

LONGITUDINE e LATITUDINE

Breve compendio di astronomia nautica a cura di Giampaolo Carrozzì

- Prima parte -

Greci, Fenici, Egiziani, Cartaginesi e Romani per lo più navigavano lungo le coste o si avventuravano in percorsi relativamente brevi attraverso il mediterraneo. Tuttavia la ridotta velocità delle navi - mosse dai remi o da poche vele - era sufficiente per mantenere la rotta con l'osservazione del Sole, della Luna e delle stelle.

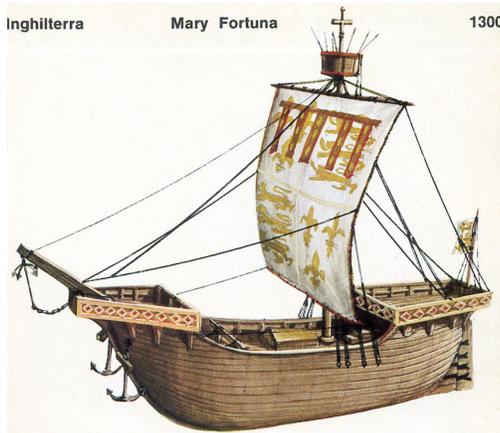
Le prime traversate di cui si abbia notizia sicura fuori dal Mediterraneo sono quelle compiute, nel primo secolo d.C., da Ippalo che, partendo dall'Arabia, attraverso il mare Arabico raggiunse l'India, navigando non più sotto costa come si era solito fare. Si fanno risalire ad allora i primi tentativi per ricavare con maggiore precisione la latitudine geografica, deducendola dall'osservazione del polo: basta infatti misurare l'angolo compreso tra il polo e l'orizzonte per determinare il valore della latitudine. Mentre del tutto approssimato era il calcolo della longitudine. Per altro sulla mappa disegnata da Tolomeo, all'incirca nel 150 d. C., appaiono per la prima volta: il mar Arabico, i contorni dell'India e dell'Arabia e la griglia della latitudine e della longitudine. Molto ben rappresentata la prima, del tutto sbagliata la seconda.

Il cartografo e astronomo Tolomeo le aveva tracciate nelle ventisette carte geografiche del suo primo atlante del mondo. L'equatore indicava per Tolomeo il parallelo di grado zero. Non era una scelta arbitraria, ma ripresa dalle indicazioni formulate da autorevoli predecessori che, a loro volta, l'avevano derivata dalla natura osservando i moti dei corpi celesti. È noto infatti che il Sole, la Luna ed i pianeti passano quasi esattamente sopra l'Equatore. Mentre era invece libero di fissare a piacimento il meridiano fondamentale, la linea di longitudine zero, ovunque gli piacesse. Scelse di farlo passare lungo le coste delle Isole Fortunate (ora Isole Canarie e arcipelago di Madera) al largo della costa nord occidentale dell'Africa. Successivamente fu spostato alle isole Azzorre e di Capo Verde, a Roma, a Copenhagen, a Gerusalemme, a San Pietroburgo, a Pisa, a Parigi, a Filadelfia, prima di fissarlo definitivamente a Greenwich nel 1885. La sua collocazione quindi, non ha alcun fondamento scientifico, ma esclusivamente geo-politico. Con il progredire della tecnica sia di costruzione degli scafi, sia di navigazione, diventava sempre più fondamentale per i comandanti conoscere le due coordinate geografiche fondamentali per poter navigare: *longitudine e latitudine*.

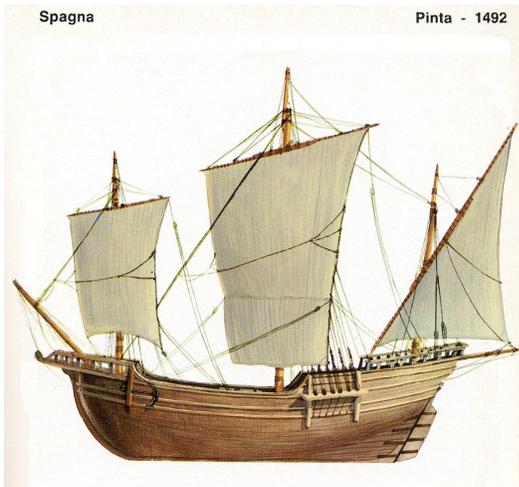
Solo intorno al 1300 si diffuse anche tra i naviganti del mediterraneo l'uso della bussola, che andava a completare la dotazione strumentale in uso: l'Astrolabio nautico, la Balestriglia o il Quadrante di Davis, la clessidra e il solcometro.

Prima di entrare nei dettagli di questa avventura percorriamo sinteticamente la storia di quella che generalmente si chiama «l'epoca della Vela». Ormai la vela stava diventando lo strumento più funzionale e pratico per trasformare l'energia del vento in forza motrice.

Tutti i popoli rivieraschi, sia dai tempi più antichi, sono andati per mare usando scafi che, per procedere, sfruttavano o la forza dei remi o la forza del vento.



Ma sarà con l'avvento della **COCCA** nel tardo medio evo (1200 circa) che inizia la vera e propria storia della marineria a vela. Questo tipo di nave ha dominato incontrastata i mari del nord e del mediterraneo per circa quattro secoli essendo nave mercantile e militare assieme. La navigazione procedeva, generalmente a vista sottocosta, le rotte venivano seguite in base a tracciati dettati dall'esperienza dei loro comandanti.



Nel 1300 si affaccia sul mediterraneo una nuova imbarcazione: la **CARAVELLA**. Nata come piccola imbarcazione da pesca o da piccolo cabotaggio. Con il tempo viene meglio attrezzata sia nella parte costruttiva che nella parte velica.

Agli inizi del '400 la caravella si presenta come una nave a scafo tondo con dislocamento compreso tra le 25 e le 60 tonnellate. L'attrezzatura velica tipica era a vele latine, issate su due o tre alberi. Alla metà del 1400 la caravella, specie per merito dei portoghesi che la destinarono ai primi grandi viaggi oceanici di scoperta, aumentò le dimensioni sino a raggiungere le 150- 200 tonnellate. Ed i portoghesi, che per primi ne compresero ed utilizzarono appieno le qualità nautiche, conservarono tanto gelosamente i segreti

di costruzione che ad oggi nessun disegno costruttivo è stato rinvenuto.

Cristoforo Colombo nei suoi primi viaggi verso le Americhe utilizzò proprio questo tipo di nave.



Nella seconda metà del '400, nei paesi dell'Europa meridionale fa la sua comparsa un tipo di nave, derivata con molta probabilità dalla cocca nordica e della quale costituiva una avanzata fase evolutiva: la **CARACCA**.

Il nome deriva dall'arabo qarâquîr (plurale di qurqur: nave mercantile) e veniva chiamata «nâo» dagli spagnoli e «carrack» dagli inglesi.

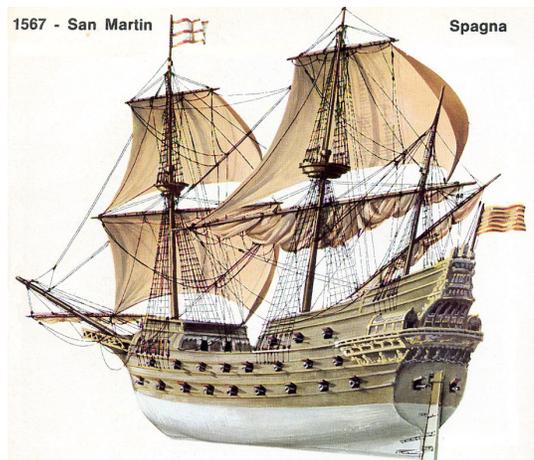
Lo scafo aveva il castello di prora a forma triangolare e a differenza della cocca, faceva parte integrante dello scafo e non sporgeva fuori bordo.

Sul finire del XVI secolo le marinerie più potenti (spagnola ed inglese) si orientarono alla differenziazione tra navi mercantili e navi da battaglia.

Nacque così il **GALEONE**, veliero

che per 150 anni avrebbe rappresentato la nave da combattimento per eccellenza. Nato dall'evoluzione della «galea», rispetto alla caracca aveva proporzioni maggiori: tripla in lunghezza e doppia in altezza.

Celebre fu lo scontro tra "L'Invincibile Armada" spagnola di Filippo II e la flotta inglese avvenuta l' 8 agosto 1588 nello stretto di Dover (isole Gravelines). Le due flotte erano al comando rispettivamente: quella spagnola del Duca Medina Simonia (nave ammiraglia San Martin di 1000 t.) e quella inglese di Lord Charleas Howard di Effingham (nave ammiraglia Ark Royal 880 t.). Lo scontro si risolse con la distruzione quasi completa della flotta spagnola e segnò la definitiva supremazia sui mari della potenza inglese.

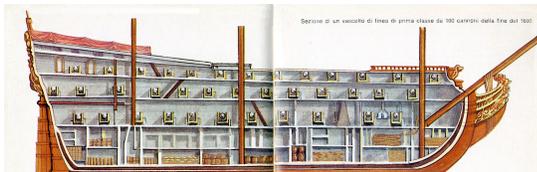


Verso al fine del XVII secolo, per fare fronte alle nuove tecniche di combattimento, il galeone si evolve verso un tipo di nave meno ornata ma più efficace e potente: il **VASCELLO**.

Con l'avvento del vascello furono apportate considerevoli innovazioni nel campo della marineria.

La prima delle quali, adottata in origine dalla Marina britannica, fu la formazione il linea di fila per il combattimento navale (codificato dall' Ammiragliato britannico nel 1653).

Vengono abbandonati i combattimenti caratterizzati da iniziative personali dei singoli comandanti, per organizzare con un certo ordine le fasi di avvicinamento e combattimento vero e proprio.

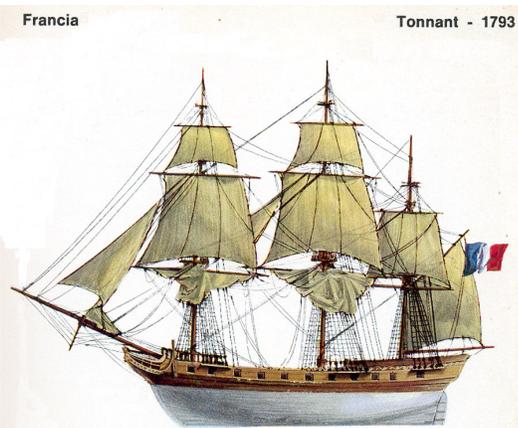


Tutte le navi dovevano avere la medesima velocità per costituire la cosiddetta *linea di fila*. Così da poter manovrare tutte nello stesso modo e disporre nel contempo di un armamento omogeneo tale da evitare che le unità si trovasero contro navi nemiche superiori in potenza di fuoco.

Di conseguenza le navi vennero classificate secondo il loro potenziale di fuoco e quindi del numero dei cannoni imbarcati ed alla loro velocità. Nella I, II, III classe vennero raggruppate le navi che formavano la linea di battaglia, la IV classe raccoglieva navi destinate alla scorta convogli ed alle spedizioni in acque straniere, la V classe le unità destinate all'esplorazione ed alla trasmissione di ordini e segnali, la VI classe le unità guardacoste.

La seconda e non meno importante innovazione fu l'introduzione nella costruzione navale di nuovi criteri tecnico-scientifici sino ad allora ignorati, portando ad un perfezionamento delle velature, dell'armamento e delle artiglierie. Il vascello divenne così, per oltre due secoli, un perfetto strumento sia militare sia mercantile.

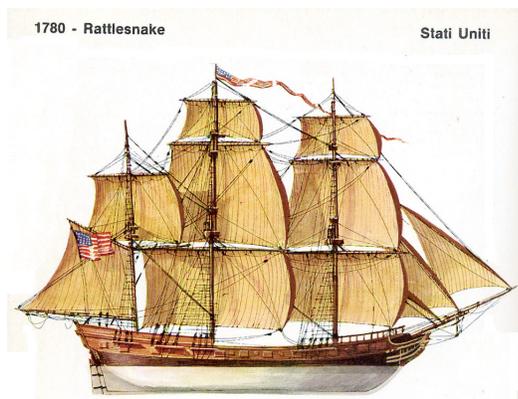
A partire dal XVIII secolo fu realizzata una nave che, soppiantando la VI classe delle navi di linea, divenne il veliero protagonista della storia della mariniera velica: la **FREGATA**.



Fu la cantieristica inglese a costruire la prima nave con tale denominazione ufficiale che realizzò attorno al 1646. Veloce scafo di circa 400 tonnellate aveva la sua caratteristica principale in un ponte continuo da prora a poppa, castello di prua molto basso e di ridotte dimensioni. Il cassero di poppa si estendeva sino quasi a mezza nave, un ampio pozzo aperto a metà del ponte di coperta che agevolava lo stivaggio del materiale.

il **BRIGANTINO**.

Verso al metà del 1700 apparve sui mari del nord una nuova nave, variante minore della galea, ma con propulsione a vela:



Nave di circa 150 tonnellate, armava una velatura molto ampia che le imprimeva una buona velocità di navigazione.

Ulteriore evoluzione di questo tipo di navi veloci e ben armate fu, verso al metà del XVII secolo: la **CORVETTA**.

Destinata specialmente a compiti di esplorazione e porta ordini la corvetta ebbe spiccate caratteristiche di velocità e manovrabilità. Questo tipo di nave ebbe un notevole sviluppo nei secoli XVIII e XIX specie nella marina degli Stati Uniti.

Lo sviluppo della navigazione a vela doveva adeguarsi costantemente ai compiti che le varie marine erano chiamate ad assolvere. Quindi era gioco forza innovare sia le tecniche costruttive sia le modalità di navigazione.

Quando si navigava "sotto costa" erano i comandanti che, forti della loro esperienza, riconoscendo le stelle e le caratteristiche delle coste, erano in grado di tracciare rotte più o meno approssimate ma di sicura navigazione. Anche se ogni tanto qualche legno, per errata rotta, finiva sugli scogli o su qualche secca.



Gli strumenti per la navigazione.

Come già detto, era relativamente facile determinare la latitudine anche in alto mare. Ogni marinaio, infatti, è in grado di misurare la latitudine ricorrendo a vari metodi di carattere astronomico quali l'altezza del Sole di giorno, e delle stelle di riferimento di notte.

Era invece praticamente impossibile, con le nozioni del tempo, ma sopra tutto con la strumentazione disponibile, riuscire a determinare la longitudine, in navigazione.

Con l'avvio, nel XII secolo, di una navigazione più ardita si rendeva necessario poter disporre di una strumentazione adeguata. E ancora di più nel '400 nell'epoca delle grandi scoperte geografiche.

Gli strumenti impiegati per ricavare l'altezza del Sole o delle stelle a visione diretta erano:

- l'*Astrolabio nautico*
- la *Balestriglia*
- Il *Quadrante di Davis*



L'*astrolabio* nautico, derivato da quello astronomico, era usato sopra tutto dai navigatori portoghesi e spagnoli. Lo strumento, nella versione nautica, era composto essenzialmente da un cerchio con bordo graduato, vuoto al centro (per evitare le oscillazioni dovute al vento), mantenuto verticale da un peso posto alla base. L'osservatore ruotava l'alidada fino a che riusciva a trapiantare l'astro attraverso i mirini posti alle sue estremità, leggendo quindi il valore dell'angolo sul lembo graduato. Il tutto risultava però

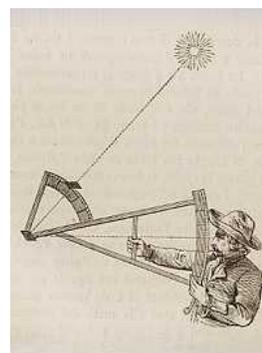
viziato da un errore che poteva raggiungere anche un grado, pari a circa 100-120 km. Altro inconveniente era l'impiego di tre uomini per l'uso: uno sosteneva lo strumento, il secondo puntava ed il terzo effettuava la lettura. La figura riporta due modelli originali conservati nel Museo della Marina a Lisbona.

La *balestriglia* a visione diretta, chiamata anche bastone di Giacobbe, consisteva in un bastone parallelepipedo perfettamente squadrato, lungo circa 70 cm., con quattro traverse chiamate *castagnole*, di lunghezza proporzionata alle quattro facce del bastone. La traversa mobile veniva spostata in modo da coprire contemporaneamente il Sole e l'orizzonte.



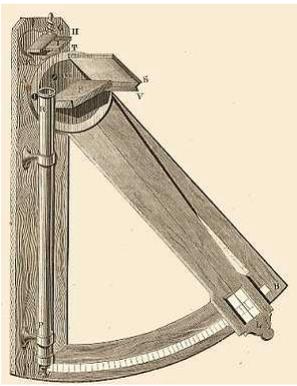
Dalla balestriglia si evolve il quadrante di Davis (a destra), realizzato dall'esploratore inglese John Davis (1550-1605), quello stesso che, tra il 1585 e il 1587, effettuò una spedizione polare alla ricerca di un passaggio a Nord-ovest dell'America, scoprendo in

quell'occasione lo Stretto che porta il suo nome, tra la Groenlandia e l'isola di Baffin. Nel 1594 egli pubblicò un'opera intitolata "The seaman's secret", in cui dava la descrizione dello strumento da lui inventato. Lo strumento si rivela più efficace della balestriglia perché permette una più accurata misurazione delle altezze degli astri.



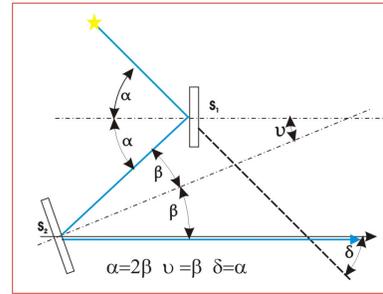
Come successiva evoluzione si passò a strumenti che sfruttavano meglio la riflessione ottica: l'*Ottante* e il *Sestante*.

La necessità di rendere più accurate le misurazioni degli angoli richiedeva strumenti più precisi della balestriglia e del quadrante di Davis così, sul finire del Seicento, appare il primo documento che accenna al principio della riflessione degli specchi piani, applicato alla misura degli angoli: "Storia della Società Reale di Londra" di Birch. Viene menzionato lo strumento a riflessione di Robert Hooke (1635-1703), munito però di un solo specchio che consentiva la riflessione semplice, e quindi inadeguato allo scopo, essenzialmente per l'instabilità delle immagini dell'orizzonte.



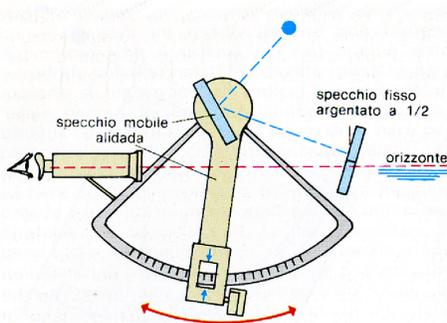
Nel 1731, John Hadley (1682-1744) presentò alla Royal Society di Londra il suo *ottante* (a sinistra), a doppia riflessione mediante due specchi e un cannocchiale, formato da un arco di 45° , diviso in 90 mezzi gradi, ognuno dei quali corrisponde a un grado nelle osservazioni.

Nel 1757 dall'inglese John Campbell, vennero apportate alcune modifiche allo ottante, che assunse la forma del *sestante*, nel quale l'ampiezza dell'arco graduato è portata da 45° a 60° ; inoltre il cannocchiale, applicato a un collare fissato al raggio di



destra da cui inizia il lembo graduato, è puntato sullo specchio fisso in direzione pressoché normale a tale raggio, mentre precedentemente era fissato lungo il raggio al quale era applicato lo specchio fisso.

Il principio geometrico sul quale si basa il sestante è il seguente: *se un raggio luminoso subisce una doppia riflessione in uno stesso piano, l'angolo di cui esso viene deviato è il doppio dell'angolo formato dalle superfici riflettenti*



Schema del sestante da marina.

Lo strumento è costituito da una armatura che porta due superfici riflettenti formate da due specchi. Lo specchio mobile è portato da un braccio mobile, l'alidada, che lo fa ruotare e che è dotato di una linea di fede, detta anche indice, rispetto alla quale si legge l'angolo misurato sulla graduazione riportata sul lembo del sestante. Il lembo è un arco di cerchio il cui centro coincide con l'asse intorno a cui ruota l'alidada; la graduazione è fatta in modo che su di essa si legge direttamente il doppio dell'angolo di cui ha ruotato lo specchio mobile. Lo specchio fisso è realizzato in modo che solo la sua metà situata verso lo strumento sia riflettente. L'altra metà è trasparente. Si ruota l'alidada finché attraverso il cannocchiale si vedranno contemporaneamente l'immagine

dell'astro e la linea dell'orizzonte. Si debbono fare coincidere le due immagini quindi si effettua la lettura sulla graduazione del lembo. Lo strumento si presta alla determinazione sia della latitudine, sia della longitudine (necessità però un cronometro).

Per il calcolo delle distanze percorse ci si avvarrà del *Solcometro* e del *Renard*.

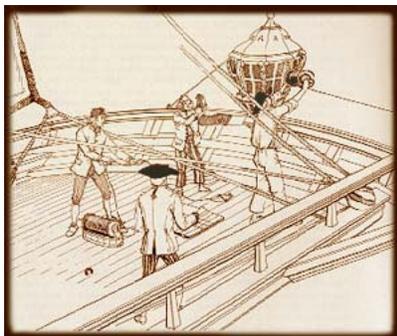
Il *solcometro*, atto a rilevare la velocità oraria dell'imbarcazione, nella sua primitiva versione si compone di una placchetta di legno di circa venti centimetri, di forma principalmente triangolare. Zavorrata con piombo ad uno dei suoi lati ed imbrigliata, mediante tre fori praticati ai vertici a corti cavi che si raccordano ad un cilindro di legno, dalla cui estremità si diparte un filo di canapa avvolto in un rocchetto.

Il *solcometro* in figura è conservato al Civico Museo Marinaro di Camogli (Ge).

La placchetta viene gettata in mare, solitamente da poppa, e rimane fluttuante verticalmente immobile mentre si svolge il filo. Quando un segno rosso sullo stesso rocchetto indica che



la nave è sufficientemente lontana da non influenzarla con la sua scia, da quell'istante si capovolge la clessidra, tarata a mezzo minuto. La moltiplicazione del tempo per la lunghezza del filo svolto fornirà la velocità oraria presunta. Al fine di facilitare il calcolo della lunghezza della corda filata in mare si ricorre all'artificio di fare su di essa dei nodi equidistanti, agevolando in tal modo l'operazione di misurazione (da qui la dicitura "nodo" per indicare la velocità di una nave corrispondente a 1 miglio/ora o 1,853 km/ora).





Il *renard* -dal francese volpe- o mostrarombi è il nome dato ad uno strumento nautico inventato nel Medioevo, quando i marinai erano per lo più analfabeti e quindi non erano in grado di scrivere sul brogliaccio di bordo o sulla carta nautica, le variazioni di rotta e di velocità inevitabili nel corso della navigazione. Fu così che qualcuno inventò un attrezzo che non richiedesse dimestichezza con carta e penna. Si tratta di un disco, prevalentemente di legno, sul quale è disegnata - a colori vivaci - una rosa dei venti a 32 rombi; su ciascuno di essi sono incisi otto fori, corrispondenti alle otto mezzore dei turni di guardia. Lo strumento era affidato al timoniere, il quale infilava ogni mezzora uno dei cavicchi di legno, di cui il mostrarombi è dotato, nel foro successivo del rombo corrispondente alla rotta seguita dalla nave, letta sulla bussola. Sui cavicchi erano incise delle tacche corrispondenti alle diverse velocità in nodi. Quindi, per esempio, otto cavicchi con dieci tacche infilati nei primi otto fori di un rombo, indicavano che la nave aveva mantenuto quella certa rotta per quattro ore alla velocità di dieci nodi. Cambiando la rotta e la velocità, per esempio per effetto delle condizioni atmosferiche, ogni mezzora il timoniere avrebbe infilato nei rispettivi rombi altri cavicchi con le tacche opportune. In questo modo sul mostrarombi restava la traccia della navigazione seguita, che l'ufficiale di rotta riportava poi sulla carta nautica, per calcolare il punto nave.

A volte il mostrarombi aveva cavicchi senza le tacche indicanti la velocità, che veniva memorizzata su un'apposita tavoletta - sotto o sopra il disco dello strumento, come nell'esemplare qui riprodotto (Museo Navale Internazionale di Imperia) - sulla quale si trovavano tante file di fori corrispondenti ai valori della velocità, quanti erano i turni di guardia: il mostrarombi in figura riporta quattro file di 15 fori, consentendo quindi di registrare velocità fino a quindici nodi l'ora.

A mano a mano che un numero crescente di navi partiva per conquistare o esplorare nuovi territori, per muovere guerra o trasportare merci e preziosi da un paese all'altro, sempre di più la ricchezza delle nazioni veleggiava sugli oceani. Eppure nessuna nave possedeva un sistema sicuro per stabilire con sufficiente precisione, la propria posizione. A partire dal 1200 lunghi saranno gli studi e le ricerche per pervenire alla determinazione sia della latitudine con metodi più precisi astronomicamente, sia della longitudine.

Astronomi famosi affrontarono la sfida, specie della longitudine: Galileo Galilei, Jean Dominique Cassini, Christian Huygens, Sir Isaac Newton, Edmond Halley.

A Parigi, Londra, Berlino sorsero osservatori astronomici con lo specifico scopo di studiare la possibilità di determinare la longitudine scrutando i cieli. Tra l'altro nella corsa per trovare la longitudine, gli scienziati giunsero per caso ad altre scoperte: i primi calcoli precisi del peso della Terra, la distanza delle stelle e la velocità della luce.

Dal 1400 gli ingenti costi relativi alle spedizioni, che molto spesso avevano scarse probabilità di giungere a destinazione, renderanno impellente una più organica ricerca di soluzioni ai vari argomenti inerenti la navigazione.

Il seguito al prossimo numero

LONGITUDINE e LATITUDINE

Breve compendio di astronomia nautica a cura di Giampaolo Carrozzì

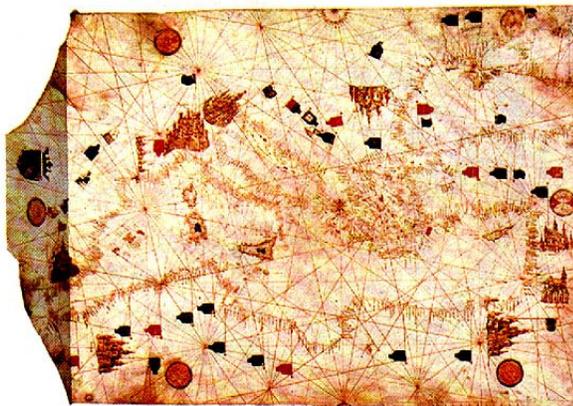
- Seconda parte -

Nel 1416 il portoghese principe *Enrico il "Navigatore"* (1394-1460) fonda un osservatorio destinato a perfezionare la scienza nautica e nel 1485 *Martin Behaim*, cosmografo e navigatore originario di Norimberga, su incarico del re del Portogallo Giovanni II, provvede alla stesura di tabelle di declinazione del Sole, da utilizzare con l'ausilio dell'astrolabio.

Se nella definizione della latitudine si facevano consistenti progressi, la difficoltà maggiore rimaneva sempre il calcolo della longitudine.

Nel 1530 Reinerus Gemma Frisius (1508-1555), membro della scuola di geografia delle Fiandre, enuncia per la prima volta i principi delle cronometria applicati alla determinazione della longitudine.

Ormai acquisito, dopo i viaggi di Colombo, il principio che la Terra fosse sferica, le carte nautiche subirono un notevole cambiamento: dai portolani - che riportavano la sola indicazione dei porti e dei rifugi naturali della costa - divennero vere e proprie carte nautiche.



1447:portolano del mediterraneo di Gabriel de Vallsecha. Notare come siano segnate solo le località sulle coste, come prevedibile per un documento destinato ai naviganti.

Questo grazie sopra tutto al sistema delle proiezioni ideate ed elaborate dal fiammingo Gerardo Mercatore (1512-1594), allievo proprio del Frisius.

Mercatore si rese conto che i marinai avevano presupposto, in modo del tutto errato, che seguendo la direzione indicata dalla bussola avrebbero viaggiato in linea retta. Una nave che naviga sempre lungo la stessa direzione indicata dalla bussola segue invece una curva denominata *lossodromica* (anche detta elica sferica), una curva che Pedro Nunez, un matematico notevolmente ammirato da Mercatore, aveva studiato poco tempo prima.

Nel 1541 Gerardo Mercatore realizza un nuovo mappamondo: il primo ad avere indicate le lossodromiche. Questo lavoro costituì una fase importante dello sviluppo dell'idea della proiezione di Mercatore che venne usata per la prima volta nel 1569 per la realizzazione di una grande mappa del mondo su 18 fogli separati, utilizzando una proiezione cilindrica, tangente all'Equatore, nella quale i meridiani ed i paralleli erano delle linee rette, intersecantesi perpendicolarmente. In questa proiezione anche le lossodromiche diventano linee rette e per aree relativamente piccole si mantenevano inalterati i rapporti di lunghezza.

Si disponeva ora di carte che riportavano sovrapposte alla zona geografica un reticolo di rette ortogonali che rappresentavano i *paralleli ed i meridiani*.

Paralleli : il globo terracqueo venne suddiviso da cerchi immaginari, i cui centri sono posti sull'asse di rotazione della Terra stessa e che lo intersecano con piani ad esso perpendicolari.



Fissato il piano equatoriale, che divide la Terra a metà tra il nord e il sud tutti gli altri paralleli tagliano la superficie sferica con cerchi via sempre più piccoli detti appunto paralleli.

Questi sono finalizzati alla identificazione della latitudine, e sono numerati con la misura in gradi della loro distanza da quello equatoriale (da 0 a 90) positivamente verso il polo Nord e negativamente verso il polo Sud.

Meridiani: sono semicerchi immaginari, che intersecano i paralleli, la cui origine è fissata sui poli terrestri. Sono definiti 360 meridiani suddivisi in due gruppi di 180, uno a ovest e l'altro ad est del *meridiano fondamentale* che veniva

considerato origine. Come si è già detto questo meridiano fondamentale veniva allocato in posizione geografiche diverse negli anni finché nel 1884 durante conferenza internazionale convocata dal Dipartimento di Stato americano, su insistenza del direttore dell'osservatorio di Greenwich William Christie il meridiano di Greenwich fu adottato come punto zero per la misura delle longitudini terrestri e del tempo universale a partire dal 1 gennaio 1885.

LA CRONOMETRIA APPLICATA ALLA DEFINIZIONE DELLA LONGITUDINE

La Terra compie un giro completo ruotando su se stessa in 24 ore di circa 360 gradi, quanti sono i meridiani. In un ora compie una rotazione angolare di 15 gradi (15 meridiani), in un minuto di tempo compie una rotazione di 15 primi di grado (un quarto di grado) ed in un secondo di 15 secondi di grado.

Per calcolare la longitudine in alto mare basterebbe quindi sapere non soltanto che ora è a bordo della nave in un dato momento, ma anche che ora è, in quello stesso istante, nel porto di partenza o in un dato luogo del quale si conosca la longitudine (riportata per esempio su una carta geografica) o ancora meglio conoscere l'ora del meridiano centrale.

Le ore segnate dai due orologi renderanno possibile al navigante la trasformazione della differenza oraria in distanza geografica: la differenza di un ora tra la posizione della nave e il punto di partenza indica un avanzamento di 15° di longitudine verso oriente o occidente.

Per esempio quando in mare il navigante regola l'orologio della sua nave sul mezzogiorno - il momento in cui il Sole raggiunge il punto più alto nel cielo - e quindi consulta l'orologio tarato sul porto di partenza, sa che la differenza di un'ora si traduce in 15 gradi di longitudine.

Quegli stessi 15 gradi corrispondono anche ad una certa distanza percorsa.

Vediamo il perché.

Il raggio terrestre all'equatore, dove la circonferenza della Terra è massima, è pari a **km 6.369,93**.

Il diametro terrestre risulterà quindi: $6369,93 \times 6,28 = 40.003,160 \text{ km}$ che, diviso per **21.600** (i primi contenuti in 360°), darà **1,851998 km** che si arrotonda a **1,852**.

Da qui la definizione di **miglio nautico: la distanza di 1.852 metri(1,852 km) corrispondente ad 1' di latitudine all'equatore.**

All'epoca delle scoperte geografiche fu convenuto che 15° di latitudine corrispondono a **mille miglia** quindi a **1.852 km**.

E' evidente che a nord e a sud dell'equatore il valore di ciascun grado, misurato in miglia, diminuisce.

Per esempio un grado di longitudine equivale a 4 minuti in tutto il mondo, ma in termini di distanza un grado si contrae dalle sessantasette miglia all'Equatore allo zero dei poli.

Il metodo così detto del «*trasporto dell'ora*», semplice nella concezione, diventava in realtà era del tutto impraticabile non disponendo ancora di orologi precisi ed affidabili.

I primi orologi a pendolo impiegati sul ponte di una nave, soggetta al beccheggio ed al rullio, in mare rallentavano, acceleravano o si fermavano del tutto. Per non parlare di altri fattori che condizionavano irrimediabilmente il funzionamento dei primi orologi di bordo: variazioni della temperatura e pressione atmosferica, alterazione nella viscosità dei lubrificanti usati nei meccanismi dovuta sempre alle variazioni di temperatura.

In assenza di un metodo preciso e pratico per determinare la longitudine quasi tutti i capitani nell'era delle grandi esplorazioni, che pure disponevano di carte nautiche e di bussole attendibili, si persero in mare.

Da Vasco de Gama a Vasco Nunez da Bilboa, da Ferdinando Magellano a Sir Francio Drake tutti, volenti o nolenti, arrivarono dove volevano arrivare quasi sempre grazie ad una buona dose di fortuna.

Infatti, un solo minuto di scarto provoca un errore, all'equatore, di 15 miglia nautiche.

È facile calcolare che cosa si rischia se in tre/quattro mesi di navigazione, sommandosi minuti su minuti sarebbero diventati ore: si stimava di essere davanti alle costa di Santo Domingo, ma in realtà ci si trovava molto più vicini all'Africa che all'America....

Fu solo dopo la seconda metà del '600 quando gli orologi cominciarono a mostrare una maggiore precisione che il metodo del trasporto dell'ora venne ripreso in seria considerazione.

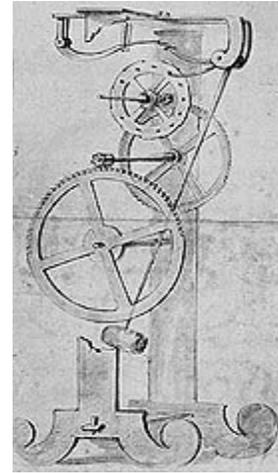
Nel frattempo diverse nazioni marinare avevano stabilito ingenti premi in denaro per la soluzione del problema. Nel 1604 Filippo III di Spagna mise in palio centomila scudi d'oro a chi avesse trovato un metodo per la determinazione della longitudine in mare.

Seguirono nel 1606 gli Stati Olandesi che offrirono 100.000 fiorini sempre d'oro.

Nel 1638 Luigi XIV di Francia stava per dare 100.000 franchi ad un ingegnoso truffatore tedesco che pretendeva di avere risolto il problema.

Il 22 ottobre 1707, presso le isole Scilly, vicino alla costa sud occidentale dell'Inghilterra, quattro navi da guerra britanniche finirono in secca e perirono nel disastro quasi duemila uomini. Sulla emozione in questa tragedia il Parlamento inglese, nel 1714 con il famoso «Longitude Act», stanziò la somma più cospicua, fissando un premio di 20.000 sterline oro (alcuni milioni di Euro attuali) se la longitudine poteva essere calcolata con una tolleranza di 30 miglia all'equatore, 15.000 per una precisione di 40 miglia e 10.000 per 60.000 miglia.

Era evidente che solo potendo disporre di orologi precisi e veramente sicuri diventa possibile risolvere il problema dei problemi: ricavare la longitudine in mare.



GLI OROLOGI

Già Galileo Galilei, ormai vecchio e cieco, nel 1639 aveva ideato un sistema meccanico che permetteva di calcolare il tempo sfruttando il principio del movimento isocrono del pendolo.

È opportuno ricordare che le maggiori scoperte scientifiche furono elaborate da Galileo sfruttando, come marca tempo, la clessidra, i battiti del suo polso o la caduta di gocce d'acqua.

Rifacendosi appunto al principio della isocronia del movimento del pendolo progettò un orologio a pendolo (*figura sopra*) che fu poi realizzato dal figlio Vincenzo (1606-1649) assieme a Vincenzo Viviani (1622-1703) allievo del Galilei sin dal 1639. In figura si nota il pendolo e gli ingranaggi di trasmissione del movimento e lo "scappamento" in alto che trasforma il movimento uniformemente accelerato irregolare in un movimento regolare e ritmico.

Per la verità sembra che il primo disegno di un tale dispositivo fosse già elaborato nel 1270 dall'architetto francese Villar de Honnecourt.

Un' altro studioso che contribuì allo sviluppo della tecnica cronografia fu il chioffiotto **Giovanni de Dondi** detto l'orologiaio (1330-1389) che nel 1350 costruì un strumento che suscitò non poca meraviglia dei contemporanei per la precisione dei moti e la ricchezza delle informazioni prodotte: *l'Astrario*. (*figura a lato*).

Tra l'altro con questo strumento il Dondi scoprì che l'orbita della Luna non era circolare ma ellittica, confermata poi dagli astronomi solo nel 1779.

Ma il primo scienziato che affrontò in concreto la possibilità di realizzare un orologio fu l'olandese **Christiaan Huygens** (1629-1695), nato a l'Aja che fu matematico, astronomo e fisico.

Huygens, nei suoi lavori sulle coniche, preparò le fondamenta del calcolo infinitesimale (poi sviluppato da Leibniz e Newton), ma soprattutto è famoso per il suo ragionamento secondo il quale la luce è formata da onde.

Nel 1655, adoperando un telescopio di propria fabbricazione, scoprì la luna di Saturno, Titano.



Nel 1656 osservò la nebulosa di Orione, risolvendo le singole stelle. La regione interna più chiara della nebulosa di Orione è chiamata *regione di Huygens* in onore di questo lavoro.

Ebbe contatti con Cartesio, Pascal, Mersenne che contribuirono non poco alla sua formazione scientifica. Dietro insistenza di Pascal, Huygens scrisse il primo libro sulla teoria delle probabilità, «*De ludo aleae*» pubblicato nel 1657, grazie al quale è considerato uno dei fondatori della disciplina del calcolo delle probabilità.

Nel 1656 ottenne un brevetto sul primo orologio a pendolo. Nell'opera «*Horologium Oscillatorium sive de motu pendulorum*» (1673) espone la teoria del movimento del pendolo applicata agli orologi.

L' **orologio a pendolo** o **pendola** è un dispositivo per la misura del trascorrere del tempo basato sulla regolarità dell'oscillazione (isocronismo) di un pendolo meccanico.

Nel 1675 Huygens brevettò un orologio da tasca, ideando il regolatore a molla spirale che sostituiva il pendolo negli orologi da tasca.

Si era pervenuti così alla conformazione base di un orologio: un motore, con il relativo sistema di caricamento; un dispositivo per indicare il tempo segnato, con quadrante e lancette; un meccanismo distributore (scappamento), che regolava la serie periodica dei movimenti; un meccanismo regolatore (pendolo o bilanciere), che doveva assicurare l'assoluta uniformità dei singoli elementi di intermittenza del moto.

Fu però l'inglese **John Harrison** (1693-1776) che imprime una svolta decisiva nel calcolo della longitudine.

Orologiaio, carpentiere e meccanico, nel 1726 costruisce (da autodidatta) il primo orologio a pendolo autocompensato; ideò poi un tipo di scappamento che riduceva gli attriti, un ingegnoso sistema di carica e nel 1735, in seguito al concorso indetto dalla Commissione per la Longitudine, realizzò un cronometro (del peso di oltre 30 kg.) che consentiva di determinare la longitudine in mare con un errore inferiore al mezzo grado. Per i successivi 30 anni Harrison migliorò sempre più il suo strumento, fino a che, nel 1761, suo figlio intraprese un viaggio di prova verso la Giamaica, portando con sé il modello "Harrison n° 4". Dopo 81 giorni di navigazione il cronometro aveva solo cinque secondi di ritardo! Una copia di questo modello, realizzato da Larcum Kendall, fu poi usato da James Cook nel suo secondo viaggio, che durò dal 1772 al 1775: dopo tre anni di navigazione il ritardo segnato era di soli sette minuti e quarantacinque secondi. Nel cronometro di Harrison il movimento era controllato da due bilancieri, collegati da una molla, che si adattavano ai cambiamenti di temperatura per mezzo di un "bordo di compensazione" di ottone e barrette di acciaio. La molla principale veniva parzialmente ricaricata ogni sette secondi, con un sistema di "mantenimento di potenza", per evitare che l'orologio rallentasse durante questo processo.

Rappresentava, così, per questo sistema di compensazione della temperatura e per i suoi cuscinetti auto-lubrificanti, un brillante esempio di fisica applicata.

Nonostante Harrison fosse, quindi, riuscito a risolvere il "secolare" problema della determinazione della longitudine in mare, l'Ammiragliato si rifiutò di pagare l'intera somma del premio e fu necessario l'intervento di Giorgio III per liquidare parte del premio all'ormai ottantenne inventore del cronometro da marina.

Nella figura il quarto e il quinto modello dei cronometri da Marina costruiti da Harrison



La conoscenza dell'ora locale di Greenwich, o quella del porto di partenza della nave, come era in uso un tempo (il sistema dei fusi orari è stato introdotto solo nel 1885), non è però ancora sufficiente per ricavare la longitudine: è necessario conoscere con sufficiente precisione, anche l'ora locale della nave per poter ricavare in base alla differenza dei tempi la differenza di longitudine.

Diventa quindi quanto mai necessario, per poter stabilire il punto nave, anche poter effettuare precise osservazioni astronomiche, al fine di stabilire il tempo locale.

La prima difficoltà che si incontra in mare aperto è costituita dall'incertezza nella determinazione del meridiano, non avendo a disposizione alcun riferimento: la bussola potrà aiutare ma non precisare in modo sicuro la direzione del meridiano geografico.

Di conseguenza diventa molto difficile stabilire se il Sole o una stella si trovano esattamente sul meridiano o sono semplicemente vicini a questa linea che fa da traguardo.

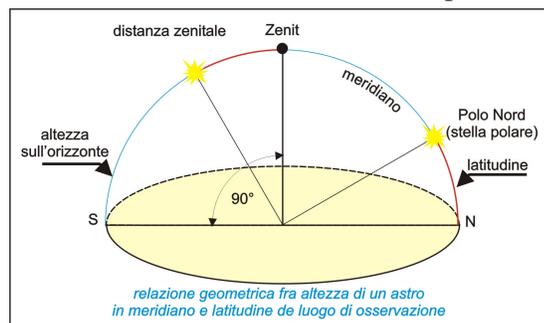
Si ricercarono allora altri metodi astronomici. Galileo propose di utilizzare i satelliti medicei di Giove ad esso vicini, da osservare con il nuovo strumento: il cannocchiale.

Gian Domenico Cassini, convinto della bontà del metodo, elaborò nel 1668 le effemeridi per il satelliti di Giove ad uso dei naviganti. Il procedimento non ebbe gran seguito specie per le difficoltà incontrate dai marinai nell'osservare al cannocchiale

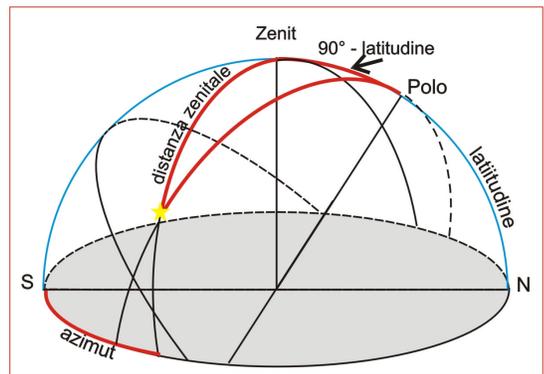
Nel 1753 il tedesco Johann Tobias Mayer (1723-1762), sovrintendente dell'Osservatorio di Gottingen, riprendeva i metodi di Galilei e di Cassini ma riferendosi ad un astro a noi più vicino: la Luna. Realizzò la prima serie di tavole lunari sufficientemente precise per poter fungere da base del "metodo delle distanze lunari" atto a stabilire la longitudine in mare. Il metodo consisteva nel misurare la distanza dalla Luna di prefissate stelle o pianeti; tale distanza misurata all'ora locale, opportunamente confrontata con quella riportata sulle tavole, permetteva di ottenere l'ora del meridiano fondamentale cui corrispondeva la medesima distanza lunare. La differenza delle due ore forniva la longitudine cercata.

L'Ammiragliato britannico concesse, nel 1765, alla vedova di Mayer parte del premio - tremila sterline - riconoscendo così anche all'astronomo tedesco, oltre che a Harrison, una primogenitura nella realizzazione di un metodo pratico e affidabile per la determinazione della longitudine in mare.

Dal 1767 fino all'inizio dell'ottocento il metodo di Mayer venne utilizzato da molti naviganti, sopra tutto considerando che il testo «Nautical Almanac» costava solo pochi scellini a fronte delle 40 sterline necessarie per l'acquisto di un cronometro di Harrison. Le due coordinate del punto nave venivano calcolate indipendentemente l'una dall'altra sino a un secolo fa, quando fu applicato il metodo delle rette parallele che consentiva la deduzione contemporanea.



La **latitudine** si determinava stabilendo la direzione del meridiano con la bussola ed osservando l'altezza di un astro nel momento in cui passava al meridiano (generalmente il Sole o la Luna o la Polare). Sottraendo da 90° l'altezza misurata e sommando, con il proprio segno, la declinazione osservato si otteneva la latitudine del luogo.

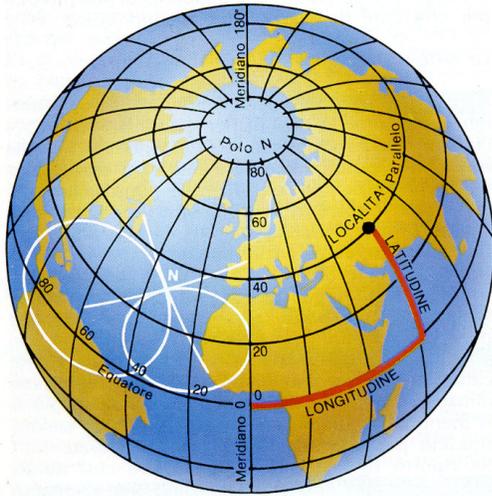


La **longitudine** si determinava con osservazioni di astri molto lontani dal meridiano, risolvendo mediante il calcolo quello che viene indicato come il "triangolo nautico" (o astronomico e di posizione).

E questo un triangolo sferico che ha i tre vertici nel *polo*, nello *zenit* e nell'*astro* osservato. Il polo con lo zenit ha una lunghezza di 90° meno la latitudine φ , che era calcolata come detto in precedenza. Il lato congiungente il polo con l'astro misurava 90° meno la declinazione δ (con il suo segno) dell'astro medesimo. Il lato che congiunge l'astro con lo zenit è uguale a 90° meno l'altezza h dell'astro

sull'orizzonte. L'angolo che ha come vertice il polo e i lati diretti verso lo zenit e verso l'astro è l'angolo orario: indica quanto tempo deve trascorrere (oppure è già trascorso) prima o (dopo) il passaggio dell'astro sul meridiano. Risolvendo il triangolo astronomico in base agli elementi noti si ricavano le incognite: in particolare (oltre a calcolare l'azimut dell'astro e controllare quindi la direzione del meridiano) dall'angolo orario si risale al tempo siderale e quindi al tempo medio locale della nave.

Poiché il cronometro di bordo forniva, almeno in prima approssimazione, il tempo medio locale di un meridiano assunto come fondamentale, la differenza di longitudine risultava immediatamente dalla differenza tra i due tempi.



In pratica la navigazione avveniva, per quanto possibile, lungo i paralleli geografici e normalmente il punto nave veniva stimato tre volte al giorno: alle prime luci dell'alba si determinava la longitudine osservando qualche astro luminoso; a mezzogiorno si stabiliva la latitudine con l'osservazione del Sole; durante il crepuscolo si determinava un seconda volta la longitudine. Ma le condizioni atmosferiche creavano non pochi problemi nella sequenza del metodo. E proprio per ovviare alle difficoltà connesse con la presenza di nebbia e nubi che si pervenne alla elaborazione di un metodo più efficiente di navigazione astronomica. Messo a punto attorno al 1875 il metodo delle «*rette di altezza*»

Questo metodo soppiantò di fatto ogni altra procedura usata per ricavare le coordinate in mare e si basa sul principio che un astro in cielo si vede sempre alla stessa altezza (angolo di

altezza sull'orizzonte costante) entro un cerchio chiamato «*cerchio di altezza o di Summer*», mentre cambia solo il suo azimut.

Se si osserva in rapida successione, con un sestante, il Sole verso il tramonto, ancora a una quindicina di gradi sull'orizzonte, e la Luna al primo quarto si ricavano le loro altezze. E' possibile allora tracciare su una carta geografica tutti i punti della terra dai quali si vede contemporaneamente il Sole all'altezza a cui lo vediamo noi, cioè il cerchio di altezza del Sole. Analogamente si procede per la Luna.

I cerchi si intersecano in due punti del globo, e certamente il vascello si troverà in uno di questi due punti per i quali è possibile stabile contemporaneamente longitudine e latitudine. Per esclusione si esclude quello che logica vuole sia da altra parte rispetto a dove ci si trova.

Riepilogando, quando un navigante si trova in mare aperto, utilizza la bussola e il solcometro per segnare sulla carta nautica in relazione all'angolo di rotta e alla velocità, le posizioni occupate in tempi successivi. Si segna un punto nave stimato.

Per controllare la posizione della nave osserva con il sestante almeno due astri. Dall'osservazione dell'altezza degli astri sull'orizzonte marino si determina la loro altezza vera e si calcolano i relativi azimut, cioè le direzioni in cui vengono osservati rispetto ai punti cardinali.

Con un opportuno procedimento si segna sulla carta nautica il punto stimato e da questo per ogni astro si traccia la retta di azimut.

Dopo aver stabilito la differenza tra altezza vera e stimata di ciascun astro, ricordando l'equivalenza tra minuto d'arco e miglio marino, a partire dal punto stimato si segna un punto sulla retta azimutale, verso il punto subastrale se la sua altezza è maggiore di quella stimata, in direzione opposta se è minore.

Per il punto così trovato si traccia una perpendicolare alla retta di azimut, si traccia cioè la «*retta d'altezza*» tangente al «*cerchio di altezza*» in quel punto. L'intersezione di due rette d'altezza così tracciate darà la posizione della nave.

Bibliografia

- Attilio Cucari e Guido Canestri: Velieri di tutto il mondo dal 1200 ad oggi. Ed. Mondadori
- Dava Sobel: Longitudine. Ed. BUR
- Oliver Allen: Navigatori del pacifico. Ed. Mondadori
- Dana, Melville: Due anni a prora- Billy Bud. Ed. De Agostani
- Vittorio Banfi: Introduzione alla meccanica celeste. Ed. Università di Torino.
- Antonio Leone: Il moto dei corpi celesti. Ed. Muzio
- Aarmand Hayet: Vita e costumi a bordo. Ed. Mursia