



Elementi di Astronomia di posizione, sistemi di coordinate, costellazioni

Olimpiadi di Astronomia 2019
INAF-IAPS Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziale
Preparazione selezione Interregionale Lazio
astrolimpiadi.lazio@iaps.inaf.it

Syllabus

J1 , J2/S

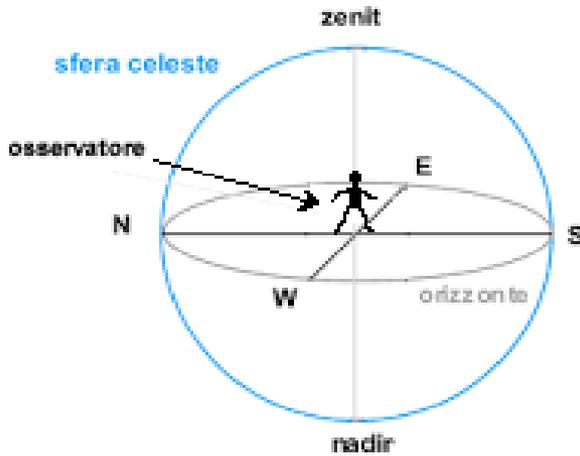
- Elementi di riferimento sulla sfera celeste
 - equatore, poli,
 - eclittica,
 - zenit, nadir,
 - piano galattico,
 - fascia zodiacale.
- Coordinate astronomiche:
 - sistema altazimutale,
 - sistema orario,
 - sistema equatoriale.
- L'eclittica,
- il piano e i poli galattici,
- il punto gamma
- le costellazioni zodiacali.

LA SFERA CELESTE



Gli astri appaiono proiettati su una sfera ideale, che prende il nome di **sfera celeste**

LA SFERA CELESTE

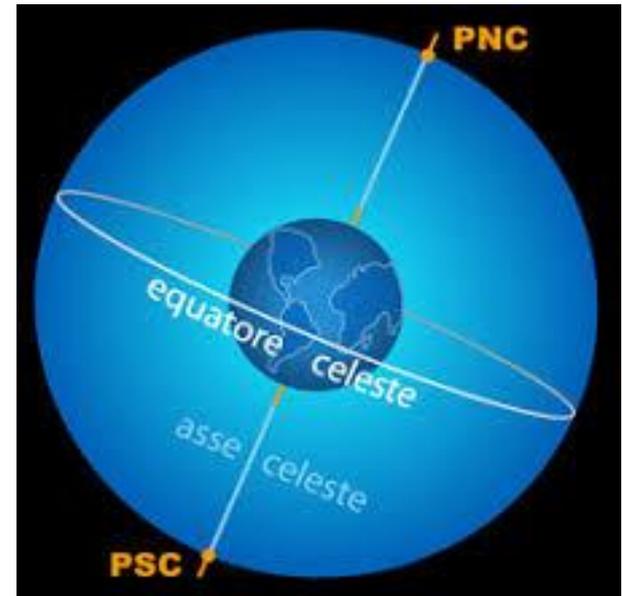


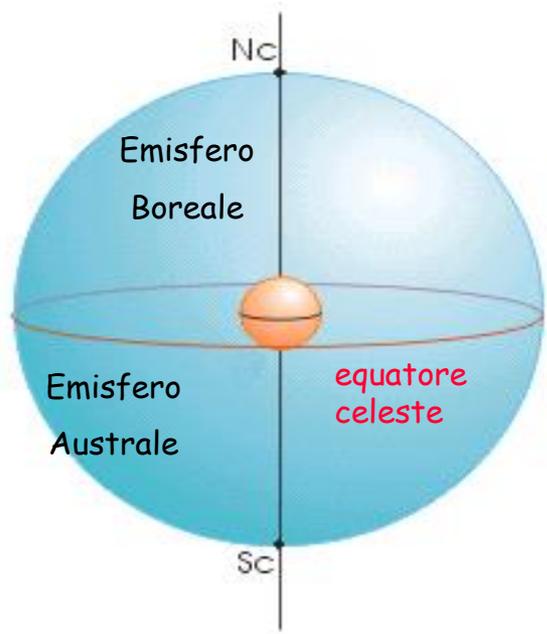
Verticale del luogo o verticale astronomica: → direzione della gravità nel punto di osservazione. Prolungando la direzione della verticale fino ad intersecare la sfera si ottengono: **Zenit** e **Nadir**

Orizzonte: ideale cerchio massimo → intersezione della sfera celeste con un piano perpendicolare alla verticale dell'osservatore e passante per l'osservatore stesso.

A causa della rotazione intorno all'asse polare gli **astri mostrano moti apparenti sulla sfera celeste, da Est verso Ovest**, passando da Sud (nel nostro emisfero).

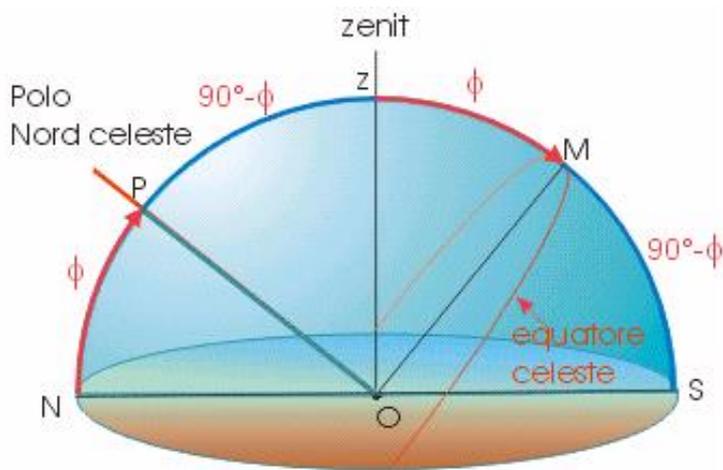
La sfera celeste sembra quindi ruotare su sé stessa attorno a un asse, che coincide con l'asse di rotazione della Terra, chiamato "**asse celeste**" o "asse del mondo".



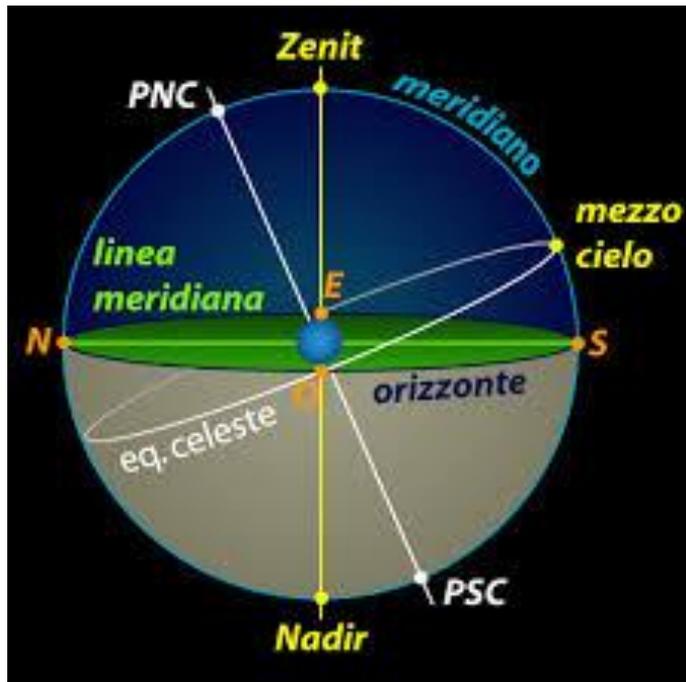


L'asse celeste incontra la Sfera Celeste in due punti: il **Polo Nord** (Nc) e il **Polo Sud** (Sc) celesti unici due punti che appaiono rimanere immobili durante il moto diurno.

La posizione dei poli celesti dipende unicamente dalla latitudine (Φ) dell'osservatore



Le caratteristiche della Sfera Celeste dipendono dalle coordinate geografiche dell'osservatore e, per una data posizione sulla Terra e per una data ora, cambiano nel corso dell'anno a causa del moto di rivoluzione terrestre.



Il cerchio passante per i due poli celesti, lo Zenit e il Nadir, viene detto **Meridiano Celeste** o “Meridiano locale” o “Meridiano”

L’intersezione del piano del Meridiano Celeste con il piano dell’Orizzonte viene detta **Meridiana**.

Nel corso delle 24h tutti gli astri attraversano il meridiano nel loro punto di massima elevazione sull’orizzonte (*culminazione*).

Il passaggio del Sole al meridiano locale segna l’istante del *mezzogiorno vero*, che in generale non coincide col *mezzogiorno medio* indicato dall’orologio.



Sull'orizzonte è possibile identificare 4 punti cardinali

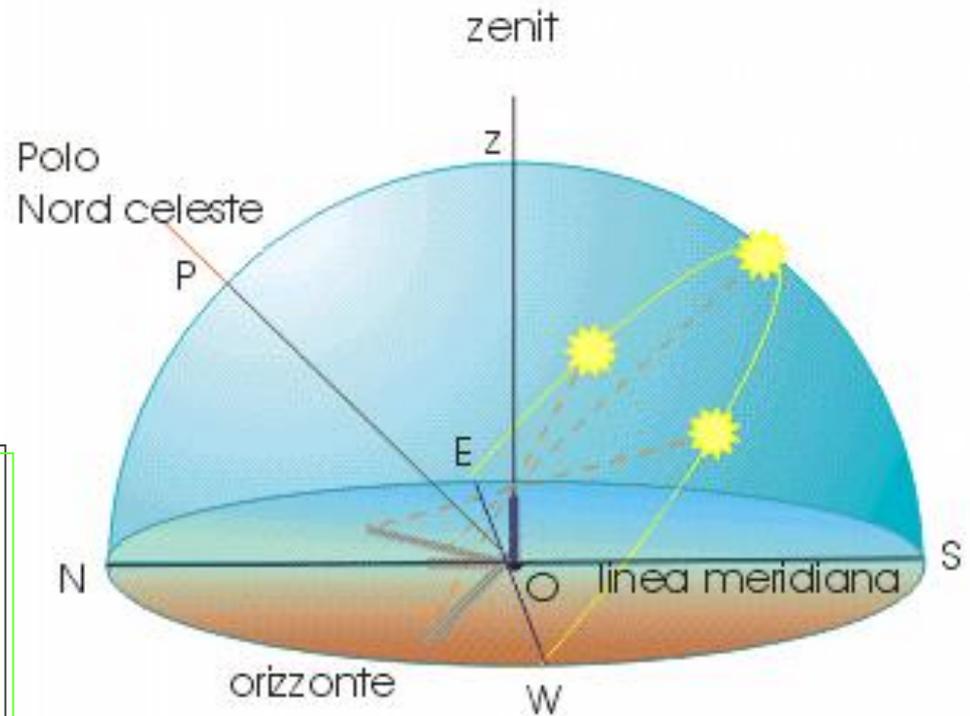
EST OVEST →

Coincide con il punto dell'orizzonte in cui sorge il Sole nei giorni di equinozio (21 marzo, 23 settembre

Punto dell'orizzonte in cui tramonta il Sole nei giorni di equinozio

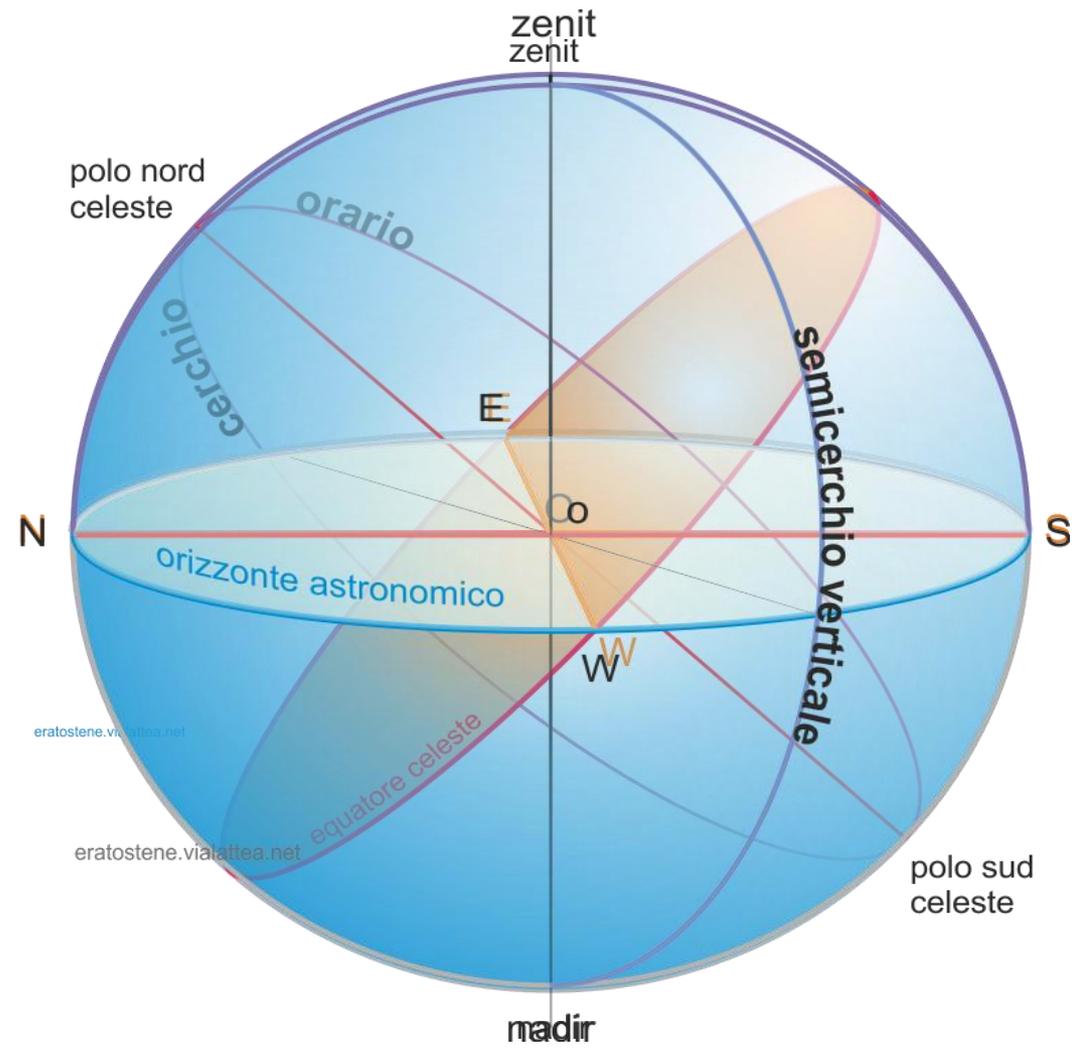
NORD e SUD

I due punti in cui il meridiano locale interseca l'orizzonte, ognuno nella direzione del corrispondente polo



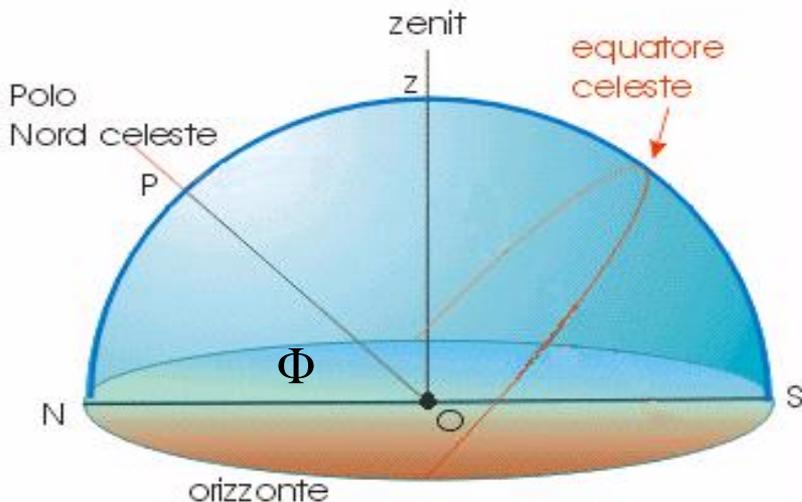
Cerchi verticali: cerchi massimi sulla sfera celeste passanti per lo zenit e il nadir

Cerchi orari: cerchi massimi che passano per i poli celesti



Esercizi

- Dove bisogna volgere lo sguardo per poter vedere sorgere gli astri?
- Dove vedono la stella polare gli abitanti del Polo Nord? E quelli dell'equatore? e quelli del Polo Sud?



-Dal Polo Nord vedono la stella polare proprio al loro zenit

-Dall'equatore la si vedrà sfiorare l'orizzonte, radente al suolo verso l'orizzonte nord.

-Dal polo Sud la stella polare non si vede

-Da lat. 45° ad esempio la Stella Polare ha una altezza nel cielo locale di 45° .

Le coordinate astronomiche

Definiscono le posizioni degli oggetti astronomici sulla Sfera Celeste.

Si basano sulla definizione di:

- ✓ un **asse** chiamato **direzione fondamentale**
- ✓ un **piano fondamentale** perpendicolare alla direzione fondamentale

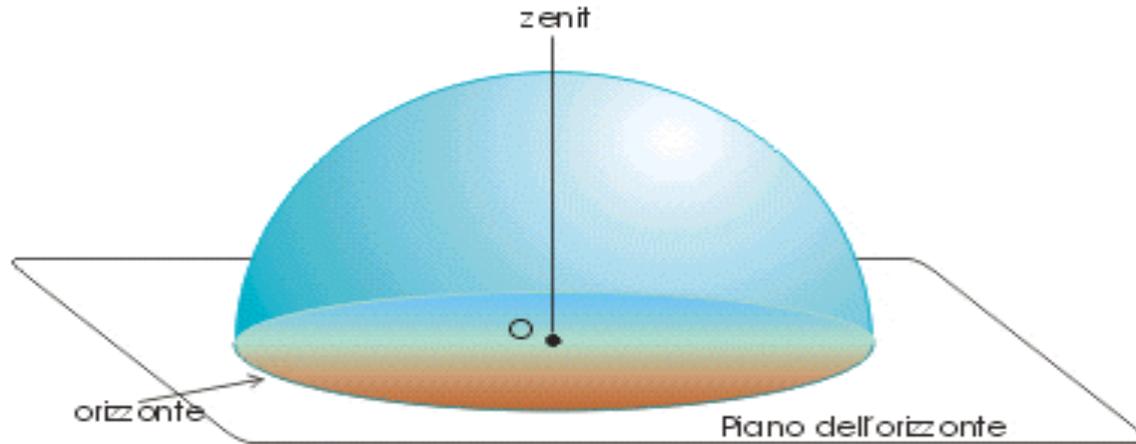
Sistemi di coordinate:

- Altazimutale
- Equatoriale
- Orario

Esistono anche altri sistemi di coordinate, ad esempio, **Galattiche**



Sistema Altazimutale

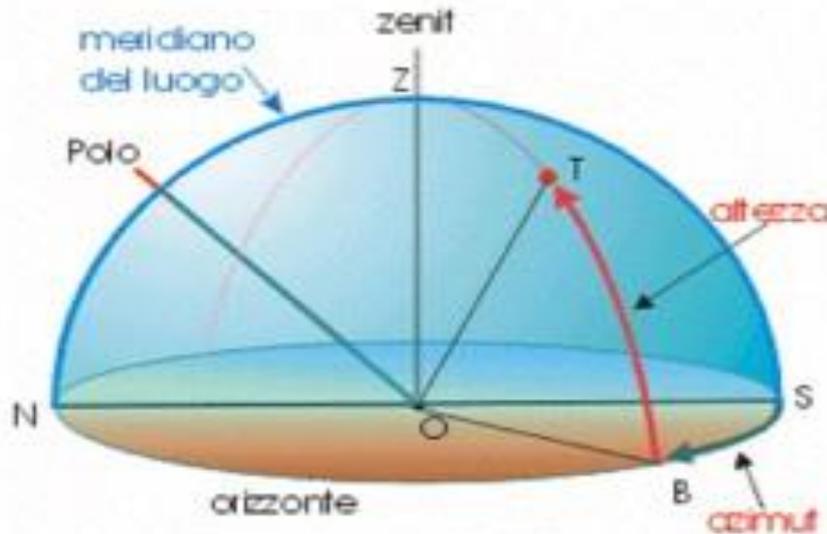


La **direzione fondamentale** è la verticale del luogo di osservazione.

Il **piano fondamentale** passante per l'Osservatore e perpendicolare alla direzione fondamentale è l'orizzonte astronomico.

Coordinate nel Sistema Altazimutale

In questo sistema la posizione di un astro sulla sfera celeste è definita da due coordinate: l'**Azimuth (A)** e l'**Altezza (h)**.



Coordinate altazimutali

Detto T un generico punto sulla sfera celeste le sue coordinate altoazimutali saranno:

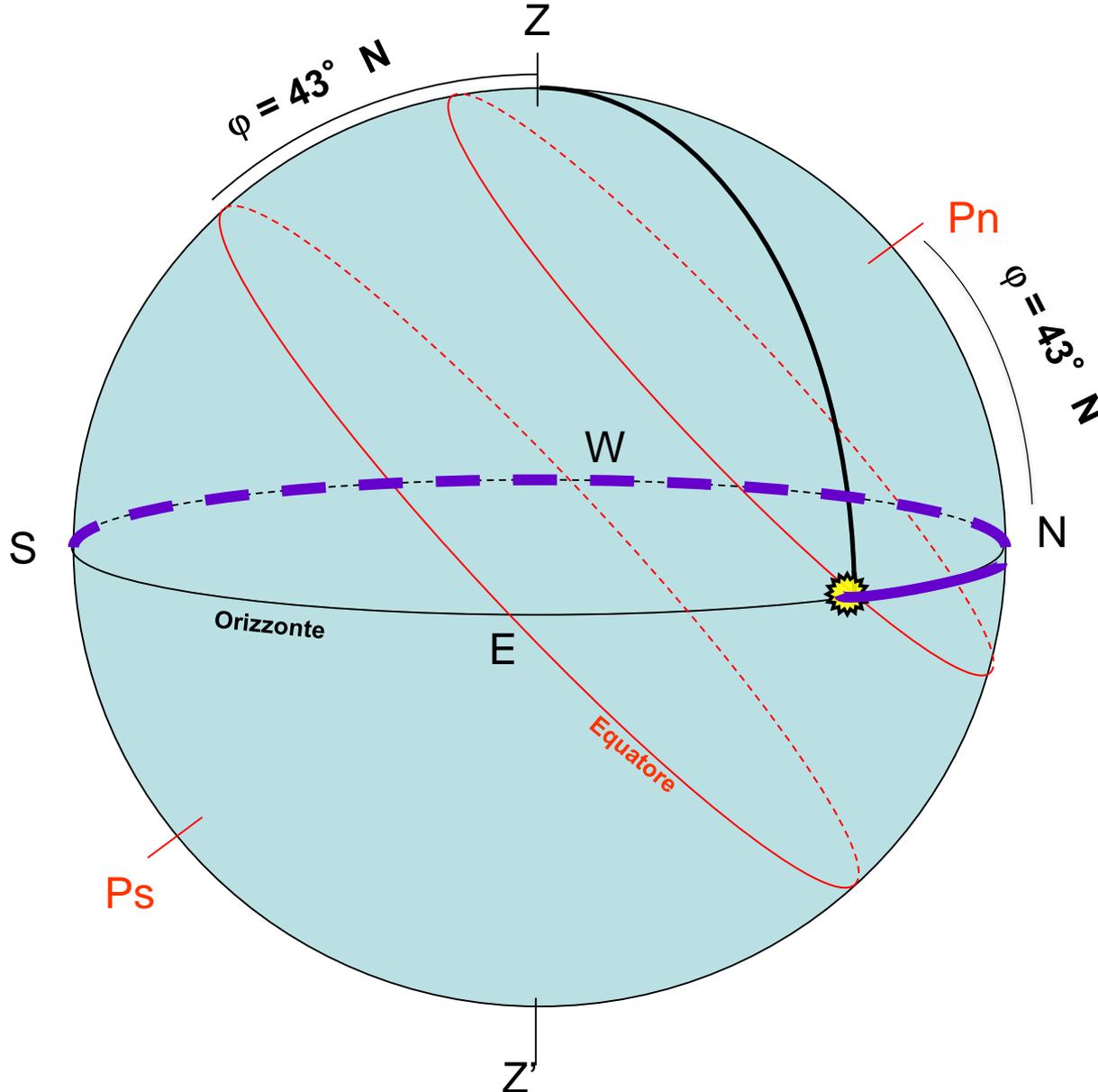
-**Azimut (A)** cioè l'arco di Orizzonte tra il punto Sud e il cerchio verticale passante per l'astro (T); è misurato in senso orario ed è compreso tra 0° e 360° .

-**Altezza (h)** cioè l'arco di cerchio verticale compreso fra l'Orizzonte e l'astro; si conta da 0 a $+90^\circ$ verso lo Zenit e da 0 a -90° verso il Nadir.

Al posto dell'Altezza si può usare la **Distanza Zenitale: $z = 90 - h$** (cioè la distanza dell'astro dallo Zenit che è compresa tra 0° e 180°); ovviamente per qualsiasi corpo celeste vale sempre la relazione $z + h = 90^\circ$.

Esercizio: Come variano le coordinate di un astro?

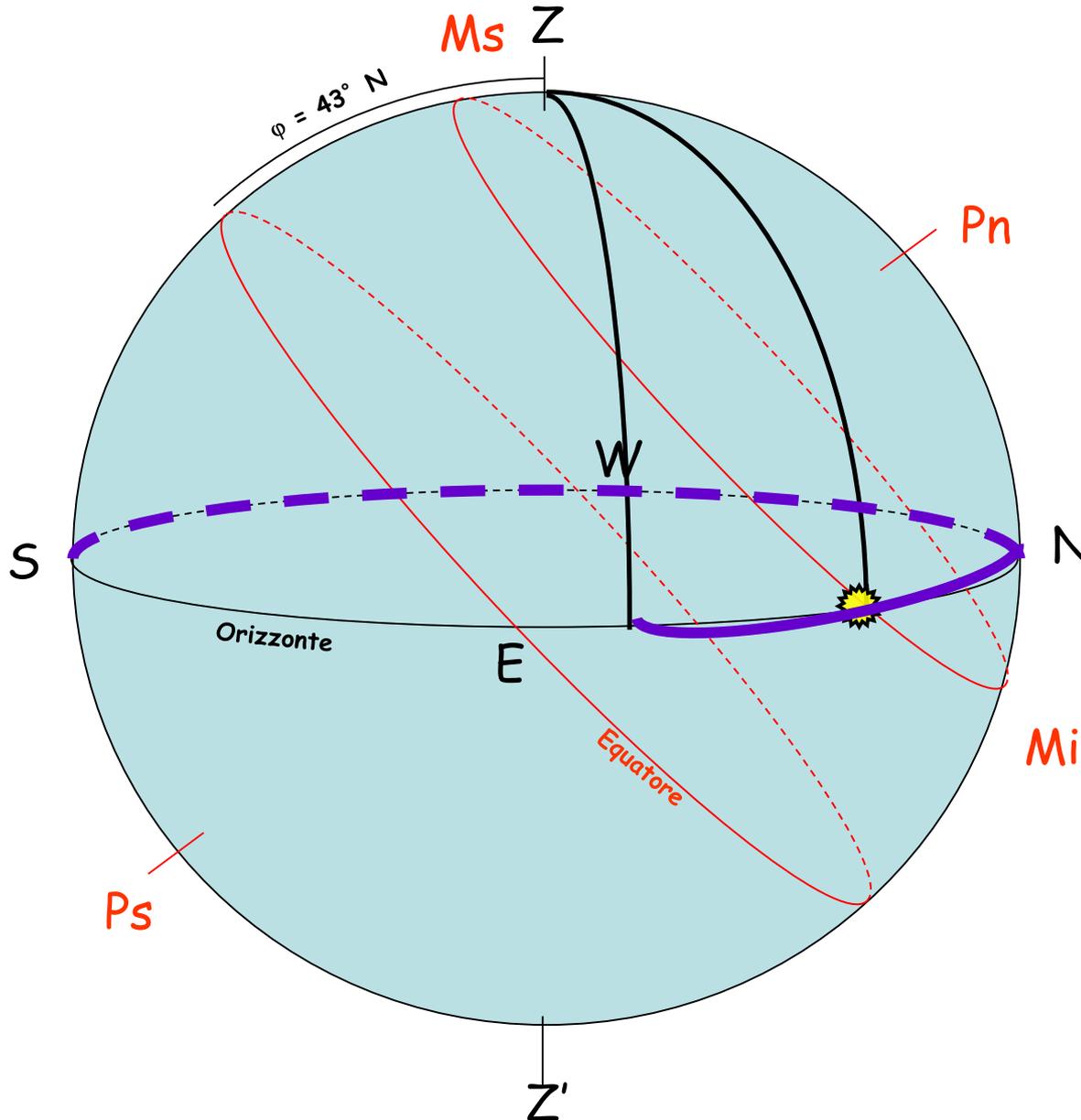
Osservatore alla latitudine $\varphi = 43^\circ$ N



Costruiamo
la sfera celeste

- 1) L'astro sorge
Disegniamo il cerchio verticale
dell'astro
Le coordinate dell'astro sono:
 $h = 0^\circ$
distanza zenithale =
 90°
 $Az = \dots$

Variazione delle coordinate locali di un astro



2) L'astro è nella fase ascendente (l'altezza aumenta)

Disegniamo il cerchio verticale dell'astro
Le coordinate dell'astro sono:

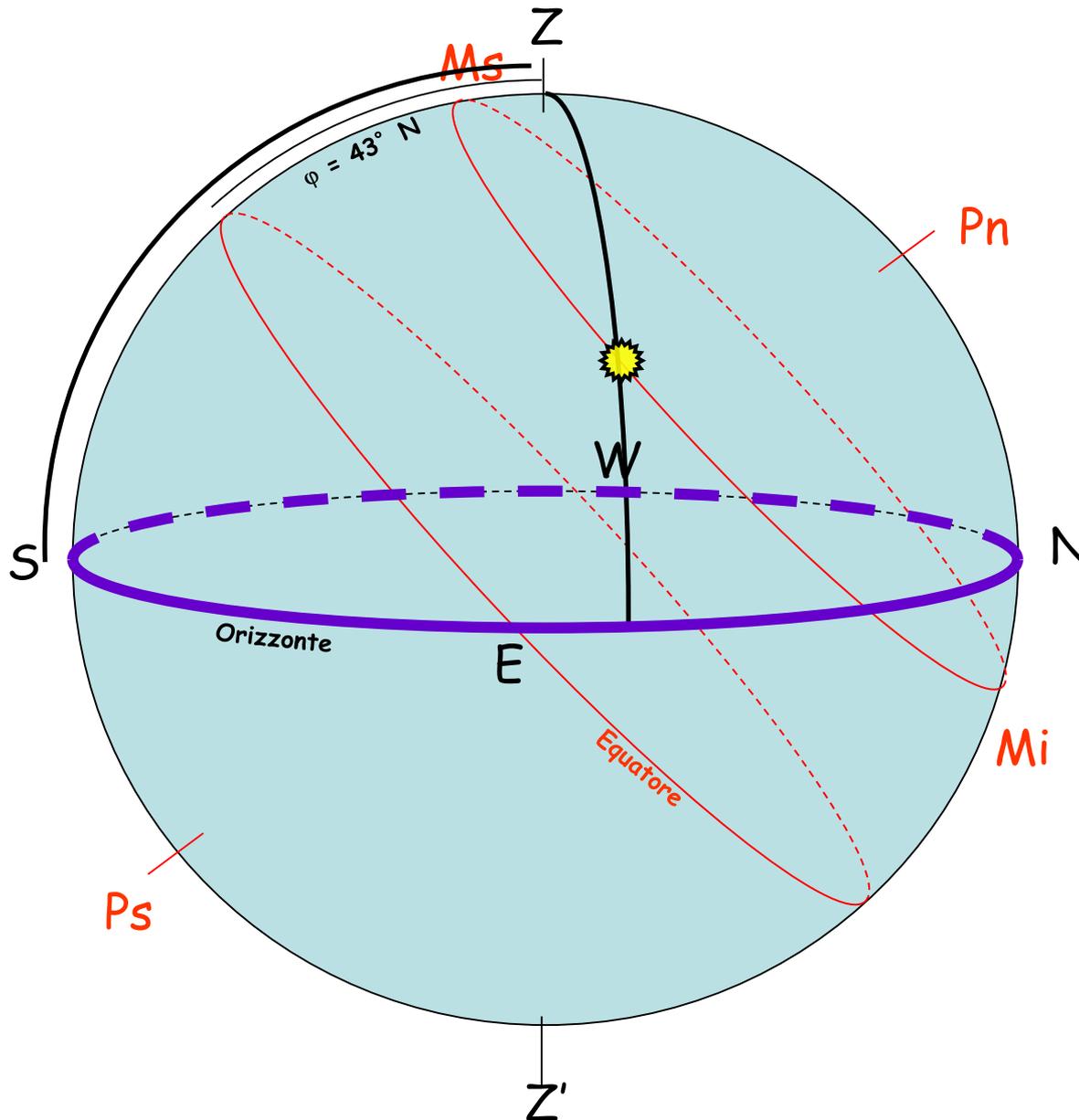
$$h = 45^\circ$$

$$z = 90^\circ - 45^\circ$$

$$Az = \dots$$

Variazione delle coordinate locali di un astro non circumpolare

$$\varphi = 43^\circ \text{ N}$$



- 3) L'astro raggiunge la sua massima altezza (passa sul meridiano superiore)

Disegniamo il cerchio verticale dell'astro

Le coordinate dell'astro sono:

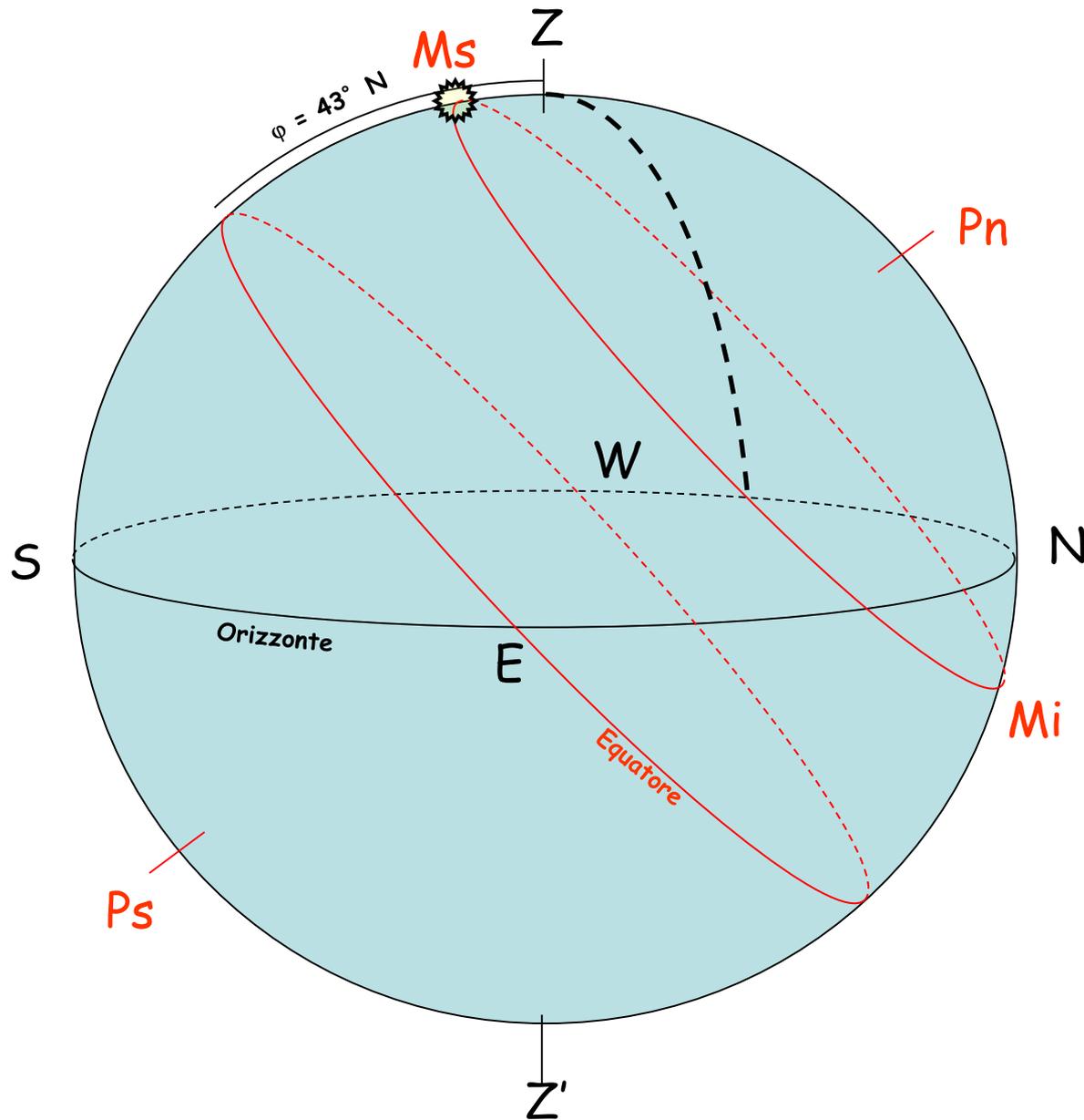
$$h = \dots$$

$$z = 90 - h$$

$$Az = 360^\circ$$

Variazione delle coordinate locali di un astro non circumpolare

$$\varphi = 43^\circ \text{ N}$$



- 4) L'astro è nella fase discendente (l'altezza diminuisce)

Disegniamo il cerchio verticale dell'astro

Le coordinate dell'astro sono:

$$h = \dots$$

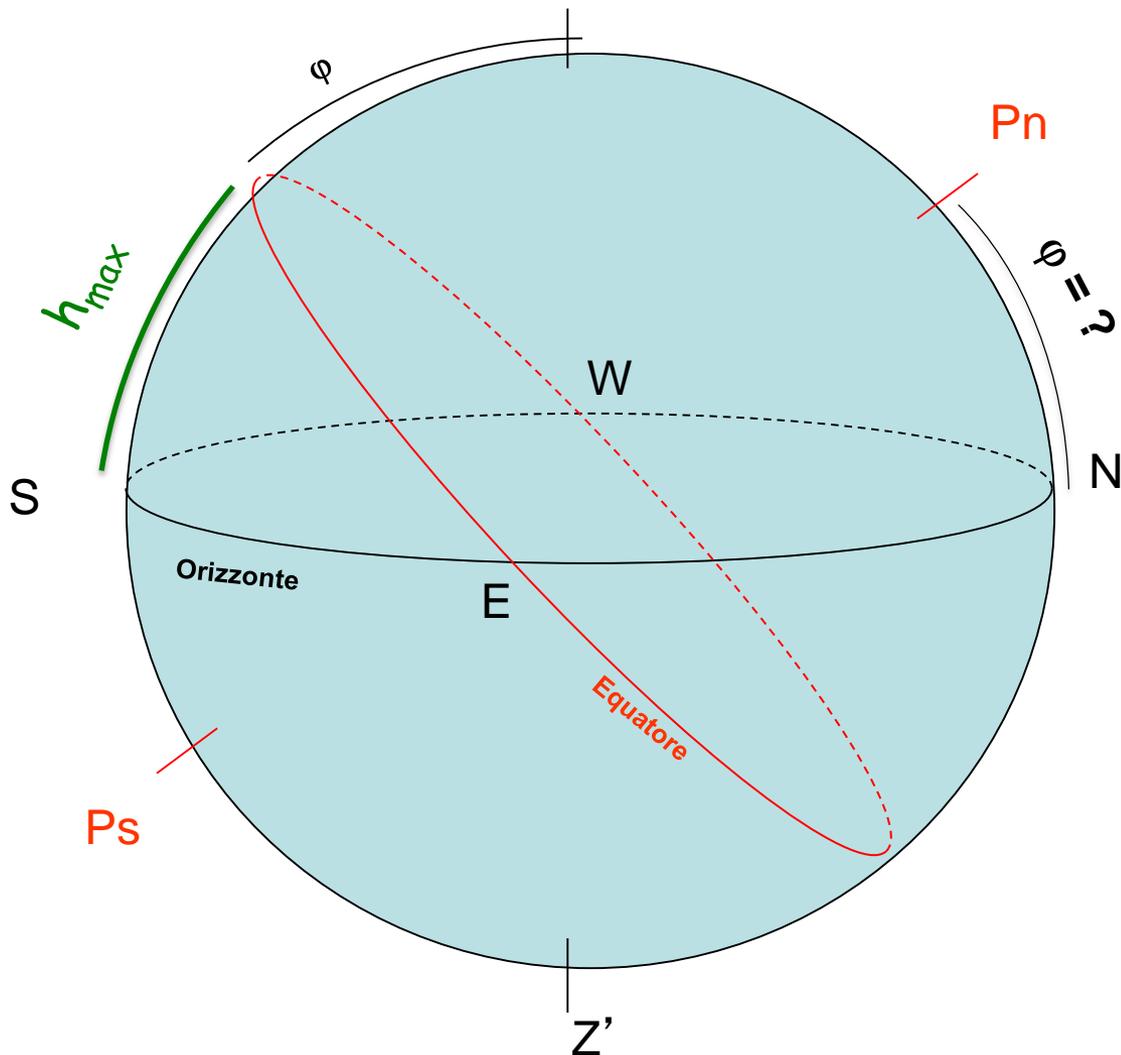
$$z = 90 - h$$

$$Az = \dots$$

Problema 1.

a) Un osservatore misura per il Polo Nord Celeste un'altezza di $h = 37^\circ$, a che latitudine φ si trova l'osservatore?

b) Un secondo osservatore misura per l'equatore celeste un'altezza massima di $h_{\max} = 30^\circ$, a che latitudine si trova il secondo osservatore?



Altezza (h): l'arco di cerchio verticale compreso fra l'Orizzonte e l'astro; si conta da 0 a $+90^\circ$ verso lo Zenit e da 0 a -90° verso il Nadir.

$$a) \varphi = h$$

b) L'altezza massima dell'equatore celeste si ha al meridiano e vale

$$h_{\max} = 90^\circ - \varphi$$

$$30 = 90 - \varphi$$

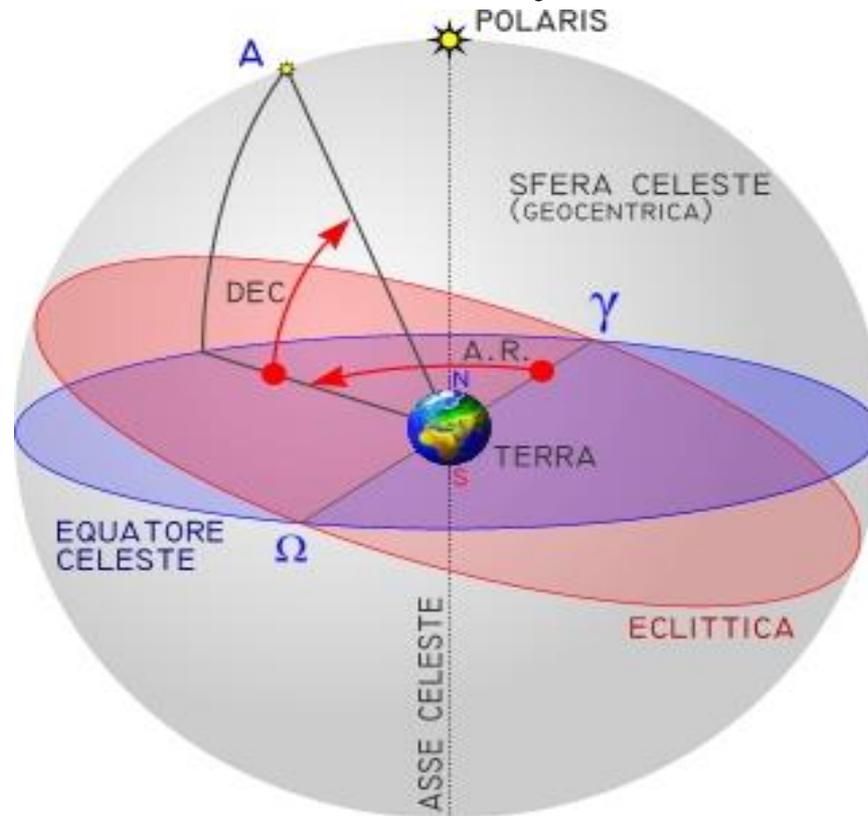
$$\varphi = 90 - 30 = 60^\circ$$

Le coordinate Altazimutali sono molto pratiche, ma hanno il difetto di essere relative all'osservatore, in quanto ogni osservatore sulla Terra ha i propri punti di riferimento, Orizzonte e Zenit, facili da identificare, ma tipici della località di osservazione. Inoltre, variano con il tempo.

Per fare in modo che due osservatori possano scambiarsi le coordinate a prescindere da luogo e orario, occorre fissare delle origini che siano uguali in tutto il mondo e soprattutto che non risentano della rotazione terrestre nel breve periodo, dove per breve non si intendono secondi ma almeno una cinquantina di anni. Per ottenere la posizione di un astro in cielo tramite coordinate fisse e quindi indipendenti dal luogo di osservazione e dal moto apparente della volta celeste dovremo affidarci a riferimenti celesti fissi.

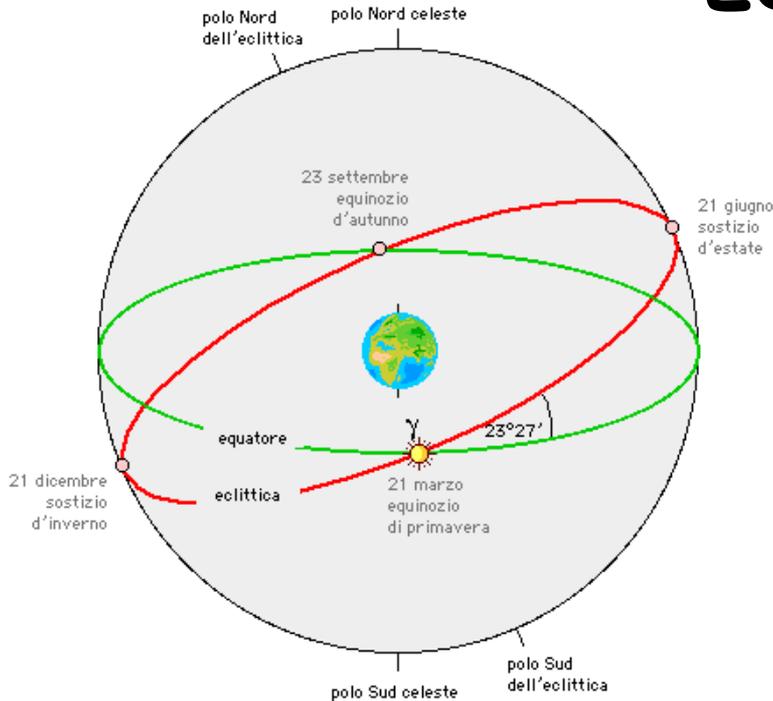
Cerchiamo riferimenti celesti fissi

Sistema Equatoriale



La direzione fondamentale è l'asse di rotazione della Terra.
Il piano fondamentale è quello dell'equatore celeste.

Eclittica



L' **eclittica** è il percorso apparente del Sole sulla Sfera Celeste. Il nome "eclittica" viene dal fatto che lungo questo percorso avvengono le eclissi di Sole e di Luna.

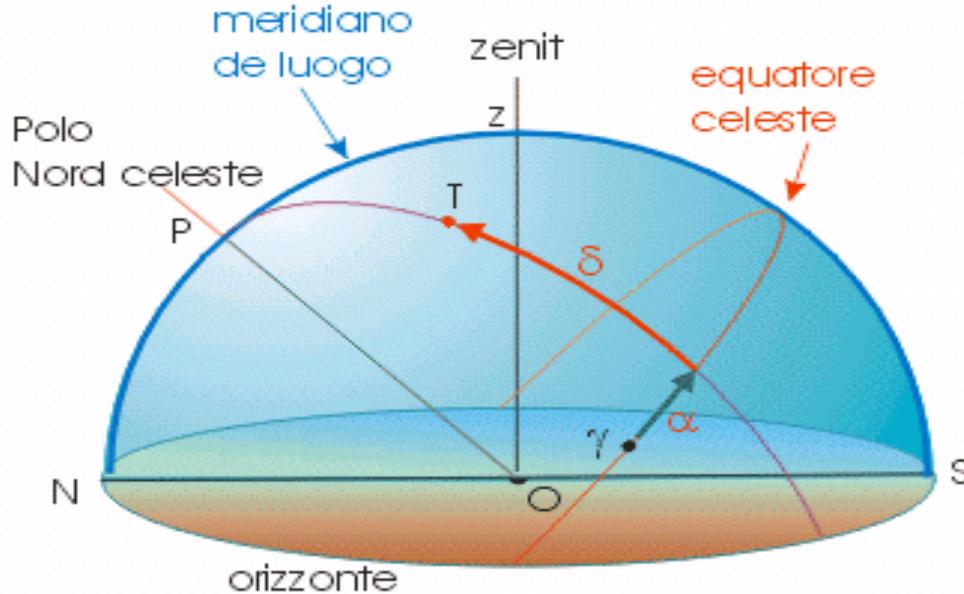
L'eclittica è un cerchio massimo e interseca l'equatore celeste in due punti (nodi) chiamati: **Punto di Ariete** (o Punto "γ" o Punto Vernale) e **Punto della Bilancia** (o Punto Ω).

Il Sole passa per il Punto γ all'equinozio di Primavera e per il Punto della Bilancia Ω all'equinozio d'Autunno.

Obliquità dell'eclittica: L'angolo tra il piano dell'equatore terrestre e il piano dell'orbita della Terra intorno al Sole è circa 23°27' ed il suo valore cambia molto lentamente nel corso dei secoli

Il punto γ è il punto fisso tra le stelle che può essere utilizzato per un sistema di coordinate solidale con il moto di rotazione della sfera celeste.

Coordinate nel Sistema Equatoriale

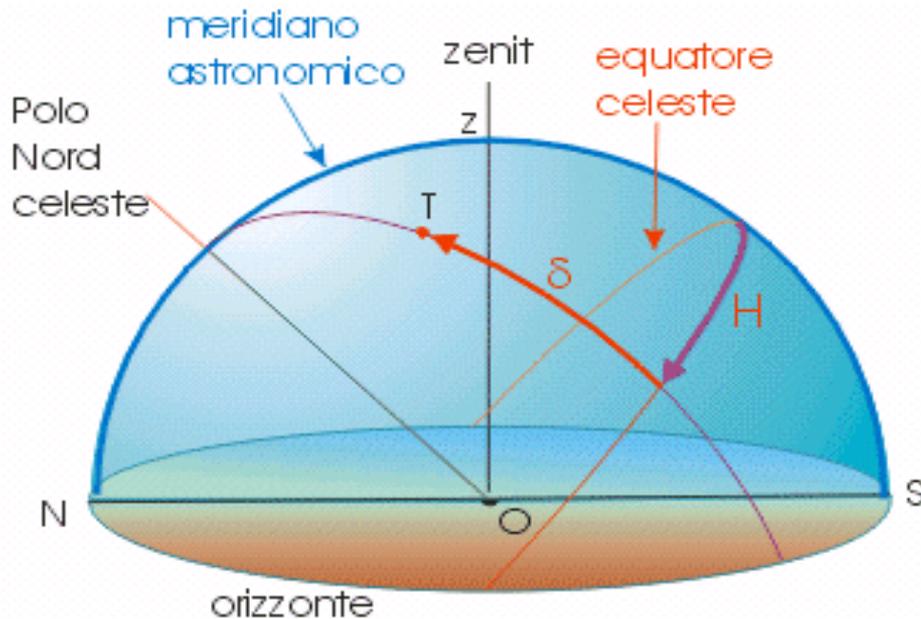


Ascensione retta (α): è l'arco di equatore celeste tra il Punto γ e il cerchio orario passante per l'astro (T); viene misurata in senso antiorario ed è compresa tra 0h e 24h. Ogni ora è equivalente a circa 15° di un arco.

Declinazione (δ): è l'arco di cerchio orario compreso fra l'equatore celeste e l'astro; si conta dall'equatore da 0° a 90° per l'emisfero Boreale e da 0° a -90° per l'emisfero Australe.

Per definizione si ha che nel punto γ la declinazione del Sole agli equinozi è $=0$.

Le coordinate α e δ risultano completamente svincolate dalla posizione dell'osservatore e rimangono inoltre costanti nel tempo, in quanto l'intero sistema di riferimento è definito a partire da un punto della sfera celeste (il Punto γ) che partecipa al moto diurno.



Sistema Orario

E' simile al Sistema Equatoriale (stessa direzione fondamentale e stesso piano fondamentale)

Le coordinate sono dette **Angolo Orario (H)** e **Declinazione (δ)**

Declinazione (δ): come per il sistema equatoriale

Angolo Orario (H): è la distanza angolare tra il cerchio orario che passa per l'astro (T) e il Meridiano (non dal Punto γ); viene misurato in senso orario ed è compreso tra 0h e 24h.

H dipende dalla posizione dell'osservatore e il suo valore dà indicazioni sulla visibilità di un astro.

Quando un astro nel corso della rotazione della sfera celeste passa al meridiano potrà avere $H = 0$ (la sua altezza sull'orizzonte sarà massima) oppure $H = 12$ (la sua altezza sull'orizzonte sarà minima).

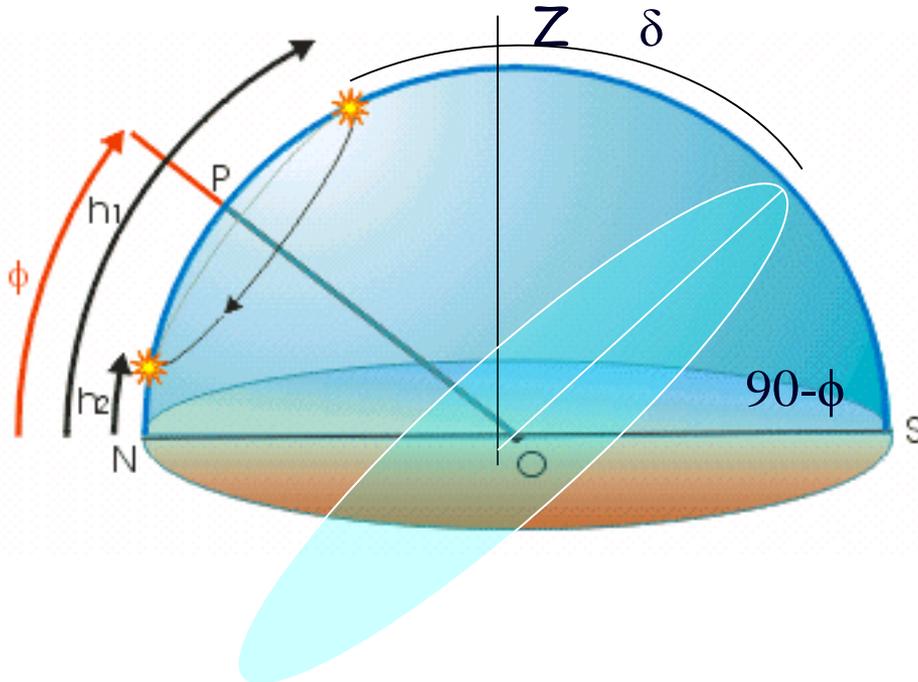
Problema 2: Misura della latitudine astronomica

Un osservatore misura per la Stella Polare ($\delta = 89^\circ 16'$) un'altezza massima di $26^\circ 36'$, a che latitudine si trova l'osservatore ?

L'altezza massima di una stella è l'altezza al meridiano superiore

Anche se molto vicina al Polo Nord Celeste la Stella Polare non coincide perfettamente con esso e ne dista all'epoca attuale $\Delta\delta = 90^\circ - 89^\circ 16' = 44'$

L'altezza del Polo Celeste sarà quindi $\phi = h_{\max\text{Polare}} - 44' = 25^\circ 52'$



Sorgere e tramontare

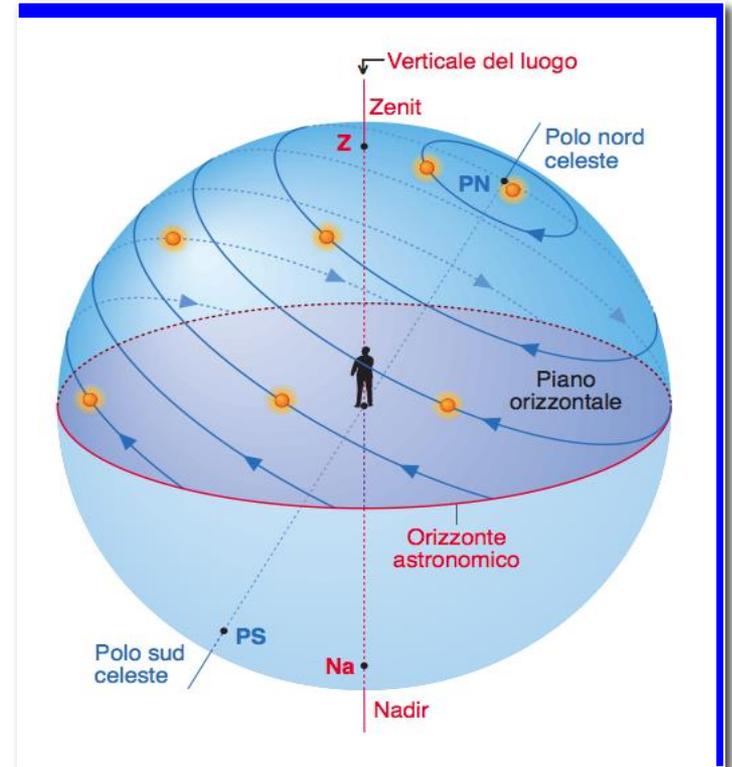
In ogni località avremo stelle sempre osservabili (quelle più vicine al polo celeste visibile) e stelle mai osservabili (quelle più vicine al polo celeste invisibile) e altre che sorgono e tramontano.

Per un osservatore a latitudine φ N

Astri circumpolari, ossia quelli che sono sempre sopra l'orizzonte e sempre visibili
 $h > 0$

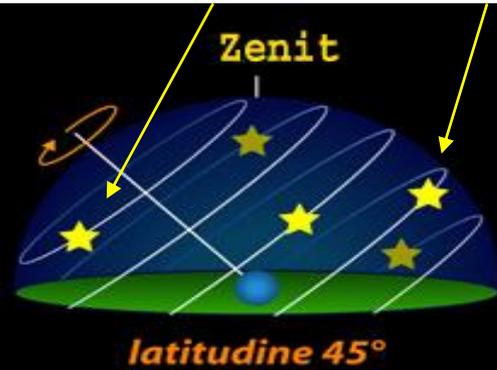
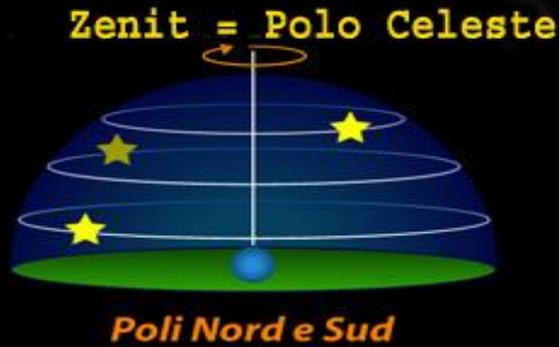
Astri occidui, ossia quelli che sorgono e tramontano, visibili solo in determinate ore della notte

Astri invisibili, ossia tutti quelli che sono sempre sotto l'orizzonte e quindi a noi invisibili
 $h < 0$



Stelle circumpolari

Stella circumpolare Stella occidua



Al polo Nord solo le stelle con $\delta > 0^\circ$ sono visibili; tutte le stelle visibili sono anche circumpolari.

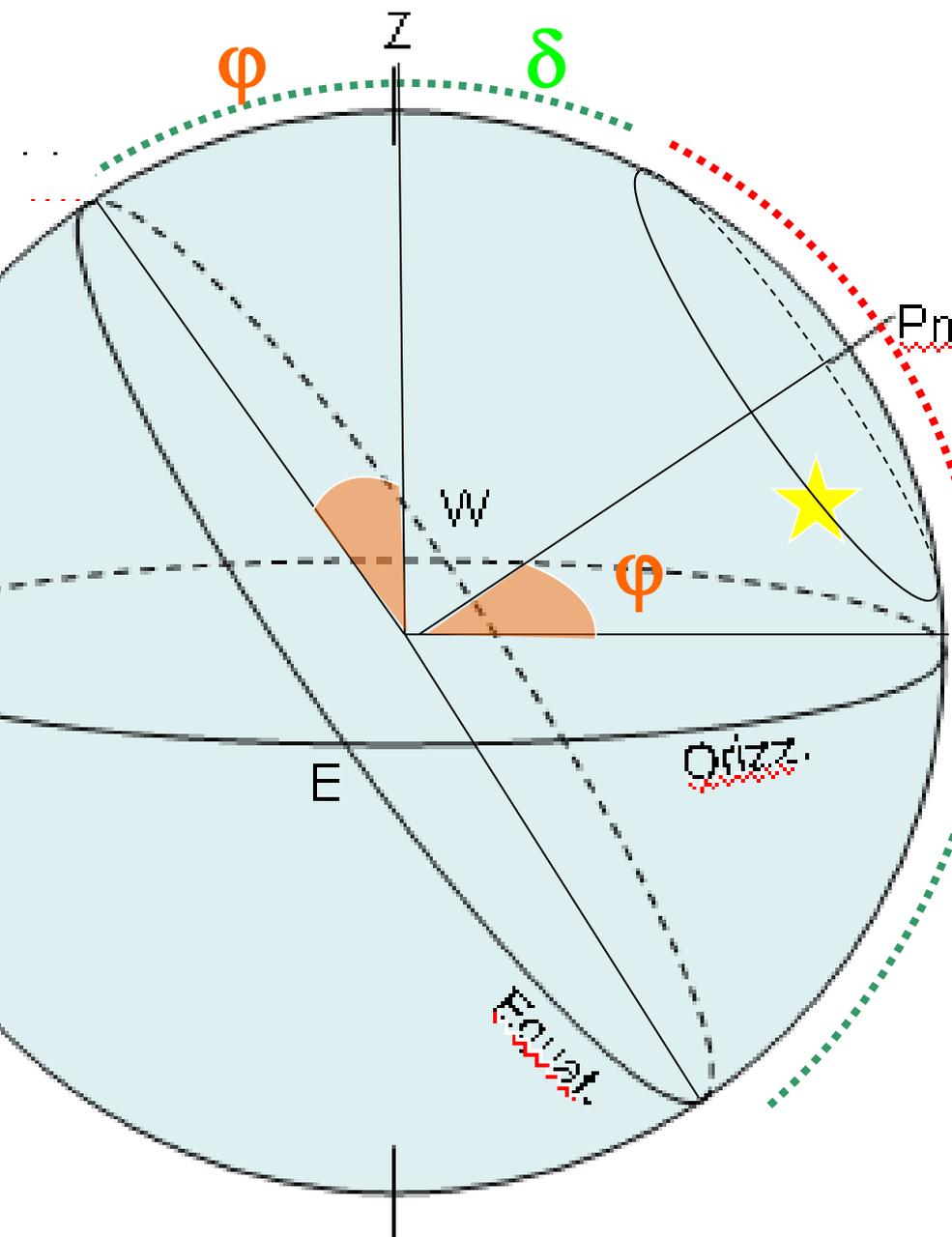
All'equatore tutte le stelle sono visibili ma non ci sono stelle circumpolari.

Affinché una stella risulti sempre visibile nel corso del moto diurno occorre che:

$$\delta > 90 - \Phi.$$



Esercizio: Analizziamo l'orbita di un astro circumpolare



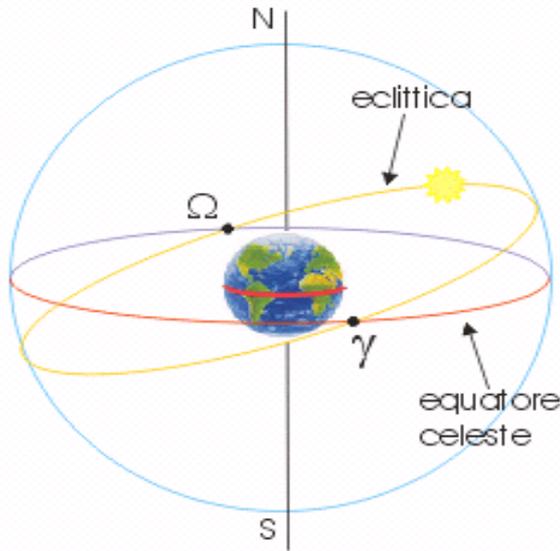
Kochab

$$\delta = 74^\circ \text{ N}$$

- Kochab passa al meridiano SUPERIORE
- La latitudine dell'osservatore può essere facilmente ricavata grazie alla formula deducibile dal disegno
$$\varphi = h_{\max} + \delta - 90$$
- Kochab passa in meridiano INFERIORE
- La latitudine dell'osservatore può essere facilmente ricavata grazie alla formula deducibile dal disegno
$$\varphi = 90 - \delta + h_{\min}$$

•Esercizio per casa: Trovare le stelle o le costellazioni circumpolari per un osservatore in Italia

Il moto annuo del Sole



Si svolge lungo l'eclittica ed è un moto apparente dovuto al moto di rivoluzione della Terra

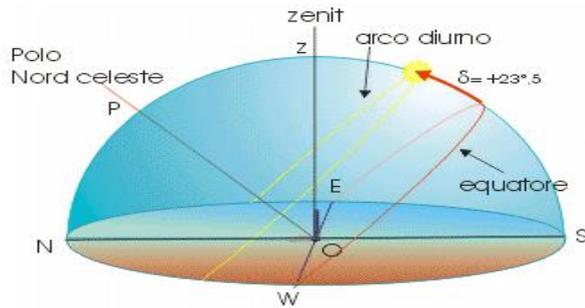
Poiché l'eclittica forma con l'equatore celeste un angolo di $23^{\circ} 27'$ la declinazione del Sole sarà

δ_{equinozi}	$= 0^{\circ}$ (21 Marzo, 23 Settembre)
$\delta_{\text{solstizio d'estate}}$	$= + 23^{\circ} 27'$ (21 Giugno)
$\delta_{\text{solstizio d'inverno}}$	$= - 23^{\circ} 27'$ (22 Dicembre)

Agli equinozi il Sole si trova sul piano dell'equatore celeste, la durata del giorno è uguale a quella della notte su tutto il pianeta.

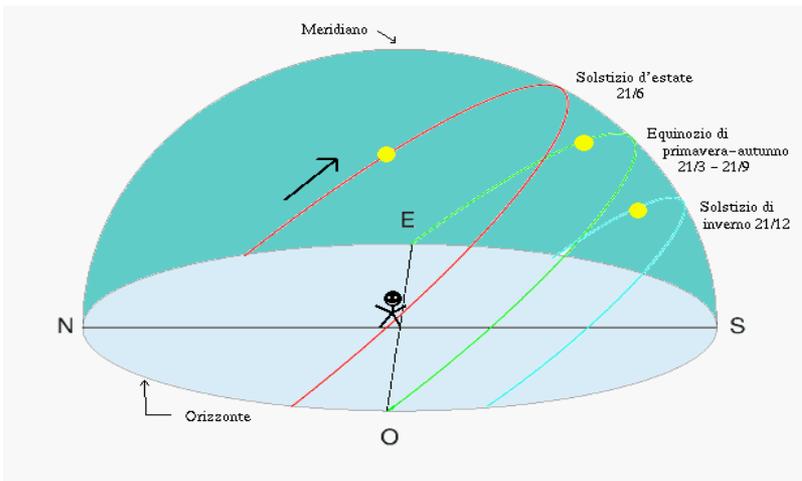
Al solstizio d'estate avremo il giorno più lungo, a quello d'inverno il giorno più corto (le stagioni risultano invertite nell'emisfero Australe).

Moto apparente del Sole



L'altezza massima dell'equatore celeste al meridiano vale
 $h_{\text{equatore}} = 90 - \phi$

Nel corso dell'anno il Sole si muove sull'eclittica e la sua declinazione varia da un minimo di $-23^\circ 26'$ a un massimo di $+23^\circ 26'$



Nel corso di un anno in un luogo a latitudine ϕ l'altezza del Sole sull'orizzonte al meridiano varierà quindi tra:

$$h_{\text{massima}} = 90 - \phi + 23^\circ 26'$$

$$h_{\text{minima}} = 90 - \phi - 23^\circ 26'$$

A Roma si ha: $h_{\text{massima}} = 71^\circ 33'$,
 $h_{\text{minima}} = 24^\circ 41'$

Perché ai poli fa freddo? $h_{\text{massima polo}} = 23^\circ 26'$

$$h_{\text{minima polo}} = -23^\circ 26'$$

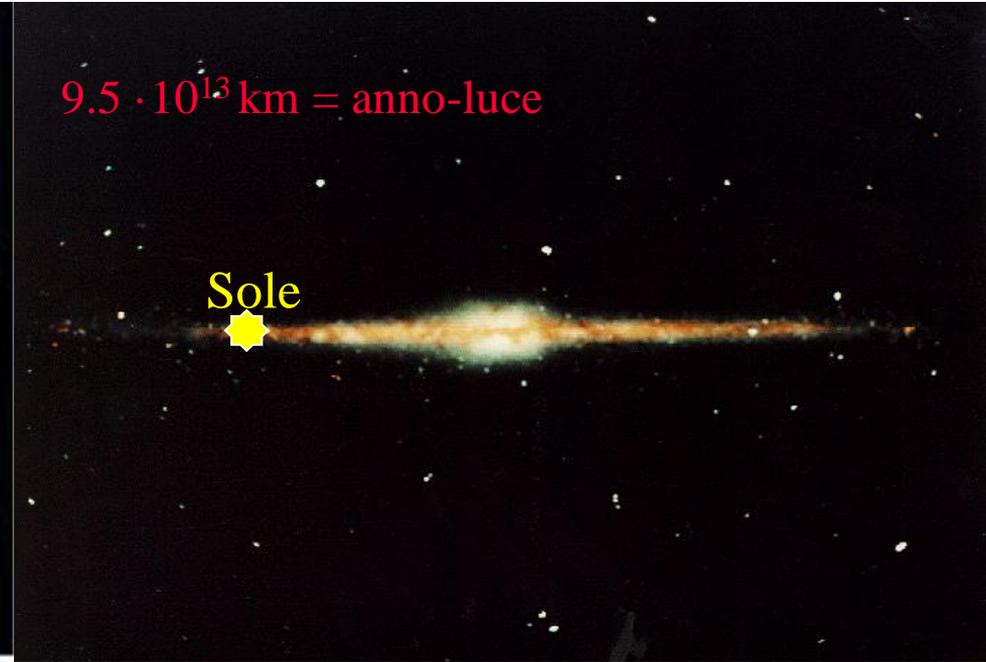
Inoltre ai poli il Sole rimane invisibile per quasi 6 mesi.

L'altezza massima al meridiano di un pianeta o della Luna in un dato luogo si può calcolare con le stesse relazioni usate per il Sole, aggiungendo o sottraendo l'inclinazione della sua orbita rispetto all'eclittica.

Provate a farlo a casa

Piano Galattico

Il sole trova in un braccio spirale della nostra Galassia (Via Lattea), a circa 30000 anni-luce dal centro



Coordinate galattiche

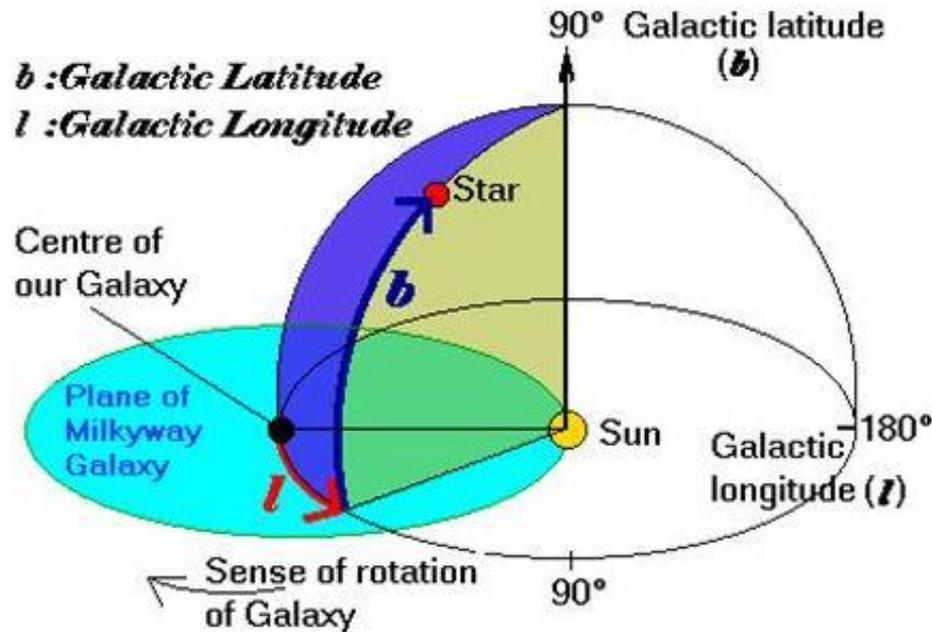
Piano fondamentale → piano della galassia con centro il Sole. Tale piano può essere ottenuto congiungendo il Sole con il centro galattico.

Direzione fondamentale: La retta perpendicolare al piano galattico e passante per il Sole determina il polo nord e il polo sud galattico.

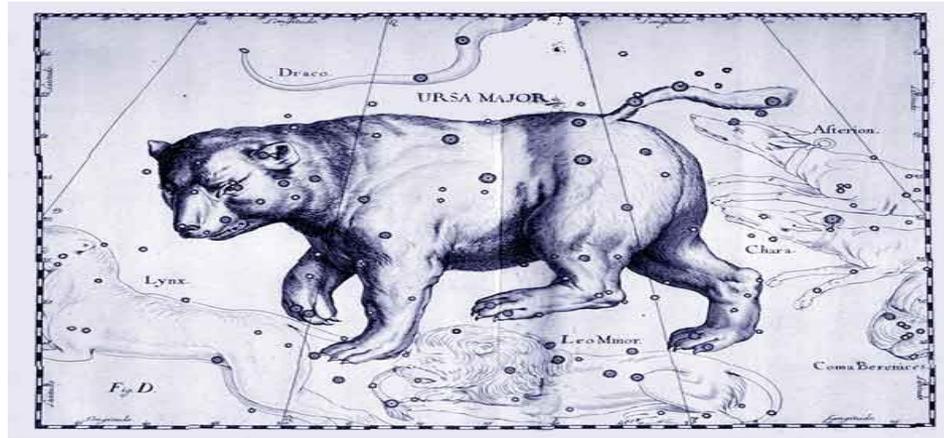
Coordinate galattiche → longitudine e la latitudine galattica.

La longitudine galattica viene misurata sul piano dell'equatore galattico cominciando dalla direzione del centro galattico (da 0° a 360°).

La latitudine galattica è misurata partendo dall'equatore galattico verso i poli ($-90^\circ, +90^\circ$)



Le costellazioni



Fin dall'antichità gli astronomi hanno associato tra di loro le stelle visibili sulla sfera celeste formando le costellazioni.

L'Unione Astronomica Internazionale (IAU) riconosce 88 costellazioni.

Le costellazioni visibili dalle latitudini settentrionali sono basate principalmente sulla tradizione ellenistica (anche se la loro origine è parecchio più antica) e i loro nomi richiamano figure mitologiche (Pegaso, Andromeda, Orione, Chioma di Berenice).

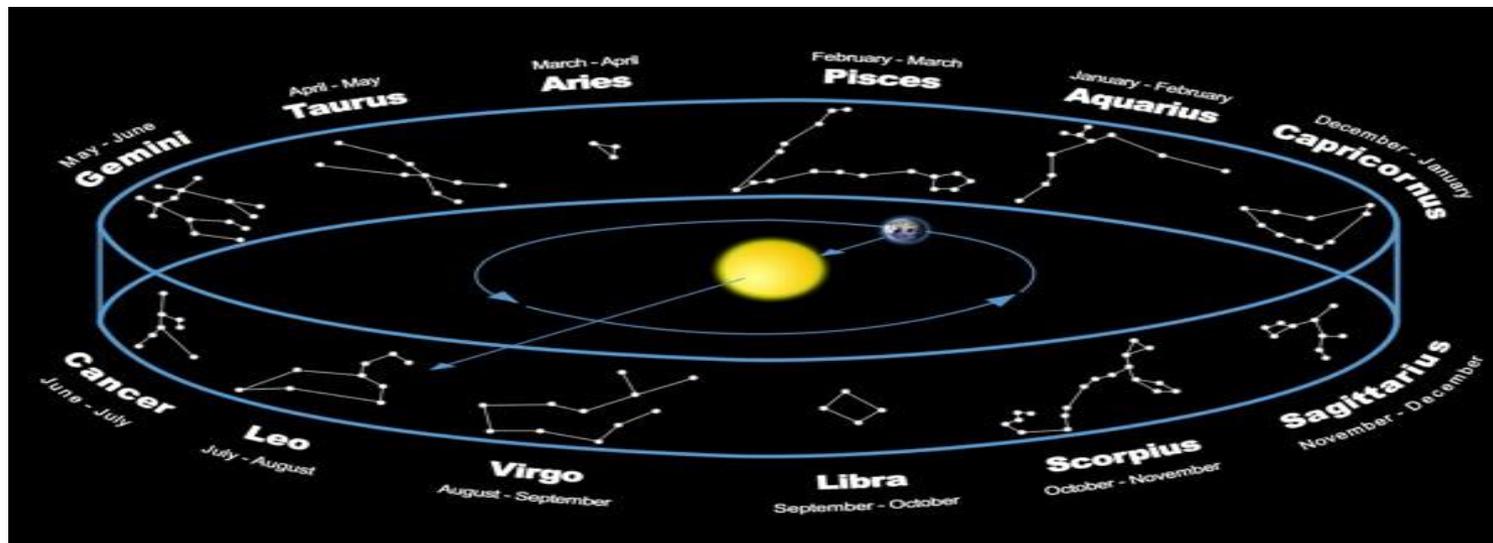
Gran parte delle costellazioni visibili nell'emisfero australe sono state battezzate in epoca illuministica e i loro nomi sono spesso legati a invenzioni del tempo (Orologio, Microscopio, Compasso, Macchina Pneumatica).

Nel suo cammino apparente lungo la sfera celeste (l'eclittica), il Sole attraversa nel corso dell'anno 13 costellazioni dette costellazioni dello zodiaco: Ariete, Toro, Gemelli, Cancro, Leone, Vergine, Bilancia, Scorpione, Ofiuco, Sagittario, Capricorno, Acquario, Pesci

Le costellazioni zodiacali non vanno confuse con i “segni” usati dall’astrologia.

Le costellazioni sono legate al cielo “reale” e hanno forma e dimensioni irregolari.

I “segni” sono una suddivisione arbitraria dell’eclittica in 12 parti uguali e poco hanno a che vedere con le stelle, anche a causa del fenomeno della “**precessione degli equinozi**” che sposta lentamente la corrispondenza tra stagioni terrestri e sfera celeste.



Variazione delle Coordinate nel Sistema Equatoriale

Nel sistema equatoriale le coordinate α e δ di un dato oggetto astronomico risultano indipendenti dalla posizione dell'osservatore e dovrebbero quindi rimanere costanti nel tempo.

Una più attenta analisi mostra però numerosi effetti che alterano in modo ciclico o continuo il valore di α e δ

- Parallasse Diurna
- Parallasse Annua
- Aberrazione della luce
- Precessione
- Rifrazione
- Moti propri delle stelle

Domande?

Rifrazione

È un effetto dovuto all'atmosfera terrestre che ha come risultato quello di mostrare gli oggetti celesti "più in alto" rispetto alla loro posizione vera.

Il valore della rifrazione dipende dalle condizioni atmosferiche (temperatura, pressione, ecc.) e può variare notevolmente da notte a notte.

Il suo valore è massimo all'orizzonte, dove vale in media circa 35' (cioè poco più di mezzo grado), e si annulla allo zenit.

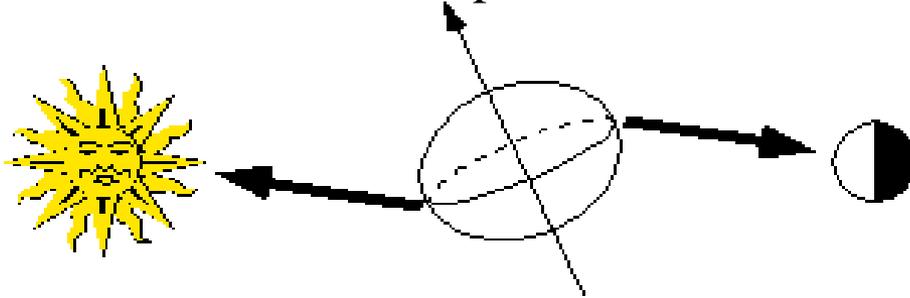
Altezza sull'orizzonte	Valore della Rifrazione
0°	35'
10°	5'
45°	1'
90° (zenit)	0'



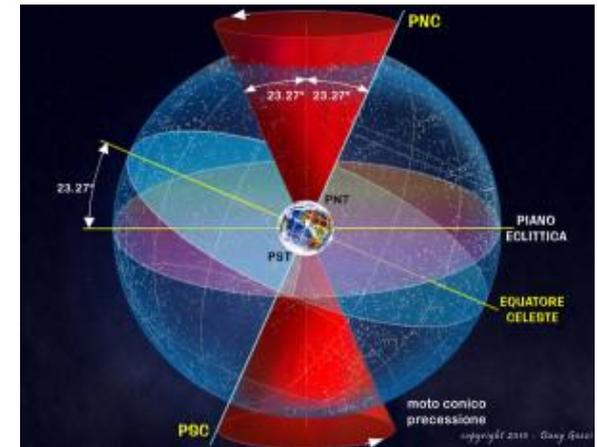
La Precessione

La precessione degli equinozi è un movimento della Terra che fa cambiare in modo lento ma continuo l'orientamento del suo asse di rotazione rispetto alla sfera celeste.

La forma della Terra si può approssimare a quella di un ellissoide, schiacciata ai poli e rigonfia all'equatore, quindi le forze gravitazionali del Sole e della Luna determinano una lenta spinta sull'asse di rotazione terrestre.



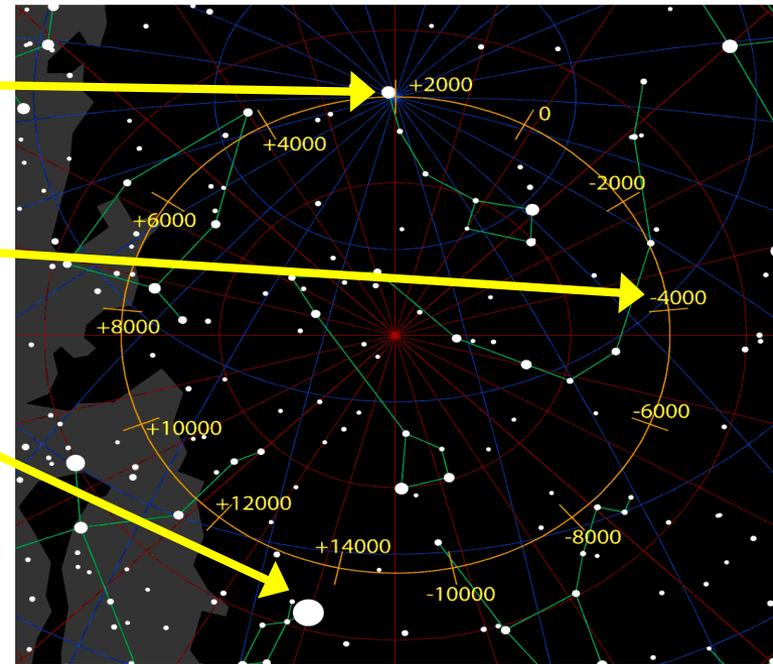
Il risultato è che l'asse terrestre oscilla attorno alla verticale tracciando due coni nello spazio (come una trottola) che compie un giro di rotazione in circa **25800 anni (anno platonico)**.



A causa della precessione la posizione dei Poli celesti cambia, descrivendo dei coni, e la posizione delle stelle sulla sfera celeste cambia lentamente.

Oggi si trova a meno di 1° dalla **Stella Polare** (α UMi); nel 3000 a.C. era invece prossimo a **Thuban** (α Dra).

In futuro la stella più brillante che assumerà il ruolo di polare, tra circa 12000 anni, sarà **Vega** (α Lyr).



A causa della precessione le posizioni del Punto γ (da cui vengono misurate le coordinate equatoriali) e del Punto della Bilancia si spostano lungo l'eclittica di $50.26''$ all'anno in senso orario.

A causa della precessione in circa 70 anni ogni equinozio anticipa di 1 giorno; tener conto di questa differenza è importante nella compilazione di calendari e nelle regole per stabilire gli anni bisestili

Gli astronomi devono quindi conoscere l'**epoca** a cui le coordinate di un oggetto vengono riferite; durante la maggior parte del XX secolo è stata usata l'epoca 1950.0, mentre oggi si usa l'epoca 2000.0.

Nei cataloghi e carte celesti si trovano le coordinate delle stelle e l'epoca a cui sono riferite; per puntare correttamente i telescopi occorrerà applicare a detti valori un fattore correttivo (usando semplici formule) per tener conto della differenza tra l'epoca a cui è riferito il catalogo e la data in cui si effettuano le osservazioni.