



OLIMPIADI ITALIANE DI ASTRONOMIA

Syllabus – Gara Interregionale

*Dott. Fabrizio Mazzucconi – Osservatorio Astronomico di Arcetri
Segretario Società Astronomica Italiana*

Le Gare delle Olimpiadi Italiane di Astronomia si basano sugli argomenti di astronomia, astrofisica, cosmologia e fisica moderna riportati nel seguito di questo documento.

Non tutti gli argomenti, tuttavia, sono proposti alla categoria Junior. Per tale motivo, sono riportati in **colore rosso** gli argomenti che **per i partecipanti della categoria Junior non è necessario conoscere**.

I partecipanti della categoria Senior, invece, devono conoscere tutti gli argomenti del Syllabus.

È inoltre necessaria una conoscenza di base nei campi della matematica e della fisica.

Sono richiesti, di norma:

per la categoria Junior, gli standard di conoscenze e competenze in matematica e scienze che gli studenti devono possedere in uscita dalla scuola secondaria di primo grado;

per la categoria Senior, gli standard di conoscenze e competenze in matematica, fisica e scienze della Terra che gli studenti devono possedere in uscita dal primo biennio della scuola secondaria di secondo grado.

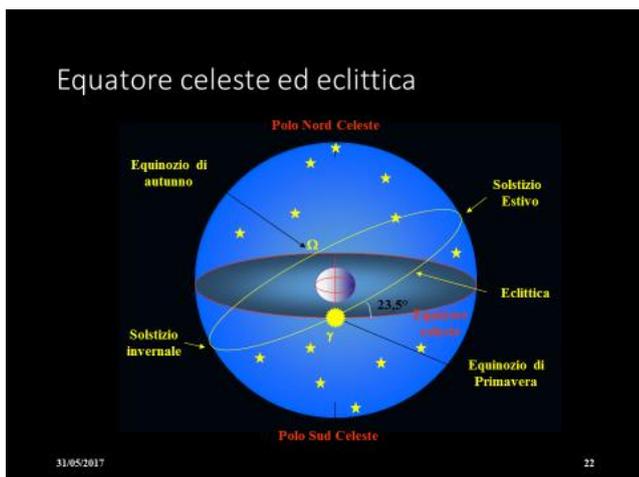
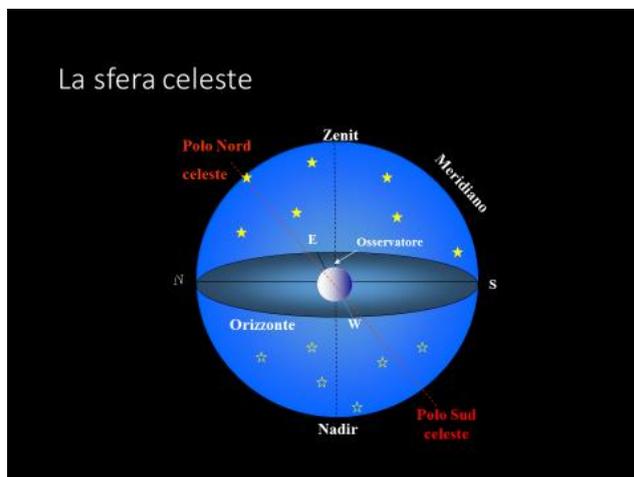
Il presente Syllabus è quindi strutturato in tre parti:

- 1) Astronomia, Astrofisica, Cosmologia e Fisica Moderna
- 2) Elementi di Matematica
- 3) Elementi di Fisica.

ASTRONOMIA, ASTROFISICA, COSMOLOGIA e FISICA MODERNA

La sfera celeste

Elementi di riferimento sulla sfera celeste (equatore, poli, eclittica, Zenit, Nadir).



*Il moto annuo apparente del Sole fra le stelle. Visto da Terra descrive una circonferenza chiamata **eclittica**, inclinata di $23,5^\circ$ rispetto all'equatore celeste che incontra in due punti. nei giorni degli equinozi, quello corrispondente all'equinozio di primavera, punto γ o di Ariete, è l'origine di uno dei sistemi di riferimento celesti.*

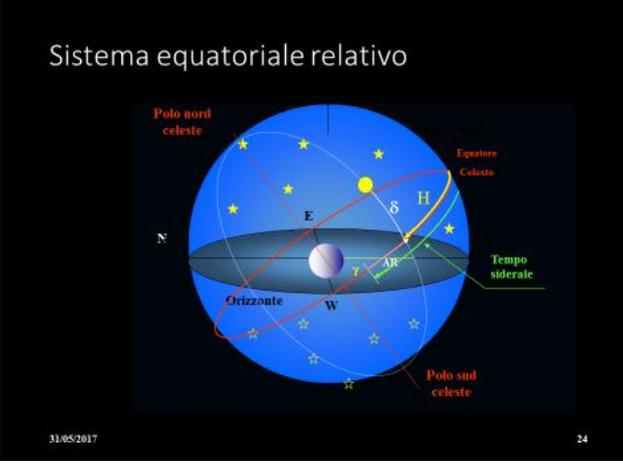
Coordinate astronomiche:



***Altezza** = angolo misurato lungo la perpendicolare fra l'oggetto e l'orizzonte (da -90° a $+90^\circ$ allo zenit)
Azimut = angolo fra il meridiano del luogo (verso Sud) e la perpendicolare sull'equatore condotta dall'oggetto, talvolta si preferisce misurare l'azimut partendo dal punto nord.
 In entrambi i casi si misura in senso orario*

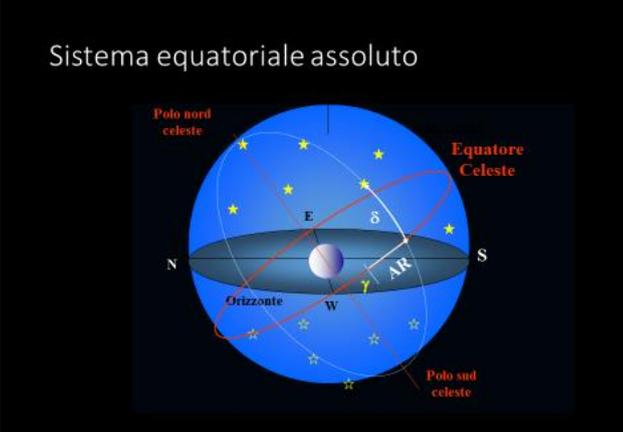
Tutte e due le grandezze fanno riferimento a strutture locali, quindi questo sistema ha validità prettamente locale

sistema orario o equatoriale relativo

 <p>Sistema equatoriale relativo</p> <p>31/05/2017 24</p>	<p>H = Angolo orario – Tempo passato dal transito in meridiano dell’oggetto (in ore, minuti e secondi) positivo verso ovest</p> <p>δ = Declinazione – altezza dell’oggetto rispetto all’equatore celeste (da -90° per il polo sud a +90° per il polo nord)</p> <p>Per passare alle coordinate del sistema alto-azimutale, basta tramutare le unità di grandezza dell’angolo orario in gradi</p> <p>Per passare dalla declinazione all’altezza h, dobbiamo conoscere la latitudine del luogo di osservazione, e fare uso della formula:</p> $\text{sen}(h) = \text{sen}(\delta) \text{sen}(\phi) + \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(H)$
--	---

Il tempo siderale del luogo corrisponde all’angolo orario del punto γ

sistema equatoriale,

 <p>Sistema equatoriale assoluto</p>	<p>Abbiamo ancora la declinazione δ, misurata nella stessa maniera</p> <p>AR = Ascension Retta = la distanza in ore e minuti dalla perpendicolare dell’oggetto e il punto γ, in questo caso misurata in senso antiorario.</p> <p>Per quanto abbiamo visto precedentemente il passaggio da ascension retta (AR) ad angolo orario (H) si ha facendo riferimento al tempo siderale (TS):</p> $H = TS - AR$
--	---

sistema eclitticale, sistema galattico.

Sorgere, culminare e tramontare degli astri.

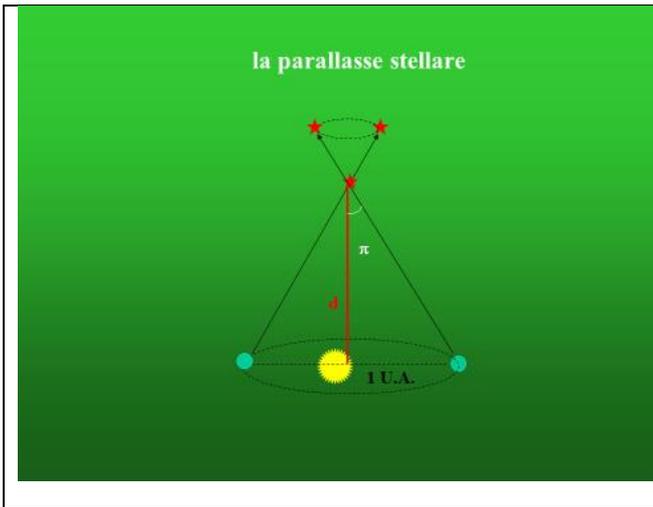
Dalle formule precedenti possiamo ricavare anche il momento del sorgere sull’orizzonte est, del transito in meridiano di un oggetto celeste e del suo tramontare sull’orizzonte ovest, conoscendo le coordinate equatoriali dell’oggetto e il tempo siderale.

Infatti nelle formule precedenti per avere il transito in meridiano basta porre che l’angolo orario sia 0 (quindi $TS = AR$)

Per il sorgere e tramontare basta porre a 0 l’altezza dell’oggetto e si ha:

$$\cos(H) = \text{tang}(\delta) \text{tang}(\phi)$$

Distanze e dimensioni dei corpi celesti: la parallasse.



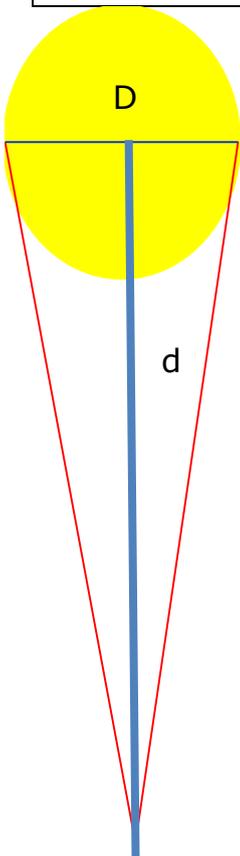
L'unico sistema diretto a nostra disposizione per misurare la distanza di un oggetto celeste è quello di misurare l'angolo di parallasse, cioè l'angolo di cambiamento della direzione con cui viene visto un oggetto al variare della posizione dell'osservatore.

Dalla figura risulta evidente che (detta 1 la distanza media Sole-Terra):

$$d = \frac{1}{\tan(\pi)}$$

per la piccolezza dell'angolo il valore della tangente è uguale a quello dell'angolo, per cui:

$$d = 1 / \pi$$



Ovviamente il valore della distanza viene in Unità Astronomiche, troppo piccole per le misure delle distanze stellari. Allora si preferisce fare riferimento alla definizione del **parsec** = quella distanza sotto cui l'orbita della Terra viene vista sottendere un angolo di 1 secondo d'arco, quindi la formula rimane la stessa, ma se misuriamo l'angolo in secondi d'arco, la distanza viene espressa in parsec.

Questo metodo di misura diretto è limitato alle stelle che distano non più di 150 parsec dal Sole, ma è alla base di molti altri metodi che vedremo in seguito.

Per quello che riguarda le dimensioni dei corpi celesti, direttamente possiamo misurare i diametri degli oggetti principale del sistema solare, partendo dal Sole, Luna e pianeti in quanto possiamo misurarne la distanza tramite le leggi di Keplero.

In questo caso misurando il diametro apparente α in gradi, il raggio vero si ricava dalla formula:

$$D/2 = d \tan \alpha/2$$

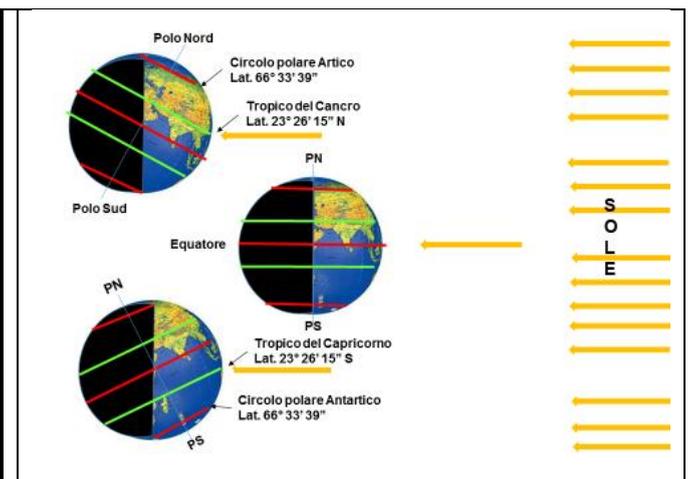
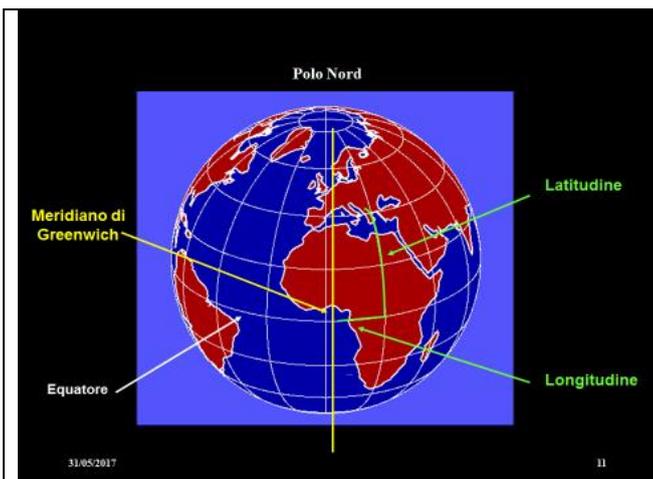
Analogamente per tutti gli altri corpi di cui si possa misurare il diametro apparente.

Per le stelle, di cui solo in alcuni casi è possibile misurare il diametro apparente, anche nel caso che si conosca la distanza le cose risultano più difficili, ma vedremo in seguito che è possibile ricavare il diametro da luminosità della stella.

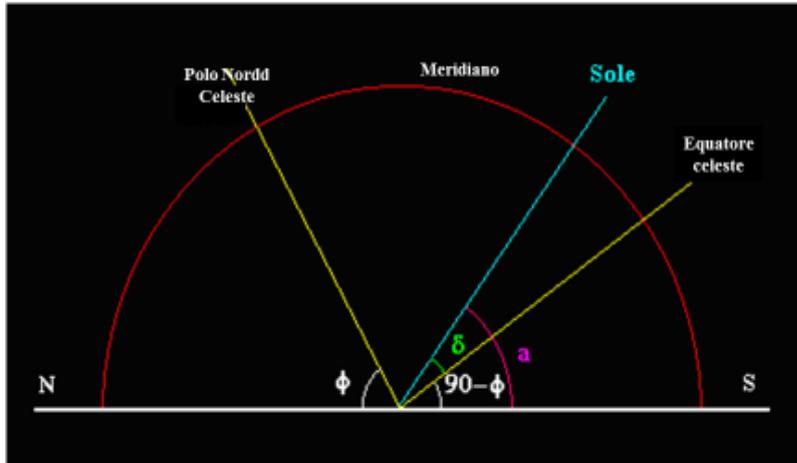
La Terra

Elementi di riferimento terrestri (poli, equatore, tropici e circoli polari).

Coordinate geografiche



Altezza del Polo



31/05/2017

16

ϕ = Altezza del Polo celeste =
 Latitudine del luogo di
 osservazione
 δ = Declinazione del Sole a
 mezzogiorno
 a = Altezza del Sole
 sull'orizzonte

dalla figura si trova che la
 latitudine del luogo di
 osservazione si trova dalla
 formula:

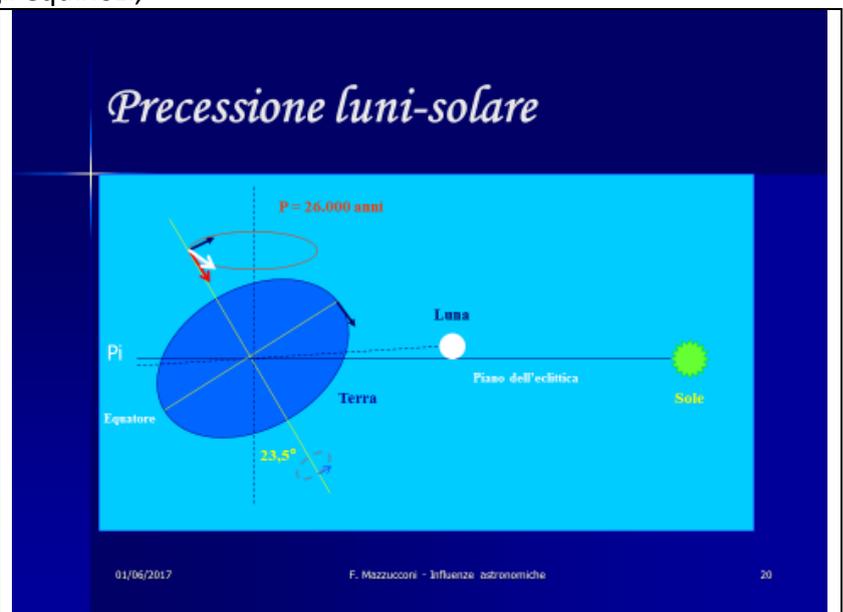
$$90 - \phi = \alpha - \delta$$

Quindi

$$\phi = 90 + \delta - \alpha$$

. I moti della Terra, la precessione degli equinozi,

Avendo la Terra un rigonfiamento equatoriale ed essendo il suo asse inclinato di $23,5^\circ$ rispetto al piano dell'orbita, risente dell'attrazione gravitazionale del Sole, e soprattutto della Luna la cui traiettoria si discosta dal piano dell'orbita terrestre di soli 5° , che tende a spostare l'equatore e quindi l'asse di rotazione della Terra. Ma come per tutti i corpi in rotazione un tentativo di spostamento dell'asse comporta una reazione perpendicolare alla forza perturbante e alla direzione dell'asse; questo significa che l'asse terrestre descrive un cono, con centro la perpendicolare al piano dell'orbita. Lo spostamento risulterebbe di $50,37''$ d'arco l'anno in senso orario, ma a questo si sovrappone la precessione

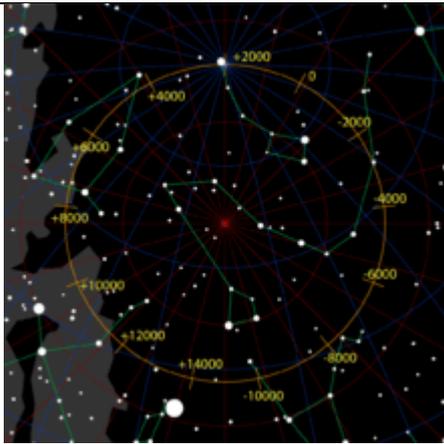


01/06/2017

F. Mazzucconi - Influenze astronomiche

20

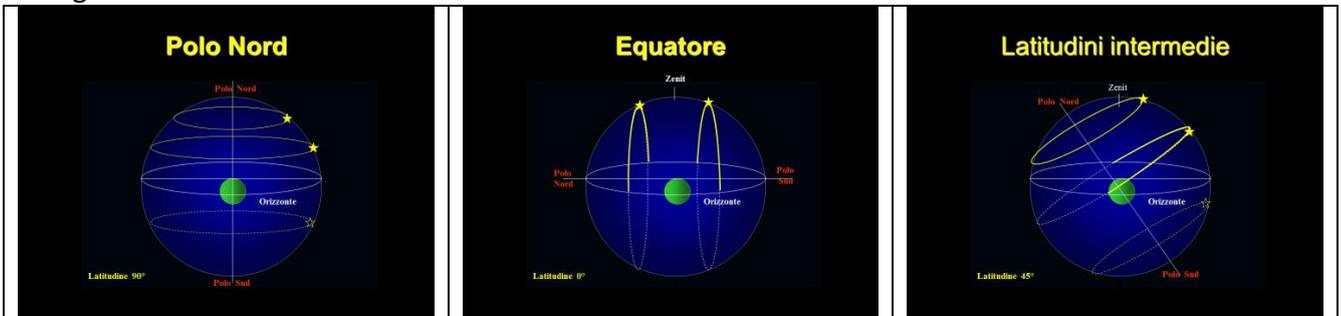
Polo



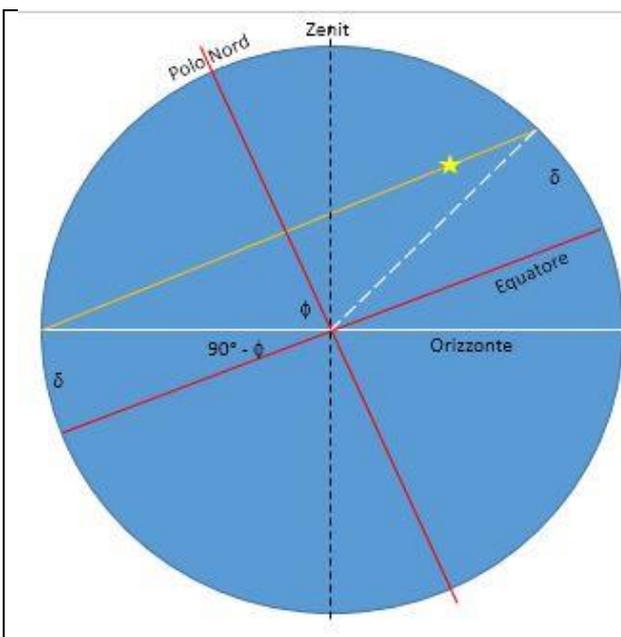
Dovuta alla presenza degli altri pianeti del sistema solare, che comporta uno spostamento annuo di $0,11''$, questa volta in senso antiorario, con il risultato complessivo di $50,26''$ l'anno in senso orario.

Quindi l'asse terrestre descrive tutto il cono in 25.786 anni. Il risultato è lo spostamento dei poli celesti che periodicamente passano nelle vicinanze di stelle diverse, e la variazione dei punti d'incontro fra il piano equatoriale e il piano orbitale, quindi lo spostamento della posizione in cielo del punto γ , a cui fa riferimento il sistema equatoriale assoluto, con il conseguente cambiamento delle coordinate Ascension Retta e declinazione. Questo fu l'effetto che mise in allarme Ipparco e che lo portò alla scoperta della precessione

le stagioni. Il Cielo alle diverse latitudini.



Come si vede dalle figure il cammino delle stelle appare diverso in cielo alle varie latitudini. All'equatore tutte le stelle sono "occidue" cioè sorgono e tramontano, mentre al polo nord le stelle con declinazione >0 sono tutte circumpolari (cioè non tramontano mai, mentre le stelle con declinazione <0 non sono mai visibili (tutto questo trascurando la rifrazione atmosferica che fa apparire più alte le stelle vicino all'orizzonte), ovviamente l'inverso si può osservare al polo sud.



A latitudine intermedia ϕ ci sono stelle occidue e stelle circumpolari. Ricordando le formule delle coordinate alto-azimutali e equatoriali, una stella al limite fra le due categorie è quella che ha altezza $h = 0$ quando l'angolo orario H è $= a 12^h$ (corrispondente alla direzione Nord). Dalla figura si ricava immediatamente che una tale stella deve avere declinazione (δ) **uguale a $90^\circ - \phi$** (latitudine del luogo di osservazione).

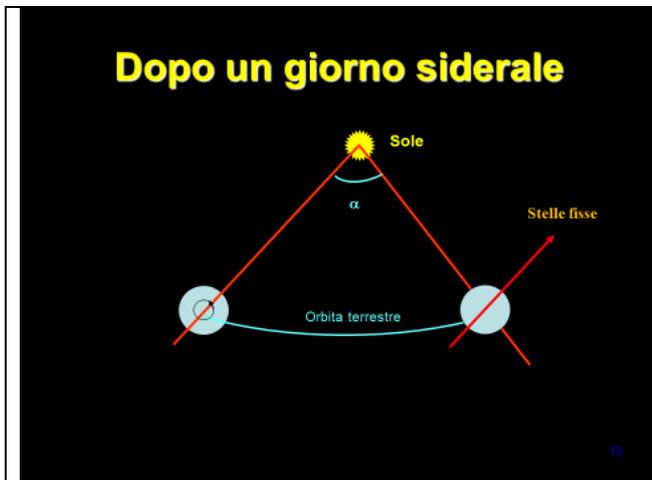
Quindi tutte le stelle con $\delta > 90^\circ - \phi$, saranno **circumpolari**

Le stelle con $-(90^\circ - \phi) > \delta > 90^\circ - \phi$ saranno occidue

Mentre le stelle con $\delta < -(90^\circ - \phi)$, saranno invisibili all'osservatore

La misura del tempo

La rotazione della Terra come misura del tempo, giorno solare e giorno siderale.



Come si vede dalla figura il fatto che la Terra, oltre a ruotare attorno al proprio asse, si sposti lungo l'orbita attorno al Sole fa sì che, partendo dal momento del transito in meridiano del Sole, dopo un giro completo attorno all'asse (prendendo come riferimento il sistema delle stelle fisse: giorno siderale = $23^h56'4,1''$ di tempo solare) il Sole non sia ancora ritornato al meridiano, occorrendo in media 24^h (giorno solare medio).



Il motivo per cui si usa il termine medio è dovuto al fatto che la Terra, muovendosi su di un'orbita ellittica, dove il Sole non è al centro, ma in uno dei due fuochi dell'ellisse, a causa della variazione di distanza Terra-Sole durante l'anno e quindi della sua velocità lungo l'orbita, in effetti in un giorno solare la Terra percorre tratti diversi e quindi impiega tempi diversi a vedere il Sole in meridiano.

A questo fatto poi si aggiunge un altro effetto dovuto all'inclinazione dell'orbita rispetto all'equatore.

I due effetti combinati producono periodicamente un ritardo o un anticipo del transito del Sole rispetto al meridiano che può arrivare anche a 15-16 minuti, dando origine ad una curva della **analemma**

Tempo siderale (ST),

In Astronomia non si può avere però un tempo variabile e quindi si preferisce usare il Tempo siderale, derivante da dividere in 24 ore il tempo occorrente alla Terra per fare effettivamente un giro su se stessa, partendo dall'istante del transito del punto γ al meridiano dell'osservatore (Tempo Siderale Locale). Dalla definizione si può ricavare che questo tempo è strettamente legato alla coordinata equatoriale Ascensio Retta, in quanto l'AR di una stella in meridiano ci dice qual è il tempo siderale.

Tempo locale medio (LT),

è appunto quello che fa riferimento al transito del Sole sul meridiano locale

Tempo universale (UT o UTC o GMT),

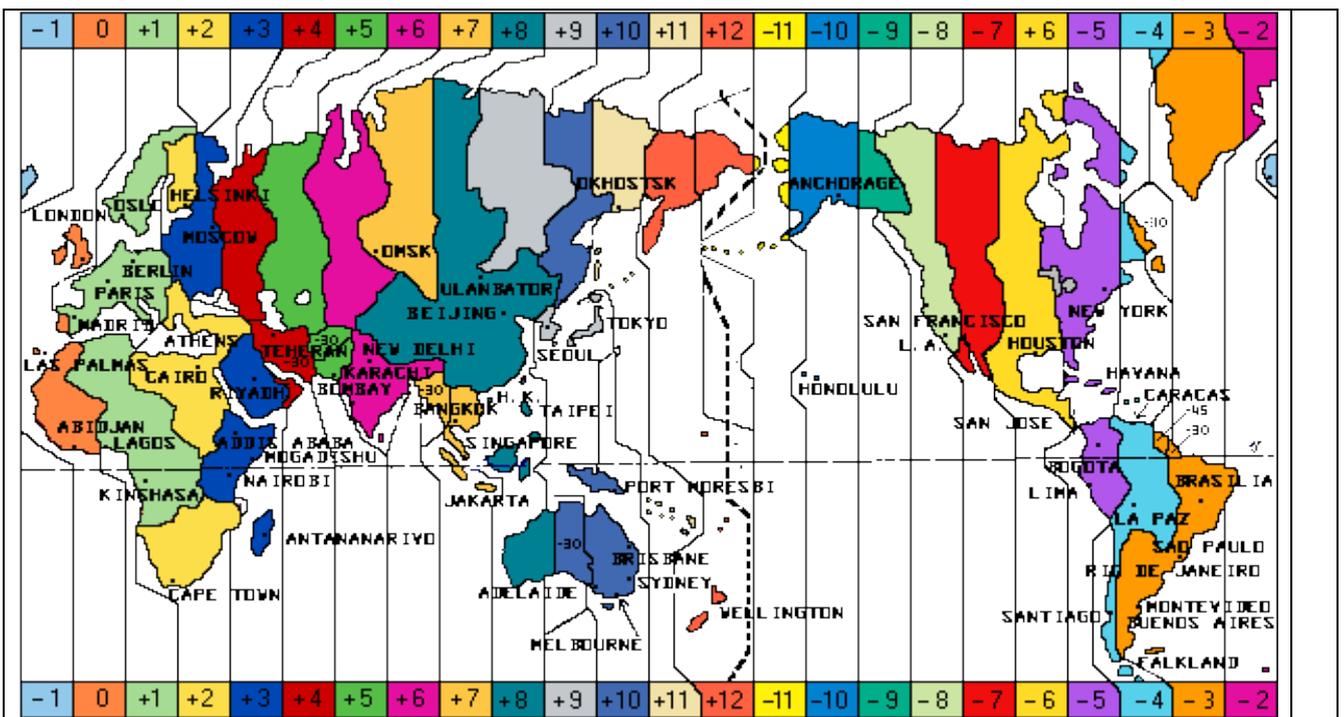
Per poter confrontare tempi ed osservazioni fatte in luoghi diversi si doveva riferirsi ad un tempo

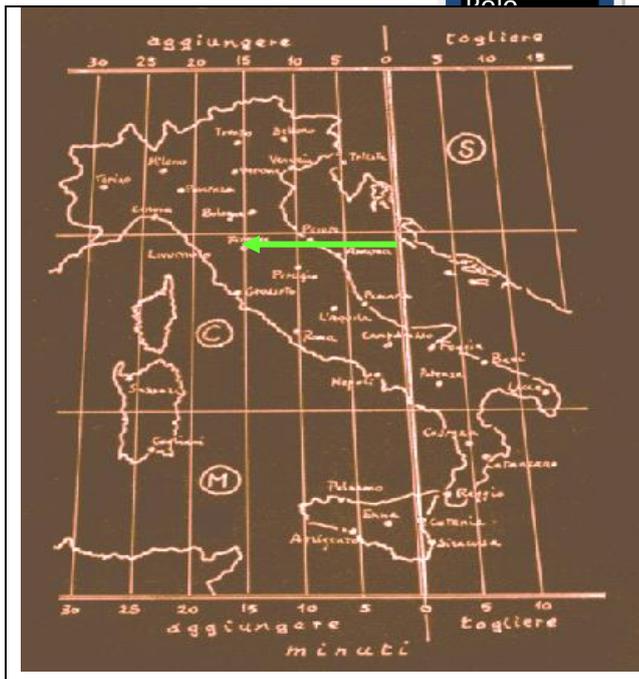
che fosse uguale per tutti, per questo è stato scelto, dopo lunghe diatribe, nel 1883 (in Italia fu adottato nel 1894) il tempo solare medio locale sul meridiano passante per l'Osservatorio di Greenwich (presso Londra), per questo detto anche **GTM**, a cui fare riferimento: questo è detto **Tempo Universale**. Visto che il tempo locale presenta delle variazioni da un giorno all'altro, ora si usa il tempo basato sulle oscillazioni atomiche di quarzi, detto **UTC**.

differenza di longitudine, fusi orari.



Questo ha dato l'idea di dividere la Terra in 24 zone in meridiano, centrate al cui interno si abbia la stessa ora, i fusi orari, i cui confini poi sono stati modificati per seguire il più possibile i confini nazionali.





Quindi all'interno di ogni fuso si ha un tempo svincolato dal tempo solare vero, ma corrispondente al tempo solare medio del meridiano centrale del fuso. Per esempio per l'Italia si fa riferimento al TMEC (tempo Medio dell'Europa Centrale) che fa riferimento al meridiano 15 Est, che passa per l'Etna.

Quindi se vogliamo avere l'ora solare locale di una località italiana, occorre calcolare quanto questa località dista in longitudine dal meridiano di riferimento.

Se per semplicità prendiamo Firenze, la sua longitudine ($\sim 11^{\circ} 15' E$) è spostata di $3^{\circ} 45'$ verso ovest rispetto al meridiano 15°, quindi il Sole transiterà sul meridiano di Firenze 15 minuti dopo il mezzogiorno dell'orologio ($360/24 \rightarrow 15^{\circ}/ora \rightarrow 15'/minuto$)

Anno siderale

L'anno siderale è il tempo occorrente alla Terra di compiere una rivoluzione completa attorno al Sole, prendendo come riferimento il sistema delle stelle fisse e corrisponde ad un periodo di 365,2564 giorni solari medi

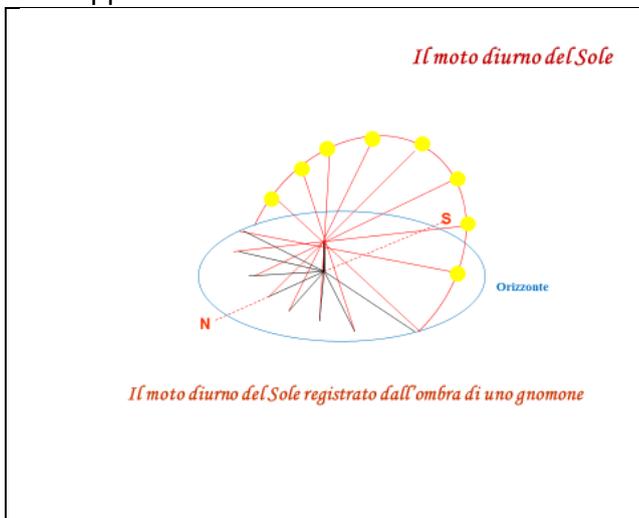
Anno tropico

è il tempo necessario perché il Sole ritorni nella stessa posizione, vista da Terra, corrispondente al ritmo delle stagioni. A causa del movimento di precessione dell'asse terrestre, questo avviene 20 minuti e 24,6 secondi prima che si completi l'anno sidereo, quindi l'anno tropico ha una durata di "soli" 365,2424 giorni.

Relazione tra tempo locale medio e tempo siderale

Il moto dei pianeti

Moti apparenti del Sole

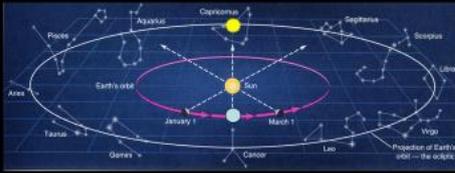


Durante il giorno, le stagioni e l'anno noi vediamo il Sole compiere in cielo numerosi movimenti, detti "apparenti" perché corrispondono al riflesso dei moti della Terra.

Durante il giorno, a causa della rotazione terrestre, il Sole sorge nella parte est dell'orizzonte, culmina in meridiano e tramonta nella parte ovest.

Il moto diurno può essere messo facilmente in risalto dall'uso di un gnomone, questo ci permette inoltre di individuare facilmente anche i punti cardinali

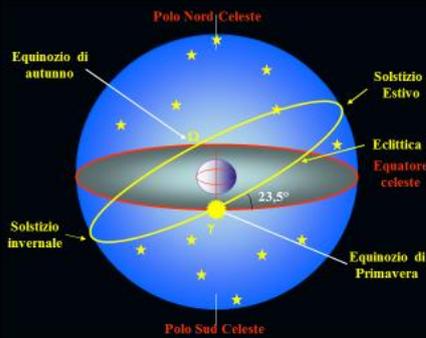
Moto annuale "apparente" del Sole sulla Fascia Zodiacale



A causa invece del moto di rivoluzione attorno al Sole, noi vediamo il spostarsi fra le stelle, descrivendo una traiettoria che viene detta Eclittica.

Da notare lo sfasamento della posizione del Sole nelle costellazioni in corrispondenza dei vari mesi, che non coincide con la suddivisione astrologica, ancora a causa della precessione degli equinozi

Equatore celeste ed eclittica

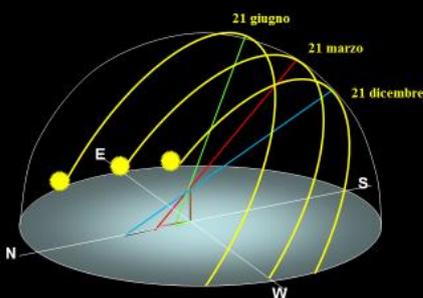


L'eclittica, rispetto all'equatore celeste (riflesso dell'equatore terrestre) ha un'inclinazione di $23,5^\circ$.

Questo fatto ha come conseguenza che l'altezza del Sole alle varie latitudini cambia con la stagione.

Il giorno dell'equinozio di primavera il Sole si trova sull'equatore, poi con il procedere della stagione, nell'emisfero nord il Sole sale sempre più in alto, fino a giungere all'altezza massima il giorno del Solstizio d'Estate, per poi cominciare a scendere, ripassando dall'equatore il 23 di settembre e poi scendere sempre più in basso fino a raggiungere l'altezza minima al solstizio d'inverno.

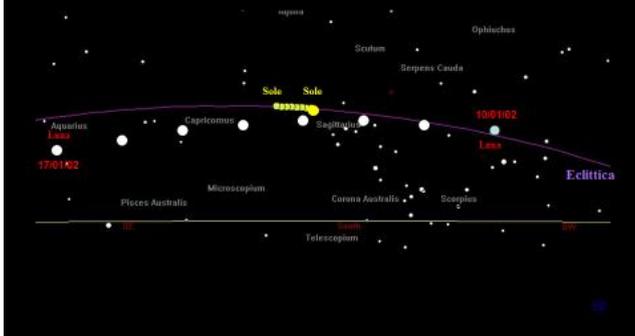
Variatione del cammino in cielo del Sole nell'emisfero nord nel corso dell'anno



Visto da un punto qualsiasi dell'emisfero nord, le variazioni di altezza del Sole durante l'anno, si traducono anche in una maggiore o minore lunghezza del periodo in cui il Sole è al di sopra dell'orizzante

della Luna.

Spostamento della Luna in cielo



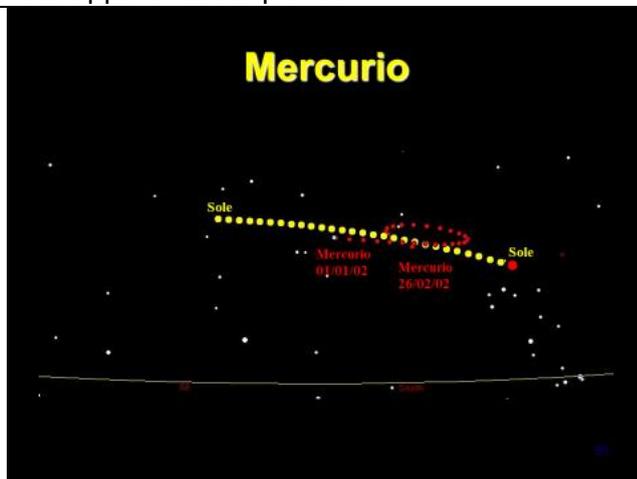
Per quello che riguarda la Luna, il suo movimento fra gli astri è la composizione fra il moto di rotazione della Terra e il moto di rivoluzione della Luna attorno al nostro pianeta.

Il risultato è che mentre il moto apparente del Sole in cielo è di circa 1° al giorno. Quello della Luna risulta circa di 13° al giorno.

In figura si riportano le posizioni del Sole (in giallo) e della Luna (in bianco) nel periodo 10/01/2002 – 17/01/2002. Una cosa che si nota è che la traiettoria seguita dalla Luna è inclinata rispetto all'eclittica di circa 5°

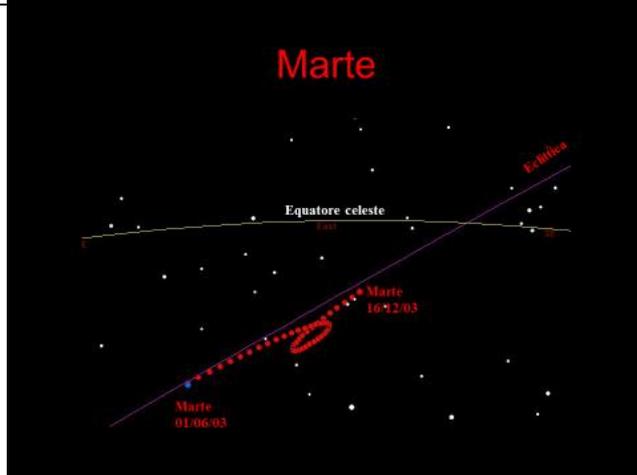
Moto apparente dei pianeti.

Mercurio



Più complesso è il moto apparente dei pianeti, in quanto in questo caso si combinano il moto diurno e di rivoluzione della Terra con il moto di rivoluzione dei pianeti attorno al Sole. Questo può dare luogo talvolta a movimenti complessi come si vede nell'esempio del pianeta Mercurio dal 01/01/2002 al 26/02/2002

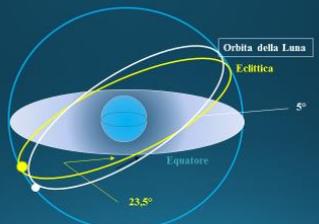
Marte



O come nel caso di Marte nel periodo 01/06/2003 – 16/12/2003

Periodo siderale e periodo sinodico.

Eclissi di Sole e di Luna.

<p style="text-align: center;">Inclinazione dell'orbita lunare</p> <p><i>La Luna si muove attorno alla Terra su di un'orbita ellittica inclinata di 5° rispetto all'eclittica</i></p> 	<p><i>I cammini apparenti in cielo del Sole e della Luna sono inclinati di circa 5° e si incontrano in due punti, detti nodi. Il Sole vi passa due volte l'anno, mentre la Luna vi passa 12-13 volte l'anno.</i></p> <p><i>Quando passano dallo stesso nodo contemporaneamente il disco lunare copre quello solare, e abbiamo un'eclisse di Sole.</i></p>
--	---

Dato che i dischi apparenti dei due corpi sono all'incirca delle stesse dimensioni apparenti (ricordiamo la formula che ci dà la dimensione apparente di un oggetto alla distanza d , $\alpha = D/d$)

$$\alpha_S = D_S/d_S = 1,4 \cdot 10^6 / 1,48 \cdot 10^8 \sim 0,0092 \text{ rad} \sim 0,53^\circ \sim 32'$$

$$\alpha_L = D_L/d_L = 3,48 \cdot 10^3 / 3,84 \cdot 10^5 \sim 0,0091 \text{ rad} \sim 0,52^\circ \sim 31'$$

Ovviamente abbiamo usato valori medi, ma dato che la distanza dei due corpi dalla Terra varia, i diametri apparenti variano e le eclissi solari potranno essere parziali, totali oppure anulari.

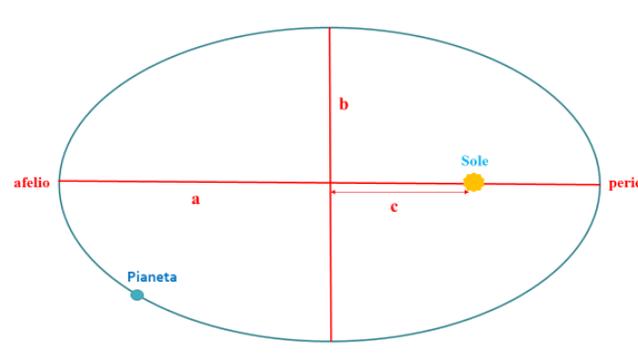
Se invece Sole e Luna passano contemporaneamente da due nodi opposti, la Luna entra nel cono d'ombra della Terra e quindi abbiamo un'eclissi lunare.

Una cosa da notare è che mentre le eclissi di Sole sono fenomeni legati alla prospettiva da Terra, queste non saranno visibili da tutta la Terra, ma solo da una stretta zona su cui cade l'ombra (eclisse totale) o la penombra (eclisse parziale), mentre le eclissi lunari, essendo la visione di un oscuramento effettivo della Luna, saranno visibili da tutto l'emisfero terrestre da cui la Luna è visibile in quel momento.

Leggi di Keplero,

La prima legge di Keplero recita:

“L'orbita descritta da un pianeta è un'ellisse, di cui il Sole occupa uno dei due fuochi”

	<p>L'ellisse è una figura definita come la curva descritta da un punto la cui distanza dai due fuochi da somma costante.</p> <p>Ma l'ellisse ha numerose caratteristiche geometriche che possono essere utili per risolvere problemi di meccanica celeste:</p> <ul style="list-style-type: none"> a – semiasse maggiore b – semiasse minore c – semidistanza focale e – eccentricità dell'orbita – se $e = 0$, si ha una circonferenza
---	---

Dalla geometria si ricava alcune relazioni fra le grandezze:

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

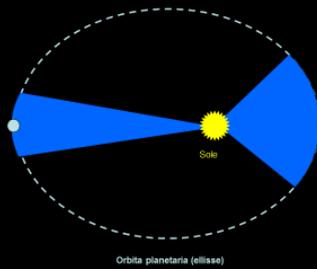
$$e = c / a$$

da cui si ricava la distanza del perielio dal Sole = $a(1 - e)$ e dell'afelio $a(1 + e)$

La seconda legge di Keplero parla della velocità dei pianeti:

Il raggio vettore, che unisce il centro del Sole con il centro del pianeta, descrive aree uguali in tempi uguali

La seconda legge di Keplero



Questo vuol dire che il pianeta descrive la sua orbita con velocità variabili, più lento vicino all'afelio e più veloce al perielio, in questo modo la velocità areolare rimane costante

Infine la terza legge, che descrive il legame fra periodi di rivoluzione e raggio medio dell'orbita:

“I quadrati dei tempi che i pianeti impiegano a percorrere le loro orbite sono proporzionali al cubo delle loro distanze medie dal Sole”

$$\frac{T^2}{a^3} = K$$

Nel caso del Sole, dove la massa del Sole M è preponderante su quelle dei singoli pianeti, il valore di K assume una forma molto semplice

$$K = \frac{4\pi^2}{GM}$$

Questa legge vale anche per i sistemi satellitari dei pianeti giganti, basta sostituire alla massa del Sole quella del pianeta, ma mostra il limite nel sistema Terra-Luna