

CAPITOLO 1

L'ASTRONOMIA DESCRITTIVA

Un famoso scienziato (secondo alcuni fu Bertrand Russell) tenne una volta una conferenza pubblica su un argomento di astronomia. Egli parlò di come la Terra orbiti intorno al Sole e di come il Sole, a sua volta, compia un'ampia rivoluzione intorno al centro di un immenso aggregato di stelle noto come la nostra galassia. Al termine della conferenza, una piccola vecchia signora in fondo alla sala si alzò in piedi e disse: «Quel che lei ci ha raccontato sono tutte frottole. Il mondo, in realtà, è un disco piatto che poggia sul dorso di una tartaruga». Lo scienziato si lasciò sfuggire un sorriso di superiorità prima di rispondere: «E su che cosa poggia la tartaruga?». «Lei è molto intelligente, giovanotto, davvero molto», disse la vecchia signora. «Ma ogni tartaruga poggia su un'altra tartaruga!»

(Stephen Hawking, *Dal Big Bang ai Buchi Neri*)

1.1 La Sfera Celeste

Fino a qualche secolo fa il cielo era pensato come una sfera concentrica alla Terra e ruotante intorno ad essa con il periodo di un giorno. Incastonate come gemme sulla *sfera celeste* e trascinate con essa nel moto giornaliero erano le stelle, dette *fisse* per via delle loro posizioni reciproche immutabili nel tempo. A differenza di queste, i *pianeti* si muovevano seguendo traiettorie bizzarre, cambiando più o meno rapidamente la loro luminosità e la loro posizione rispetto alle stelle fisse.

Oggi sappiamo che l'universo è ben diverso dal cielo di Aristotele. Le stelle sono tutt'altro che immobili, e sembrano equidistanti solo a causa dell'enorme distanza che le separa da noi e che rende impossibile la percezione della prospettiva. Tuttavia, l'Astronomia moderna fa ancora uso dei concetti di sfera celeste e stelle fisse poiché, come vedremo, risultano estremamente utili nella pratica

Così, pur sapendo che il *modello* che stiamo utilizzando per la descrizione della realtà fisica non è ad essa rispondente, supporremo ugualmente che gli astri siano collocati su una superficie sferica di raggio infinitamente grande e concentrica alla Terra. Da ogni luogo della Terra che abbia l'orizzonte libero è possibile vedere metà della sfera celeste (o poco meno).

Possiamo allora porci la domanda: quale porzione di cielo si può vedere da una certa località in un certo istante? Rispondere a questo quesito è il compito primario dell' *Astronomia descrittiva*.

1.2 Il Sistema Altazimutale

Si definisce *orizzonte astronomico* l'intersezione tra la sfera celeste e il piano tangente al globo terrestre (*piano orizzontale*) nel punto in cui si trova l'osservatore. L'orizzonte astronomico non coincide generalmente con l'*orizzonte sensibile*, che è la linea che separa il cielo dalla terra o dall'acqua. Se l'osservatore si trova in un luogo sopraelevato rispetto alle zone circostanti (fig. 1.1a), l'orizzonte sensibile è più basso dell'orizzonte astronomico e quindi si può vedere più di metà del cielo. Se invece è situato in una valle circondata da una catena montuosa (fig. 1.1b), l'orizzonte sensibile è costituito dalla linea delle creste delle montagne e perciò la parte più bassa della volta celeste non risulta visibile.

La distanza angolare di un punto dall'orizzonte astronomico (fig. 1.2), misurata su un arco di *cerchio massimo* (cioè avente lo stesso diametro della sfera celeste) perpendicolare all'orizzonte stesso – *cerchio verticale* – è detta *altezza*. Essa è indicata solitamente con H , il che però non deve trarre in inganno: l'altezza di cui stiamo parlando non è la lunghezza di un segmento, ma di un arco di circonferenza.

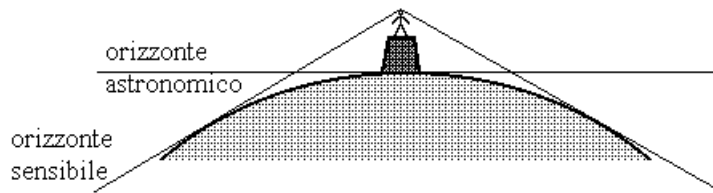


Figura 1.1a

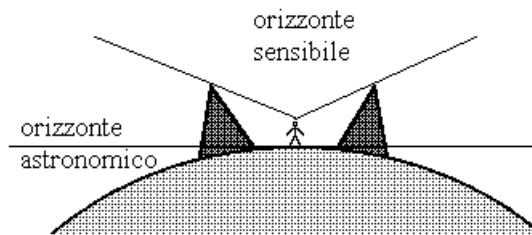


Figura 1.1b

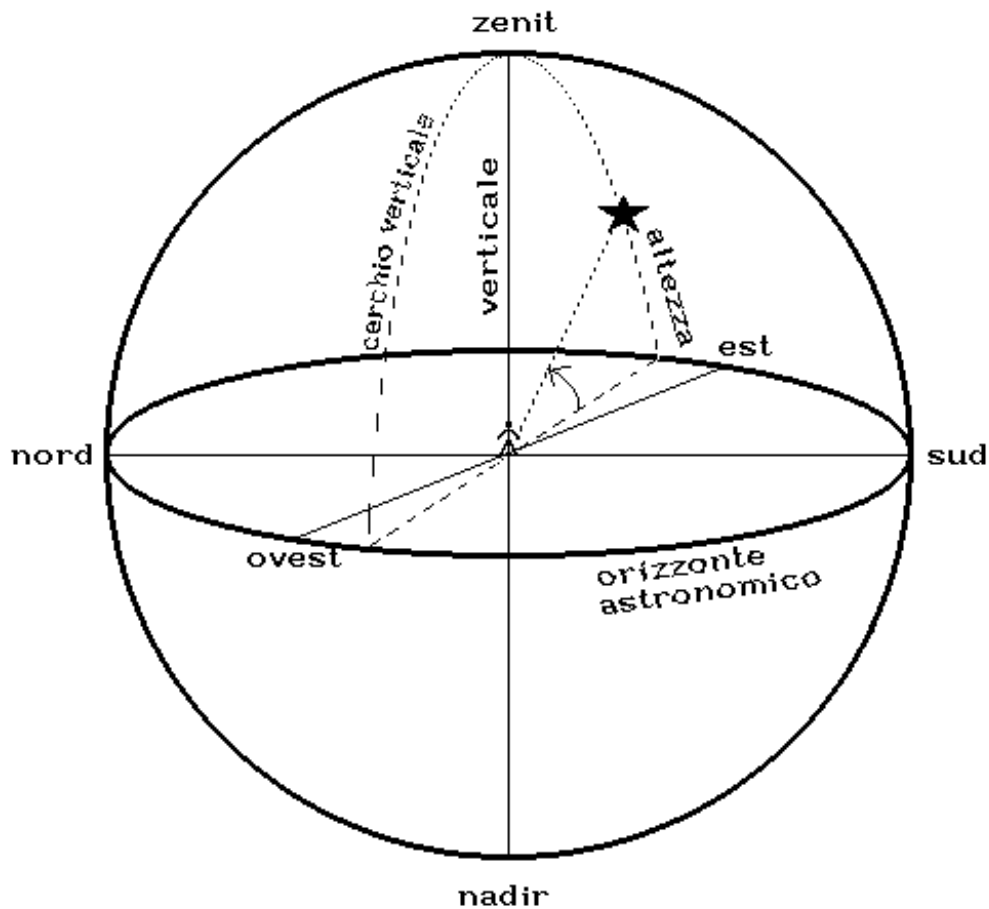


Figura 1.2

La perpendicolare al piano orizzontale, detta *verticale* ed individuata dalla direzione di un filo a piombo, interseca la sfera celeste in due punti: uno sopra la testa dell'osservatore, detto *zenit*, ed uno in direzione opposta, detto *nadir* (con l'accento rigorosamente sulla "i"!).

Problema 1.1. Qual è l'altezza dello zenit? Quale quella del nadir?

L'*asse terrestre*, cioè l'asse intorno al quale la Terra ruota compiendo un giro al giorno, interseca anch'esso la sfera celeste in due punti, detti *poli celesti Nord* e *Sud*. Questi vanno distinti dai *poli geografici* individuati dall'intersezione dell'asse con la superficie terrestre.

Il piano perpendicolare all'asse terrestre è detto *piano equatoriale*, poiché contiene l'equatore terrestre (fig. 1.3). L'intersezione tra detto piano

e la volta celeste è un cerchio massimo della sfera celeste che prende il nome di *equatore celeste*.

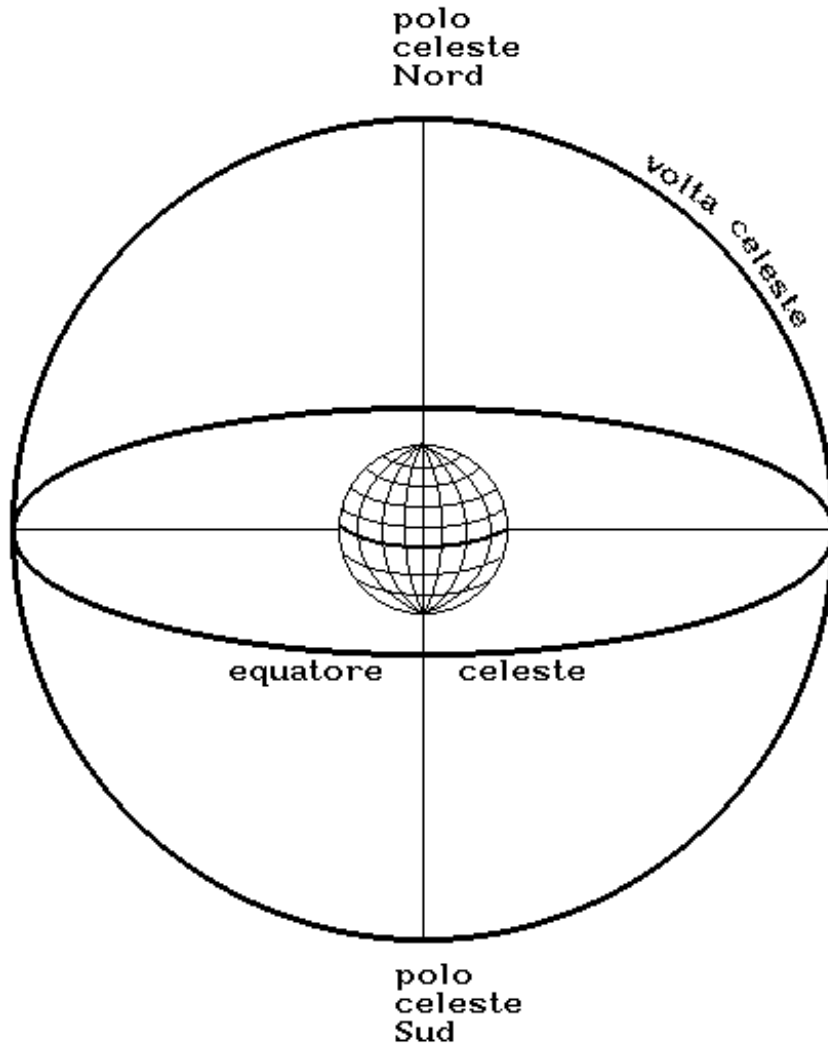


Figura 1.3

L'equatore celeste coincide con l'orizzonte astronomico per osservatori situati ai poli (fig. 1.4a). Per un osservatore situato all'equatore geografico, invece, i poli celesti giacciono sull'orizzonte ed individuano le direzioni Nord e Sud, mentre l'equatore celeste passa per lo zenit ed il nadir, ed interseca l'orizzonte nei punti che individuano le direzioni Est ed Ovest (fig. 1.4b). Nelle località poste tra l'equatore e i poli geografici, i poli celesti e l'equatore celeste avranno altezze intermedie (fig. 1.4c).

Più in generale, per un osservatore posto nell'emisfero boreale:

1. l'altezza del polo Nord celeste è pari alla latitudine f del luogo d'osservazione;
2. l'altezza massima dell'equatore celeste è pari al complementare della latitudine del luogo d'osservazione.

Provate a dimostrare queste due affermazioni (occorre solo ricordare un paio di teoremi di geometria sugli angoli); se non doveste riuscirvi, aiutatevi con la fig. 1.5.

Problema 1.2. In quale località della Terra il polo Nord celeste coincide con lo zenit? In quale coincide con il nadir?

Problema 1.3. Perché, nell'affermazione 2), si è specificato "altezza massima"?

Problema 1.4. Qual è l'altezza del polo Sud in una località dell'emisfero boreale?

Problema 1.5. Come si modificano le affermazioni 1) e 2) e la risposta al Problema 1.4 per una località posta nell'emisfero australe?

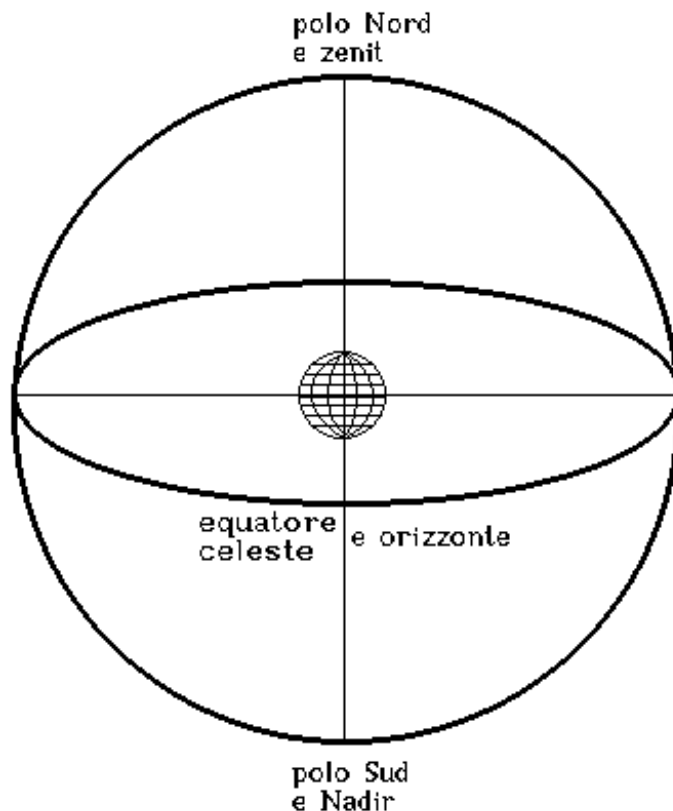


Figura 1.4a

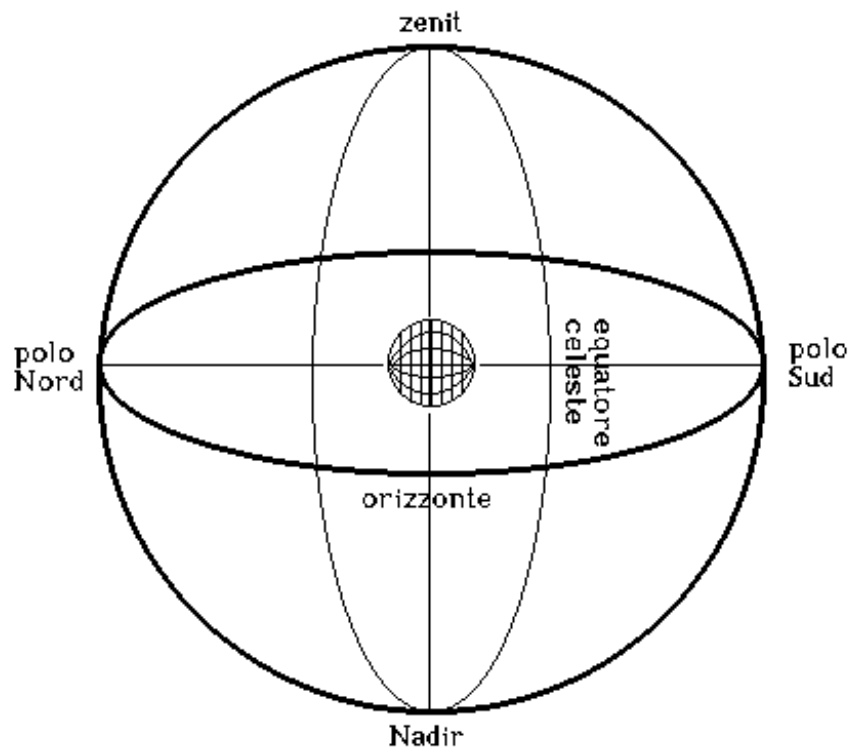


Figura 1.4b

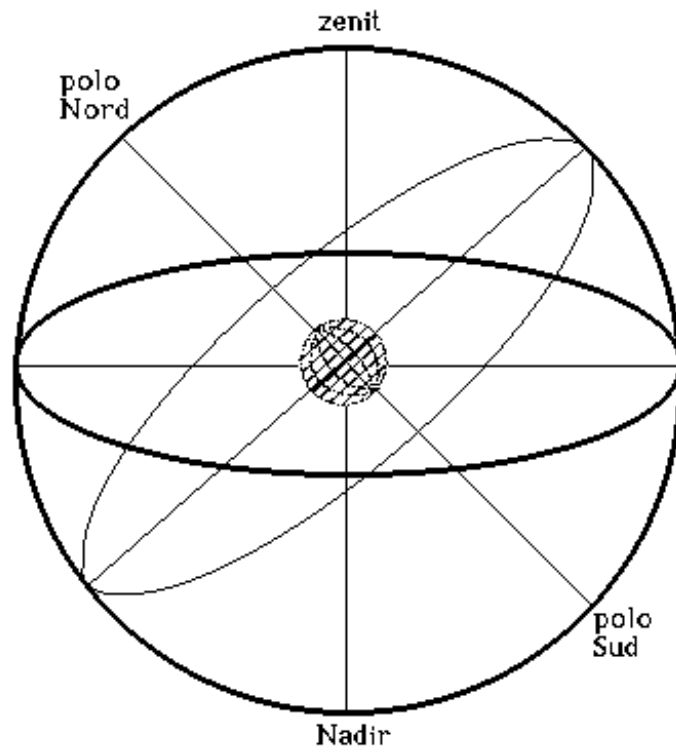


Figura 1.4c

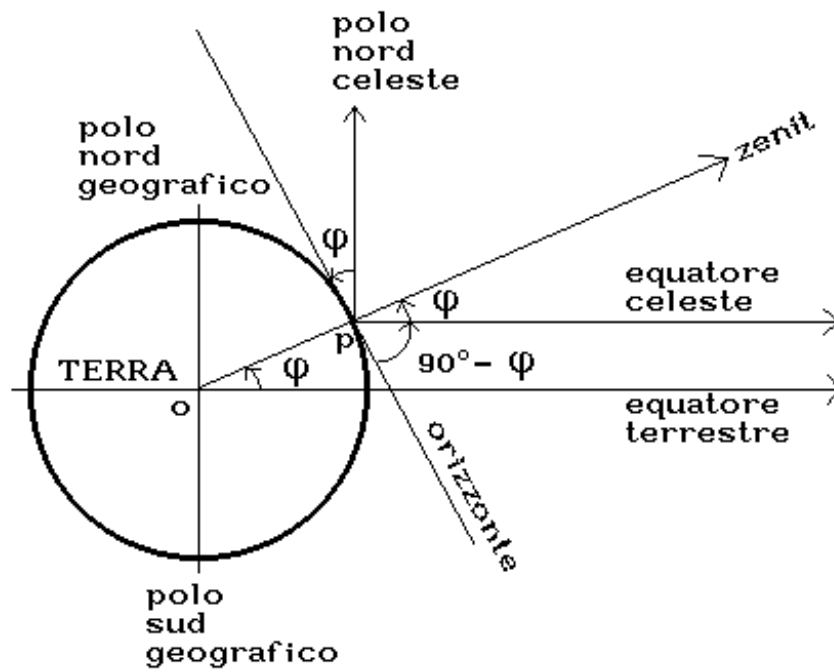


Figura 1.5

Il cerchio massimo contenente i poli celesti, lo zenit ed il nadir prende il nome di *cerchio meridiano* (o anche, semplicemente, *meridiano*). La sua intersezione con l'orizzonte astronomico individua le direzioni Nord e Sud.

La distanza angolare dalla direzione Nord di un punto situato sull'orizzonte prende il nome di *azimut* (indicato con A). Essendo l'azimut contato in senso orario, i punti Est, Sud, Ovest e Nord hanno rispettivamente $A = +90^\circ$, $+180^\circ$, $+270^\circ$ (o anche -90°) e $+360^\circ$ (equivalente a 0°)¹.

L'altezza e l'azimut sono sufficienti a determinare la posizione di un qualsiasi oggetto sulla volta celeste, così come latitudine e longitudine sono sufficienti a determinare la posizione di una qualsiasi località sulla superficie terrestre. Il sistema di riferimento che utilizza altezza e azimut come coordinate è chiamato, senza molta fantasia, *altazimutale* (fig. 1.6).

Si nota subito che, per quanto detto, quello altazimutale è un sistema di riferimento *locale*, cioè l'altezza e l'azimut di un astro cambiano se si cambia il punto di osservazione. Ciò costituisce uno svantaggio, perché le stesse coordinate individuano punti diversi della sfera celeste a seconda della località di osservazione.

¹ Si faccia attenzione poiché questa convenzione è stata introdotta solo di recente in modo da uniformarla con quella geografica. In molti testi astronomici, un azimut di 0° corrisponde ancora al Sud.

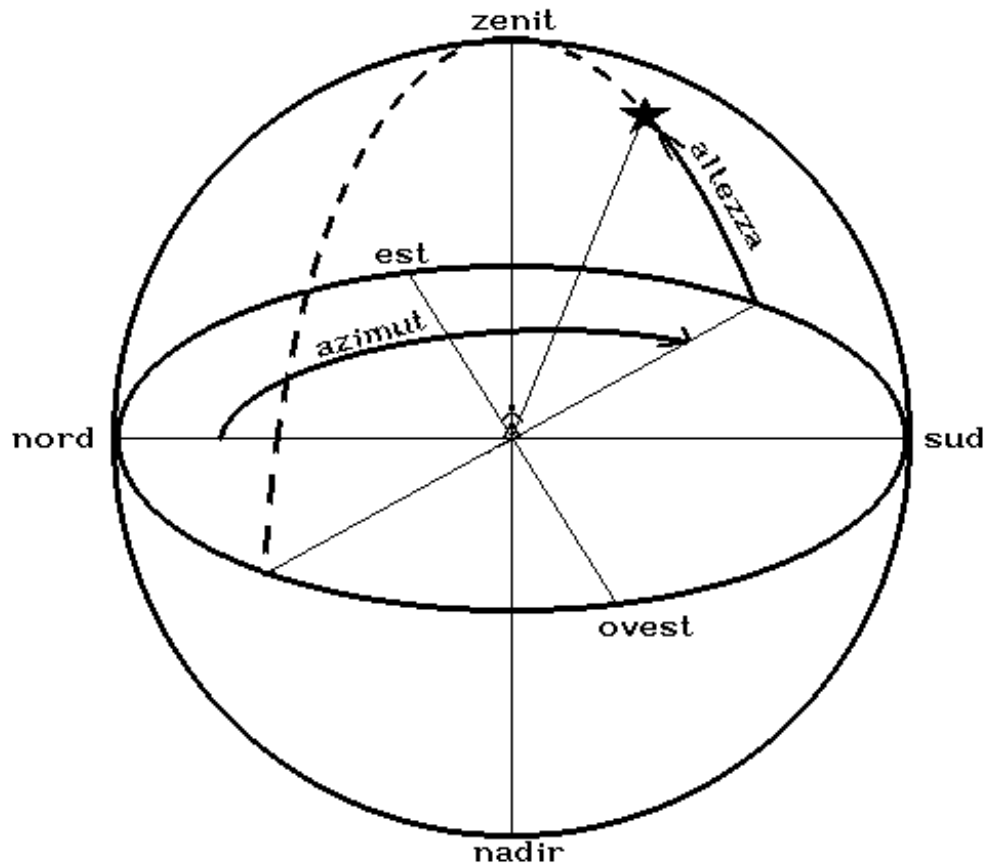


Figura 1.6

Problema 1.6. Dire qual è l'altezza della Stella Polare (considerandola coincidente con il polo Nord celeste) nelle seguenti località: polo Nord, circolo polare artico, Roma (latitudine 42° Nord), tropico del Cancro, equatore, tropico del Capricorno, circolo polare antartico, polo Sud².

Esiste poi un secondo svantaggio del sistema altazimutale: la dipendenza di altezza ed azimut dal tempo, dovuta al moto di rotazione della Terra intorno al suo asse.

Tale moto risulta evidente osservando il movimento apparente del Sole sulla sfera celeste: esso sorge, in un punto situato genericamente verso oriente, culmina – cioè transita al meridiano, attingendo in tale punto la

² Si rammenta che i tropici del Cancro e del Capricorno sono i paralleli sui quali il Sole è allo zenit nei giorni del Solstizio estivo ed invernale rispettivamente; essi hanno latitudine $23^\circ 27'$ N il primo e $23^\circ 27'$ S il secondo. I circoli polari Artico e Antartico sono i paralleli sui quali il Sole ha altezza nulla nei giorni degli Equinozi; essi hanno latitudine $66^\circ 33'$ N il primo e $66^\circ 33'$ S il secondo.

massima altezza della giornata – e tramonta, in un punto situato genericamente verso occidente.

Di notte, allo stesso modo, le stelle sorgono, culminano e tramontano compiendo traiettorie ad arco di cerchio. Riprendendo in esame la fig. 1.4a, un osservatore posto al polo Nord vede tutte le stelle descrivere cerchi paralleli all'orizzonte, senza che nessuna di esse sorga o tramonti mai. Invece, per un osservatore situato all'equatore (fig. 1.4b), le stelle descrivono circonferenze perpendicolari all'orizzonte, rimanendo 12 ore sopra e 12 ore sotto di esso. Infine, un osservatore che si trovi ad una latitudine intermedia (fig. 1.4c) vede le stelle descrivere archi di circonferenza obliqui rispetto all'orizzonte: in particolare, le stelle che distano dal polo Nord di un arco minore della latitudine del luogo non tramontano mai (*stelle circumpolari*); quelle che distano dal polo Sud di un arco minore della latitudine del luogo non sorgono mai; tutte le altre sorgono e tramontano percorrendo sopra l'orizzonte un arco tanto più lungo quanto più sono prossime al polo Nord.

Problema 1.7. Esistono punti della sfera celeste la cui altezza non cambia nel tempo? Ed esistono punti il cui azimut non cambia nel tempo?

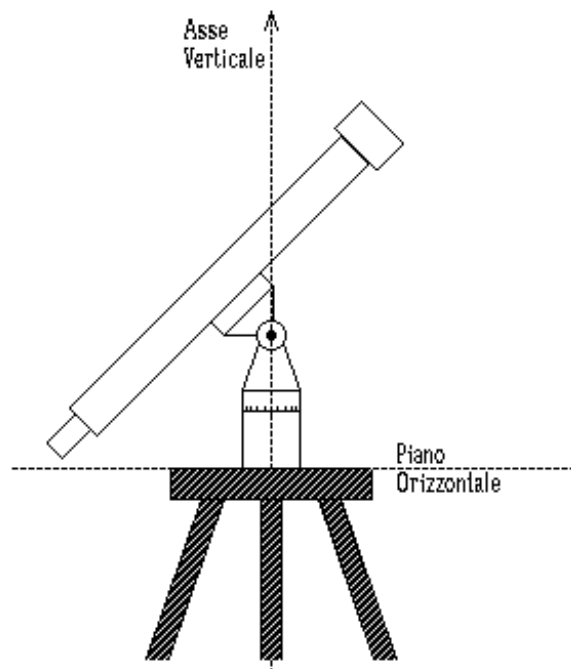


Figura 1.7

Il sistema altazimutale, quindi, sebbene comodo (altezza e azimut possono essere misurate utilizzando strumenti estremamente semplici), non è il più adatto per le osservazioni astronomiche in quanto le sue coordinate sono locali e dipendenti dal tempo. Esso è tuttavia ampiamente utilizzato in altri campi, quali la navigazione aerea, navale e spaziale.

La *montatura* di molti telescopi – ossia il meccanismo che li sostiene e ne consente il puntamento – è realizzata con un sistema che fa uso delle coordinate altazimutali.

La *montatura altazimutale* consiste di una doppia cerniera: l'asse della prima cerniera viene disposto parallelamente alla verticale locale; l'asse della seconda, perpendicolare alla prima, parallelamente al piano orizzontale (fig. 1.7). In tal modo, una rotazione intorno alla prima consente di variare il solo azimut; una rotazione intorno alla seconda la sola altezza. Evidentemente, per mantenere il telescopio puntato sull'oggetto celeste desiderato occorreranno continue correzioni su entrambi gli assi.

1.3 Il Sistema Equatoriale

Il sistema di riferimento equatoriale può essere costruito proiettando sulla sfera celeste il sistema di coordinate geografiche. Si può così tracciare su di essa un reticolo di meridiani e paralleli come sulla superficie terrestre.

Come è noto, il parallelo fondamentale sulla Terra è l'equatore. Il parallelo fondamentale sulla sfera celeste è l'*equatore celeste*, che è la sua proiezione su di essa (fig. 1.3). La distanza angolare di un punto della sfera celeste dall'equatore celeste, misurata su un arco di cerchio massimo ad esso perpendicolare (*cerchio orario*), è detta *declinazione* (indicata con la lettera greca δ), ed è l'analogia della coordinata geografica "latitudine" (fig. 1.8).

Per quel che riguarda l'altra coordinata, che fa le veci della longitudine geografica, occorre definire convenzionalmente un meridiano di riferimento, essendo questi ultimi tutti identici fra loro. Sulla Terra si è scelto arbitrariamente il meridiano di *Greenwich* come meridiano zero; sulla volta celeste il problema è un po' più complesso a causa del moto di rotazione della Terra. Infatti, il meridiano di Greenwich si proietta in cerchi differenti a seconda dell'istante in cui si effettua la proiezione.

Si è scelto allora come meridiano zero della sfera celeste il meridiano passante per il punto d'intersezione tra l'equatore celeste e l'*eclittica*, che è il piano su cui giace l'orbita terrestre. Questo particolare punto fisso (o

quasi tale, come vedremo più avanti) è detto *punto d'Ariete* o anche, impropriamente, *punto gamma*.

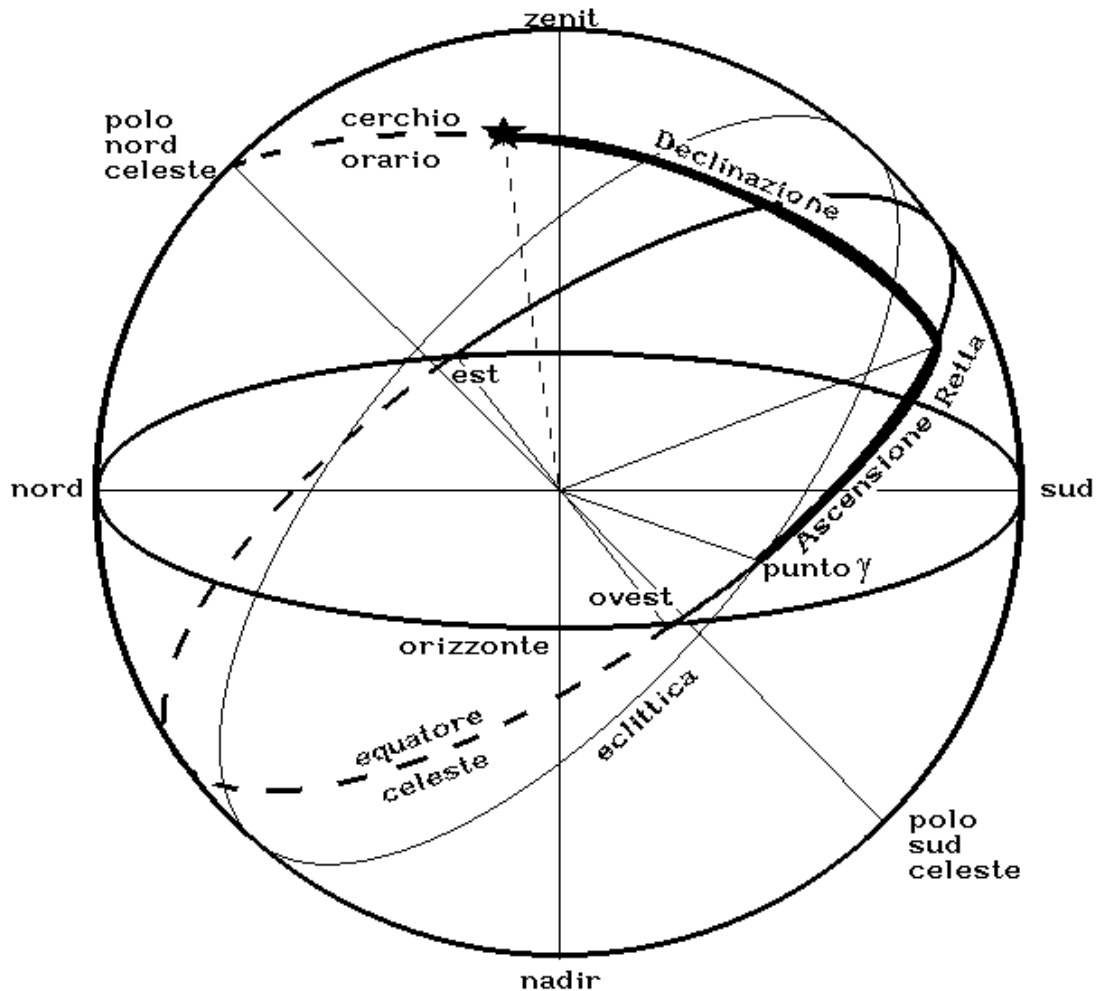


Figura 1.8

La prima denominazione è dovuta al fatto che il Sole transita per quel punto nell'istante dell'equinozio di primavera e fa il suo ingresso nel segno zodiacale dell'Ariete. La seconda è legata alla somiglianza tra la lettera greca gamma (γ) e il simbolo del segno dell'Ariete (♈).

La distanza angolare di un punto situato sull'equatore celeste dal punto d'Ariete, misurata sullo stesso equatore celeste in senso antiorario (da Ovest verso Est), è detta *ascensione retta* (ed indicata con α o A.R.). Per motivi che risulteranno più chiari nel séguito, l'ascensione retta si misura in ore e minuti anziché in gradi, ossia si divide la circonferenza in 24 parti anziché in 360° (v. in proposito l'appendice B).

Sebbene più complesso nella definizione, il sistema equatoriale non presenta gli svantaggi di quello altazimutale. Infatti, al ruotare della sfera celeste, **la declinazione non cambia perché la traiettoria della stella nel suo moto apparente è un arco di cerchio parallelo all'equatore celeste; e nemmeno la sua ascensione retta varia, perché sia la stella che il punto d'Ariete ruotano solidalmente alla sfera celeste.**

Inoltre, **declinazione ed ascensione retta non variano se l'osservatore si sposta da un luogo all'altro della Terra, in quanto per la loro definizione non si sono utilizzati punti o cerchi di riferimento locali.**

Per questi motivi, la montatura più efficiente per un telescopio è quella *equatoriale* (fig. 1.9).

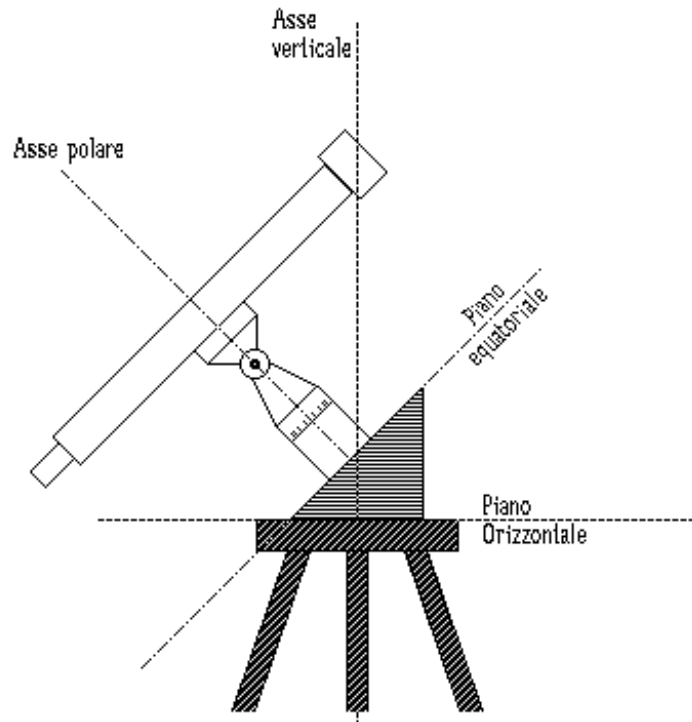


Figura 1.9

In pratica, questa montatura altro non è che una montatura altazimutale ruotata in modo che quello che era l'asse verticale diventi parallelo all'asse polare e quello che era il piano orizzontale si disponga parallelamente al piano equatoriale. Così, una rotazione intorno alla cerniera con asse parallelo all'asse polare provoca una variazione della sola ascensione retta, men-

tre una rotazione intorno all'altra cerniera, avente asse parallelo al piano equatoriale, fa variare la sola declinazione.

La principale difficoltà nell'uso delle coordinate equatoriali è che, una volta note ascensione retta e declinazione di un astro, non se ne può determinare la posizione in cielo a meno che non si sappia dove si trovano l'equatore celeste ed il punto d'Ariete.

Per quel che riguarda l'equatore celeste, utilizziamo la proprietà trovata al paragrafo precedente ed illustrata in fig. 1.5: l'altezza massima dell'equatore celeste è pari al complementare della latitudine del luogo d'osservazione. E' dunque sufficiente individuare le direzioni Nord e Sud (con una bussola o orientandosi con la Stella Polare o con il Sole) e, a partire dall'orizzonte in direzione Sud, misurare un'altezza di 90° meno la latitudine locale (per Roma, $90^\circ - 42^\circ = 48^\circ$).

L'individuazione del punto d'Ariete non è altrettanto semplice, poiché la sua posizione rispetto al meridiano e all'orizzonte cambia in continuazione. Per poter risolvere questo problema occorre esaminare in modo più approfondito i moti della Terra intorno al suo asse ed intorno al Sole.

1.4 Il Tempo Siderale

Quando, per la misura del tempo, usiamo i termini "ore", "minuti" e "secondi", intendiamo riferirci a unità di *Tempo Civile*, o *Tempo Solare Medio*, che è il tempo misurato dai comuni orologi.

Il computo del tempo civile è regolato dal moto apparente del Sole, ossia dal moto della Terra intorno al suo asse polare (detto *rotazione*, e compiuto in un giorno) e intorno al Sole (detto *rivoluzione*, e compiuto in un anno, ossia 365 giorni circa).

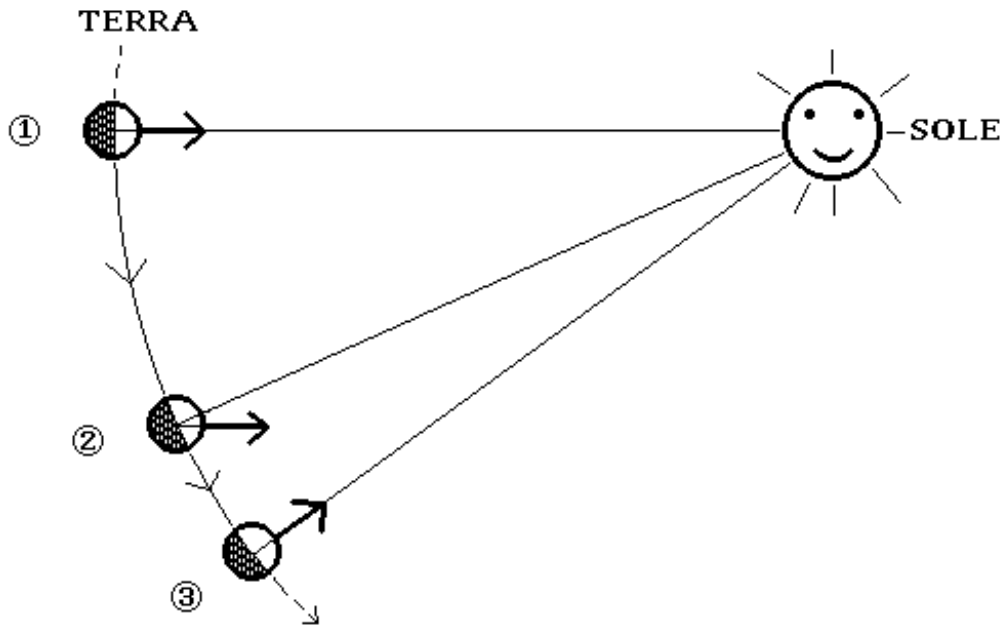


Figura 1.10

Si definisce *giorno solare apparente* l'intervallo di tempo che intercorre tra due successivi transiti del Sole per il meridiano locale (dalla posizione ① alla ③ di fig. 1.10). A causa del suo moto di rivoluzione intorno al Sole, in questo lasso di tempo la Terra compie più di un giro su sé stessa rispetto alle stelle fisse: infatti, la rotazione rispetto a queste ultime si completa in ②, quando la freccia solidale alla Terra è nuovamente orizzontale³.

La Terra compie una rivoluzione completa (360°) intorno al Sole in 365 giorni, e pertanto si muove di $360^\circ/365 \cong 0^\circ,986$ al giorno. Per passare dalla posizione ② alla posizione ③ la Terra dovrà ruotare intorno al suo asse dello stesso angolo, come si deduce dalla fig. 1.10. Poiché la Terra compie una rotazione completa intorno al suo asse in 24 ore, per ruotare di tale angolo impiegherà $(24^h / 360^\circ) \times 0^\circ,986 \cong 3^m 56^s$.

Un *giorno siderale*, costituito da 24 ore siderali, è definito come il tempo che occorre alla Terra per ruotare una volta intorno al suo asse rispetto alle stelle fisse (da ① a ②), il che avviene, per quanto detto, in poco meno di un giorno solare (esattamente in $23^h 56^m 04^s$). In altre parole, trascorso un giorno siderale un osservatore rivedrà sopra la sua testa la stessa metà del cielo.

Problema 1.8. Quanti giri compie la Terra in un anno rispetto alle stelle fisse?

³ Si ricordi che le stelle sono poste a distanza "infinita", e perciò due rette che, da punti diversi, si dirigono verso una di esse, si incontrano all'infinito, ossia sono parallele.

Problema 1.9. Se oggi una stella culmina alle $20^{\text{h}} 00^{\text{m}}$, a che ora culminerà domani? E tra un mese?

Supponiamo ora di disporre di un *orologio siderale*, che segni cioè 24 ore nel tempo in cui la Terra fa un giro su sé stessa. Questo orologio anticipa di $3^{\text{m}} 56^{\text{s}}$ al giorno rispetto ad un comune orologio. Regoliamo poi l'orologio siderale in modo che segni 0^{h} quando il punto d'Ariete passa in meridiano. Il tempo misurato dall'orologio così regolato è chiamato *tempo siderale*.

Con un siffatto orologio possiamo stabilire immediatamente la posizione del punto d'Ariete in ogni istante della giornata. Quando l'orologio segnerà zero ore, il punto d'Ariete sarà nuovamente in meridiano; quando segnerà un certo tempo S , il punto d'Ariete disterà dal meridiano di un arco S (misurato in ore e minuti), il che vuol dire che al meridiano si troveranno gli astri che distano di un arco S dal punto d'Ariete. Ma la distanza di un punto dell'equatore celeste dal punto d'Ariete è proprio l'ascensione retta, e perciò **quando l'ora siderale è S , al meridiano si trovano gli astri di ascensione retta S** . Appare ora evidente il motivo per cui le ascensioni rette si misurano in ore e minuti.

Il problema della determinazione dei punti di riferimento celeste sarebbe così risolto se non fosse per il fatto che non tutti dispongono di un orologio siderale. Fortunatamente, come vedremo nel capitolo successivo, la matematica ci verrà in aiuto.