese Sir Clowdisley Shovell, al comando della sua flotta di cinque navi, stava tornando a Londra dopo alcune schermaglie con le navi francesi presso Gibilterra ed in base al punto 'stimato' gli ufficiali di rotta ritenevano di trovarsi al largo della Bretagna, in acque profonde. A causa della nebbia calata nel seguito le vedette non ebbero più alcun punto di riferimento e, essendo i calcoli sbagliati, l'intera flotta andò ad urtare contro le isole Scilly. Quattro navi colarono a picco e morirono migliaia di uomini.

A seguito di questo disastro (probabilmente dovuto ad un errore nella stima della latitudine, piuttosto che della longitudine), nel giugno del 1714 il Parlamento inglese, pressato anche dalle richieste di mercanti e marinai, chiese l'aiuto di due grandi scienziati del tempo: Halley e Newton.

Quest'ultimo preparò una relazione per il parlamento in cui, dopo aver descritto le caratteristiche che avrebbe dovuto avere un orologio per poter affrontare il problema, concludeva che

"a causa del moto della nave, della variazione di temperatura e umidità, della differente forza di gravità alle differenti latitudini, quest'orologio non si è ancora potuto costruire"

Probabilmente Newton voleva con ciò convincere il parlamento ad appoggiare metodi astronomici basati come visto sui satelliti di Giove o sulla posizione della Luna; metodi a cui lui stava lavorando.

Comunque venne istituito un *Comitato per le longitudini* (Board of Longitudes) con astronomi, esperti di navigazione ed un rappresentante del parlamento stesso.

Il comitato aveva a disposizione ingenti quattrini e previde tre premi: il primo di 20000 sterline (equivalenti a circa 6-8 milioni di euro) per chi avesse risolto il problema in modo 'useful and practicable', con la precisione di mezzo grado di cerchio massimo, il secondo di 15000 sterline per un errore di due terzi di grado, ed il terzo di 10000 sterline per un errore di un grado.

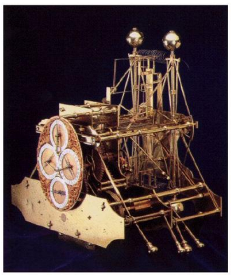
Precisioni non enormi, ma cifre considerevoli, il che fa ben capire l'importanza del problema.

La soluzione proposta da Halley fu quella di utilizzare la declinazione magnetica: il polo nord magnetico, quello verso cui punta l'ago della bussola, non coincide con quello geografico; questo fa sì che, a seconda del posto in cui ci si trova, l'errore angolare della bussola è differente (esso dipende anche da altri fattori quali ad esempio la presenza di grosse masse ferrose nelle rocce, ecc.)

Avendo una precisa mappa della declinazione magnetica si potrà, conoscendo la latitudine del luogo, determinarne anche la longitudine. Il metodo si rivelò però inaffidabile, sia per la difficoltà di misurare esattamente l'angolo segnato dalla bussola su di una nave che non sta mai ferma, sia perché la declinazione risulta mutevole nel tempo.

Iniziò allora una sfida tra l'accademico tedesco Tobias Mayer, che utilizzando tecniche matematiche di calcolo sviluppate da Eulero, riuscì a formulare nel 1752 le effemeridi della luna con grande precisione, ed un certo John Harrison, orologiaio figlio di un carpentiere dello Yorkshire, che cercò di costruire un orologio che ottenesse la precisione richiesta per i lunghi tempi dei viaggi e nelle avverse condizioni di una nave.

La sfida fu alla fine vinta da Harrison, che costruì prima un orologio (1729), denominato H4, alto 63 cm e pesante circa 40 Kg, in cui il pendolo era sostituito da due barre accoppiate da molle, con compensazione della temperatura, e dopo vari tentativi arrivò all'H4 (1760), con cassa del diametro di 13.3 cm,



un cronometro che si dimostrò molto preciso, tanto che si sospettò che i dati fossero stati falsati. Naturalmente il Comitato prese la palla al balzo e non pagò il premio.

Dopo quarant'anni di discussioni e rinvii Harrison, che nel frattempo aveva sempre più perfezionato il suo orologio, ricevette il premio e dopo tre anni morì.

Al tedesco Mayer non andò meglio; egli non si fece mai molte illusioni pensando che l'Inghilterra non avrebbe mai dato il premio ad uno straniero. In realtà l'utilizzo delle sue tavole richiedeva calcoli molto complicati; Mayer morì ed i suoi eredi, dopo molte battaglie giudiziarie, riuscirono ad ottenere 3000 sterline: il governo inglese ritenne che le tavole di Mayer non avrebbero mai potuto essere compilate senza far uso delle equazioni di Eulero, al quale venne consegnato un premio di 300 sterline.

Ma torniamo alla breve storia della misura del tempo.

Intorno alla metà del 1800, su proposta di un comitato di scienziati francesi, venne definita l'unità fondamentale di misura del tempo nel Sistema Assoluto delle Misure, ovvero il *secondo.*

Esso era definito come 1/86 400 del *giorno solare medio*, (24 ore $\times$ 60 minuti $\times$ 60 secondi $=$ 86 400 secondi).

Tale definizione è resa necessaria dal fatto che, come vedremo in seguito quando parleremo di meridiane, il giorno solare (cioè l'intervallo di tempo tra due passaggi del sole al meridiano, linea nord-sud) non è costante durante l'anno, a causa dell'ellitticità dell'orbita e dell'inclinazione dell'asse terrestre. Il giorno solare medio è la media aritmetica di tutti i giorni dell'anno e dura esattamente 24 ore.

Il successivo salto di qualità si ha con gli orologi al quarzo, che sfruttano la piezoelettricità del quarzo. Alla fine del 1800 Pierre Curie osservò che quando un cristallo di quarzo subisce una compressione lungo un certo asse di simmetria emette una corrente elettrica; viceversa, se viene sottoposto ad un campo elettrico, esso inizia a vibrare con frequenza costante.

Il primo orologio al quarzo fu costruito nel 1927 e permise una precisione di 1/10 000 di secondo al giorno.

Con tali strumenti fu possibile verificare che la rotazione della terra non è così precisa come si pensava: oltre a fluttuazioni dell'asse terrestre, anche le maree e i grossi spostamenti di masse d'acqua dalle calotte polari per effetto di glaciazioni o riscaldamenti, o spostamenti interni alla terra di magma, ecc., causano variazioni della velocità di rotazione della terra.

In particolare tali effetti portano ad un progressivo rallentamento della velocità di rotazione: sulla base delle osservazioni astronomiche degli ultimi 2000 anni, la decelerazione angolare della terra risulta essere di $2.283 \cdot 10^{-10}$ gradi/giorno^2 .

Una quantità piccolissima: in cento anni la durata del giorno aumenta di 2 millesimi di secondo, ma lo spostamento angolare di una stella (che varia con il quadrato del tempo) può diventare considerevole; in 2000 anni è di circa 60^o! .

Prova di tale rallentamento, che porterà in un giorno molto lontano la terra ad avere la velocità di rotazione uguale a quella di rivoluzione, e quindi a mostrare al sole sempre la stessa faccia, come già fa Mercurio (o la luna rispetto alla terra) si può trovare nelle antiche cronache delle eclissi che, in base agli odierni calcoli sembrano essersi verificati in posti differenti da quelli segnalati.

Un'altra prova è costituita dallo studio effettuato su coralli fossili risalenti ad un periodo di 350-400 milioni di anni fa. All'interno degli anelli annuali di crescita sono presenti numerose striatura attribuite a crescite giornaliere; il numero di tali striature è pari a circa 400, contro le 365 presenti nei coralli attuali.

A questo punto appare evidente che, seppure con errori piccolissimi, la definizione di giorno solare medio non è più completamente soddisfacente.

Per questo, nel 1956, su proposta dell'Unione Astronomica Internazionale, venne definito, dopo precise misurazioni, il secondo come $1/31\,556\,925.9747$ del primo anno solare tropico del secolo, cioè della durata dell'anno dalle ore 12 del 31 dicembre 1899 alla stessa ora del 31 dicembre 1900 (si noti: non più un anno medio, ma quel preciso anno).

Tale misura venne denominata "Secondo di Tempo delle Effemeridi" .

In questo modo è definita una unità di misura precisa ed immodificabile. Per ironia della sorte, questa misura da sempre cercata è ora troppo precisa: infatti i tempi della vita umana sono sempre regolati dal moto del sole e non da quelli ultraprecisi degli orologi.

Tra il tempo delle Effemeridi ed il tempo solare medio, nel corso dell'ultimo secolo, si è venuta a creare una differenza di poco più di 80 secondi; poca cosa agli effetti pratici dell'uomo comune, ma un enorme divario ad esempio per gli astronomi.

Con l'avvento poi degli orologi atomici, nel 1967 la XIII Conferenza Generale dei Pesi e Misure adottò la seguente definizione di secondo:

"il secondo del Sistema Internazionale di Unità è la durata di 9 192 631 770 periodi della radiazione dovuto alla transizione fra due livelli energetici iperfini dello stato fondamentale dell'isotopo 133 del cesio"

La precisione degli orologi atomici è tale che si rendono evidenti anche effetti relativistici della teoria di Einstein (dovuti ad esempio a differenze della gravità).

Per questo motivo l'ora del pianeta è calcolata con il Tempo Universale Coordinato (UTC) ovvero con la media di numerosi orologi atomici distribuiti in vari laboratori sparsi per il mondo.

Per ovviare alla discrepanza tra il giorno solare reale e l'enorme precisione di tali orologi, una o due volte all'anno, il 31 luglio ed il 31 dicembre, se necessario viene saltato (o aggiunto) un secondo in modo che la differenza tra il Tempo Universale Coordinato ed il tempo Universale delle Effemeridi rimanga inferiore a 0.9 secondi.

In tal modo si assicura ai fisici un campione rigorosamente costante ed agli astronomi o ai naviganti un tempo strettamente connesso con il moto della terra.

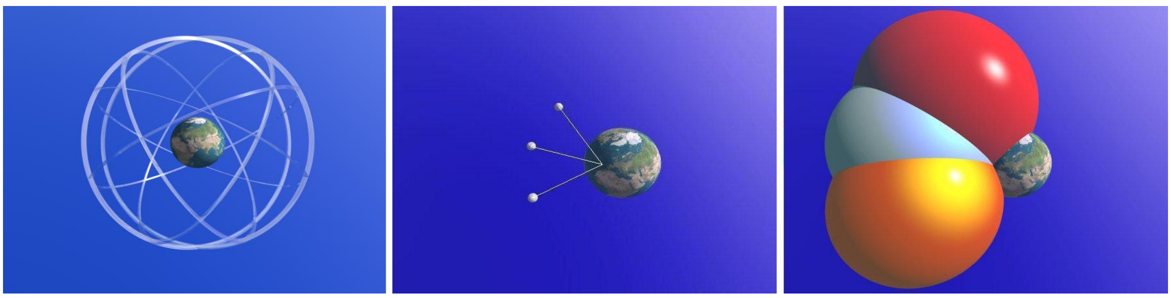
Una domanda che molte persone si porranno a questo punto è: a parte i fisici che necessitano di misure ultraprecise nei loro laboratori, che se ne fa la gente comune di una precisione di milionesimi di secondo?

La risposta è: forse non ce ne accorgiamo, ma tale precisione è usata molto più di frequente di quanto non si pensi.

Il clock di un computer oggi va a 1-2 GigaHertz, cioè 1-2 miliardesimi di secondo; il nostro telefonino comunica continuamente con i ripetitori della rete cellulare ed i navigatori satellitari delle auto rilevano continuamente i segnali provenienti dai satelliti. Poichè le onde elettromagnetiche viaggiano alla velocità di 300000 km/sec, in un milionesimo di secondo percorrono 300 metri; se vogliamo conoscere la nostra posizione con un errore inferiore a tali distanze dobbiamo rilevare il segnale con una tale precisione.

Per concludere, osserviamo che il problema della determinazione della posizione di una nave, così come di qualunque altro oggetto, sia ormai risolto proprio con l'utilizzo dei satelliti.

Il G.P.S. (Global Positioning System) è un sistema funzionante dal 1993, originariamente nato negli USA per scopi militari, che utilizza 24 satelliti che ruotano attorno alla terra ad un'altezza di circa 20200 Km, in 6 gruppi da 4, con orbite distanti 60^o e formanti un angolo di 55^o rispetto al piano dell'equatore.



Ciascun satellite, dotato di orologio al cesio che viene sincronizzato dalla stazione americana di Colorado Springs ogni volta che vi passa sopra, trasmette in continuazione dati numerici con le proprie coordinate e l'istante esatto di trasmissione del segnale.

Il ricevitore di terra, dotato di un orologio al quarzo di grande precisione, confrontando l'orario di ricezione del segnale con quello di emissione e conoscendo la velocità di trasmissione del segnale, deduce la distanza del ricevitore dal satellite.

Viene in tal modo identificata nello spazio una sfera, con centro il satellite, su cui si deve trovare il ricevitore.

Utilizzando tre osservazioni con tre differenti satelliti, si determinano due punti (intersezione di tre sfere) uno dei quali è solitamente al di fuori della superficie terrestre e comunque di muove a grande velocità (a causa del rapido movimento dei satelliti).

Si determina così il punto dell'osservatore, con grande precisione.

Per la verità l'orologio di cui è dotato il ricevitore non è enormemente preciso; tale inconveniente si elimina utilizzando una quarta osservazione su di un quarto satellite, ottenendo in tal modo quattro equazioni, da cui è possibile ricavare le quattro incognite x, y, z, t (coordinate spaziali e temporali dell'osservatore).

Il calendario.

Ci occupiamo ora, in questa parte, delle conseguenze del moto di rivoluzione della terra e della luna, cioè degli anni e dei mesi, lasciando ad un momento successivo l'esame del moto di rotazione, che causa il susseguirsi del giorno e della notte.

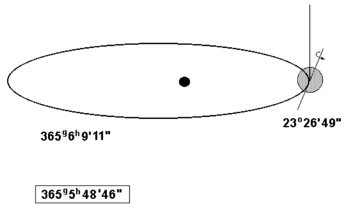
La terra compie un intero giro attorno al sole in 365 giorni, 6 ore, 9 minuti e 11 secondi; tale periodo è detto 'anno solare'.

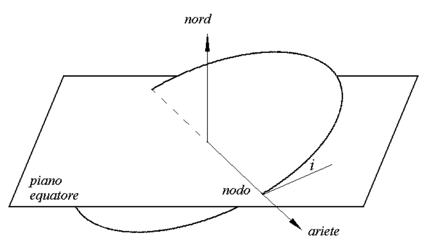
Poiché l'asse terrestre è inclinato di circa 23 gradi e mezzo rispetto al piano di rivoluzione, il sole, nel suo moto apparente sulla volta celeste, appare seguire un percorso che interseca il piano equatoriale in due punti, detti nodi, corrispondenti ai due equinozi di primavera e di autunno (durata uguale di giorno e notte).

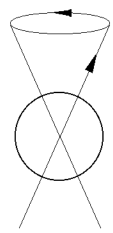
Quando poi il sole è più alto del piano equatoriale si hanno la primavera e l'estate (nell'emisfero settentrionale, con il giorno più lungo della notte), quando è più basso l'autunno e l'inverno.

L'inizio della primavera è quindi determinato dal passaggio del sole al nodo ascendente o punto dell'Ariete, perché il sole appare trovarsi in tale costellazione (o meglio appariva molti anni fa).

Infatti, a causa di un altro moto della terra, l'asse di rotazione non è fisso, ma segue un moto di precessione (simile a quello di una trottola) che descrive un cono di apertura proprio di 23 gradi e mezzo con un periodo di 26000 anni.



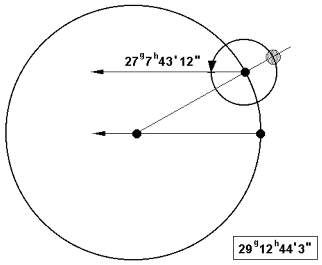




Per questo la stella polare, che attualmente segna il nord, non è la stessa che lo indicava 5000 anni fa quando furono ad esempio costruite le piramidi; allo stesso modo tra circa 13000 anni il nord sarà indicata dalla luminosa Vega.

Questo moto causa un lieve spostamento del piano equatoriale che a sua volta causa uno spostamento del punto nodale e quindi dell'equinozio.

Pertanto, l'anno tropico, ovvero l'intervallo di tempo tra due passaggi del sole al punto nodale (inizio della primavera, che oggi non è più nella costellazione dell'Ariete) risulta di 365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 45.98 secondi; più corto dell'anno solare di circa 20' 25".



Il secondo moto che ci interessa è quello di rivoluzione della luna attorno alla terra: esso dura 27 giorni, 7 ore, 43 minuti e 12 secondi (e coincide con quello di rotazione, per cui la luna mostra alla terra sempre la stessa faccia). Poiché però nel frattempo la terra si è mossa attorno al sole, sarà necessario un certo tempo perché le posizioni relativa di sole-terra-luna ridiventino uguali.

L'intervallo di tempo tra due successive lune nuove risulta di 29 giorni, 12 ore, 44 minuti e 3 secondi.

Quindi l'anno solare dura 365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 45.98 secondi; il mese dura invece 29 giorni, 12 ore, 44 minuti e 3 secondi.

Il rapporto tra queste due quantità è pari a 12.3682661... per cui vi sono in un anno un po' più di 12 mesi.

Non essendo tale valore un numero intero non è possibile costruire un calendario che sia contemporaneamente lunare e solare, che ripeta cioè ad ogni anno gli stessi mesi con le stesse fasi lunari.

In realtà si ha

$$12.3682661.. \;=\; 12+\cfrac{1}{2+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{2+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{17+\ldots}}}}}}$$

Buone frazioni approssimanti tale numero risultano $\frac{136}{11}$, $\frac{235}{19}$, $\frac{4131}{334}$.

In particolare la frazione

$$\frac{235}{19} \;=\; 12+\cfrac{1}{2+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{2+\frac{1}{2}}}}$$

ci riconduce al ben noto ciclo di Metone: 19 anni solari corrispondono a 235 cicli lunari; l'errore è di circa due ore e può ritenersi ragionevolmente trascurabile.

Utilizzando la frazione $\frac{136}{11}$ (11 anni solari $\approx$ 136 mesi lunari) si commette un errore di circa 36 ore (superiore al giorno), mentre con $\frac{4131}{334}$ l'errore è di circa mezz'ora, ma 334 anni sono troppi per gestire un calendario.

I più antichi calendari erano di tipo lunare, essendo il mese un periodo più breve e le fasi lunari di notevole importanza per la vita comune. Oggi la luna ha ben poca importanza nella vita dell'uomo; riveste ancora qualche rilevanza nel mondo contadino, per gli astronomi e forse per gli innamorati.

La luce elettrica ha reso possibile ogni forma di attività anche durante la notte, ma se si prova a camminare per una strada buia, lontano da qualunque fonte di luce, ci si può ben rendere conto di come la luna rivesta un ruolo fondamentale: senza luna non si vede proprio nulla, neanche i propri piedi, con la luna piena ci si riesce a muovere con estrema disinvoltura.

Vediamo ora brevemente come erano strutturati i principali calendari dell'antichità, fino ad arrivare a quello in uso ai nostri giorni nel mondo occidentale.

Il calendario lunare

Tale calendario ha come base il mese lunare (circa 29 giorni e mezzo), l'anno è di 12 mesi; ogni mese ha alternativamente 30 e 29 giorni, in tal modo l'anno risulta di 354 giorni, inferiore all'anno tropico di più di 11 giorni.

Tale differenza, dopo 16 anni, arriva a circa 6 mesi, con il grave inconveniente di spostare completamente le stagioni.

L'inizio del mese iniziava all'apparire della falce della luna nuova; per evitare ambiguità la decisione veniva presa dai sacerdoti, dopo aver sentito almeno due testimoni, che giurassero di aver visto appunto la falce della luna nuova dopo il tramonto del sole.

Il calendario lunisolare

Questo rappresenta un progresso rispetto al calendario lunare; per ovviare all'inconveniente segnalato, si decise di introdurre ogni tanto un mese in più (7 ogni 19 anni, per completare il ciclo di Metone).

Sono esempi di tale calendario quello ebraico e quello cinese.

Il calendario ebraico

In questo calendario (simile a quello cinese) dodici anni comuni su un ciclo di 19 sono intercalati da 7 anni embolismici (dal greco 'che si inserisce'); essi sono il $3^o, 6^o, 8^o, 11^o, 14^o, 17^o, 19^o$.

I mesi sono: *Tishri, Heshvan, Kislev, Tevet, Shevat, Adar, Nisan, Iyar, Sivan, Tammuz, Av, Elul*; il mese aggiunto è *Veadar* ovvero *secondo Adar*.

Vi sono poi particolari aggiustamenti di un giorno per mantenere l'effettiva corrispondenza tra l'inizio del mese e la luna nuova.

L'origine del calendario è fissata al 7 ottobre 3761 a.C., data presunta della Creazione. Le settimane iniziano nel giorno successivo al Sabbat e i giorni iniziano al tramonto.

Il calendario egizio.

Il calendario egizio, in vigore dal quinto millennio a.C., iniziava con il sorgere eliaco di Sirio, cioè l'istante in cui la stella sorge in congiunzione con il sole.

Tale evento si verifica a fine primavera e corrispondeva alla piena del Nilo, che come è noto era elemento di grande prosperità per quel popolo ed il fatto che questo si verificasse proprio quando la stella più luminosa sorgeva con il sole era considerato un evento molto favorevole.

L'anno civile era costituito da dodici mesi di trenta giorni ciascuno, per un totale di 360 giorni, più cinque giorni intercalari.

Le stagioni erano tre: inondazione, inverno ed estate; naturali in un paese vicino all'equatore, dove la primavera non esiste.

Purtroppo, mancando gli anni bisestili, il calendario andò accumulando negli anni grossi ritardi rispetto al sole.

Il calendario Maya.

I Maya, e con essi altri popoli dell'America Centrale, quali ad esempio gli Aztechi, utilizzavano tre calendari: uno religioso, uno civile ed uno misto, su lunghi periodi.

Quello religioso era costituito da 13 mesi di 20 giorni, mentre quello civile consisteva di 18 mesi di 20 giorni, più 5 giorni, ritenuti nefasti, per completare i 365 giorni dell'anno.

Il calendario musulmano.

I paesi musulmani usano, affiancandolo al calendario gregoriano, un calendario rigorosamente lunare: l'anno è quindi composto di dodici mesi, di 30 e 29 giorni alternativamente. Per sopperire all'errore dovuto al fatto che una lunazione è lievemente più lunga di 29.5 giorni, viene periodicamente inserito un trentesimo giorno all'ultimo mese.

L'intercalazione avviene periodicamente in un arco di 30 anni su 11 anni e più precisamente negli anni 2, 5, 7, 10, 13, 16, 18, 21, 24, 26, 29. Tali anni sono detti abbondanti, e contano 355 giorni.

In tal modo un trentennio ha 10631 giorni, mentre 360 lunazioni equivalgono a 10361.0125 giorni; tale errore raggiunge il giorno dopo 2400 anni.

I nomi dei mesi sono: *Muharram, Safar, Rabi al-Awwali, Rabi ath-Thani, Jumada l-Ula, Jumada l-Akhira, Rajab, Shaban, Ramadhan, Schawwal, Zu l-Qada, Zu l-Hijja.*

La numerazione degli anni inizia dall'Egira (16 luglio 622, fuga di Maometto dalla Mecca a Medina)

Il calendario romano.

Gli antichi romani adottarono il calendario che era in uso presso le popolazioni primitive residenti in quelle terre. Era un calendario sul quale venivano regolate le attività agricole; queste iniziavano con la buona stagione e terminavano con la raccolta dei prodotti della terra.

Per questo tale calendario, noto come calendario di Romolo, in uso già settecento anni prima di Cristo, contava solo 10 mesi, mentre trascurava il resto dell'anno.

I nomi dei mesi erano basati sugli aggettivi numerali terminati in *ilis*: *quintilis* quinto mese, *sextilis* sesto; i primi quattro furono dedicati a Marte, *Martius*, a Maia, madre di Mercurio, *Maius*, e a Giunone, *Junius*, mentre per *Aprilis* l'etimologia è incerta (potrebbe essere una divinità etrusca, o derivare a 'aperire', aprire).

Gli ultimi, *september, october, november, december* sono terminati in *ber* da *ab imbre*, dopo le pioggie.

Venivano poi aggiunti alla fine i giorni necessari per completare l'anno ed arrivare alla nuova primavera.

Questi giorni in più vennero poi raggruppati in due nuovi mesi: *januarius*, dedicato a Giano e *februarius* da 'februare', espiare, dedicato alle cerimonie espiatorie per i vivi ed i morti, e quindi sempre ritenuto nefasto.

Questi calendari erano di tipo lunare; i mesi iniziavano con l'apparire della falce lunare al tramonto (Kalendae) ed uno dei Pontefici convocava il popolo alla Curia Calabra e proclamava i giorni relativi alle future fasi lunari: Nonae, primo quarto e Idus, plenilunio.

Tale calendario era abbastanza arbitrario ed un primo tentativo di sistemazione fu fatto da Numa Pompilio; si stabilì un ciclo di quattro anni in cui ad anni alterni si introduceva un tredicesimo mese (*mercedonius*, in quanto mese di paga dei mercenari) di 22 o 23 giorni.

I Decemviri variarono ulteriormente tali periodi e vennero incaricati i pontefici di modificare quando necessario il numero dei giorni di mercedonio.

Naturalmente essi abusarono un po' del loro potere, per abbreviare od allungare a piacere le magistrature, a seconda che fossero amiche o nemiche. Tutto questo fece sì che nel 46 a.C. l'equinozio civile si fosse spostato di circa tre mesi rispetto a quello astronomico, e quindi le stagioni fossero totalmente falsate.

In quell'anno Giulio Cesare, di ritorno dall'Egitto, dove aveva potuto apprezzare le qualità di un calendario solare, decise di porre rimedio alla situazione insostenibile che si era venuta a creare.

Il calendario Giuliano.

Come osservato, nel 46 a.C. Giulio Cesare, su consiglio dell'astronomo egiziano Sosigene, istituì il nuovo calendario che porta il suo nome.

Intanto, per colmare lo sfasamento causato dal precedente calendario, oltre al mese intercalare di 23 giorni, furono inseriti ulteriori due mesi speciali di 33 e 34 giorni; tale anno, durato ben 455 giorni, è conosciuto come anno *confusionis.*

I dodici mesi vennero ad avere alternativamente 31 e 30 giorni; poiché in tal modo l'anno verrebbe ad avere 366 giorni, un giorno venne tolto a Febbraio, mese sfortunato, che ebbe così 29 giorni.

Febbraio sarebbe tornato a 30 giorni soltanto ogni quattro anni, per compensare il fatto che l'anno tropico è di circa 365 giorni e un quarto.

Cesare stabilì pure che il primo anno del nuovo calendario iniziasse al primo plenilunio dopo il solstizio invernale e non più con l'inizio della primavera, come in passato, per cui Gennaio divenne il primo mese dell'anno.

Si noti che in tal modo la struttura dei giorni nei mesi era

Gennaio, Marzo, Maggio, Luglio, Settembre, Novembre con 31 giorni,

Aprile, Giugno, Agosto, Ottobre, Dicembre con 30 giorni,

ed infine Febbraio con 29 o 30.

Il mese di 'quintilis' fu dedicato nel 44 a.C. a Giulio Cesare, *Julius*, suo mese di nascita, ma la riforma non ebbe vita facile, perché i pontefici non applicarono ogni quattro anni, ma frequentemente ogni tre, il giorno aggiuntivo ed in soli 36 anni il calendario era già sfasato di tre giorni.

Augusto dovette vietare per i dodici anni successivi l'applicazione dell'anno bisestile, ed in seguito il Senato gli dedicò il mese di 'sextilis', *Augustus.*

Il problema era che agosto aveva 30 giorni, mentre luglio ne aveva 31: non fosse mai detto che Augusto era inferiore a Cesare !

Pertanto anche agosto divenne di 31 giorni e per evitare di avere tre mesi consecutivi più lunghi venne tolto un giorno a Settembre ed a Novembre e ne venne aggiunto uno ad Ottobre e Dicembre. Restava il giorno in più aggiunto ad Agosto che venne sottratto al solito Febbraio (sempre sfortunato).

Il calendario assunse così la forma in uso ancora oggi.

Bisogna infine ricordare che i romani non numeravano i giorni come oggi noi facciamo da 1 in poi, ma avevano alcune date fisse: le Kalendae, il primo del mese, le Nonae, il 7 di Marzo, Maggio, Luglio e Ottobre, e il 5 dei restanti mesi, e le Idus, il 15 dei mesi sopra citati, e il 13 degli altri.

I giorni venivano contati in base al numero di giorni che mancava per arrivare alla data fissa successiva, contando anche il giorno di partenza e di arrivo: in tal modo ad esempio il 4 aprile era il 'pridie nonas Apriles' e il 24 febbraio è il 'die sexto ante kalendas Martias'.

...	23	24	25	26	27	28	1	...
	VII	VI	V	IV	III	pridie	Kalendae	

Il giorno aggiunto ogni quattro anni era ottenuto contando due volte il 24 febbraio, che diventava il 'die bis sexto' da cui il nome 'bisestile', così come da Kalendae-arum deriva il nostro Calendario.

Per inciso si noti come la riforma sia decisamente collegata alla permanenza in Egitto di Giulio Cesare; permanenza che poteva essere molto breve dopo che al suo sbarco ad Alessandria gli era stata consegnata la testa del suo avversario Pompeo. Non c'era più alcun motivo di restare in Africa, se non fosse stato per la bella Cleopatra ......

Il calendario gregoriano

Con buone o cattive applicazioni il calendario giuliano restò in vigore per molti anni; bisogna arrivare al Medioevo perché esso diventi realmente diffuso tra tutti gli strati sociali. Ad esso si faceva ricorso per la venerazione dei Santi, per le scadenze dei contratti, per regolare il lavoro nei campi e nelle botteghe, ecc.

Proprio con l'uso da parte di molte persone ci si rese ben presto conto del fatto che il calendario non corrispondeva più al tempo reale: la durata dell'anno fissata da Cesare in 365.25 giorni risultava, con calcoli più precisi, di circa 11 minuti più lunga dell'anno reale e questo aveva fatto sì che nel 1100 la primavera iniziasse con quasi una settimana di anticipo.

Era quindi necessario un aggiustamento, ma perché questo diventasse una vera riforma del calendario bisognerà aspettare ancora quattro secoli.

Nel 1582, Papa Gregorio XIII, insigne rappresentante di una influente famiglia bolognese, su proposta del medico calabrese Luigi Lilio, del matematico gesuita Cristopher Clavius e del matematico perugino Padre Ignazio decise di intervenire. La preoccupazione principale del Papa era di natura liturgica: dato che il 21 marzo andava sempre più spostandosi verso l'estate, ed essendo la Pasqua cristiana (e quindi tutto l'anno liturgico) legata a quella data, si finiva per festeggiare la principale festa cristiana in un periodo diverso da quello stabilito, come vedremo, dal Concilio di Nicea.

Con Bolla del 24 febbraio 1582 decretò di cancellare 10 giorni, passando dal 4 ottobre al 15 ottobre. La scelta di tali date fu dovuta al fatto che in tale periodo non ricorrevano feste solenni, né Santi di maggiore importanza, e d'altra parte si consentiva di celebrare il 4 ottobre la festa di S.Petronio, patrono di Bologna, a cui il Papa era molto legato.

Contemporaneamente decretò che gli anni secolari sarebbero stati bisestili soltanto se divisibili per 400; in tal modo è stato bisestile il 2000, ma non lo saranno il 2100, il 2200 ed il 2300.

Con tale riforma si giunge al calendario che noi oggi usiamo. Essa non fu però immediatamente accettata da tutti, e non ebbe neppure l'approvazione di tutta la comunità cristiana. I protestanti rifiutarono il nuovo calendario ritenendolo un piano del Pontefice per riportare i cristiani ribelli sotto il potere di Roma; scriveva Keplero: 'I protestanti preferiscono essere in disaccordo con il sole piuttosto che in accordo con il Papa'.

In Germania il calendario entrò in vigore parzialmente nel 1700 e definitivamente nel 1775, in Gran Bretagna nel 1752, in Svezia nel 1753, in Giappone nel 1873, in Russia nel 1918 ed in Cina, in modo completo, nel 1949.

La chiesa ortodossa mantiene il calendario giuliano o, in alcuni casi, un calendario modificato per i bisestili degli anni centenari; la chiesa ortodossa di Finlandia ha invece completamente aderito alla riforma gregoriana.

Tra gli eventi storici recenti merita una citazione il

Calendario della Rivoluzione Francese

Questo calendario rimase in vigore, in Francia, dal 24 novembre 1793 al 1 gennaio 1806 (e ripristinato per un breve periodo nel 1871 con la Comune di Parigi).

Gli anni venivano contati a partire dalla fondazione della Prima Repubblica francese, il 22 settembre 1792.

Il capodanno doveva sempre coincidere con l'equinozio di autunno, quindi l'inizio variava sempre in base a tale evento astronomico. Gli anni erano composti di 365 o 366 giorni (i bisestili, aggiunti per mantenere costante l'inizio dell'anno), ed erano divisi in 12 mesi di 30 giorni ciascuno, più 5 o 6 giorni aggiuntivi.

I nomi dei mesi erano: *Vendemmiaio, Brumaio, Frimaio, Nevoso, Piovoso, Ventoso, Germinale, Floreale, Pratile, Messidoro, Termidoro e Fruttidoro.*

I giorni aggiuntivi si chiamavano *Giorno della virtù, del genio, del lavoro, della ragione, delle ricompense e della rivoluzione* (negli anni bisestili).

Non vi erano più le settimane, ma tre decadi di 10 giorni, di cui l'ultimo di riposo. Ogni giorno aveva 10 ore, ogni ora 100 minuti e ogni minuto 100 secondi.

Concludiamo osservando che la durata dell'anno è

$$365.2421988.. \approx 365 + \frac{1}{4} - \frac{3}{400} - \frac{3}{10000}$$

per cui, oltre al giorno in più ogni 4 anni (bisestile), ai tre giorni in meno ogni 400 anni (riforma gregoriana), sarebbero necessari tre giorni in meno ogni 10000 anni. Zichichi, nel suo saggio 'L'irresistibile fascino del tempo' ritiene di non dover considerare bisestili gli anni 4000, 8000 e 12000. Chi vivrà ....

Il giorno

La divisione del giorno è variata da luogo a luogo e nel corso degli anni.

Presso i babilonesi il giorno iniziava all'alba, presso gli Umbri a mezzogiorno, in Atene antica al tramonto.

I Romani dividevano il giorno in dodici ore e la notte in altre dodici ore; naturalmente la durata di ogni ora dipendeva dalla stagione: in estate erano più lunghe le ore diurne, in inverno quelle notturne.

Il giorno legale presso i Romani iniziava a mezzanotte, ma nel Medioevo prevalse l'uso orientale ed ebraico di considerare l'inizio al tramonto.

Con la diffusione degli orologi sui campanili e sulle torri, nel XIII-XIV secolo, si iniziò in Italia a dividere il giorno in 24 ore uniformi, ma sempre iniziando dal tramonto o dall'Ave Maria della sera.

Il sistema romano, con inizio alla mezzanotte, fu ripristinato con le invasioni napoleoniche di inizio Ottocento.

La settimana.

Un discorso a parte merita la settimana; non è nota la sua origine, probabilmente i primi ad adottarla furono i Babilonesi, mentre nell'impero romano ha iniziato a diffondersi nel I secolo d.C.

Fino ad allora veniva usato un periodo di otto giorni, il primo dei quali era detto 'novendinae' o 'nundinae', giorno di mercato.

Fu Costantino, che con un editto del 321 d.C., ufficializzò l'uso della settimana di sette giorni, di cui il primo, giorno del Sole, era di astensione obbligatoria per tutti i cittadini non agricoltori.

Da quel momento essa non è mai stata interrotta, neppure con la cancellazione dei 10 giorni della riforma gregoriana.

Riferimenti ai sette giorni sono già presenti, come tutti sanno, nel libro della Genesi:

Così furono ultimati il cielo e la terra, e tutto il loro ornamento.

Allora Dio, nel giorno settimo, volle conclusa l'opera che aveva fatto e si astenne, nel giorno settimo, da ogni opera che aveva fatto.

Quindi Dio benedisse il giorno settimo e lo consacrò, perché in esso aveva cessato da ogni opera da Lui fatta creando.

(Genesi 2,1-3)

Per il calendario liturgico cristiano, la Domenica è il primo giorno della settimana, per gli usi civili si usa il Lunedì , come stabilito dalla norma ISO 8601 (International Organization for Standardization).

La stessa norma assegna anche un numero ad ogni settimana dell'anno; le settimane su più anni sono considerate parte dell'anno che ne contiene almeno quattro giorni.

Per quel che riguarda il giorno festivo, esso è la Domenica per i cristiani (giorno della Resurrezione di Cristo), il Sabato per gli ebrei (giorno del riposo di Dio dopo la Creazione), il Venerdì per i musulmani (giorno della nascita di Maometto).

Tornando all'origine della settimana, questa può probabilmente essere legata alle fasi lunari, cioè alla suddivisione del ciclo lunare in quattro fasi (luna nuova, primo quarto, luna piena, ultimo quarto) della durata di circa 7 giorni.

Va notato che sette erano anche gli oggetti celesti mobili nel cielo, ovvero il sole, la luna, e i cinque pianeti visibili (Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno) e quindi appare naturale associare ad ogni giorno della settimana uno dei corpi suddetti (o magari i due fatti sono totalmente indipendenti): da cui Lunedì (Luna), Martedì (Marte), Mercoledì (Mercurio), Giovedì (Giove), Venerdì (Venere).

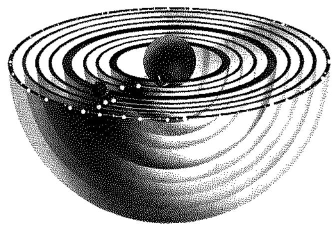
Per quel che riguarda Sabato esso deriva dall'ebraico *Sabbat*, mentre Domenica (Dominica dies) è stata introdotta come giorno del Signore, ma i riferimenti a Saturno e al Sole sono ancora presenti ad esempio nei nomi inglesi Saturday e Sunday.

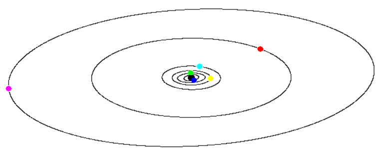
Non chiare sono le motivazioni dell'ordine (Lunedì, Martedì, ecc); una spiegazione particolare, ma interessante può essere la seguente:

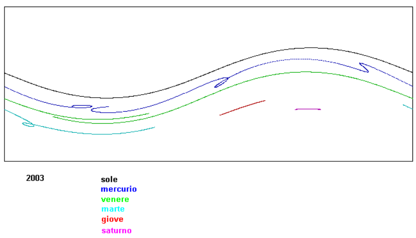
gli antichi ritenevano i sette corpi orbitanti attorno alla terra su sette sfere concentriche, oltre quella delle stelle fisse, dal più lontano al più vicino, nell'ordine

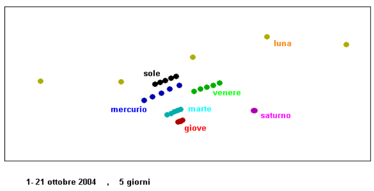
Saturno, Giove, Marte, Sole, Venere, Mercurio, Luna

Tale ordine deriva probabilmente dalla velocità di movimento nel cielo di ciascun corpo; la figura seguente al centro mostra il movimento apparente in un anno (il 2003) dei sette corpi (la linea di ogni pianeta è mostrata spostata in verticale, in quanto tutti si muovono in prossimità dell'eclittica, e sarebbero pertanto risultati sovrapposti); si notano bene i moti retrogradi di Mercurio.









Osservando la figura a destra, in cui sono mostrate le posizioni (ogni 5 giorni) dei vari pianeti, si nota come l'oggetto più veloce (e quindi presumibilmente più vicino) risulti la Luna, seguita poi da Mercurio, e così via via nell'ordine sopra citato fino a Saturno.

Gli antichi Caldei dividevano già il giorno in 24 ore e associavano un pianeta ad ogni ora, nell'ordine dal più lontano al più vicino. Supponendo pertanto che la prima ora del Sabato venga associata a Saturno, la seconda andrebbe con Giove, e così via, l'ottava tornerebbe con Saturno, e così anche la quindicesima e la ventiduesima; la ventitreesima con Giove, la ventiquattresima con Marte e la prima ora del giorno successivo con il Sole.

In pratica per trovare il pianeta associato alla prima ora del giorno successivo è sufficiente procedere ciclicamente nella lista di tre in tre (27 mod 7 = 3, vedi figura seguente)

ottenendo la ben nota sequenza. Di qui ad identificare ogni giorno con il corpo associato alla prima ora il passo è breve.

Il capodanno

Anche la data del capodanno è cambiata nel tempo: noi usiamo la data della circoncisione (1 gennaio), ma tale uso iniziò, come abbiamo già visto, con Giulio Cesare.

Altre date usate nel passato sono state: il primo marzo, usato nella Repubblica Veneta fino al 1797; il 25 marzo a Firenze e Pisa; il giorno di Pasqua, soprattutto in Francia; il primo settembre, a Bisanzio e, fino al XVI secolo, nell'Italia meridionale; il 25 dicembre, molto diffuso nel Medioevo, in Italia settentrionale.

Le feste dell'anno liturgico

All'inizio dell'era cristiana si festeggiava solamente la domenica, ma subito dopo venne la celebrazione della Pasqua, con il triduo pasquale (Giovedì, Venerdì e Sabato santo) e la Pentecoste.

Al IV secolo risalgono probabilmente la Quaresima, l'Ascensione, ecc.

Sempre in quel periodo si iniziò a celebrare il Natale: la scelta della data è relativa al fatto che, ai tempi di Cesare, il 25 Marzo ed il 25 Dicembre erano i giorni in cui cadevano rispettivamente l'equinozio di primavera ed il solstizio d'inverno.

Proprio il 25 dicembre di celebrava quindi la festa del Sole invincibile ('Dies Natalis Sol Invicti'), ovvero il giorno in cui il sole, raggiunto il punto più basso sull'orizzonte, non si lasciava sopraffare e risorgeva; la brutta stagione era finita e la vita nei campi sarebbe a breve rinata.

La Chiesa modificò pertanto una festa pagana molto amata dalla gente in una festa sacra: dalla rinascita del Sole alla nascita del Figlio di Dio.

Un discorso più complesso riguarda invece la data della Pasqua.

Nel 325 d.C. l'imperatore Costantino convocò a Nicea il primo Concilio ecumenico della storia della Chiesa, nel tentativo di dare unità e prestigio alla comunità cristiana (ed evitare pericolose lacerazioni all'interno del suo vasto impero).

Tra le varie questioni venne affrontata anche quella della data della Pasqua che non veniva celebrata da tutti i cristiani nello stesso giorno.

Il problema era complesso, perché secondo i Vangeli la resurrezione di Cristo avvenne durante la Pasqua ebraica, che cadeva a metà del primo mese del calendario ebraico.

Essendo tale calendario un calendario lunare, il primo mese iniziava dopo l'equinozio di primavera con la luna nuova, e pertanto la festa era in coincidenza con il plenilunio, ad una data fissa.

Ma il calendario romano era di tipo solare, e quindi tale data non risultava più fissa. Per i primi cristiani, naturalmente non molto dotti in astronomia, la questione era un vero dilemma.

Fissare una data certa, più che un problema tecnico era per l'imperatore un problema politico: imponendo una stessa data a tutti i cristiani significava mettere d'accordo le varie fazioni che si sarebbero riconosciute in un'unica religione e quindi in un unico Stato.

Appurato che tutti erano concordi sul fatto che la Pasqua dovesse cadere di domenica e fosse legata all'equinozio ed al plenilunio, il Concilio di Nicea stabilì che essa venisse celebrata nella 'prima domenica successiva al plenilunio che cade dopo l'equinozio di primavera'.

Venne quindi fissato al 21 Marzo l'equinozio (che dai tempi di Cesare si era andato via via spostando, per le vicissitudini viste).

Si noti che la domenica deve essere 'successiva' al plenilunio, per cui se esso cade di domenica si deve andare a quella successiva, proprio per evitare che si festeggi la Pasqua in contemporanea con quella ebraica.

In tal modo la data della Pasqua è compresa tra il 22 di marzo ed il 25 di aprile (compresi).

Il calcolo del plenilunio ha a che fare con la posizione della luna, la cui determinazione, come abbiamo già visto, è un problema di grande complessità; senza contare che non è chiaro a quale luogo bisogna fare riferimento per stabilire il giorno (se il plenilunio cade alle 23 del sabato in Europa, in Oriente è già domenica!).

Naturalmente nessuno si poneva allora un tale problema, anche se una scelta opportuna poteva essere quella di riferirsi all'ora di Gerusalemme.

Comunque due secoli dopo il Concilio di Nicea le Chiese di Oriente e di Occidente erano ancora divise sul calcolo della data a causa della difficoltà del problema astronomico.

Su questo problema gli orientali erano molto più abili degli occidentali ed avevano sviluppato metodi decisamente più precisi.

Per questo, nel 525 d.C., papa Giovanni I, chiese al monaco sciita Dionysius Exiguus (Dionigi il Piccolo), matematico ed astronomo, di fissare una regola facile affinché chiunque potesse calcolare la data della Pasqua.

Per inciso si deve a lui anche la data del Natale.

Una volta stabilita la data della Pasqua, vengono di conseguenza fissate le altre feste mobili, che da essa dipendono, in particolare:

- l'Ascensione, il 39^o giorno dopo la Pasqua, di giovedì; in Italia, dal 1977 si celebra il 42^o giorno, ovvero la sesta domenica dopo la Pasqua.
- la Pentecoste, il 49^o giorno, ovvero la settima domenica dopo la Pasqua.
- la S.S.Trinità, il 56^o giorno, ovvero l'ottava domenica dopo la Pasqua.
- il Corpus Domini, il 60^o giorno dopo la Pasqua, di giovedì; in Italia, dal 1977 si celebra il 63^o giorno, ovvero la nona domenica dopo la Pasqua.
  ed inoltre
- il giorno delle Ceneri, 46 giorni prima della Pasqua, che dà inizio al periodo quaresimale.
- la Domenica della Palme, prima di Pasqua.

La data della Pasqua

Come già osservato il Concilio di Nicea ha fissato la data della Pasqua nella prima domenica successiva al primo plenilunio dopo l'equinozio di primavera.

Equinozio che il Concilio stesso ha fissato il 21 Marzo. Sarà quindi necessario determinare la data del plenilunio e conoscere il giorno della settimana corrispondente a tale data, per poter avere la data della domenica successiva.

Il secondo problema è più semplice e per questo lo affrontiamo per primo: definiamo settimanale di una data un numero da 0 a 6 associato a tale data, ove 0 significa domenica, 1 lunedì, e così via fino a 6 per sabato.

Sarà sufficiente conoscere quanti giorni sono passati da un certo giorno conosciuto, e considerare poi il resto di una divisione per 7.

Tenuto presente che in n anni (con il calendario gregoriano, e quindi dopo il 1583) ci sono $365\,n$ giorni, più un giorno ogni 4 anni, meno un giorno ogni 100 anni, più un giorno ogni 400 anni, e che $(365n) \bmod 7 = (364n + n) \bmod 7 = n \bmod 7$, il settimanale corrispondente al giorno x del mese di marzo dell'anno a risulta

$$s_{x,a} \;=\; (x + a + a\backslash 4 - a\backslash 100 + a\backslash 400 + 16) \bmod 7$$

ove si è indicata con $a\backslash b$ e $a \bmod b$ rispettivamente il quoziente intero ed il resto della divisione tra a e b; il numero 16 (o equivalentemente 2, 9, 23 ..., per l'aritmetica modulo 7) rappresenta il parametro che aggiusta il settimanale (data di riferimento).

Naturalmente una simile formula si può ottenere per un mese qualsiasi, o per tutto l'anno a, utilizzando g come il numero di giorni passati dall'inizio dell'anno, si ha

$$s_a \;=\; (a + a\backslash 4 - a\backslash 100 + a\backslash 400 + 20) \bmod 7 \qquad , \qquad s_{g,a} \;=\; (g + s_a) \bmod 7$$

avendo l'accortezza, negli anni bisestili, di contare un giorno in meno nei mesi di gennaio e febbraio, in quanto il termine $a\backslash 4$ contemplato nella formula conta già il giorno in più del 29 febbraio.

La formula citata sopra per il mese di marzo utilizzata con un valore di x superiore a 31 è naturalmente riferita al giorno $x - 31$ di aprile, ecc.

Per gli anni del XXI secolo, dal 2000 al 2099 compresi, il settimanale dell'x di Marzo è

$$\text{se} \quad a = 2000 + n \quad , \quad s_{x,n} = (x + n + n \backslash 4 + 2) \bmod 7$$

Per il calcolo del plenilunio bisogna introdurre il calcolo dell'*epatta*, ovvero l'età della luna.

Definiamo e_a, epatta dell'anno a, l'età della luna il giorno 0 gennaio dell'anno a, cioè il 31 dicembre dell'anno precedente.

L'epatta è un numero compreso tra 0 e 29, 0 corrisponde alla luna nuova, 7 al primo quarto, 14 alla luna piena, ecc.

Il calcolo, secondo il metodo proposto da Dionigi il Piccolo, si basa sul ciclo di Metone (432 a.C.; i cinesi lo attribuiscono all'imperatore Hoang-Ti, 2638 a.C.) , e fornisce un'età della luna che può arrivare in alcuni casi a differire anche di due giorni dal valore esatto, ma ciò si ritiene inessenziale ai fini pratici.

Osservato che le fasi lunari si ripetono negli stessi giorni dell'anno ogni 19 anni, e che 12 mesi lunari differiscono da un anno per 11 giorni, si definisce

$$e_a = (8 + 11(a \bmod 19) - a \backslash 100 + a \backslash 400 + a \backslash 300) \bmod 30$$

dove i primi due termini sono stati stabiliti dal Concilio di Nicea, mentre gli addendi $-a \backslash 100 + a \backslash 400$ sono relativi alla riforma gregoriana (anni bisestili solo quelli centenari divisibili per 400) e l'ultimo termine è un fattore correttivo introdotto sempre nel 1582 che tiene conto del fatto che il ciclo di Metone non è proprio di 19 anni esatti.

Poiché il mese lunare è di 29 giorni e mezzo, ed i mesi nell'anno si susseguono alternativamente con 30 o 31 giorni (tranne febbraio), ogni mese l'età della luna aumenta in media di un giorno e quindi per avere l'età della luna il giorno x del mese m dell'anno a si calcolerà

$$e = (e_a + e_m + x) \bmod 30$$

ove e_m vale

0	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre

Per gli anni dal 2000 al 2099, si ha

$$\text{se} \quad a = 2000 + n \quad , \quad e_n = (29 + 11((5 + n) \bmod 19)) \bmod 30$$

e quindi, se vogliamo sapere come è la luna il 6 giugno 2003, si ha, essendo $e_{2003} = 27$ e per giugno $e_m = 3$,

$$e = (27 + 3 + 6) \bmod 30 = 6$$

cioè la luna è quasi al primo quarto.

Abbiamo ora tutti gli elementi per calcolare la data della Pasqua in un qualunque anno successivo al 1582 (ed almeno fino al 3000, se non interverranno modifiche della regola).

Detto $21 + z$, con $z \geq 0$, il giorno di marzo in cui si verifica il plenilunio (età della luna uguale a 14) dovrà essere $14 = (e_a + 0 + 21 + z) \bmod 30$, da cui

$$z = (-e_a - 7) \bmod 30 = 29 - (e_a + 6) \bmod 30$$

La data di marzo del primo plenilunio dopo l'equinozio dell'anno a sarà quindi

$$p = 21 + z = 50 - (e_a + 6) \bmod 30$$

Naturalmente se p supera 31 si finisce in aprile.

È però stata prevista una correzione per evitare che il plenilunio cada troppo avanti: nel caso in cui e_a sia uguale a 24 o 25 (in alcuni casi, il che porterebbe il plenilunio precedente a quello calcolato al 19 o 20 di marzo) i giorni da aggiungere per il successivo dovrebbero essere 29 anziché 30.

Tutto questo porta alla diminuzione di un giorno nel calcolo sopra visto di p nel caso in cui $e_a = 24$ oppure $e_a = 25$ e $a \bmod 19 > 10$. Tutto questo accade, nel XX e XXI secolo, negli anni 1954, 1981, 2049, 2076.

Riassumendo, dato l'anno $a \in [1583, 3000]$

$$\begin{cases} e_a = (8 + 11(a \bmod 19) - a\backslash 100 + a\backslash 400 + a\backslash 300) \bmod 30 \\ p = 50 - (e_a + 6) \bmod 30 \\ \text{se } \ e_a = 24 \ \text{ or } \ (e_a = 25) \text{ and } (a \bmod 19 > 10) \quad \text{allora } \ p = p - 1 \\ s = (p + a + a\backslash 4 - a\backslash 100 + a\backslash 400 + 16) \bmod 7 \\ x = p + 7 - s \end{cases}$$

dove e_a è l'epatta dell'anno considerato, p la data del plenilunio dopo l'equinozio, s il settimanale del plenilunio ed x è il giorno di marzo in cui cade la Pasqua (il termine $7 - s$ determina la domenica successiva al plenilunio).

Vi sono altre formule per calcolare la data della Pasqua: ne citiamo altre due, la prima dovuta a Gauss

$$\begin{cases} x_a = 15 + a\backslash 100 - a\backslash 400 - a\backslash 300 \\ y_a = -10 + a\backslash 100 - a\backslash 400 \\ b = a \bmod 19 \\ c = a \bmod 4 \\ d = a \bmod 7 \\ e = (19b + x_a) \bmod 30 \\ f = (2c + 4d + 6e + y_a) \bmod 7 \\ x = 22 + e + f \\ \text{se } \ x = 57 \quad \text{allora } \ x = 50 \\ \text{se } \ x = 56 \text{ and } (e = 28) \text{ and } (b > 10) \quad \text{allora } \ x = 49 \end{cases}$$

in cui le ultime due istruzioni introducono la correzione già citata; la seconda formula non fa uso di correzioni, ma è decisamente più complessa ed è dovuta a Oudin (1940) e Tondering

$$\begin{cases} g = a \bmod 19 \\ c = a\backslash 100 \\ h = (c - c\backslash 4 - (8c + 13)\backslash 25 + 19g + 15) \bmod 30 \\ i = h - (h\backslash 28)(1 - (h\backslash 28)(29\backslash(h + 1))((21 - g)\backslash 11)) \\ j = (a + a\backslash 4 + i + 2 - c + c\backslash 4) \bmod 7 \\ x = 28 + i - j \end{cases}$$

Per concludere, nel caso in cui $a = 2000 + n$, con $n \in [0, 99]$ le prime due formule si riducono a

$$\begin{cases} e_n = (29 + 11((5 + n) \bmod 19) \bmod 30 \\ p = 50 - (e_n + 6) \bmod 30 \\ \text{se } \ e_n = 24 \ \text{ or } \ (e_n = 25) \text{ and } ((5 + n) \bmod 19 > 10) \quad \text{allora } \ p = p - 1 \\ s = (p + n + n\backslash 4 + 2) \bmod 7 \\ x = p + 7 - s \end{cases}$$

e

$$\begin{cases} b = (5 + n) \bmod 19 \\ c = n \bmod 4 \\ d = (5 + n) \bmod 7 \\ e = (19b + 24) \bmod 30 \\ f = (2c + 4d + 6e + 5) \bmod 7 \\ x = 22 + e + f \\ \text{se } \ x = 57 \quad \text{allora } \ x = 50 \\ \text{se } \ x = 56 \text{ and } (e = 28) \text{ and } (b > 10) \quad \text{allora } \ x = 49 \end{cases}$$

Una curiosità: la notte di S.Lucia

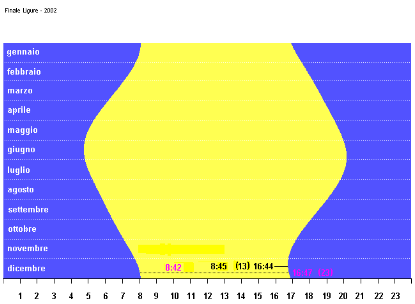
Tra le varie tradizioni e proverbi che i nostri antenati ci hanno tramandato ve ne sono molti che hanno a che fare con i fenomeni astronomici: “San Benedetto, la rondine sotto il tetto”, “Santa Lucia, il giorno più corto (la notte più lunga) che ci sia”, ecc.

Proprio di quest’ultimo ci vogliamo brevemente occupare, in quanto ogni studente sa che il giorno più corto è quello che corrisponde al solstizio d’inverno, il 21 o 22 dicembre, e non il 13 dicembre (festa di S.Lucia).

Come spiegare un errore così grande in un’affermazione che, come ogni detto popolare, deve contenere sicuramente una qualche verità.

Bisogna tenere presente che S.Lucia è una martire del periodo delle persecuzioni di Diocleziano (304 d.C.) e che il suo nome fu inserito nel calendario tra il V e il VI secolo.

Ora, come abbiamo visto, la data del solstizio d’inverno non era in quel periodo la stessa di oggi; tale data era andata anticipando fino a raggiungere i 10 giorni al momento della riforma gregoriana. Pertanto un divario di circa 8 giorni si aveva intorno al 1200 e non è difficile pensare che il proverbio possa aver avuto origine proprio in quel periodo.



Qualcuno ha però voluto trovare una diversa interpretazione: se si osserva l’ora del sorgere e del tramontare del sole si nota che il centro della giornata non si ha sempre esattamente al mezzogiorno dell’ora segnata dal nostro orologio.

Ciò è dovuto ad alcune questioni che affronteremo quando parleremo di meridiane; sta di fatto che il giorno in cui il sole tramonta prima non è il 22 dicembre, ma una data prossima al 13 (intorno al 10).

Il nostro personaggio, ideatore del detto, potrebbe quindi essere stato uno che non aveva una grande conoscenza astronomica, ma aveva un preciso orologio (il che è un po’ strano; la differenza tra l’ora del tramonto del 13 e del 22 è di 3’) e per di più era uno di quelli che amava dormire molto ed alzarsi tardi al mattino quando il sole era già alto (e anche questo, se è oggi piuttosto comune, non lo era nei tempi antichi, dove la luce era fondamentale per il lavoro).

Costui, accortosi che il sole nel giorno di S.Lucia tramontava prima che negli altri giorni, senza andare a controllare quando avveniva l’alba, potrebbe aver dedotto che tale giorno doveva essere il più corto. Tra l’altro la rima ci stava bene!