

Progetto Lauree Scientifiche



# Astronomia e Navigazione; Il problema della determinazione della posizione a mare”

Giuliano D'Eredità

Università di Palermo

Dottorato di ricerca in Storia e didattica delle Matematiche, della Fisica e  
della Chimica

# Astronomia e Navigazione

- Da sempre i marinai hanno utilizzato gli astri per orientarsi; l'uso massiccio delle conoscenze astronomiche cominciò nella prima parte del XV secolo con l'inizio delle grandi esplorazioni soprattutto da parte dei portoghesi. Con la scoperta del *Nuovo Mondo* l'orientamento a mare divenne un argomento di fondamentale rilevanza economica, politica e militare; Astronomi, Fisici e matematici vi profusero grandi sforzi.



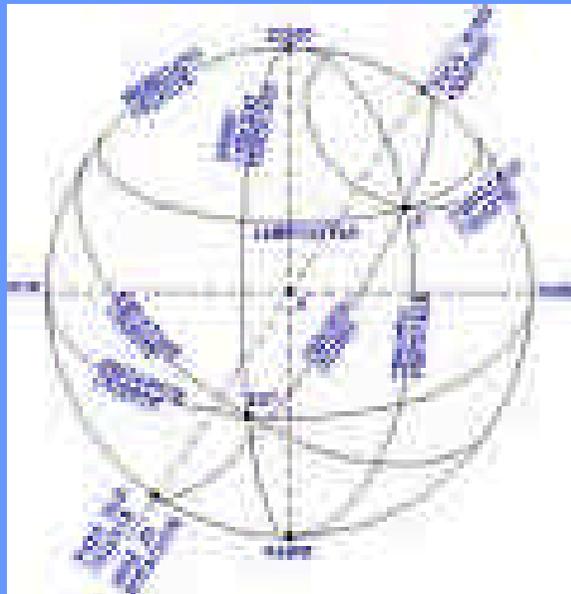
# LATITUDINE E LONGITUDINE

- Per stabilire la posizione di una nave è necessario determinare latitudine e longitudine. Per arrivare ad una soluzione completa del problema passarono diversi secoli
- Il problema della latitudine è un problema relativamente semplice che può essere risolto con il solo ausilio dell'osservazione astronomica



# IL PROBLEMA DELLA LATITUDINE

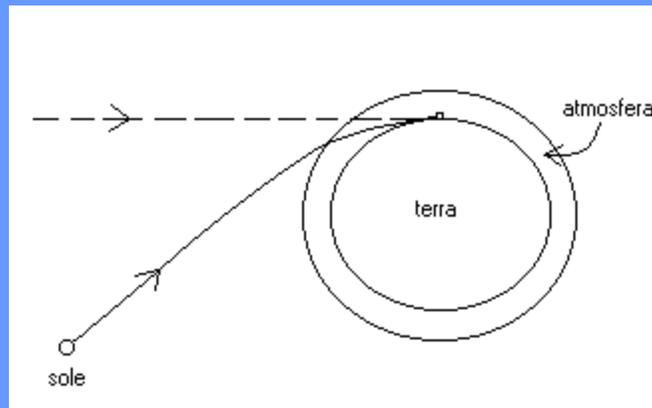
- Se si suppone, per semplicità, che la stella polare coincida con il polo nord celeste (uno dei due punti immaginari dove l'asse terrestre incontra la sfera celeste), la semplice determinazione dell'altezza della polare all'orizzonte fornisce la latitudine del luogo.



# LA STELLA POLARE QUALE RIFERIMENTO PER LA LATITUDINE

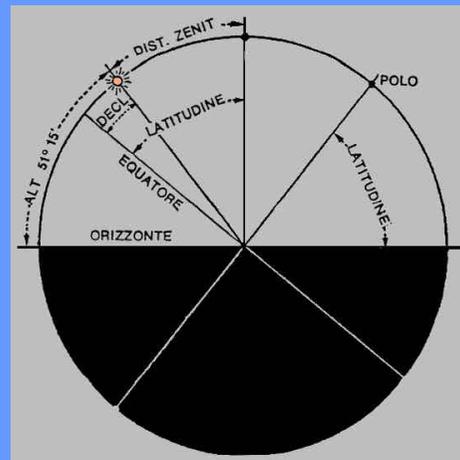
- Questo tipo di osservazione è affetta da errori dovuti a :
  1. La polare non coincide esattamente col polo nord celeste
  2. Per basse latitudini la polare è molto bassa e ciò rende problematica l'osservazione anche per il maggiore effetto della rifrazione atmosferica
  3. Per questa, e per tutte le misure prese in navigazione, sussiste il problema di una base di osservazione non ferma, e ciò si aggiunge al normale errore dovuto allo strumento.

# EFFETTO DELLA RIFRAZIONE ATMOSFERICA



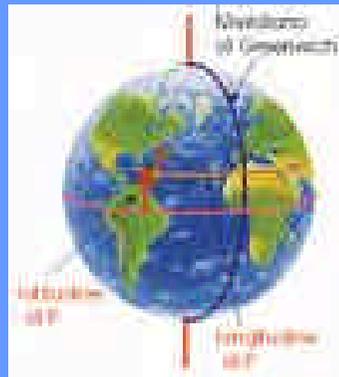
# RIFERIMENTI PER LA LATITUDINE

- Soprattutto nelle vicinanze dell'equatore, era preferibile osservare l'altezza massima del sole (passaggio al meridiano), e conoscendo la declinazione del sole nel giorno della misura mediante tavole, cioè la sua altezza rispetto all'equatore celeste, si sottraeva questa dall'altezza max per ottenere la co-latitudine del luogo. (  $h - \delta = 90^\circ - \phi$  )



# LATITUDINE

- Alla fine del '400 si riusciva a determinare la latitudine in navigazione con una incertezza di 30', dovuti sia agli errori strumentali (decine di primi), sia alle tavole astronomiche ancora piuttosto imperfette. Si consideri che 30' minuti d'arco corrispondono sulla superficie terrestre a circa 30 miglia nautiche
- $\frac{1}{2} : 360 = x : 2\pi r$ , con r raggio della terra (circa 6300 Km)



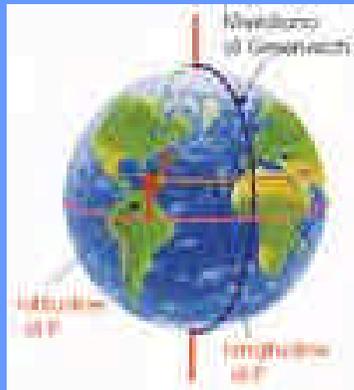
# LATITUDINE

- Si noti che già nel X secolo d.C. la determinazione della latitudine sulla terraferma aveva incertezze di circa 10" d'arco, circa 200 volte migliore di quella che ottenevano i capitani portoghesi in mare a fine '400. Questo grazie al fatto di poter disporre di una base osservativa stabile



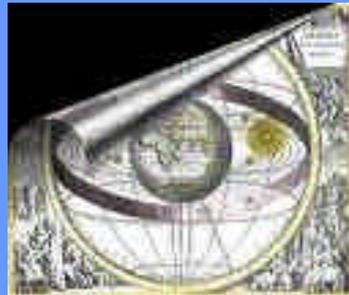
# IL PROBLEMA DELLA LONGITUDINE

- Il problema della longitudine è decisamente più complesso e si dovette aspettare la metà del XVIII secolo per avere soluzioni accettabili;
- In due luoghi alla stessa latitudine, ma a diversa longitudine, la volta celeste appare esattamente la stessa in differenti istanti di tempo;



# IL PROBLEMA DELLA LONGITUDINE

- La differenza tra l'ora locale e l'ora di un meridiano di riferimento rappresenta la longitudine;
- Supponendo di riuscire a stabilire con buona precisione l'ora locale (i marinai erano Maestri nel cogliere l'istante del mezzodì), il problema era quello di conoscere l'ora del meridiano di rif., quindi di *trasportare il tempo*



# IL PROBLEMA DELLA LONGITUDINE

- Era necessaria accuratezza nella misura del tempo, infatti un grado di longitudine all'equatore corrisponde a circa 111 km., circa 4' in tempo ( $1:360^\circ = t:24_h$ ), e pertanto per avere una approssimazione di 1 km è necessario conoscere l'ora del meridiano di rif. con una approssimazione di circa 2" in tempo (240 sec./111).



# I METODI

I metodi che nel corso del tempo, fino all'avvento delle onde radio, sono stati via via proposti fanno uso sia di ausili meccanici (orologi) sia di osservazioni astronomiche. I più rilevanti sono:

- Il metodo delle distanze lunari
- Le eclissi dei satelliti medicei
- L'utilizzo di cronometri da marina

# IL METODO DELLE DISTANZE LUNARI

## Il Principio

Il metodo proposto più antico è quello delle distanze lunari, proposto da Johannes Werner di Norimberga (1514), ma il cui principio base è già riportato in uno scritto attribuito a Gerardo da Cremona, nel tardo XII secolo. Il metodo utilizza il cielo come un orologio, dove le stelle sono il quadrante e la luna la lancetta. La luna si muove rispetto allo sfondo delle stelle di circa mezzo grado in un ora ( $13^\circ$  circa in un giorno), di moto retrogrado. Werner assunse che la posizione della luna rispetto alle stelle dello sfondo fosse indipendente dalla posizione geografica sulla terra (in questo sbagliando perché si commette errore di parallasse non proprio trascurabile, circa un grado per punti distanti 6500 sulla superficie). Se si dispone di tavole che riportano la posizione della Luna rispetto al background in funzione del tempo per un dato luogo di riferimento, e se si dispone dell'ora locale, in linea di principio comparando i due tempi si può dedurre la longitudine.



# DISTANZE LUNARI

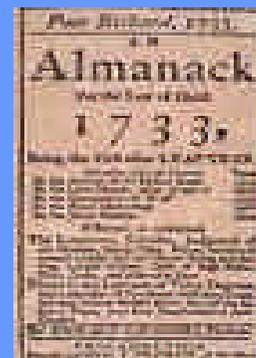
## Gli errori

1. Deve essere nota la posizione delle stelle che vengono interessate dal moto della Luna, con un errore più piccolo di quello che si commette nel calcolo e nella misura della posizione della Luna stessa.
2. Si devono costruire delle tabelle (effemeridi) che prevedano il moto della Luna rispetto a riferimenti in cielo, con la stessa precisione.  
(Ciò è ovviamente realizzato a terra presso gli Osservatori Astronomici).
3. Devono esistere e devono essere facilmente utilizzabili in mare gli strumenti di misura.

Se si riuscisse a determinare la posizione della luna entro un errore di 1' d'arco si avrebbe un errore di quasi 2 minuti in tempo ( $13^\circ : 24h = 1':t$ ), cioè un errore di circa 30 miglia nautiche all'Equatore

# DISTANZE LUNARI

Per quanto sopra, gli errori erano notevoli soprattutto dovuti all'errore strumentale degli strumenti usati in navigazione. Nonostante fossero consci di ciò, alcuni dei più illustri navigatori ne fecero uso a partire dal '500 (Vespucci, Pigafetta compagno di Magellano). Il metodo divenne utilmente applicabile a partire dal 1750 circa, grazie alla disponibilità degli strumenti a riflessione, alla migliore divisione degli archi e grazie alla realizzazione di tavole più precise ( T.Mayer 1750 ca.)



# DISTANZE LUNARI

Permaneva comunque il difetto della laboriosità del calcolo (diverse ore nel XVIII secolo), e del fatto che comunque bisognava conoscere l'ora locale ed anche questo era fonte di errore, dovuto all'osservazione in sé ed all'intervallo di tempo tra questa ed il momento del calcolo



# Le eclissi dei satelliti medicei

- Un secondo metodo astronomico fu escogitato da Galileo successivamente alla sua scoperta dei satelliti di Giove (Io, Callisto, Europa e Ganimede). Poiché le eclissi avvengono nel medesimo istante osservate da qualunque parte della Terra (err. Parallasse minimo), in linea di principio è possibile costruire delle tavole che riportano le eclissi in funzione del tempo di una località di rif., e confrontare con l'ora locale in cui si osservano.



# Le eclissi dei satelliti medicei

Galileo negoziò col governo olandese e con il re di Spagna, ma l'applicazione del metodo in navigazione risultava problematica principalmente per la difficoltà a focalizzare i satelliti e cogliere l'esatto momento delle eclissi. A questo proposito Galileo preparò uno speciale copricapo (il "celatone", cfr. "L'Isola del giorno prima" di Umberto Eco), ma il metodo non si diffuse anche per la imperfezione delle tavole e degli orologi





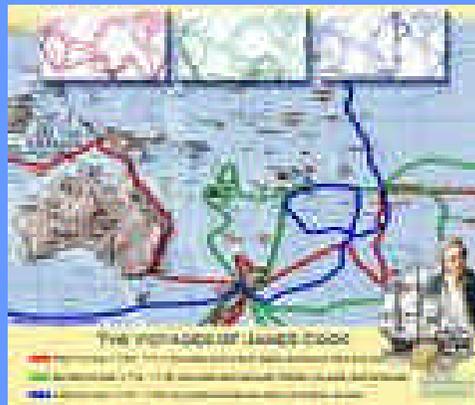
# I CRONOMETRI DA MARINA

L'utilizzo di orologi fu proposto per la prima volta da Gemma Frisius, 1530 ca. Il metodo comunque non poteva fare a meno dell'osservazione astronomica per definire l'ora locale. Nel '600, con il perfezionamento dell'orologio a pendolo, quest'ultimo divenne uno dei più importanti strumenti in astronomia, ma il suo utilizzo a mare era estremamente problematico. Nel'700, soprattutto in Inghilterra, si realizzarono grandi progressi nella meccanica di precisione, si ricorda il leggendario costruttore Harrison (*Longitude Man*). Inizialmente i "meccanici" furono estremamente osteggiati dalla comunità scientifica, anche perché il metodo non richiedeva particolari conoscenze di astronomia o matematica e quindi ciò era visto come perdita di prestigio (e potere) per gli astronomi e per la comunità scientifica in generale.



# I CRONOMETRI DA MARINA

I grandi esploratori della seconda metà del'700 come Cook riuscirono ad ottenere accettabili determinazioni della longitudine grazie appunto ai cronometri ed all'utilizzo degli strumenti a doppia riflessione (sestanti, ottanti). Il metodo divenne progressivamente quello standard utilizzato a bordo, anche per la grandissima facilità di applicazione, stante che i calcoli da effettuare erano estremamente semplici, così come le osservazioni connesse



# GLI STRUMENTI UTILIZZATI

Strumenti a visione diretta

Rif. orizzontale

In uso sistematico a bordo a partire dalla fine del '400

- il kamal (in uso dagli Arabi nell'Oceano Indiano prob. Già nell'VIII e IX sec. d.c.)
- la balestriglia (bastone di Giacobbe)
- il backstaff
- Quadrante di Davis



# STRUMENTI A VISIONE DIRETTA

Gli errori che derivano dall'uso di questi tali strumenti risiedono nel fatto che era necessario tralasciare contemporaneamente orizzonte ed astro, e porre l'occhio esattamente al centro della freccia. Gli errori che ne derivavano erano almeno dell'ordine dei 15', a cui si sommava quello dovuto alla carente stima dei valori intermedi tra due divisioni di un arco, per non parlare di altri tipi di errori (materiali, depressione orizzonte, rifrazione). Il quadrante di Davis consentiva di una misura più raffinata degli archi, e l'errore si poteva abbassare fino a 5-6'

# STRUMENTI A VISIONE DIRETTA

## Rif. verticale

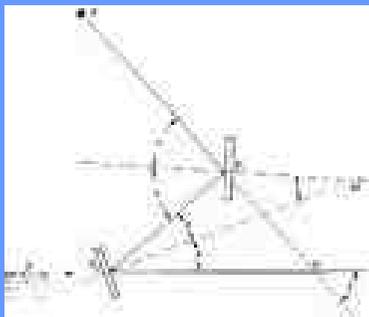
Gli strum. a rif. Verticale si svilupparono soprattutto per effettuare misure di astri molto alti sull'orizzonte, ed il riferimento per l'origine degli archi non era più l'orizzonte ma la verticale dell'osservatore. Questi strumenti, comunque, non erano pensati per misure di precisione, e gli errori erano dell'ordine del grado.

- Astrolabio da marina
- Quadrante



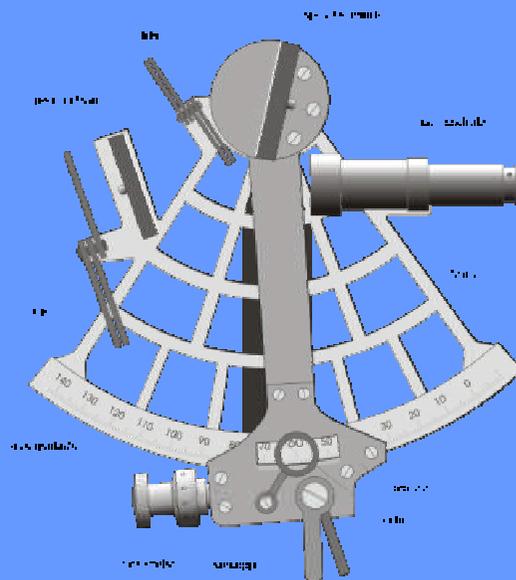
# GLI STRUMENTI A RIFLESSIONE

Il primo prototipo realizzato fu l'ottante presentato da John Hadley nel 1731 alla Royal Society, anche se si è rinvenuto nei documenti di Halley un manoscritto di Newton riportante il medesimo principio



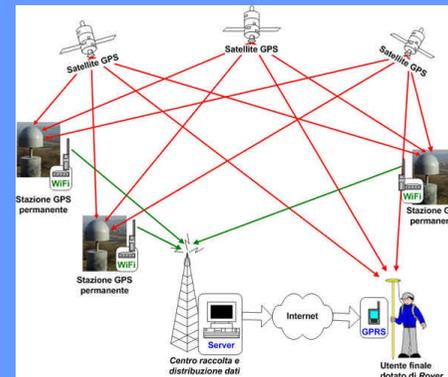
# GLI STRUMENTI A RIFLESSIONE

Il grande vantaggio di ottanti e sestanti a doppia riflessione consiste nel fatto che l'osservatore, agendo sulla alidada e sulle viti micrometriche, collima l'immagine riflessa dell'astro con l'immagine diretta dell'orizzonte. In questo modo i movimenti della nave non alterano la collimazione e ciò consentì misure in navigazione con errori ridotti a circa 1' già nella seconda metà del '700



# CONCLUSIONI

Al giorno d'oggi la determinazione della posizione avviene con sistemi satellitari che hanno una precisione elevatissima. Ma questo problema afflisse i naviganti per secoli, ed è un esempio mirabile di come le più nobili scienze abbiano fornito un contributo pratico importante, e di come aspetti teorici apparentemente inutili divengano improvvisamente utilissimi. Per questo, e per la forte connessione di elementi scientifici con aspetti economici, militari, storici, geografici si ritiene che questi argomenti possano anche essere una utile unità didattica, a partire dalla scuola media.



## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. Storia delle Scienze, Einaudi 1981, vol. I e II
- AA.VV. Storia della Tecnologia, Boringhieri 1964, vol. IV
- AA.VV. The Planispheric Astrolabe, Pubblicazione del National Maritime Museum, Greenwich, 1983
- AA.VV. Rassegna Navale, Palermo 1894, vol. I-X
- AA.VV. The National Maritime Museum, Greenhill - Philip Wilson 1982
- AA.VV. , Astrolabica, vol. V Paris 1989
- AA.VV., Nineteenth-century scientific instruments makers , De Clercq 1985
- Anderson, Burnett e Gee , Handlist of scientific instruments makers, National Museum Scotland 1990
- Andrewes, W.J.H., Time for the astronomer, in Vistas in Astronomy vol. 28 1985
- Angelitti, F. Metodi e strumenti antichi per determinare la latitudine geografica - Pubblicazione dell'Osservatorio Astronomico di Palermo 1907
- Bennett, J.A., The Longitude and the new science, in Vistas in Astronomy vol. 28 1985
- Chapman, A., Dividing the Circle, Ellis Horwood 1990
- Chapman, A. , The principal instruments and their uses at the Royal Greenwich Observatory, in Vistas in Astronomy, vol. 20 1985
- Controscieri, C., atti della Regia Accademia degli Studi di Palermo, 1798
- Daumas, M., les Instruments scientifiques aux XVII et XVIII siecles, Presses Universitaires de France, 1953
- Dreyer, J.L.E., Storia dell'Astronomia da Talete a Keplero, Feltrinelli 1980
- Fodera' Serio, G., Gli antichi strumenti dell'Osservatorio astronomico di Palermo, pubblicazione dell'Osservatorio astronomico di Palermo 1983
- Fodera' Serio, G. «On the history of the Palermo Observatory», pubblicazione dell'Osservatorio astronomico di Palermo, 1992
- Forbes, E., The Birth of navigational Science, National Maritime Museum 1980
- King, H.C., The History of the telescope, Griffin & C. 1955
- Howse, D., Greenwich Time and the discovery of longitude, Oxford University Press 1980
- Inman, J. Navigation and nautical Astronomy , F e J. Rivington 1851
- L'E. Turner, G., Scientific Instruments and Experimental Philosophy 1550-1850, Variorum 1990
- Malin e Stott, The Greenwich Meridian, Ordnance Survey 1984
- Millosevich, riflessioni sulla Astronomia Nautica, S.T.I. Roma 1883
- Pannekoek, A., «A History of Astronomy», Dover 1961

- Poderoso, G. , Trattato di navigazione, Real Tipografia Militare 1841
- Proverbio, E. , The contribution of mechanical clock to the improvement of navigation, in Vistas in Astronomy vol. 28 1985
- Ramsden, J., Method of adjusting the improved Hadley's sextant, in volume miscellanea, Biblioteca dell'Osservatorio astronomico «G.S. Vaiana» di Palermo
- Randier, L'instrument de marine, Arthaud 1978.
- Sadler D.H., Man is not lost, National Maritime Museum 1968
- Severino, G., Astronomia Nautica, CEDAM 1971
- Simeon, G. Elementi di cosmografia e navigazione astronomica, R.Accademia Areonautica 1927

Sobel, D. Longitudine, Rizzoli 1996

- Stimson, The influence of Royal Observatory at Greenwich upon the design of 17th and 18th century angle measuring instruments at sea in Vistas in Astronomy, Vol. 20, 1975
- Taylor, E.G., Navigation in the days of Captain Cook, National Maritime Museum 1974
- Teixeira da Mota, Nautical aspects of astronomical theories down to 1675, in Vistas in Astronomy, Vol. 20, 1975