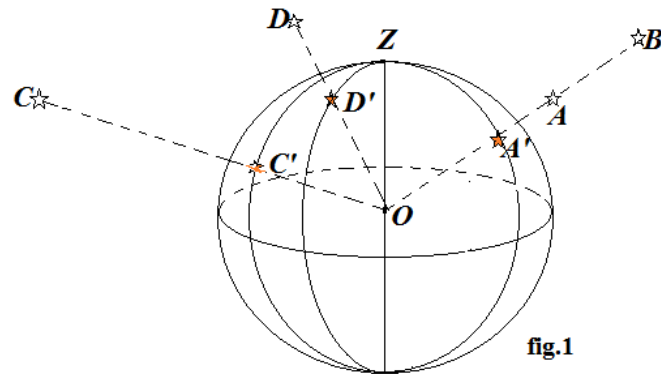


LO ZENIT E LA SFERA CELESTE (di mortola carlo)

Un qualunque osservatore che guardi, di notte, il cielo stellato, vede gli astri visibili come fossero posti tutti alla stessa distanza dal suo occhio, anche se, come è in realtà, essi hanno distanze molto differenti dalla Terra.



Così, in fig.1, l'osservatore O , posto in un certo punto della superficie terrestre, vede:

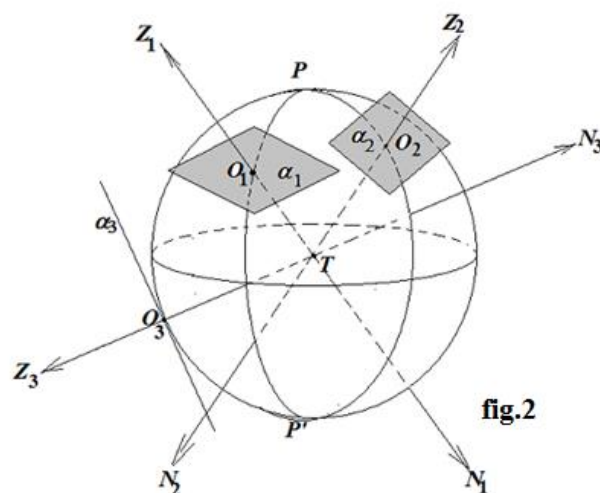
- l'astro A in A' , non potendo vedere l'astro B , coperto da A ;
- l'astro C in C' ;
- l'astro D in D' .

Pertanto non siamo interessati alle distanze delle stelle, ma solo alle loro **direzioni**.

Questa illusione ottica (si sa, infatti, che i limiti di distanza visuale dell'uomo sono dovuti al divario trasversale dei propri occhi e che quindi egli vede la sua massima distanza, in tutte le direzioni, in modo da creare il luogo di ugual distanza che è proprio una superficie sferica) ha suggerito all'uomo di immaginare l'esistenza di una sfera sulla cui superficie siano disseminati tutti i corpi celesti.

Nasce così l'**astronomia sferica**.

Nella fig.2 sono riportati tre osservatori O_1, O_2, O_3 , posti sulla superficie sferica terrestre, a cui corrispondono i propri piani orizzontali $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, le cui verticali segnano le direzioni con verso dei rispettivi **zenit** Z_1, Z_2, Z_3 e dei rispettivi **nadir** N_1, N_2, N_3 (avendo indicato i poli genericamente con P e P' , gli osservatori O_1 e O_2 sono nell'*emisfero boreale* ed O_3 è nell'*emisfero australe* se P è il *polo nord*, è il contrario se P è il *polo sud*) .



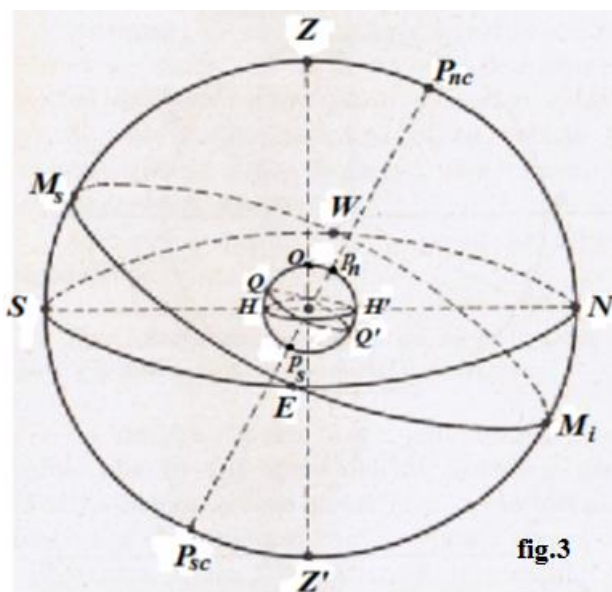
Lo zenit è quindi il punto della superficie sferica celeste in corrispondenza biunivoca con l'osservatore. Essendo la Terra una figura tridimensionale convessa è giustificata la corrispondenza biunivoca prima citata.

Zenit e nadir sono parole che provengono dall'arabo e precisamente :

- *zenit* proviene da AS-SUMUT = DIREZIONE DELLA TESTA
- *nadir* proviene da NAZIR AL-SAMT = corrispondente dello zenit

La **sfera celeste** è quindi una sfera immaginaria avente centro nell'occhio di un osservatore e viene rappresentata con disegni indicativi; solitamente si considera il piano del disegno coincidente col piano meridiano dell'osservatore (in fig.3 il piano del meridiano $P_n Z P_s$).

Allo scopo di spiegare la nascita della sfera celeste, consideriamo per ora quella che ha per centro il centro della Terra (sfera geocentrica),



In fig. 3 sono rappresentate due sfere concentriche, la Terra e la sfera celeste (di raggio arbitrario); gli elementi geografici della Terra determinano gli elementi astronomici sulla sfera celeste:

- l'osservatore O determina lo zenit Z ,
- l'equatore terrestre QQ' determina l'equatore celeste $M_s M_i$,
- l'orizzonte HH' determina l'orizzonte vero od astronomico SN ,
- il meridiano $p_n Op_s$ dell'osservatore individua il meridiano celeste $P_nc Z P_sc$ detto meridiano superiore dell'osservatore.

Come si rileva, gli elementi astronomici della sfera celeste sono proiezioni degli elementi geografici della sfera terrestre; così che, essendo l'arco QO uguale alla latitudine φ dell'osservatore, anche l'arco $M_s Z$ è uguale alla latitudine φ (il nadir, nelle figure che rappresentano sfere celesti, è uso indicarlo con la lettera Z' perché la lettera N esprime il punto cardine nord).

Le precedenti considerazioni ci consentono di considerare la Terra puntiforme, ed in tale punto sia posto l'osservatore.

Queste figure sono dette *proiezioni scenografiche*; in esse non si possono fissare o rilevare ampiezze di archi (o angoli), con le rispettive reali misure, tranne quelle che si misurano sul circolo meridiano (declinazione δ , distanza polare p , altezza h , distanza zenitale z , latitudine φ , colatitudine c).

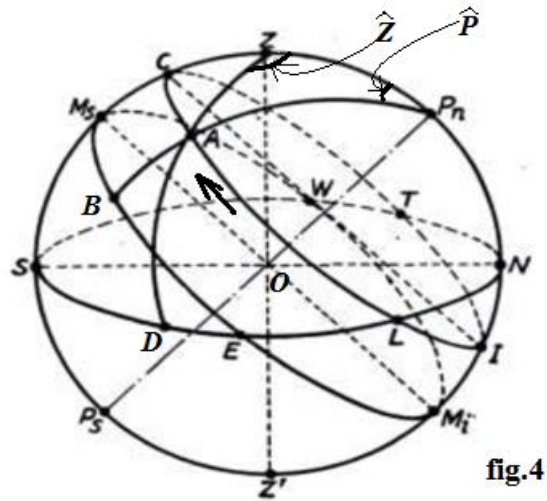


fig.4

Nella fig.4, è:

- l'osservatore O posto al centro della sfera,
- Z lo zenit,
- P_n il *polo elevato*; ciò significa che l'osservatore è posto ad una latitudine φ di nome nord, ovvero è situato in un punto dell'emisfero boreale; come abbiamo detto, è $\varphi = M_s Z$, per cui, per una nota proprietà geometrica, è: $NP_n = \varphi$, ovvero l'altezza del polo elevato è uguale alla latitudine dell'osservatore. Questa considerazione fa capire come, anche anticamente, il navigante potesse avere informazioni sulla propria latitudine, misurando l'altezza della stella Polare, essendo quest'ultima molto prossima al polo nord.
- $M_s E M_i W$ l'*equatore celeste*; M_s è detto *mezzo cielo superiore* ed è il punto di intersezione tra il meridiano superiore $P_n Z P_s$ dell'osservatore con l'equatore celeste.

Alcune volte si usa una proiezione detta proiezione detta **ortografica meridiana**, la quale si ottiene considerando il punto di vista all'infinito sul prolungamento del diametro $EST-OVEST$.

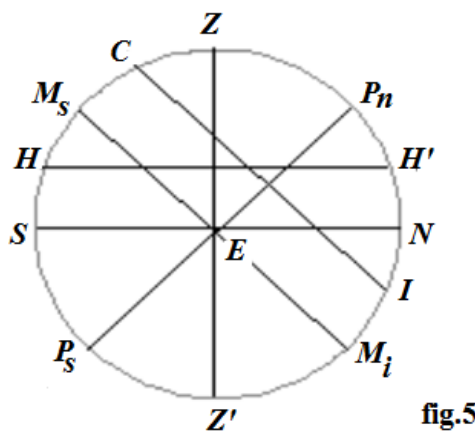


fig.5

In essa si ha:

- Il meridiano dell'osservatore è rappresentato fedelmente da una circonferenza, come nella proiezione scenografica;

- L'orizzonte vero (SN), l'equatore celeste ($MsMi$), il primo orario ($PnPs$), il primo verticale (ZZ') sono rappresentati da diametri del circolo meridiano dell'osservatore, perché sono cerchi massimi normali al piano meridiano dell'osservatore che è il piano di proiezione;
- Gli almicanarat (HH') e i paralleli di declinazione (CI) sono rappresentati da corde del circolo meridiano. (gli almicanarat sono cerchi paralleli all'orizzonte, gli analoghi dei paralleli sulla Terra che, come tutti sanno, sono cerchi paralleli all'equatore terrestre; anche la parola almicanarat è una parola proveniente dall'arabo e precisamente da *al-muqantarāt = ponte ad arco*).

Ora scriviamo alcune considerazioni sullo zenit

Lo zenit è il punto che si determina sulla superficie celeste creato dalla perpendicolare che passa per l'osservatore, ovvero: tracciando, dalla tua posizione, la perpendicolare al piano orizzontale; lo zenit è il punto di intersezione di questa perpendicolare con la superficie sferica celeste, sopra la tua testa.

Pertanto il Sole si può vedere allo zenit solo in certe zone della Terra, in determinati orari di particolari giorni dell'anno, e precisamente:

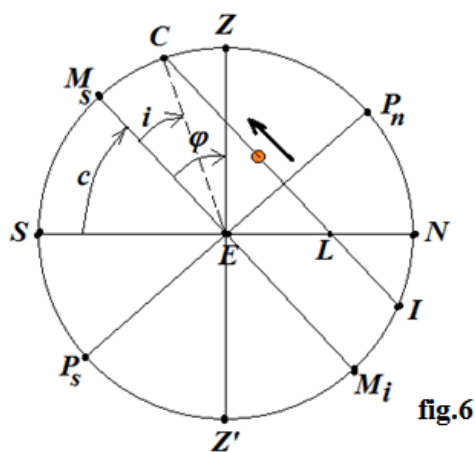
- qualunque osservatore posto in un punto del Tropico del Cancro, nel giorno del solstizio d'estate (21 giugno), a mezzogiorno locale, ha il Sole al suo zenit;
 - qualunque osservatore posto in un punto del Tropico del Capricorno, nel giorno del solstizio d'inverno (21 dicembre), a mezzogiorno locale, ha il Sole al suo zenit;
 - qualunque osservatore posto in un punto dell'equatore, nel giorno dell'equinozio di primavera (21 marzo) e dell'equinozio d'autunno (22 o 23 settembre), a mezzogiorno locale, ha il Sole al suo zenit;
- potendo immaginare che, teoricamente, un osservatore si possa trovare in un punto qualunque della Terra, allora parliamo di punti al posto di osservatori, possiamo dire:
- il Sole si trova allo zenit una volta all'anno in tutti i punti dei tropici e due volte all'anno in tutti i punti posti nella fascia intertropicale;
 - il Sole non si può mai trovare allo zenit in tutti i punti al di fuori della fascia intertropicale.

Osservazione 1. Nei punti in cui i raggi del Sole cadono perpendicolarmente sul piano orizzontale, al mezzogiorno locale, un gnomone non forma nessuna ombra, infatti l'altezza del Sole è 90° .

Osservazione 2. Come fare a determinare la massima altezza e la minima altezza del Sole in un punto qualunque punto al di fuori della fascia intertropicale?

Vedrai che l'altezza di un astro sull'orizzonte dipende da due coordinate: una della Terra ed è la latitudine dell'osservatore e l'altra dell'astro ed è la sua declinazione.

Considero per esempio la città di Camogli, mia città natale e di residenza, al mezzogiorno del solstizio d'estate 21 giugno (la *declinazione* del Sole, in questo giorno è $\delta = 23^\circ 27' N$; ricordiamo che la declinazione di un astro è la distanza sferica dell'astro dall'equatore celeste, ovvero è l'arco di meridiano celeste compreso tra l'equatore celeste e l'astro, contato da 0° a 90° con nome nord se l'astro è nell'emisfero boreale, con nome sud se l'astro è nell'emisfero australe. La *declinazione* è una delle *coordinate locali orarie*, ma anche del sistema *uranografico equatoriale*, assieme all'*ascensione retta*)



Nella fig.6 la corda IC rappresenta la traccia del parallelo di declinazione percorso, apparentemente, dal Sole, in quel giorno (nella figura è: L l'istante del sorgere; C l'istante della culminazione superiore che avviene a mezzogiorno locale, la freccia indica il senso di percorrenza apparente del Sole; la declinazione δ del Sole, sempre in quel giorno, è uguale all'angolo i ; le coordinate geografiche di Camogli sono riferite al campanile della basilica della città e precisamente $\varphi = 44^{\circ}20'59,69''N$, $\lambda = 09^{\circ}09,26'$ East of Greenwich); per semplicità di calcolo considero $\varphi = 44^{\circ}21'N$:

- la massima altezza del Sole, il 21 giugno, solstizio d'estate

$$h_M = SC = SM + M_sC = (90^{\circ} - 44^{\circ}21') + 23^{\circ}27' = 69^{\circ}06'$$

In modo analogo (lascio al lettore il piacere di fare la figura idonea), si ottiene:

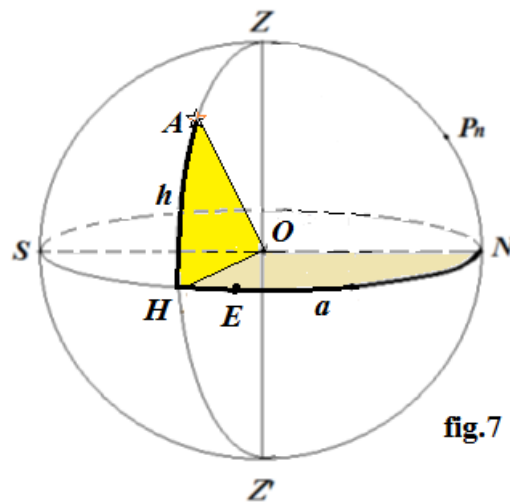
- la minima altezza del Sole, il 21 dicembre, solstizio d'inverno

$$h_M = SC = SM - MC = (90^{\circ} - 44^{\circ}21') - 23^{\circ}27' = 22^{\circ}12'$$

Osservazione. L'asse terrestre forma con la perpendicolare al piano dell'eclittica un angolo i detto *inclinazione* dell'eclittica sull'equatore celeste: questa inclinazione, associata al moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole, determina le stagioni astronomiche. L'inclinazione i non è costante, ma varia con periodo di 41000 anni da un valore minimo di circa $22^{\circ}30'$ ad un valore massimo di circa $24^{\circ}30'$. Dalle effemeridi del 2013 rileviamo che la declinazione del Sole, il 21 giugno è $23^{\circ}26.1'$, quindi l'angolo i , attualmente, è in fase di diminuzione.

Osservazione. E' probabile che lo studente, nell'uso giornaliero delle *effemeridi nautiche*, indispensabili per la soluzione di problemi di navigazione astronomica nautica, non abbia rilevato questo fatto e perseveri a ripetere il numero $23^{\circ}27'$, riportato sui libri di testo.

Nella fig.7 sono riportate le coordinate sferiche altazimutali ortogonali (*azimut* = NH ed *altezza* = HA) che un osservatore in latitudine nord di ampiezza NP_n può misurare, al crepuscolo mattutino o al crepuscolo vespertino, dell'astro A .



Perché ho citato i crepuscoli? La risposta è da attribuirsi al fatto che l'altezza dell'astro A , indicata, sulla superficie sferica celeste, dall'arco di HA di circolo massimo, altro non è che l'angolo HOA che l'osservatore O misura con uno strumento misuratore di angoli (per esempio il sestante).

Per fare questa misura devono essere simultaneamente visibili l'astro e l'orizzonte; è proprio durante l'intervallo del *crepuscolo nautico* che ciò si verifica.

Osservazione 1:

- il *crepuscolo nautico mattutino* è l'intervallo di tempo in cui il Sole passa dall'altezza di -12° all'altezza di -6° , perché dopo si vede l'orizzonte, ma non più le stelle;
- il *crepuscolo nautico vespertino* è l'intervallo di tempo in cui il Sole passa dall'altezza di -6° all'altezza di -12° , perché dopo si vedono le stelle, ma non più l'orizzonte.

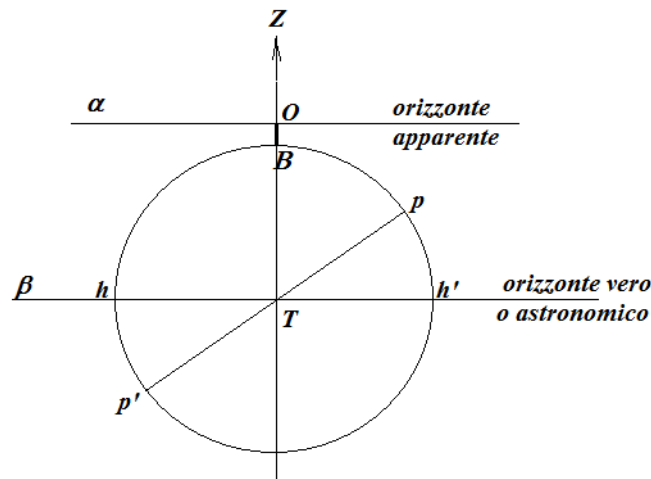
Osservazione 2:

- si può misurare l'altezza di un astro anche tra la fine del crepuscolo vespertino e l'inizio del successivo crepuscolo mattutino se si dispone di un sestante con orizzonte artificiale (munito di bolla alla stregua delle livelle),
- si può misurare l'altezza di un astro anche durante i periodi di *Luna piena* purché la luce del nostro satellite consenta di vedere con una certa chiarezza l'orizzonte.

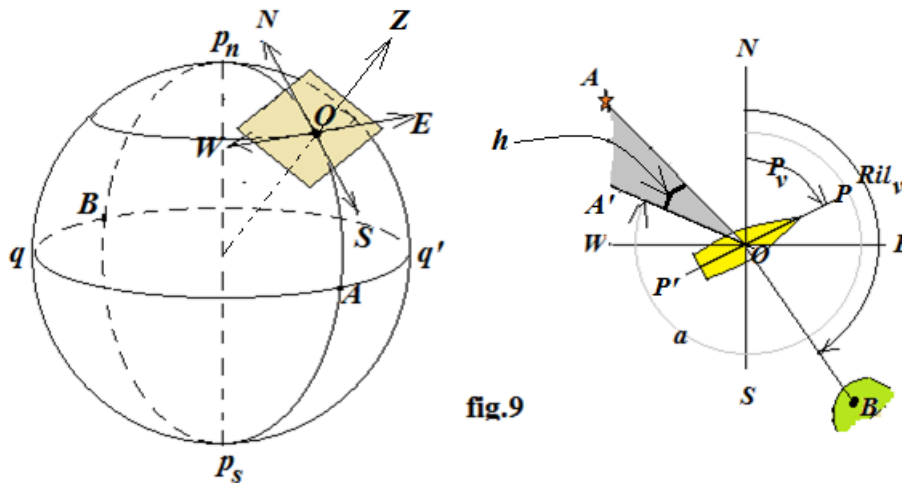
Osservazione 3.

Anche la parola *azimut* proviene dall'arabo e precisamente dalla parola *AS-SUMUT* che significa *DIREZIONI*.

A tale proposito riporto, in proiezione ortografica, l'osservatore il cui occhio è elevato dal piano tangente alla superficie terrestre nel punto B (questo piano, non segnato in figura, è la superficie del mare se si considera che l'osservatore sia un ufficiale di coperta sull'aletta del ponte di comando)



Nella figura di sinistra della fig.9, in forma tridimensionale, rappresento il piano orizzontale dell'osservatore O , la cui elevazione BO , per comodità di disegno, è nulla.



Nella figura di destra, rappresento il piano orizzontale dell'osservatore O , che posto su di una nave, misura i seguenti angoli:

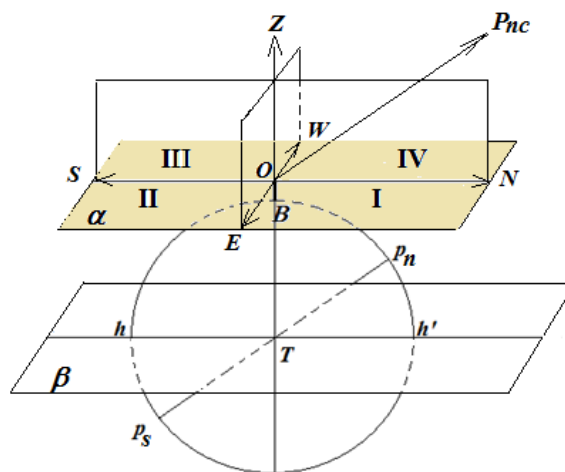
1. $N\hat{O}P$
2. $N\hat{O}B$
3. $N\hat{O}A'$

Essi sono tutti azimut, ma attenzione perché i primi due assumono nomi specifici; come dire parole riservate, e precisamente:

1. in navigazione è necessario conoscere la direzione e verso della prua della nave; questa direzione è definita come la retta di intersezione del piano longitudinale (unico piano di simmetria dello scafo dal punto di vista strutturale) col piano orizzontale del *cerchio azimutale* della *bussola*. L'angolo che tale retta, nel senso che va dalla poppa alla prua, forma colla direzione del nord geografico (o nord vero), prende il nome di *prora vera circolare*, pertanto l'angolo, in fig.9, $N\hat{O}P$ è la *prora vera* di quella nave e si indica con P_v (attenzione: una nave ha sempre una *prora vera*, anche quando è ormeggiata. In navigazione, in assenza di effetti perturbatori come correnti e venti, la *prora vera* coincide con la *rotta*)
2. si dice *rilevamento vero* di un oggetto cospicuo della costa l'angolo formato dalla direzione del nord geografico ed il piano verticale contenete la visuale diretta all'oggetto rilevato; in figura l'angolo $N\hat{O}B$ misura il *rilevamento vero circolare* dell'oggetto B e si indica con

Rlv. La semiretta di rilevamento è quindi un luogo di posizione e precisamente è un *luogo di ugual azimuth*.

Nella seguente figura viene evidenziato il piano meridiano π dell'osservatore, individuato dalle semirette OZ e OP_{nc} ; questo piano interseca il piano dell'orizzonte apparente nella retta SN , detta *linea meridiana* o *linea nord-sud*.



L'osservatore se si sposta (istantaneamente) secondo la semiretta ON , si avvicina al Polo Nord e viceversa, se si sposta secondo la semiretta OS , si avvicina al Polo Sud. Pertanto se l'osservatore mantiene una delle due precedenti direzioni, percorre il meridiano di partenza.

Pure la retta EW è formata da due semirette OE e OW che individuano rispettivamente le direzioni (più giusto sarebbe dire i versi) dell'*EST* e dell'*OVEST*. Così se l'osservatore mantiene una delle due precedenti direzioni, percorre il parallelo di partenza.

Tutte le altre direzioni secondo cui può spostarsi l'osservatore sono intermedie alle direzioni precedentemente definite, le quali sono dette *direzioni cardinali*.

Infatti qualunque direzione è riferita ad una o più direzioni cardinali, per esempio:

- la direzione circolare 120° può essere espressa anche in forma quadrantale $S(180^\circ - 120^\circ)E = S60^\circ E$;
- la direzione circolare 315° può essere espressa anche $N(360^\circ - 45^\circ)W = N45^\circ W$ oppure con la notazione *NW*;
- la direzione circolare $202^\circ 30'$ può essere espressa anche $S(202^\circ 30' - 180^\circ)W = S22^\circ 30' W$ oppure con la notazione *SSW*.

Per quanto riguarda i vari sistemi di coordinate astronomiche locali ed uranografiche, rimando il lettore ad approfondire l'argomento ad un buon libro di astronomia nautica.

Riporto comunque, in riferimento alla fig.4, la terminologia di alcuni elementi della sfera celeste; in essa ho considerato un astro A che percorre, in un *giorno* (giorno dell'astro), il parallelo di declinazione $M_s C$; in particolare l'astro A sorge in L , raggiunge la sua massima altezza in C (culminazione superiore), tramonta in T e raggiunge la sua minima altezza in I (culminazione inferiore), pertanto l'arco LCT costituisce il *di* dell'astro mentre l'arco TIL costituisce la *notte*.

Ovviamente l'astro A , percorrendo il parallelo di declinazione $LCTI$, cambia continuamente posizione e quindi anche le sue coordinate; in qualunque posizione si trovi si forma un triangolo sferico (detto di posizione) i cui vertici sono lo *zenit*, il *polo elevato* e l'*astro*.

Allora, in quell'istante, l'astro ha le seguenti coordinate locali (dette così perché dipendono dalla posizione dell'osservatore, in contrapposizioni alle coordinate assolute dell'astro, dette uranografiche):

- **coordinate altazimutali:**

- a) **ortogonali:** 1) *altezza* $h = DA$ ovvero è la distanza sferica dell'astro dall'orizzonte vero, contata da 0° a 90° , positivamente verso lo zenit (astri visibili), negativamente verso il nadir (astri invisibili);
 2) *azimut* $a = ND$ ovvero l'arco di orizzonte compreso tra il punto cardine nord e il piede del verticale dell'astro, contato in senso orario da 0° a 360°
- b) **polari:** 1) *distanza zenitale* $z = ZA$, ovvero la distanza sferica dell'astro dallo zenit, contata da 0° a 180° , a partire dallo zenit (per astri visibili è $z \leq 90^\circ$)
 2) *angolo azimutale* $\widehat{Z} = A\widehat{Z}P_n$ ovvero l'angolo sferico compreso tra i verticali del polo elevato e dell'astro, con prefisso il nome della latitudine dell'osservatore e con suffisso *E* od *W* secondo che l'astro è ad est o ad ovest del meridiano dell'osservatore.

- **coordinate orarie:**

- a) **ortogonali:** 1) *declinazione* $\delta = BA$ ovvero è la distanza sferica dell'astro dall'equatore celeste, contata da 0° a 90° dall'equatore verso i poli; ha suffisso *N* o *S* a seconda che l'astro sia nell'emisfero nord o nell'emisfero sud;
 2) *tempo dell'astro* $t = M_s WM_i EB$ ovvero l'arco di equatore compreso tra il mezzo cielo superiore M_s e l'orario (meridiano) dell'astro, misurato in senso orario, da 0° a 360° per un ipotetico osservatore che guardi l'equatore dal polo nord.
- b) **polari:** 1) *distanza polare* $p = P_n A$, ovvero la distanza sferica dell'astro dal polo elevato contata da 0° a 180° , a partire dal polo elevato
 2) *angolo al polo* $\widehat{P} = Z\widehat{P}_n A$ ovvero l'angolo sferico compreso tra i meridiani superiore dell'osservatore e dell'astro, con suffisso *E* od *W* secondo che l'astro è ad est o ad ovest del meridiano dell'osservatore.

Dopo aver letto e meditato su questo argomento così affascinante, il lettore potrà apprezzare la seguente tabella.

Tabella riassuntiva delle coordinate sulla sfera celeste

sistemi di coordinate	coordinate	simbolo	dove si misura	origine della misura	senso della misura	dove termina la misura	limiti della misura	NOTE
uranografiche equatoriali	ascensione retta	α	equatore	punto γ	antiorario	piede dell'orario dell'astro	$0^\circ \dots 360^\circ$	(*) $\text{co}\alpha = 360^\circ - \alpha$ $P = 90^\circ - (\pm \delta)$ + se φ e δ sono omonime - se φ e δ sono eteronime
	declinazione	δ	orario dell'astro	equatore	+ verso P_N - verso P_S	centro dell'astro	$0^\circ \dots 90^\circ$	
	distanza polare	p	orario dell'astro	polo elevato	verso il polo depresso	centro dell'astro	$0^\circ \dots 180^\circ$	
locali orarie	angolo orario	t (T)	equatore	meridiano superiore (M_s)	orario per un osservatore che dal polo nord guardi l'equatore	piede dell'orario dell'astro	$0^\circ \dots 360^\circ$	$\hat{P}_W = t$ se $t < 180^\circ$ $\hat{P}_E = 360^\circ - t$ se $t > 180^\circ$
	angolo al polo	\hat{P}	equatore	meridiano superiore	verso E o verso W rispetto al meridiano dell'osservatore	piede dell'orario dell'astro	$0^\circ \dots 180^\circ$	
locali altazimutali	altezza	h	verticale dell'astro	orizzonte	verso lo zenit	centro dell'astro	$0^\circ \dots 90^\circ$	$z = 90^\circ - h$
	distanza zenitale	z	verticale dell'astro	zenit	verso l'orizzonte	centro dell'astro	$0^\circ \dots 90^\circ$	
	azimut	a	orizzonte	punto cardine N	orario (NESW)	piede del verticale dell'astro	$0^\circ \dots 360^\circ$	annotazione (**)
	angolo azimutale	\hat{Z}	orizzonte	cardine omonimo φ osservatore	verso E o W a seconda emisfero appartenenza astro	piede del verticale dell'astro	$0^\circ \dots 180^\circ$	
	amplitudine ortiva od occasa	$ampl$	orizzonte	punto cardine E od W	verso N o S, come nome della δ dell'astro	piede del verticale dell'astro	$0^\circ \dots 90^\circ$	

(*) $\text{co}\alpha$ si dice **coascensione retta** o **ascensione versa** ed è l'esplemento dell'ascensione retta α .

(**)

φ NORD $a < 180^\circ \Rightarrow \hat{Z} = N a E$ $a > 180^\circ \Rightarrow \hat{Z} = N (360^\circ - a) W$		φ SUD $a < 180^\circ \Rightarrow \hat{Z} = S (180^\circ - a) E$ $a > 180^\circ \Rightarrow \hat{Z} = S (a - 180^\circ) W$
---	--	--

Termino queste mie proposte di lettura con una parte di storia riguardante la dimensione del nostro pianeta.

Premetto che negli anni di permanenza a Napoli, seguendo le lezioni della facoltà di Scienze Nautiche all'Università Navale ho avuto la fortuna nonché il piacere di essere istruito da docenti di fama mondiale quali Simeon, Fichera, Nicolini, Fresa, e ... Tra le tantissime

memorie, grandi sono le testimonianze del Prof. Alfonso Fresa (mio professore di “astronomia geodetica”) di cui riporto alcuni tratti della sua “vulcanica” e meravigliosa attività di ricercatore scientifico:

Alfonso Fresa di Nocera Inferiore (1901- 1985). Laureato presso l'Istituto Navale di Napoli, fu direttore dell'**Osservatorio di Capodimonte** fino al 1966, anno del suo pensionamento. Studioso della cartografia e della fisica lunare. Il suo libro “**La luna**”, stampato dalla casa editrice Hoepli di Milano nel 1952, ancora oggi famoso tra gli appassionati, gli fruttò grande popolarità e stima nel mondo scientifico-accademico.

A lui si deve la conoscenza “**scientifica**”

- degli effetti delle maree sul movimento di rotazione della Terra, sui terremoti, sulle eruzioni vulcaniche e sul magnetismo terrestre.
- delle influenze lunari sull'agricoltura: taglio degli alberi, potatura delle piante, epoche di semina,

Alfonso Fresa fu anche presidente della International Lunar Association che, nel 1974, per i meriti acquisiti gli dedicò un cratere lunare.

Altro suo campo d'interesse fu anche l'archeologia, passione che coltivò insieme al fratello Don Matteo, così che poté apportare anche contributi alla storia

E, proprio a questo riguardo rievoco, durante una delle sue lezioni (tutte belle ed avvincenti e nel più assoluto rispetto del rigore scientifico) l'originale modo di misura, per la prima volta in assoluto, della misura della lunghezza del circolo meridiano terrestre.

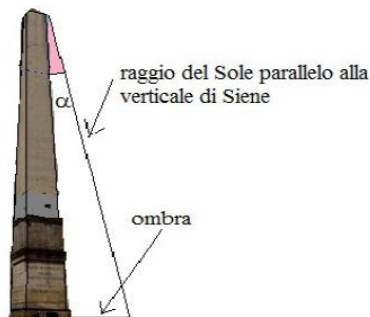
Per quanto possa rammentare, a distanza di circa 50 anni, rievoco quanto segue.

Eratostene (contemporaneo di Archimede), matematico ed astronomo greco, nasce a Cirene nel 275

(o 276) a.C. (pare che si sia ucciso a causa della cecità che lo colpì).

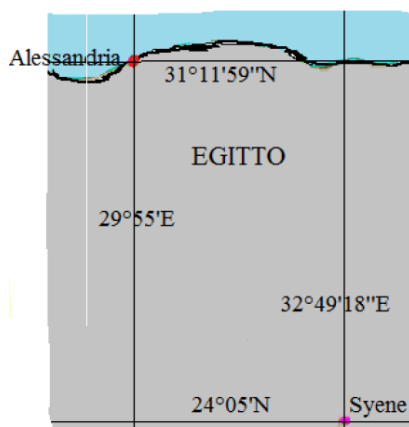
La sua celebrità è dovuta maggiormente al calcolo, con buona approssimazione, della lunghezza della circonferenza massima della Terra, diciamo del circolo meridiano terrestre.

Nel giorno del solstizio d'estate misurò l'angolo α che la parallela alla verticale di Syene, passante per il punto più alto dell'obelisco di Alessandria d'Egitto, formava con l'obelisco stesso, ovviamente servendosi delle ombre (vedi figura)



L'obelisco' alto 25.5 metri, trasportato da Alessandria a Roma nel 37 e collocato sulla spina (muro di mattoni che divideva, a forma di spina dorsale, il circo romano, alle estremità delle quali vi erano tre colonne a conformazione di cono attorno cui giravano i carri) del circo di Nerone, è oggi l'unico obelisco antico di Roma che non sia mai caduto ed è posto al centro della piazza di San Pietro, in Vaticano, dal 19 settembre 1586.

Eratostene aveva dimora a Syene (attuale Aswan) che è situata a circa 800 Km a sud, e leggermente spostata verso est, di Alessandria, dove lavorava come bibliotecario.



Un giorno, in riposo nella sua proprietà, come di consueto lasciava cadere dei sassolini nel pozzo del cortile della sua casa e si divertiva ad ascoltare il tonfo nell'acqua che, sia per la profondità del pozzo stesso che per la mancanza di luce non aveva mai visto.

Ma, “ quel giorno”, affacciandosi al bordo del pozzo, per la prima volta vide l'acqua.

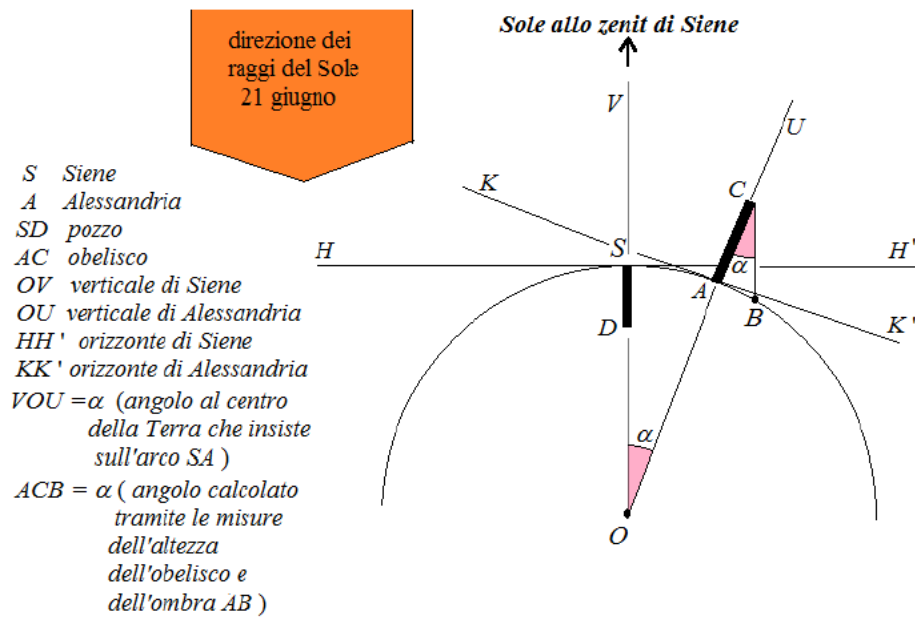
Ciò avveniva perché era mezzogiorno del 21 luglio (declinazione del Sole = $23^{\circ} 27' N$), ed essendo Syene posizionata pressoché sul Tropic del Cancro (latitudine di Syene = $24^{\circ} 05' N$) i raggi del Sole, a mezzogiorno di “quel giorno” cadono perpendicolarmente sul suo piano orizzontale.

Ma, la nostra stella è molto lontana dalla Terra (circa centocinquanta milioni di chilometri),

allora i suoi raggi arrivano sul nostro pianeta in formazione di fasci paralleli.

Eratostene decise, nel ritorno ad Alessandria, di misurare (a giorni di Cammello) la distanza Syene-Alessandria ed il 21 luglio dell'anno successivo, a mezzogiorno in punto, l'angolo α .

Dalla seguente figura, tenuto conto della proprietà degli angoli alterni interni formati da due rette parallele tagliate da una trasversale, risulterà facile il procedimento seguito da Eratostene, riportato subito di seguito alla figura, per il calcolo della lunghezza del meridiano terrestre



$$\text{lunghezza circolo meridiano} : \text{angolo giro} = \text{distanza Siene-Alessandria} : \frac{1}{50} \text{ angolo giro}$$

$$\text{lunghezza circolo meridiano} = 50 \text{ volte la distanza Siene-Alessandria} \quad \text{ovvero}$$

$$\text{lunghezza circolo meridiano} = (50 \cdot 5000) \text{ stadi} = 250000 \text{ stadi}$$

$$\text{lunghezza circolo meridiano} = (250000 \cdot 157.5) \text{ metri} = 39375 \text{ chilometri}$$

Alcune doverose precisazioni:

- Pare che non vi fosse una misura unica, ben stabilita, dello stadio (unità di misura di lunghezza di quei tempi), e che questa, espressa in metri variasse tra i 155 m e i 210 m. Si suppone che Eratostene avesse usato uno stadio equivalente a 157.5 m, e, tra Syene ed Alessandria (a giorni di cammello) ne misurò ben 5000.
L'anno successivo, nello stesso giorno 21 luglio, a mezzogiorno, misurava l'angolo α che risultò pari ad un cinquantesimo dell'angolo giro.
Tutto ciò giustifica il calcolo precedentemente riportato.
- Spesso accade che i geni, nelle loro scoperte, godano di alcune fortunate coincidenze, ed Eratostene non ne fu neppure lui immune, infatti ne usufruì almeno di tre:
 1. le due città coinvolte nel calcolo sono pressoché sullo stesso meridiano,
 2. ad Alessandria vi era un obelisco piuttosto alto che consentì di effettuare una sufficiente accurata misura dell'angolo α ,
 3. era in riposo dagli impegni lavorativi nel giorno del solstizio e proprio a mezzogiorno era sul bordo del pozzo di casa sua da cui lasciava cadere alcuni sassolini (ed ecco che ritorna la circostanza in cui il Sole è, al mezzogiorno locale di Syene, allo zenit.)

