

Edoardo Proverbio

# La navigazione astronomica e la determinazione delle longitudini

## La determinazione delle longitudini in mare nel XVII secolo e il contributo di Galileo (1)

**In occasione del 350° anniversario della condanna di Galileo da parte del Sant'Uffizio in seguito alla pubblicazione del *Dialogo sui massimi sistemi* in cui Galileo mostra la superiorità del metodo copernicano, pubblichiamo, diviso in due puntate, un articolo sul contributo di Galileo alla determinazione delle longitudini in mare. L'autore è il professor Edoardo Proverbio, docente di astronomia all'università di Cagliari, direttore della stazione astronomica di Carloforte-Cagliari e dell'osservatorio astronomico universitario di Cagliari.**

Lo sviluppo della navigazione, così come quello di ogni altra attività umana, è segnato da importanti innovazioni tecniche e nelle tecnologie (1). Nel corso della storia della navigazione una delle innovazioni più significative è il passaggio da un metodo di navigazione basato sulla conoscenza della conformazione della costa, delle distanze e della profondità dei mari costieri, a un metodo di determinazione della posizione della nave e dei naviganti costruito invece sulla conoscenza delle cosiddette coordinate astronomiche, e cioè della posizione della nave rispetto a un sistema di coordinate sferiche, la latitudine e la longitudine, fissate convenzionalmente sulla superficie terrestre, supposta sferica (fig. 1).

Se gli strumenti della antica navigazione costiera o quasi costiera erano dati dall'uso di portolani (2), di carte nautiche (3), e successivamente

da quello della bussola (4), l'introduzione della navigazione cosiddetta astronomica modificò sostanzialmente gli strumenti di navigazione e pose nuovi e complessi problemi in relazione ai metodi di misura delle coordinate astronomiche. Come si è detto, sono queste ultime che stabiliscono infatti la posizione del navigante in un certo istante e quindi determinano la rotta della nave.

È ben vero che sin dall'antichità i naviganti che abbandonando le coste s'avviavano ad affrontare il mare aperto (5) potevano fare riferimento per orientarsi a terre e isole note o utilizzavano la conoscenza della direzione dei venti prevalenti (6), o, quando ogni altro elemento fosse venuto a mancare, facevano sempre ricorso alla posizione delle stelle.

Già a partire dai secoli VII-VIII a.C. Omero ci dice infatti che Ulisse navigava facendo ricorso alle stelle (7), e, sette secoli dopo, come racconta il poeta Lucano, Pompeo fuggitivo dopo la disastrosa battaglia di Farsalo chiede al nocchiero «quale costellazione gli indichi la Siria, quale fra le stelle del carro guidi con precisione alla Libia» (8). Tuttavia questo tipo di navigazione affidato alla conoscenza delle costellazioni, dei venti, delle correnti, non può essere considerato che un lontano antenato della navigazione astronomica vera e propria (9).

L'esigenza di definire con maggiore precisione la posizione delle navi in mare aperto si accrebbe notevolmente allorché, a partire dalla metà

del XII secolo, i mercanti genovesi, e in seguito i veneziani, aprirono nuove vie del commercio marittimo sulle coste atlantiche meridionali, con il Marocco, e settentrionali, con la Francia, la Fiandra, l'Inghilterra e il Portogallo. Si può dire tuttavia che solo a partire dal 1420, allorché i portoghesi iniziarono l'esplorazione dell'Atlantico, il problema di determinare la posizione dei navigli in mare si pose con maggiore forza. E non è un caso che proprio a partire dalla fine del XV secolo si manifestò uno straordinario interesse per i problemi idrografici e cartografici. Questo interesse si concretò da una parte con la riscoperta e la traduzione, nel corso del XV secolo, della *Geographia* di Tolomeo, perduta durante il Medioevo (10); dall'altra, con una notevole crescita di attenzione per l'applicazione della scienza e della tecnologia ai problemi della navigazione soprattutto in Inghilterra, Spagna e Portogallo, e nei Paesi Bassi.

La definizione della posizione geografica, rispetto alla superficie della Terra, richiede, come si è detto, la conoscenza delle due coordinate geografiche, latitudine e longitudine. La prima, definita dalla distanza angolare  $f$  del punto A in cui si trova la nave rispetto all'equatore terrestre, corrisponde, come si vede facilmente dalla fig. 2, alla distanza angolare che la direzione del polo Nord forma con il piano dell'orizzonte astronomico in A.

Questa coordinata poteva e può

essere quindi determinata senza eccessive difficoltà, almeno in teoria, misurando l'angolo  $f$  che la direzione del polo forma con la direzione  $T$  della linea meridiana locale. Nel corso del XVI e XVII secolo queste misure di altezza angolare venivano fatte in mare per mezzo di astrolabi, di quadranti, di anelli marini e di arbaleti, tutti strumenti<sup>2</sup> di derivazione astronomica. Le osservazioni consistevano nella misura, di notte, dell'altezza della stella Polare, che si avvicina molto alla direzione del polo Nord celeste, e di giorno nella determinazione dell'altezza meridiana o extrameridiana del Sole. Infatti, nota la posizione del Sole rispetto all'equatore cele-

ste, e cioè la sua declinazione  $\delta$ , è relativamente facile calcolare la latitudine di un punto  $A$ , se si osserva l'altezza del Sole in meridiano sull'orizzonte dello stesso punto (fig. 2).

Le prime osservazioni di latitudine in mare pare venissero effettuate verso la fine del XV secolo (11). Si aprì così una nuova epoca per la navigazione in mare aperto a cui è stato dato il nome di navigazione in latitudine (in inglese *latitude sailing*).

Questa tecnica di navigazione consisteva infatti nello stimare la distanza angolare percorsa dal naviglio da nord a sud (o viceversa) per mezzo di misure di altezza angolare

della stella Polare (e in seguito del Sole) fino a raggiungere il parallelo di latitudine su cui era posto il punto di arrivo o di approdo della nave, e navigando poi lungo tale parallelo facendo uso della bussola e stimando la distanza percorsa (12) con metodi empirici (fig. 3).

Il progresso effettuato mediante la tecnica di navigazione in latitudine trovava tuttavia un ostacolo insormontabile nella difficoltà a determinare la posizione della nave in longitudine con la stessa accuratezza con cui veniva stimata la latitudine astronomica. La longitudine tra due punti, e cioè l'angolo compreso fra i rispettivi meridiani, può essere determinata infatti misurando la differenza tra i tempi locali esistenti negli stessi punti. Così, per la sua posizione in longitudine, un navigante doveva confrontare l'ora corrispondente al luogo (al meridiano) in cui si trovava con l'ora locale corrispondente al meridiano fondamentale, distante generalmente centinaia e migliaia di miglia, nello stesso istante. La determinazione del tempo locale in mare presentava tuttavia non poche difficoltà e veniva effettuata con osservazioni del Sole e, a partire dalla fine del XVI secolo, anche con osservazioni stellari (13). Altrettanto arduo si presentava il problema di stabilire esattamente il tempo corrispondente del meridiano fondamentale, che nel XVI e XVII secolo i geografi identificavano con quello passante per le isole Canarie.

Già nel III secolo a. C. Ipparco aveva preconizzato e, se dobbiamo credere a una incerta tradizione, anche utilizzato un metodo per la determinazione del tempo del meridiano fondamentale basato sull'osservazione delle eclissi di Luna. Il fenomeno delle eclissi lunari, che si manifesta con il parziale o totale oscuramento della superficie lunare, può essere infatti osservato, a seconda delle circostanze, su un'area molto grande del globo terrestre non illuminato dal Sole. Poiché gli istanti di inizio e di fine della fase di passaggio della Luna entro il cono d'ombra della Terra possono essere calcolati con buona precisione a partire dal tempo locale del meridiano fondamentale, si capisce come, conoscen-



Galileo Galilei

do questi istanti, e determinando con l'osservazione del Sole e delle stelle l'istante in cui si manifesta lo stesso fenomeno nel tempo locale di altre località, si renda possibile, sottraendo i due tempi, determinare la longitudine geografica della località data.

Questo originale metodo era noto sin dal Medioevo a partire dal XII secolo. Tuttavia la sua applicazione non era né facile né pratica, a causa delle difficoltà connesse con la determinazione e conservazione del tempo locale in mare e col fatto che le eclissi di Luna sono poco frequenti, poiché si verificano mediamente solo 2-3 volte all'anno.

Jean Werner, nel 1514, nel suo commento alla *Geographia* di Tolomeo propose due nuovi metodi per la determinazione della longitudine che trovarono parziale applicazione nelle determinazioni in mare nel corso del XVI secolo (14). Il primo metodo, detto delle «distanze lunari», è basato sul fatto che, muovendosi la Luna rispetto alle stelle, la sua distanza dalle stelle più luminose varia col tempo. Se supponiamo di calcolare e quindi di conoscere la distanza della Luna rispetto a una o più stelle in funzione del tempo locale del meridiano fondamentale, dalla misura della distanza di una stella dalla Luna effettuata nel corso della navigazione si potrà quindi risalire alla conoscenza dell'istante in cui tale misura è stata fatta, espressa nel tempo del meridiano fondamentale. Determinando poi il tempo locale dell'istante dell'osservazione, la differenza dei due tempi darà subito la longitudine del luogo di osservazione rispetto al meridiano fondamentale. Se la presentazione del metodo delle distanze lunari è da attribuire a Jean Werner, sembra tuttavia che la prima idea di questo metodo debba farsi risalire ad Amerigo Vespucci (1454-1512) il quale aveva già osservato che «il corso più leggiere della Luna» fra le stelle poteva essere utilizzato al fine della determinazione della longitudine.

Il secondo metodo segnalato per la prima volta da Jean Werner per la determinazione della longitudine, anch'esso fondato sul moto della Luna, è basato sul fatto che l'ascen-

- I portoghesi iniziano l'esplorazione dell'Atlantico	1420
- Primo attraversamento dell'equatore	1471
- Bartolomeo Diaz capo di Buona Speranza	1486-89
- Cristoforo Colombo Americhe e Centroamerica	1492
- Vasco da Gama India	1497
- Amerigo Vespucci Brasile	1501-02
- Sebastiano Caboto baia di Hudson	1509
- Fernando Magellano circumnavigazione del globo attraverso il pacifico	1519-22
- Martin Frobisher passaggio Nord-Ovest	1576
- Thomas Cavendish circumnavigazione del globo	1586-88
- Willem Barentsz passaggio Nord-Est	1596
- William Baffin passaggio Nord-Ovest e baia di Baffin	1616

Le più importanti scoperte legate alla navigazione oceanica, a partire dall'esplorazione dell'Atlantico, si concentrano in due periodi collocati a cavallo della fine del XV secolo (periodo ispano-portoghese) e del XVI secolo (periodo anglo-olandese). L'uso della navigazione astronomica introdotto verso la fine del XV secolo è strettamente legato allo sviluppo della navigazione oceanica.

sione retta della Luna varia durante il giorno da 10° a 15° circa. Nota, attraverso il calcolo, l'ascensione retta della Luna nell'istante del passaggio al meridiano fondamentale e determinata, mediante le osservazioni, l'ascensione retta della Luna stessa all'istante della culminazione al passaggio del meridiano locale, non è difficile, in teoria, ricavare la differenza di longitudine fra i due meridiani. In pratica, ambedue i metodi, riproposti in seguito anche da altri astronomi e matematici del XVI secolo, presentavano notevoli difficoltà di calcolo e di osservazione. Le notizie della loro applicazione in mare sono quindi scarsissime. Si ha notizia che il navigatore inglese William Baffin abbia utilizzato entrambi i metodi durante i suoi viaggi di esplorazione alla ricerca del passaggio Nord-Ovest attorno al 1615. Ma ancora alla fine del XVI secolo gli esperti e istruiti navigatori inglesi per raggiungere le coste dell'America usavano la tecnica della navigazione in latitudine, seguendo la rotta dall'Inghilterra alle isole Canarie e navigando poi sul parallelo di tali isole fino all'avvistamento delle coste delle cosiddette Indie Occidentali. Questo metodo, certamente poco efficiente dal punto di vista economico poiché prolungava la durata e quindi i costi della navigazione oceanica, era tuttavia preferito per la sua maggiore

sicurezza dai navigatori ancora nel corso del XVII secolo.

Il problema della determinazione della longitudine in mare, la cui soluzione avrebbe in seguito permesso di seguire rotte molto più economiche, come la cosiddetta rotta «losodromica» e la rotta «ortodromica» (15) si presentava quindi alla fine del XVI secolo, facendo astrazione dalle difficoltà di ordine cartografico (16), come un problema legato allo sviluppo della tecnologia della navigazione.

I principali problemi che si ponevano ai naviganti e che chiedevano risposte più adeguate ai tecnici e agli scienziati erano dovuti alla insufficiente accuratezza degli strumenti di osservazione astronomica (astrolabi, quadranti, orologi ad anello ecc.), delle tavole di declinazione del Sole (17) e delle altre tavole ed effemeridi astronomiche necessarie per la navigazione astronomica (18), e, infine, degli strumenti per la conservazione del tempo. Per conservare il tempo, determinato attraverso l'osservazione del Sole o delle stelle, venivano infatti utilizzate le stesse clessidre a sabbia usate per stabilire la velocità della nave. Questi strumenti permettevano tuttavia di definire il tempo con assai scarsa precisione. I primi orologi meccanici con scappamento a bilanciere pare venissero introdotti nella navigazione oceanica dagli olandesi,

come attesta il ritrovamento dell'orologio di bordo utilizzato da Willem Barentsz nel 1596 durante la spedizione per la ricerca del passaggio Nord-Est. Tuttavia anche questi orologi non potevano in alcun modo conservare il tempo per intervalli lunghi e dovevano essere a loro volta continuamente controllati mediante osservazioni astronomiche di tempo.

In questa situazione appariva del tutto utopistico utilizzare per la determinazione della longitudine il metodo più naturale, basato sul trasporto in mare di orologi, di cui almeno uno sincronizzato sull'ora del meridiano fondamentale. Tale

metodo, proposto nel 1530 da Gemma Frisius (19), il quale suggerì qualche anno dopo di applicare lo stesso metodo alla navigazione, troverà, come è noto, pratica applicazione solo alla fine del XVII secolo, quando l'utilizzazione della spirale per la correzione del moto del bilanciere a opera di Huygens (1675) permetterà di realizzare i primi orologi da marina di precisione. In questa situazione e nell'arco di tempo che va dal 1612 al 1642, anno della sua morte, si colloca la proposta per la determinazione della longitudine in mare elaborata da Galileo Galilei.

In seguito alla costruzione del primo

cannocchiale e alle intuizioni sull'uso di un misuratore di tempo a pendolo, egli si rese ben conto dell'importanza che questi strumenti potevano avere per un rinnovamento delle tecniche per la determinazione della longitudine in mare. L'impegno di Galileo e il suo interesse per il problema delle longitudini in mare ci pare che meriti una certa attenzione poiché questo aspetto dell'attività del grande scienziato è suscettibile di fornire risposte più plausibili in merito ad alcune vicende ancora incerte che riguardano l'opera scientifica dello stesso Galileo.

(1. continua)

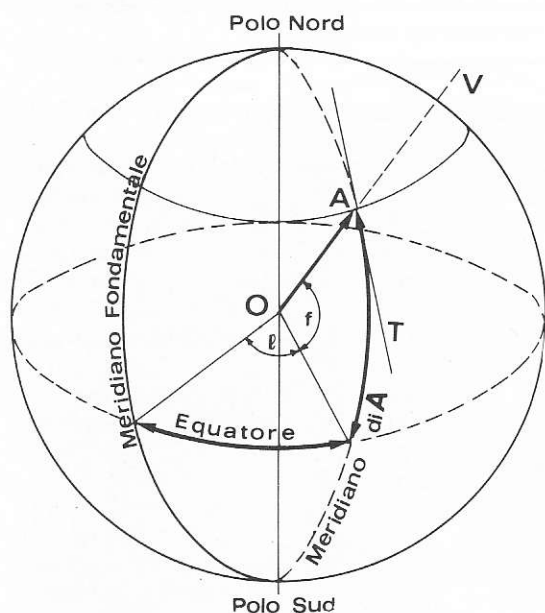


Fig. 1. - Sistema di coordinate per la definizione della posizione del punto nave A sulla superficie della Terra. La latitudine  $f$  è la distanza angolare di A dall'equatore (luogo dei punti di latitudine zero). La longitudine  $l$  è invece la distanza angolare, misurata sull'equatore, del meridiano di A rispetto al meridiano fondamentale convenzionale.

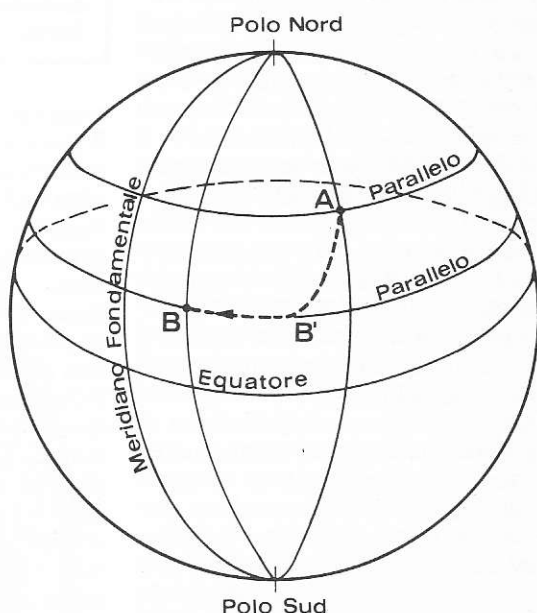


Fig. 3. - Nel corso della navigazione in latitudine la nave si portava dal punto di partenza A, situato a una data latitudine, fino al punto B' effettuando continue osservazioni di latitudine. Il percorso da B' a B veniva percorso a stima facendo uso della bussola e di misure di distanza.

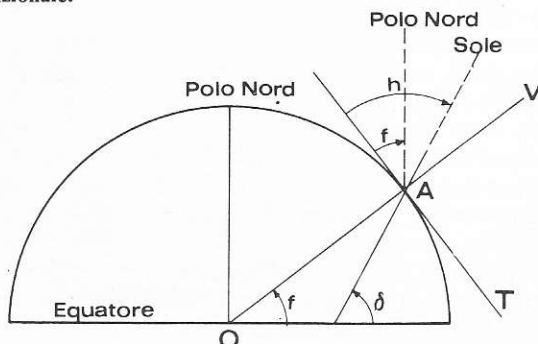
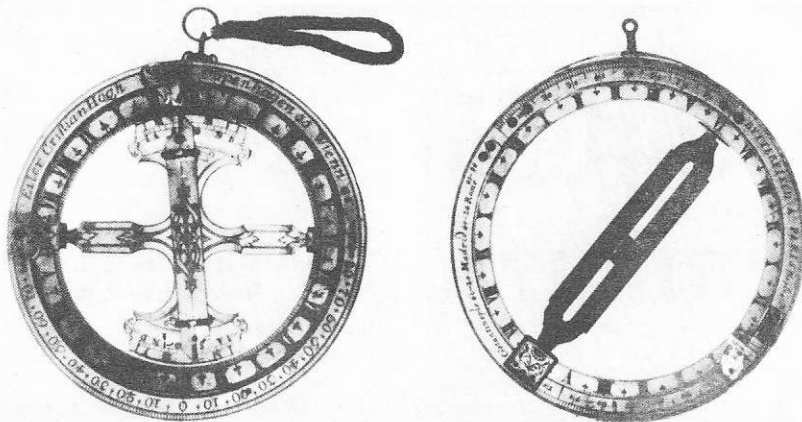


Fig. 2. - La latitudine geografica  $f$  di un punto A sulla superficie terrestre, supposta sferica, equivale alla misura dell'altezza della direzione del polo Nord sull'orizzonte di A. Se si osserva invece l'altezza meridianale  $h$  del Sole e si ritiene nota la sua declinazione  $\delta$ , la latitudine può essere agevolmente calcolata dalla relazione:  $f = h - (90 - \delta)$ . (V=verticale fisica; T=linea meridiana locale)



Orologio solare ad anello (in inglese *ring dial*) usato in mare. È costituito da due anelli, di cui quello interno (anello equatoriale), che porta le ore in numeri romani, può essere posto ad angolo retto rispetto all'anello meridiano esterno. Lungo il diametro è fissato l'asse polare, diretto verso il polo Nord celeste, che porta una guida forata. Sospendendo l'anello e posizionando la guida, il fascio di luce che attraversa il foro di quest'ultima segna sull'anello equatoriale l'ora solare locale.

## NOTE

(1) Tra le profonde innovazioni riguardanti la storia della navigazione è opportuno distinguere fra le innovazioni che riguardano le strutture e i mezzi di navigazione, e cioè il tipo di nave e parti di essa (si pensi alla importante innovazione dovuta all'introduzione nel XIII secolo del moderno timone) e invece quelle che si riferiscono ai metodi e agli strumenti di navigazione veri e propri che hanno permesso di passare dalla navigazione pre-astronomica alla attuale navigazione inerziale.

(2) Col termine «portolano» (dal latino *liber portuum*) sono chiamate le descrizioni delle coste con l'indicazione delle distanze, delle direzioni, rappresentate in base alla «rosa dei venti» suddivisa in 16 direzioni e multipli, e anche delle profondità, usate dai marinai e dai naviganti sin dal Medioevo. Il più antico portolano medievale del Mediterraneo è dato nell'opera *Lo compasso da navigare*, pubblicato nel 1947 da B.R. Motzo (Ann. Fac. lettere e filosofia, Univ. di Cagliari, vol. VIII) che risale alla metà del XIII secolo. Il portolano è una derivazione del più antico *periplus*, con cui venivano descritte da greci, cartaginesi e romani le caratteristiche della costa, dei porti e dei traffici, in uso sino al VI secolo d.C.

(3) La «carta nautica» antica o «compasso», è, in generale, il necessario complemento del portolano. Essa dava la rappresentazione grafica delle coste e dei mari descritti nei portolani. La più antica carta nautica conosciuta è la cosiddetta *Carta pisana*, che risale a circa il 1275, ora conservata nella Biblioteca nazionale di Parigi.

(4) Con la denominazione di ago, bossolo, calamita o ranetta e bussola si trova citato nella lingua italiana il ben noto strumento conosciuto dai cinesi e adattato forse dagli arabi alla navigazione marittima. Il suo uso in

navigazione nell'area del Mediterraneo sembra precedente al 1200. L'uso della bussola con ago galleggiante e più tardi quella con ago mobile su perno venne introdotto dai naviganti arabi e cristiani a partire dalla fine del XIII secolo.

(5) La navigazione in mare aperto o «in altura», prevalentemente effettuata nel Mediterraneo durante il periodo estivo quando il mare era più calmo, era in uso sin dall'antichità. Questo tipo di navigazione veniva seguito soprattutto dalle navi da carico, mentre la navigazione costiera era prevalentemente praticata dalle piccole navi e quando si desiderava rendere più agevole o meno pericolosa la navigazione.

(6) La conoscenza della direzione dei venti prevalenti costituì un importante strumento per la navigazione sin dai tempi più antichi. I romani fecero uso di sistemi di direzione dei venti («rosa dei venti») suddivisi in 16 parti (di derivazione etrusca) e in 12 parti (di derivazione greca). A partire dal VII secolo d.C. nella navigazione prevalse l'impiego della «rosa dei venti» di derivazione etrusca.

(7) Uno dei più significativi riferimenti nell'*Odissea* di Omero alla navigazione stellare è la descrizione del viaggio di Ulisse dall'isola di Calipso, prima della tempesta (*Odissea*, libro V, 323 ss.).

(8) Lucano, *La Guerra civile*, libro VIII, 167 ss.

(9) Gli antichi erano anche in grado di misurare le distanze percorse dalla nave nel corso della navigazione in altura, come attesta Vitruvio (*De Architectura*, X, 14). I romani usavano per questo un semplice strumento (talassodrometro) costituito da palette rotanti. Il numero di rotazione delle palette indicava il numero delle miglia fatte.

(10) Nella sua *Geographia*, Tolomeo (II sec. d.C.) aveva già introdotto il principio dell'uso di paralleli di latitudine e di meridiani di

longitudine, principio andato poi perso presso gli idrografi medievali.

(11) Risulta che Bartolomeo Diaz nel 1488 e Vasco De Gama nel 1497 fecero uso in mare di grandi astrolabi.

(12) La misura della velocità del naviglio e della distanza percorsa veniva effettuata per mezzo di primitivi solcometri, o sagole, rappresentate da galleggianti lanciati in mare e congiunti a una cordicella o sagola. L'altro capo della cordicella era fissato a un mulinello collocato sulla nave per mezzo del quale era possibile determinare, durante brevi intervalli, stimati a mezzo di clessidre a sabbia, il cammino percorso e quindi la velocità della nave.

(13) L'osservazione meridiana o extrameridiana del Sole per la determinazione del tempo veniva effettuata in mare dalla fine del XVI secolo per mezzo di orologi solari ad anello (v. fig. 4). Di notte la determinazione del tempo veniva effettuata invece osservando la posizione del Grande carro per mezzo di uno strumento chiamato notturnlabio.

(14) Jean Werner, *In Ptolemae geographiam annotationes*, Norimbergae, 1514.

(15) Il percorso «lossodromico» è quello seguito dalla nave mantenendo costante l'angolo che il meridiano magnetico, o vero, fa con la direzione della rotta. Tale angolo è dato direttamente dalle bussole magnetiche o giroscopiche. Il percorso «ortodromico», che è naturalmente il più breve, è dato invece da archi di cerchio massimo.

(16) Il passaggio dalle antiche (tracciate senza proiezione e che considerano la superficie come piana) alle moderne carte nautiche è dovuto agli olandesi verso la fine del XVI secolo. Nelle carte in proiezione cilindrica (introdotta nel 1569 dall'olandese Gerardo Kremer detto Mercatore) le linee rette rappresentano curve lossodromiche che tagliano i meridiani sotto un angolo costante. Nelle grandi navigazioni oceaniche si usano anche carte a proiezione gnomonica. In tali carte le rette rappresentano cerchi massimi, mentre i paralleli risultano delle sezioni coniche.

(17) Alle vecchie Tavole Alfonsine, calcolate nel 1252 e pubblicate alla fine del XV secolo, si contrapposero le Tavole Pruteniche pubblicate da Erasmo Reinhold nel 1551 e basate sulla teoria eliocentrica copernicana. Ambedue queste tavole, da cui si derivava la declinazione del Sole, erano tuttavia assai imprecise. Migliori risultati diedero le Tavole Rudolfine pubblicate da Keplero nel 1627.

(18) Una interessante documentazione sull'accuratezza delle tavole che davano la distanza dal Polo della stella Polare, necessaria per il calcolo della latitudine, alla fine del XVI secolo è dovuta all'inglese Thomas Harriot ed è contenuta in un manoscritto conservato alla British Library di Londra.

(19) Gemma Frisius, *De principiis astronomiae etc.*, Anversa, 1530.

# Il ruolo di Galileo nella determinazione delle longitudini

## La determinazione delle longitudini in mare nel XVII secolo e il contributo di Galileo (2)

L'importanza del problema della determinazione della longitudine in mare è dimostrata, in modo tangibile, dalle ingenti somme messe a disposizione di coloro che avessero inventato un metodo per risolvere il problema da parte dei grandi stati marinari del XVI e XVII secolo. Nel 1598 Filippo III di Spagna offriva una pensione perpetua di 6 mila ducati a chiunque avesse dato soluzione al problema della longitudine in mare, e l'Archivio reale olandese possiede un Atto da cui risulta come in data 9 luglio 1611 sia stata promessa a un inglese la somma di 15 mila lire se lo stesso fosse riuscito a dimostrare l'attendibilità di una sua proposta sul medesimo argomento. Anche il governo francese, quello inglese e la repubblica di Venezia offrirono ingenti premi a coloro che avessero proposto un metodo per determinare la longitudine con la dovuta precisione (1). Come abbiamo accennato, i metodi basati sulle eclissi lunari e sul moto della Luna erano infatti ben lontani dal risolvere il problema in modo soddisfacente. Anche i metodi escogitati nei primi decenni del XVII secolo da diversi studiosi, stimolati dall'importanza del problema e dalle vistose ricompense che si dicevano promesse a coloro che avessero trovata una soluzione, si dimostrarono del tutto inadeguati allo scopo (2). In questo quadro si colloca la proposta di Galileo per la determinazione della longitudine in mare.

In seguito alle prime osservazioni effettuate con il cannocchiale, ini-

ziate nella seconda metà del 1609, e alla scoperta dei quattro satelliti di Giove, Galileo intuì che i fenomeni di eclissi, di passaggio sul disco del pianeta e le altre circostanze legate al moto di questi oggetti celesti potevano essere utilizzati, al pari delle eclissi lunari, per il computo della longitudine. Sulla base della conoscenza dei periodi di rivoluzione (3), si poteva infatti pensare di calcolare delle tavole che fornissero gli istanti in cui si verificano i fenomeni di eclissi dei satelliti di Giove nel tempo del meridiano delle Canarie. Dall'osservazione poi dei medesimi fenomeni, che si presentano con una frequenza di gran lunga superiore a quella con cui si manifestano le eclissi lunari, e dalla determinazione dell'istante in tempo locale con cui questi stessi si verificano, risulta facile, in teoria, pensare di dedurre il valore della longitudine astronomica.

Cogliendo l'occasione di una trattativa in corso fra il granduca di Toscana e la Spagna, sembra probabile che Galileo abbia suggerito di proporre al sovrano spagnolo, alla fine dell'estate del 1612, un «nuovo trovato, il quale messo in uso nella navigazione, può apportare quest'ultima perfezione che sola è mancata sinora in tale esercizio: è questo un modo di misurar la longitudine a qualsivoglia ora della notte e quasi in tutto il tempo dell'anno» (4). La proposta di Galileo, presentata in modo del tutto impersonale, non ebbe seguito, anche perché, a quanto risulta, un progetto relativo allo

stesso oggetto sembra fosse stato proposto da un altro matematico al governo spagnolo. Ha inizio tuttavia da questa prima trattativa la lunga, estenuante e tuttavia emblematica serie di tentativi, interrotti solo dalla morte del grande scienziato, avviati per imporre all'attenzione dei più importanti stati marinari un metodo, veramente innovatore, per la determinazione della longitudine in mare. Come vedremo, i risultati di questa attività, a volte frenetica, non corrisposero alle aspettative di Galileo. Le cause di questo scacco furono diverse e complesse. Tenteremo tuttavia di delinearne, sia pure a grandi tratti, la trama di questa straordinaria impresa, poco conosciuta, ma che rappresenta invece, con alterne vicende, sia per il lungo arco di tempo da essa sotteso, sia per l'intreccio che essa presenta con altri importanti avvenimenti dell'attività scientifica e privata di Galileo, un momento certamente non trascurabile della sua vita.

L'occasione di «rattaccar quel filo che già fu promosso» si presentò allorché, nell'aprile del 1616, Galileo ebbe modo di incontrare Bartolomeo Leonardi di Argensola, rettore di Villa Hermosa e segretario del conte di Lemos, viceré di Napoli. In seguito alle sollecitazioni di Galileo per rimettere «in piedi il negozio» il rettore di Villa Hermosa fece parte della proposta lo stesso conte di Lemos, mentre da parte sua il nuovo segretario di stato del granduca di Toscana, Curzio Picchena, informava l'ambasciatore a Madrid, Orso

d'Elci, della situazione e lo invitava a riprendere il negoziato. E ciò anche per espresso desiderio di Galileo, il quale evidentemente stimava vantaggioso, di nuovo, un intervento diretto della diplomazia del granduca. In questa circostanza il segretario di stato accenna anche, per la prima volta, al «premio di onorevolezza ed utile a chi portasse una tale invenzione» stabilito a suo tempo, come pare, dal sovrano spagnolo. In seguito a suggerimento dell'ambasciatore Orso d'Elci, lo stesso Galileo inviò poi in data 13 settembre 1616 direttamente al conte di Lemos e al suocero di questo, il potente duca di Lerma, ministro di Filippo III di Spagna, l'offerta sul «modo di potere in ogni luogo e tempo prendere la longitudine», allegando a queste lettere una *Relazione generale* del nuovo trovato. Una lunga lettera scrive Galileo, alla stessa data, all'ambasciatore Orso d'Elci a cui unisce la *Relazione generale*, incitandolo a portare avanti l'iniziativa e togliendo «con fermezza ogni dubbio che altri potesse mettere sopra la verità e sicurezza del principal fondamento dell'opera». La risposta del conte di Lemos, del 18 marzo 1617, contiene un apprezzamento per la proposta di Galileo. Lo stesso Filippo III di Spagna nel novembre 1617, informato dal duca di Lerma, decide di sottoporre l'offerta al Consiglio di stato. Intanto Galileo non si dà pace, e nel giugno 1617 fa pervenire a Orso d'Elci una lunga missiva nella quale si sofferma pazientemente su alcune obiezioni relative all'impiego pratico del metodo, evidentemente segnalategli dallo stesso ambasciatore fiorentino; si offre di trasferirsi in Spagna per mostrare direttamente a Sua Maestà l'efficacia del suo ritrovato, e, quale rimborso per le spese di viaggio, offre addirittura al re di Spagna un'altra sua scoperta, il cosiddetto *celatone* (5). Sul finire della lettera accenna Galileo inoltre al fatto che la ricompensa di duemila ducati di rendita perpetua «al ritrovato di questo giudizio», di cui gli è giunta notizia, «è molto inferiore a quella che aveva intesa a Roma in casa l'illustrissimo Sig. Card. Borgia, che era di ducati seimila con una croce di S. Iago». Dalla lettera appare chiaramente l'ansia

dello scienziato di vedere accettata una sua proposta, che egli ritiene non solo valida ma di grande utilità per la navigazione, non disgiunta tuttavia dal miraggio di ottenere dalla stessa, come ricompensa, un qualche vantaggio economico.

A quanto pare la trattativa, svolta attraverso i canali diplomatici, e quindi necessariamente affidata a persone spesso digiune di cultura scientifica e usi a valutare con ben altri criteri il significato di una offerta come quella di Galileo, incontrava tuttavia ostacoli che difficilmente Galileo poteva immaginare. Lo stesso ambasciatore di Toscana a Madrid sembra avere qualche problema a comprendere la reale portata della proposta se ancora il 30 novembre 1617 esprime al segretario fiorentino la preoccupazione «che l'invenzione riuscisse poi praticabile e da potersi usare da tutte le ore e da tutte le persone, come ha bisogno la navigazione».

A queste preoccupazioni tenta di far fronte ancora una volta Galileo con un'altra lunga lettera allo stesso Orso d'Elci, in cui puntualizza che «il prendere la longitudine non può avere bisogno di maggiore frequenza di quel che s'abbia l'osservazione della latitudine, la quale facendosi per via di strumenti matematici, come l'astrolabio e la balestriglia, non si può fare né in tempi nuvolosi né nella gran commozione del mare». Ma a nulla valse la scienza di Galileo contro le lentezze burocratiche e l'eccessiva circospezione dell'amministrazione spagnola.

L'ambasciatore toscano scriveva ancora al segretario fiorentino nell'aprile 1618 che «la proposizione si era messa in mano alcuni uomini periti», ma il parere di questi esperti non risulta sia stato mai espresso.

Per iniziativa di Giuliano dei Medici, nuovo ambasciatore fiorentino a Madrid, a cui Galileo si rivolge subito con una nuova lettera, sembra tuttavia che, agli inizi del 1620, l'offerta di Galileo venga finalmente presa in seria considerazione. Lo stesso Filippo III diede infatti disposizione, in quella circostanza, affinché Galileo potesse recarsi a Napoli, residenza del viceré, per esporre la sua proposta. Ma la lettera di invito ufficiale per conto di Galileo, o

quantomeno copia della lettera di istruzioni invata al viceré di Spagna, non pervenne probabilmente mai al segretario fiorentino. La causa di questo disagio sembra doversi imputare al fatto che il cardinale Gaspare Borgia, nominato viceré di Napoli nel gennaio 1620 in sostituzione del duca di Ossuna, coinvolto in una trama contro la repubblica veneta, non poté prendere praticamente possesso della sua carica, per gli intrighi del suo predecessore, che ai primi del giugno 1620. Sta di fatto che anche dopo la presa di possesso di tale carica, che peraltro il cardinale Borgia mantenne solo sino agli inizi del dicembre dello stesso anno, e probabilmente proprio a causa di questa situazione di incertezza e delle eccessive tergiversazioni dello stesso ambasciatore di Firenze a Madrid, Galileo non raggiunse mai la sede del viceré e le trattative furono nuovamente abbandonate.

Negli anni immediatamente successivi nessun documento a noi noto può confermare altre iniziative di Galileo, certamente scoraggiato ma non domo, rivolte all'applicazione del suo trovato sulle longitudini. Il problema rimase tuttavia sempre presente nella mente dello scienziato e in quelle dei suoi corrispondenti, se Alfonso Antonini si premurò di comunicare a Galileo nell'ottobre del 1627 che «le Compagnie de' Mercanti e gli Stati hanno messo ciascuno una grossa somma di oro e depositata (dicono che sia intorno a 30 mila scudi), per darla a chi potrà insegnare il modo di trovare la longitudine per uso della navigazione».

Sembra probabile che Galileo abbia risposto alla missiva dell'Antonini chiedendo chiarimenti sulla via da seguire per intavolare eventuali trattative con gli Stati generali d'Olanda, come risulta da una successiva lettera dell'Antonini a Galileo. Anche questa iniziativa non ebbe comunque, almeno per il momento, alcun seguito, anche se gli amici dello scienziato non mancavano di sollecitarlo a rendere pubblico il suo ritrovato.

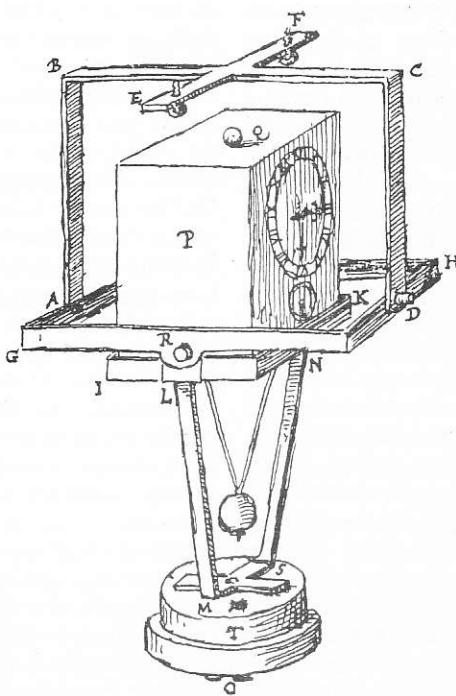
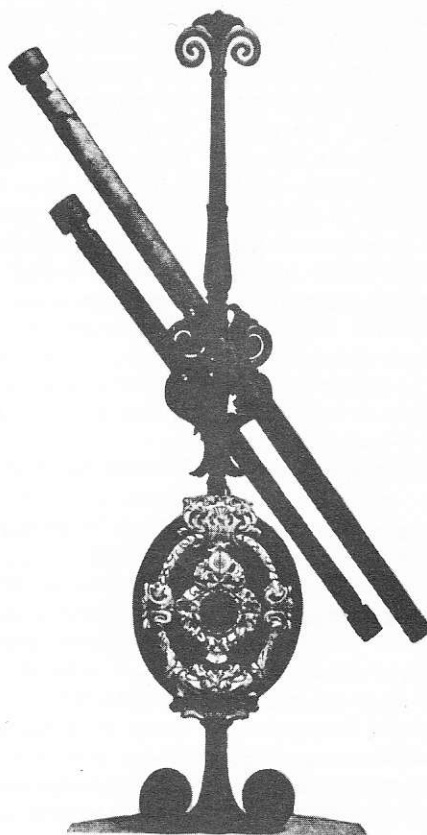
Sulle cause che concorsero a ostacolare l'avvio di una trattativa con gli stati d'Olanda da parte di Galileo nel 1628 si può a lungo congetturare. Credo, tuttavia, che Galileo fosse

convinto, all'epoca, sulla base della sua esperienza padovana che fosse assai più agevole trattare con uno stato accentrato e autoritario, come il regno di Spagna, che non con uno stato retto invece da un governo democratico, che richiedeva, in apparenza, assai maggiori verifiche e controlli di carattere politico e amministrativo. A ciò si aggiunge il fatto che già verso la seconda metà del 1629, venuto a conoscenza che Filippo IV, re di Spagna, desiderava avere uno dei telescopi da lui costruito, Galileo tramite Gianfrancesco Buonamici, a quel tempo segretario del duca di Neuburg a Madrid, ripropone allo stesso re di Spagna la sua «invenzione di graduar la longitudine».

In tal senso egli scrive anche a Esaù del Borgo, maestro di camera di Averardo dei Medici, ambasciatore a Madrid del granduca fiorentino, proponendo l'invio a Madrid del figlio Vincenzo e di altre due persone esperte nel maneggiare il telescopio e nel realizzare il progetto da lui inventato per liberare lo stesso telescopio dall'agitazione del mare.<sup>18</sup>

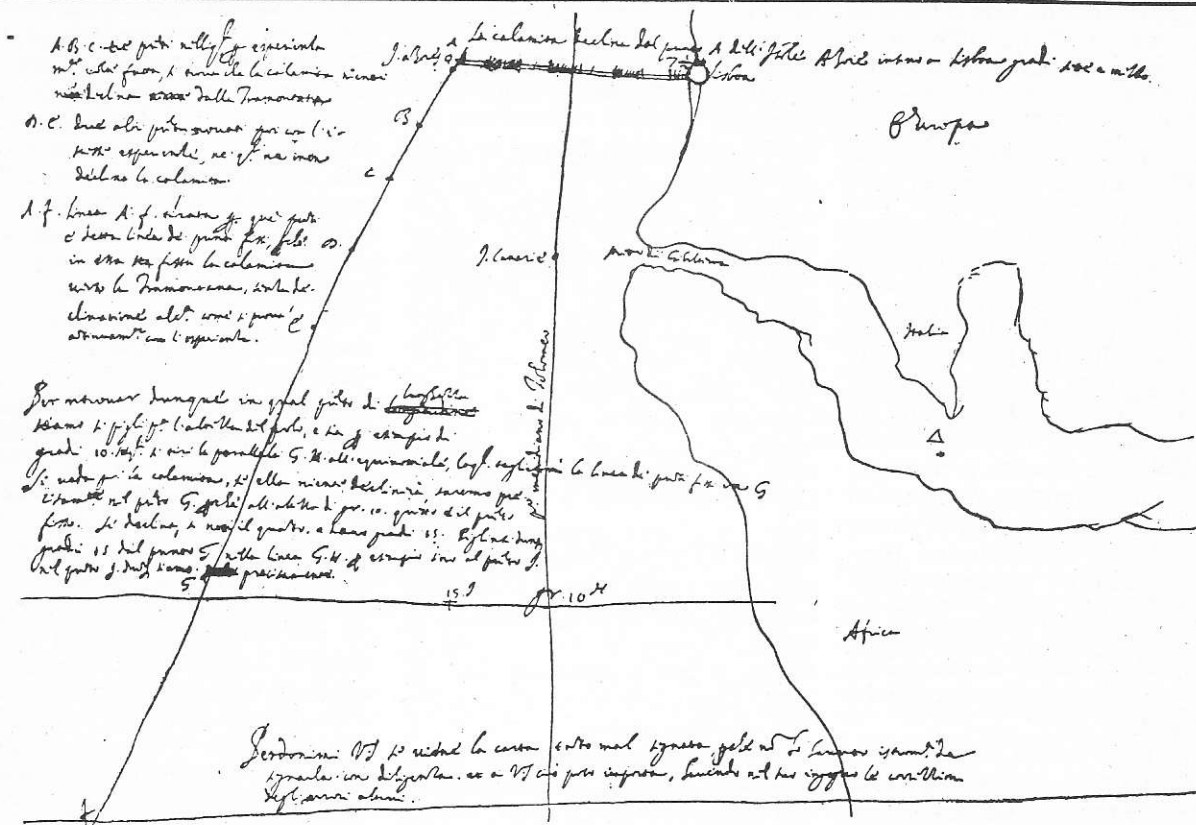
Accontentato il re per quanto riguarda il telescopio, pare tuttavia che il negozio della longitudine trovi ulteriori impedimenti se ancora il 21 agosto 1632 l'ambasciatore Francesco dei Medici scrive al segretario fiorentino Andrea Cioli che il duca di San Lucar, celebre uomo di stato a cui ha presentato l'offerta di Galileo, «desidererebbe che l'intenzione fusse vera, et ancorché stimi molto il valor del Sig. Galileo, nondimeno, per esserci stati infiniti altri che hanno proposto il medesimo, ci ha qualche difficoltà».<sup>20</sup>

Intanto, nel febbraio del 1632, vide la luce la prima grande opera di Galileo, il *Dialogo sui Massimi Sistemi*, e ha inizio un nuovo drammatico capitolo della vita dello scienziato e della storia della longitudine. Come è noto, il 1° ottobre 1632 l'inquisitore di Firenze intimò per la prima volta formalmente a Galileo l'ordine del Sant'Uffizio di recarsi a Roma, e, nel giro di meno di otto mesi si realizzò la tragedia dell'abiura e della condanna di Galileo (6). Acquista quindi un significato particolare la frase lapidaria: «Il Sig. Galileo si aspetta qua di passaggio per Roma si che io



Il cannocchiale di Galileo e (sotto) schizzo eseguito da Huygens attorno al 1660 di un orologio da marina a pendolo. Le prestazioni di questo tipo di orologio per la navigazione furono assai al di sotto delle previsioni





Riproduzione del disegno inviato da Paolo Bombini a Galileo nell'agosto 1630 con la descrizione del metodo della declinazione della calamita proposto dal gesuita Cristoforo Borro per la determinazione della longitudine

harò occasione di fargli vedere quel che V.S. Ill. ma dice di aver negoziato per lui, et egli di replicare quel che gli occorrerà», contenuta in una lettera inviata, da Siena, dal segretario fiorentino a Francesco dei Medici, ambasciatore a Madrid.

Questa lettera segna infatti l'epilogo della lunga trattativa fra Galileo, aiutato da pochi veri amici, armato solo delle sue conoscenze e delle sue intuizioni, e la cattolicissima corte spagnola, animata da segretari, ambasciatori, uomini potenti, ma scaltri ed eccessivamente guardinghi, incapaci di portare a compimento una trattativa che avrebbe potuto avere un benefico effetto non solo in merito al problema della longitudine, ma che avrebbe certamente spinto Galileo a perfezionare il suo ritrovato per ciò che concerne la determinazione delle effemeridi e la misura e conservazione del tempo. Ma la vicenda della longitudine vivrà ancora una lunga e commovente conclusione.

Infatti, cadute, all'inizio del 1636, le

trattative, promosse probabilmente dall'amico di Galileo Elia Diodati e condotte, a partire dal maggio 1635, da Ugo Grozio, ambasciatore della regina di Svezia a Parigi, allo scopo di trasferire il grande scienziato fiorentino, praticamente prigioniero nella villa «Il Gioiello» di Arcetri nei pressi di Firenze, in Olanda, presso l'università di Amsterdam, rimase in piedi l'argomento che nelle trattative stesse forse presentava per Galileo il maggiore interesse, e cioè il problema della determinazione della longitudine in mare. Stimolato da questa trattativa e incitato dagli amici, Galileo invia in tal senso, nell'agosto del 1636, una proposta formale agli Stati generali delle province unite dei Paesi Bassi. Appoggia questa proposta con lettere indirizzate all'amico Elia Diodati, all'ambasciatore Ugo Grozio e a Lorenzo Reaglio, viceammiraglio della marina olandese e antico governatore delle Indie orientali. Sarà proprio quest'ultimo a presentare l'11 novembre 1636 la proposta di Galileo

all'Assemblea degli Stati generali, la quale, seduta stante, accetta di fare esaminare la proposta di Galileo da una commissione composta dallo stesso Reaglio, da Martino Ortensio, professore di matematica dell'ateneo di Amsterdam, e da Guglielmo Blavio, astronomo e abile costruttore di globi terrestri e celesti. Nella proposta Galileo offre, questa volta gratuitamente, agli Stati generali il suo ritrovato, che per la prima volta viene ampiamente illustrato. In questa proposta infatti Galileo espone chiaramente quali sono i requisiti richiesti per l'applicazione della proposta stessa, così riassunti: «Prima, l'esquisita teorica dei movimenti di esse stelle Medicee circunoviali, per la quale da periti astronomi si possano calcolare e distribuire in efemeridi tutti gli accidenti soprannominati. Secondariamente, si ricercano telescopi di tale perfezione, che chiaramente rendano visibili et osservabili esse stelle. Terzo, convien trovare modo di superare la difficoltà che altri può credere che arre-

chi l'agitazione della nave nell'uso di esso telescopio. Nel quarto luogo, si ricerca esquisito orologio per numerar l'hore e sue minuzie, a meridie overo ab occasu solis». Fornisce inoltre ampia assicurazione circa la reale possibilità di dare pratica soluzione ai requisiti stessi.

A partire dal dicembre 1636 una fitta corrispondenza intercorre fra tutti gli interessati a questa impresa, gli uni per chiedere chiarimenti e diradare dubbi, gli altri, e principalmente Galileo, per dare garanzie ma anche per sollecitare continuamente la buona riuscita del negozio. L'amico di Galileo, Elia Diodati, preme a più riprese sui commissari incaricati di redigere la relazione, scrive anche diverse lettere a Costantino Huygens, segretario e consigliere degli *Statolder* di Olanda, Federico Enrico e Guglielmo II, mentre d'altra parte incalza lo stesso Galileo perché si affretti a rispondere ai quesiti a lui sottoposti.

Intanto nella seduta del 25 aprile 1637 l'Assemblea degli Stati generali decide «di onorare Galileo Galilei con una catena d'oro del valore di 500 fiorini, di far esaminare la scoperta suddetta a loro spese, e di ricompensarla con riconoscenza e liberalità, se corrisponderà alla di lui promessa».

Ma la trattativa non sembrava di rapida soluzione. Si intrecciano ancora raccomandazioni e richieste. In una lettera a Lorenzo Reaglio Galileo illustra ancora in particolare il suo progetto che permette di adoperare il telescopio per l'osservazione dei satelliti di Giove in mare, e quello relativo al «misuratore di tempo», e in una successiva si offre addirittura di inviargli il proprio telescopio, ricevendone un amichevole rimprovero da parte di Elia Diodati. Quest'ultimo preme invece (dato il peggiorare delle condizioni di salute e fisiche di Galileo) (7), affinché Martino Ortensio venga espressamente a Firenze per apprendere direttamente dal Maestro la tecnica per la determinazione della longitudine e in tal senso informa Galileo, con una lettera insistendo sul fatto che ciò che interessava gli Stati generali era il problema della longitudine in mare, e non i fenomeni relativi al miglioramento delle carte geo-

grafiche a cui Galileo aveva in precedenza fatto riferimento nelle sue lettere al Reaglio e ad altri. Questa proposta venne accettata dagli Stati generali.

Ma i problemi amministrativi legati alla concessione di una rimessa di duemila fiorini all'Ortensio per sopprimere alle spese di viaggio e come ricompensa per le proprie prestazioni risultarono più complessi del previsto. La Compagnia delle Indie orientali, invitata a pagare la somma all'Ortensio sul fondo dei diritti di convoglio, avanzò infatti alcuni rilievi. Fatto sta che solo verso la metà di luglio del 1638 l'Ortensio ricevette finalmente la somma pattuita per il suo viaggio in Italia. Intanto a Firenze l'inquisitore generale, saputo della visita dell'Ortensio a Galileo, dopo avere ammonito lo stesso Galileo, ne dava avviso a Roma, e poche settimane dopo il Sant'Uffizio dava istruzioni di impedire qualsiasi incontro fra Galileo e la persona attesa se questa fosse risultata eretica, permettendone invece il colloquio se la persona fosse stata di religione cattolica purché nel corso del colloquio stesso non venisse trattato nulla, a riguardo del moto della terra. In aggiunta a ciò lo stesso cardinale Francesco Barberini ribadiva all'inquisitore generale a Firenze Giovanni Muzzarelli che «se il personaggio destinato a Galileo Galilei, e con regali di prezzo, per ritrarne da lui l'istrumento che mostra il modo di navigare per la longitudine del polo, sarà di setta heretica, o mandato da città heretica, questi Eminentissimi miei Signori non hanno per bene che Galileo lo introduca a ragionar seco, et ella gli ne dovrà fare la proibizione in forma». Si può ben capire qual fu la reazione di Galileo, ultrasettantenne, gravemente sofferente e completamente cieco, privo di un vero e proprio appoggio da parte del governo toscano, a queste forti pressioni provenienti dal Sant'Uffizio. In una lettera a Elia Diodati del 7 agosto 1638, Galileo, «sommamente afflitto e prostrato in letto», informa l'amico di avere riconsegnato ai mercanti Ebers tedeschi la collana che essi gli avevano recapitata a nome degli Stati generali d'Olanda «e ciò per vari rispetti et in particolare per

avere il mio infortunio della perdita della vista e dell'aggravio di gravissima malattia interrotto il negozio che si trattava». Che questo non fosse tuttavia il vero motivo addotto da Galileo per avere ricusato la collana, si deduce da una successiva lettera di Galileo a Elia Diodati nella quale egli afferma «che la mala fortuna ha voluto che si scuopra al S. Offizio il trattato che tenevo con g' Ill.mi e Potentissimi Sig.ri Stati circa la longitudine», e conferma il «gran danno e pregiudizio» che egli teme gli possa venire da questa vicenda, ringraziando inoltre l'amico per avere invitato l'Ortensio a soprassedere dal viaggio a Firenze da gran tempo preparato.

Resta il fatto che per circa un anno il negozio rimane praticamente interrotto e quando finalmente l'Ortensio che nel frattempo, in attesa che le acque si acquetassero, intascata la somma concessa dagli Stati generali, si preparava al lungo viaggio, la morte lo colse il 17 agosto 1639. Con la morte di Martino Ortensio tutti i membri della commissione incaricata dagli Stati generali di esaminare la proposta della longitudine risultavano defunti, essendo venuto a mancare il 21 ottobre 1638 anche Guglielmo Blavio.

La situazione si presentava quindi disperata. Appare quindi ancora una volta veramente straordinaria la reazione di Galileo di fronte a questo ennesimo sfavorevole evento. In una lettera a Elia Diodati il grande vegliardo insiste ancora infatti, con un ottimismo che solo un interesse eccezionale per il problema della longitudine poteva giustificare, sulla possibilità che il negozio per la longitudine, malgrado tutto, potesse avere ancora esito positivo, suggerendo all'amico di sollecitare un intervento presso gli Stati generali da parte dell'ambasciatore della regina di Svezia a Parigi, Ugo Grozio, e proponendo di inviare ad Amsterdam un suo collaboratore: Vincenzo Renieri.

A quest'ultimo infatti Galileo aveva affidato, negli ultimi, il compito di effettuare ulteriori osservazioni dei satelliti di Giove e tutti i materiali delle sue proprie osservazioni e dei suoi calcoli sui Pianeti Medicei allo scopo di definirne le tavole dei moti

medi. Analoga viva sollecitazione invia Galileo allo stesso Grozio. Elia Diodati, a sua volta, preme su Costantino Huygens e su Guglielmo Boreel che, dopo la morte del Reaglio, era stato interessato al problema della longitudine.

Queste pressioni non ebbero purtroppo alcun risultato pratico. In una accorata lettera a Galileo del 15 giugno 1640, che dà l'immagine del tragico epilogo a cui è giunta anche questa seconda, lunga e travagliata vicenda della proposta galileiana della longitudine, lo stesso Diodati manifesta apertamente e per la prima volta a Galileo la vanità di ogni ulteriore speranza. Ma Galileo sembra rimanere fino all'ultimo attaccato a questa speranza, ormai illusoria, a ciò spinto anche da conoscenti e amici come Michele Pierrucci da Padova e Fulgenzio Micanzio da Venezia, il quale in data 4 gennaio 1642 informa Galileo del «desiderio di alcuni Signori et de Mercanti olandesi di vedere perfettionato quell'opera tanto singolare, et che è stata dai più sublimi ingegni stimata imperscrutabile, della misura della longitudine». Questa lettera non giunse mai a Galileo.

Il giorno 8 gennaio dello stesso anno il «venerabile vecchio» muore infatti in Arcetri, e il metodo di Galileo per la determinazione della longitudine in mare cade praticamente nell'oblio. Come si è accennato, i motivi di questo sconcertante epilogo furono certamente diversi. Il disagio a osservare i satelliti di Giove in mare con telescopi rudimentali e difficoltà a

calcolare effemeridi sufficientemente precise degli stessi oggetti celesti, possono avere certamente influito negativamente sulle opinioni di giudici impreparati a valutare l'affidabilità di un metodo che avrebbe introdotto una indubbia innovazione nelle tecniche di navigazione astronomica. Non a caso il solo astronomo che si propose di introdurre tale metodo nella pratica della determinazione di longitudine fu il grande astronomo bolognese Gian Domenico Cassini, il quale arrivò a calcolare le tavole del movimento dei quattro satelliti di Giove nelle sue *Ephemerides bononienses medicorum siderum*, pubblicate a Bologna nel 1668.

D'altra parte il metodo basato sul trasporto dei cronometri, anche dopo l'applicazione del pendolo all'orologio (1657) da parte di Christian Huygens, figlio di quel Costantino Huygens che una non trascurabile parte ebbe, come si è visto, nelle vicende legate alla proposta di Galileo, e la realizzazione della spirale compensativa negli orologi a molla (1675) non portò, se non molto più tardi, apprezzabili miglioramenti nella navigazione astronomica. Questo miglioramento è legato al nome di John Harrison e alla costruzione dei primi orologi a scappamento a forchetta (1735). Più di un secolo intercorse quindi tra le prime proposte di Galileo e l'applicazione di un metodo veramente alternativo per la determinazione della longitudine. Sulla sfortunata vicenda di Galileo gravarono tuttavia incomprensioni,

la carenza di una adeguata assistenza, per ragioni di stato e in momenti cruciali, da parte della corte granducale, e l'isolamento intellettuale che fece seguito alla condanna del Sant'Uffizio. È probabile che la storia della determinazione della longitudine in mare e della navigazione astronomica avrebbe avuto esito diverso se più favorevoli circostanze avessero concorso a superare le difficoltà formali e se lo stesso Galileo fosse stato messo in condizioni tali da permettergli di perfezionare gli aspetti tecnici del suo trovato della longitudine.

(2. fine)

#### NOTE

(1) Il Parlamento inglese approvò nel 1714 un Atto che prevedeva il pagamento di 10 mila sterline a colui che avesse proposto un metodo per determinare la longitudine con la precisione di un grado, 15 mila sterline con la precisione di 40 primi d'arco, e 20 mila sterline con la precisione di 30 minuti d'arco.

(2) Fra questi è da citare quello escogitato da Cristoforo Colombo nel corso del ritorno dal suo secondo viaggio del 1496 dall'isola di Guadalupa, e basato sul fatto che l'angolo formato dalla direzione del polo Nord magnetico rispetto al polo geografico (declinazione magnetica) varia da luogo a luogo. Ancora nella prima metà del XVII secolo il cosiddetto metodo della declinazione della calamita era oggetto di un certo interesse.

(3) Il periodo siderale dei quattro satelliti Medicei di Giove risulta oggi (espresso in giorni); Io 1,77; Europa 3,55; Ganimede 7,15; Callisto 16,69.

(4) Il periodo appare in una nota autografa di Galileo, probabilmente allegata a una minuta inviata in data 7 settembre 1612 da Belisario Vinta, segretario di stato dal granduca, al conte Orso d'Elci, ambasciatore di Toscana a Madrid (cfr.: G. Galilei, *Opere*, vol. XI, Firenze 1968 p. 392). A questa trattativa sembra doversi riferire un altro documento, noto come *Proposta della longitudine*, attribuito a Galileo (cfr. G. Galilei, *op. cit.*, V, 419).

(5) Dispositivo descritto da Galileo per facilitare l'osservazione in mare d'oggetti terrestri e celesti col telescopio.

(6) L'abiura di Galileo davanti al Sant'Uffizio di formalizzò il 21 giugno 1633. Il giorno dopo i cardinali dello stesso Sant'Uffizio lessero la sentenza.

(7) Galileo subì una prima grave flussione, che precedette la perdita dell'occhio destro, nel maggio del 1637. Alla fine dello stesso egli perdeva praticamente la vista in ambedue gli occhi.

## NOTE SUPPLEMENTARI

- (1) Su questi temi si veda: J.W. Shirley, *Improvements in Techniques of navigation in Elizabethan England*, e D.W. Waters, *The instrumental and Astronomical Solution to the Problem of Longitude at sea in the Eighteenth Century*, in "Transport Technology and social change", Ed. P. Sorbam, Tekniska Museet, Stockolm, 1980.
- (2) Maggiori informazioni su questi strumenti si trovano in: E. Poulle, *Les conditions de la navigazio astronomique au XV siècle*, Coimbra, 1969.
- (3) cfr. E. Poulle, op. cit.
- (4) S. Canovai, *Viaggi d'Amerigo Vespucci*, ecc. Firenze, 1817.
- (5) E. Morpurgo, *E' difficile datare un orologio antico*, La Clessidra, 1957, 3, 23.
- (6) G. Galilei, *Opere*, XI, 417.
- (7) La più completa documentazione sulle vicende di Galileo in relazione ai negoziati con la Spagna ed i Paesi Bassi per la determinazione della Longitudine in mare è ancora quella fornita da A. Favaro (*Mem. R. Istituto veneto*, XXIV, 1981, p. 101-148, e p. 289-338).
- (8) G. Galileo, *Opere*, XII, 255.
- (9) *Ibid.*, XII, 267.
- (10) *Ibid.*, V, 423.
- (11) *Ibid.*, XII, 291.
- (12) *Ibid.*, XII, 353.
- (13) *Ibid.*, XII, 358.
- (14) *Ibid.*, XII, 384.
- (15) In una nota al lavoro citato (p. 113) il Favaro accenna all'ipotesi di una ripresa delle trattative sulla longitudine tra il 1627 e 1629 tramite il Governatore dello stato di Milano, allora sotto il dominio spagnolo, senza produrre tuttavia alcuna documentazione.
- (16) G. Galileo, *Opere*, XIII, 376.
- (17) Si veda la lettera di Fr. Stelluti a Galileo in data 2 dicembre 1628 (cfr. Galileo, *Opere*, XIII, 376).
- (18) G. Galilei, *Opere*, XIV, 52.
- (19) *Ibid.*, XIV, 202.
- (20) *Ibid.*, XIV, 374.
- (21) cfr. A. Favaro, op. citata, p. 148.
- (22) G. Galilei, *Opere*, XVI, 463.
- (23) *Ibid.*, XVIII, 118.
- (24) *Ibid.*, XVIII, 78.
- (25) *Ibid.*, XIX, 539.
- (26) *Ibid.*, XVII, 127.
- (27) *Ibid.*, XIX, 542.
- (28) *Ibid.*, XIX, 544.
- (29) *Ibid.*, XIX, 545.
- (30) *Ibid.*, XIX, 288.
- (31) *Ibid.*, XVII, 356.
- (32) *Ibid.*, XVII, 369.
- (33) *Ibid.*, XVII, 372.
- (34) *Ibid.*, XVIII, 132.
- (35) *Ibid.*, XVIII, 203.
- (36) *Ibid.*, XVIII, 376.