

CARLO MACCAGNI

**DAL MEDITERRANEO ALL'ATLANTICO:
SCIENZE NAUTICHE E STRUMENTI**

Dopo discorsi di ampio respiro e di grande autorevolezza devo dire che in qualche modo mi sento un po' imbarazzato di scendere, proprio alla fine, a considerazioni minute – e anche un po' noiose e inconsuete – su particolari tecnici.

Il mio intervento, infatti, è soprattutto inteso a tentare di riportare nel contesto che mi è più congeniale della storia delle scienze e delle tecniche una serie di elementi legati alle navigazioni e alle grandi scoperte tra Quattrocento e Cinquecento, collegandoli funzionalmente fra di loro e a quanto si sapeva in campo scientifico. Vorrei insomma rivedere quegli elementi scientifico-tecnici come un capitolo di storia delle scienze e delle tecniche, sembrandomi che anche in tale contesto quanto connesso alle necessità della navigazione abbia una parte non secondaria.

Inoltre, mi sembra opportuno questo passaggio dalla storia delle scoperte a quella delle scienze e delle tecniche, perché il criterio di un esito felice – che è talvolta seguito nella prima – non mi pare sia sufficiente a far valutare come corretto il procedimento secondo il quale si è pervenuti a un risultato positivo, e nemmeno a far attribuire assoluta fede alla testimonianza che lo espone. D'altronde gli estensori dei nostri documenti appartengono a tipologie molto varie: c'è chi ha esperienze dirette e conoscenze specifiche e parla di sé, secondo il sapere del tempo; chi vede e descrive dal di fuori, senza molto capire; chi riferisce dopo aver *interpretato* l'informazione ricevuta, arrivando ad esiti diversi se la sua preparazione è quella del tecnico empirico o quella del teorico, e si possono aggiungere vari altri casi.

Il conoscere geneticamente – cioè con quali mezzi e come si è compiuta un'operazione, come si è ottenuto un risultato (e per quanto mi riguarda, personalmente, quali strumenti si impiegavano, quali l'accuratezza di costruzione, l'affidabilità, la precisione e la finezza dei risultati ottenibili da essi nell'uso, quali le potenzialità, quali le linee di evoluzione poste in essere dalle scienze oppure dalle necessità di impiego, come e da parte di chi ci sia stata tramandata una notizia o un'informazione) –, tutto questo reputo sia il metodo migliore per riuscire a capire veramente come stavano le cose, in grado di for-

nirci elementi importanti per distinguere almeno tra il prodotto dell'errore e quello dell'ineluttabile condizionamento del quadro culturale generale di riferimento oppure dell'immaginazione oppure della fantasia oppure dell'interpretazione simbolica oppure del discorso analogico: altrimenti – come si dice – tutti i gatti sono bigi. A queste osservazioni che riguardano le fonti, debbo aggiungere altre considerazioni sulla storiografia relativa, che non di rado risulta condizionata da differenti fattori, come la ristrettezza della prospettiva, oppure le difficoltà di comprendere la documentazione specialistica o di spaziare su settori molto eterogenei, per non dire di una certa passione patria, tutt'ora presente, sovente tesa alla rivendicazione di primati nazionalistici.

In sostanza, i fatti essenziali, elencandoli un po' alla rinfusa, mi pare debbano essere:

- la trasformazione delle tecniche empiriche tradizionali di navigazione in procedure scientifiche astronomico-matematiche, o almeno la chiara esigenza che questo avvenga, in risposta alla constatazione che l'arte nautica usuale non è in grado di risolvere i problemi posti dalle nuove rotte;

- il conseguente adeguamento delle conoscenze e della strumentazione astronomico-matematiche tradizionali alle nuove esigenze;

- l'affinamento di strumenti e procedure alla ricerca di una precisione maggiore e più affidabile;

- la divulgazione e la volgarizzazione di conoscenze tecnico-scientifiche;

- la riproposta della cartografia matematica di derivazione tolemaica in luogo della cartografia empirica;

- gli adeguamenti della cartografia matematica alle esigenze della navigazione, se pure con vari ritardi, tentennamenti, incomprensioni e sopravvivenze del passato tanto in ragione dell'utilità delle vecchie tipologie che per la forza della tradizione;

- la trasformazione della cartografia in generale da sussidio informativo secondario a documento essenziale di conoscenza;

- l'approfondimento della conoscenza di taluni fenomeni naturali (come il magnetismo terrestre e le maree).

Di tutto questo lungo elenco, toccherò soprattutto l'argomento delle conoscenze astronomiche e dell'impiego delle medesime nella navigazione, degli strumenti e dell'uso degli stessi. Al riguardo, per gli strumenti – ma anche per le carte –, vorrei ribadire la necessità di una valutazione critica preliminare degli esemplari superstiti; purtroppo l'aspetto di molti di essi indica chiaramente che non erano strumenti d'uso: troppo ricchi, troppo decorati, con troppe aggiunte che vanno a scapito della funzionalità. La bellezza dello stru-

mento vero, apprezzata da chi effettivamente l'adopera, è l'estrema purezza che deriva dalla più rigorosa funzionalità.

* * *

Riprendendo il tema del Convegno, per entrare in argomento parto appunto da Ulisse, citando Omero, da cui (*Od.* V, 268-277) traggio una delle più antiche testimonianze di navigazione guidata dall'osservazione delle stelle, dove la direzione è mantenuta osservando semplicemente la posizione delle costellazioni come punti di riferimento: non si tratta quindi di navigazione astronomica, della quale si può propriamente parlare solo quando da bordo si effettuano almeno delle misure di posizione dei corpi celesti.

οὔρον δὲ προέηκεν ἀπήμονά τε λιαρὸν τε.
γηθόσυνος δ' οὔρω πέτασ' ἰστία δῖος Ὀδυσσεύς.
αὐτὰρ ὁ πηδαλίῳ ἰθύνετο τεχνηέντως
ἤμενος· οὐδέ οἱ ὕπνος ἐπὶ βλεφάροισιν ἔπιπτε
Πληϊάδας τ' ἐσορῶντι καὶ ὄψῃ δύοντα Βοώτην
Ἄρκτον θ', ἣν καὶ ἄμαξαν ἐπίκλῃσιν καλέουσιν,
ἣ τ' αὐτοῦ στρέφεται καὶ τ' Ὠρίωνα δοκεύει,
οἷη δ' ἄμμορός ἐστι λοετρῶν Ὠκεανοῖο·
τὴν γὰρ δὴ μιν ἄνωγε Καλυψώ, δῖα θεάων,
ποντοπορευέμεναι ἐπ' ἀριστερὰ χεῖρός ἔχοντα.

Calipso, che vive « nell'isola circondata dalle acque dove c'è l'ombelico del mare » (*Od.* 1, 50), ha finalmente permesso a Ulisse di partire per la terra dei Feaci; gli ha inviato un vento favorevole ed egli naviga come gli è stato ordinato, guardando le Pleiadi e Boote - che, almeno fino a quando sono entrambe sopra l'orizzonte, rimangono verso destra le prime e verso sinistra la seconda -, e mantenendo costantemente sulla sinistra l'Orsa Maggiore che non tramonta mai: è così indicata una rotta sui 45°.

Al riguardo si può notare che si tratta di un « peleggio » o di una « corsa », ossia di una navigazione in mare aperto e non sotto costa o per « starea »; che la direzione è individuata dalla posizione delle stelle - il ricorso ai venti subentrerà più tardi -, e non si accenna alla distanza in tempi di percorrenza, anche se nei versi successivi è detto che al diciottesimo giorno Ulisse giunge in vista dell'approdo: ma tutti i viaggi di Ulisse sono di nove o di diciotto giorni. Inoltre, sono date alcune indicazioni astronomiche: essere l'Or-

sa Maggiore la sola costellazione circumpolare tra le altre citate e approssimativamente opposta al cacciatore Orione, che essa tiene d'occhio.

Le caratteristiche della navigazione così come sono esposte nell'Odissea, non dovettero subire sostanziali mutamenti fino all'introduzione dell'ago magnetico e poi della bussola nautica munita di rosa dei venti da impiegarsi insieme alla carta e al portolano, vale a dire fino al XIII secolo.

Conviene fare qualche precisazione sulla strumentazione appena ricordata, almeno su portolani e carte: anzitutto per distinguerli con chiarezza. I primi, documentati anche per l'antichità, sono testi esclusivamente scritti, che elencano sistematicamente notizie sui vari tratti delle possibili rotte: luoghi di partenza e di destinazione, distanze in miglia o anche in tempi medi di percorrenza, direzione della rotta espressa secondo i venti - per cui si presuppone debbano essere usati insieme alla bussola -, elementi geomorfologici caratteristici delle coste come golfi e foci di corsi d'acqua, luoghi pericolosi come scogli o secche, punti eminenti caratteristici e facilmente individuabili dal mare, utili per l'orientamento, come isole, capi, montagne, edifici, ed eventualmente approdi utili per rifornirsi di acqua e di viveri; con l'andar del tempo le informazioni si fanno più ricche e particolareggiate. Le carte nautiche, che non sembrano anteriori al XIII secolo, recano il disegno delle coste, così sviluppato nel delinearne i particolari geomorfologici da rappresentarli sovente fuori scala, e ricco di toponimi ad esse relativi, ma di norma senza alcuna indicazione circa le terre interne tanto da omettere anche ogni informazione sulla condizione politica dei vari paesi, compresa l'appartenenza ai Cristiani o agli Infedeli; riportano la scala e i tracciati di direzione che irradiano da più rose dei venti secondo la divisione della bussola in quarte o in ottave di vento, equivalenti a $11^{\circ} 15'$; non hanno, ovviamente, il reticolo di latitudine e longitudine che sarà introdotto solo nel 1569 con la carta « ad usum navigantium » di Mercatore; si usavano insieme alla bussola. La più antica carta nota - la così detta « Carta Pisana », risalente all'incirca al 1275 -, è già un esemplare compiuto in tutte le sue parti, così che non se ne può desumere alcuna indicazione né sui procedimenti attraverso i quali le carte furono costruite, né circa le fasi evolutive attraverso le quali le medesime si sono perfezionate: l'ipotesi forse più accettabile è quella che le considera come una trasposizione in forma di grafico delle notizie contenute nei portolani. Comunque, è senz'altro un errore, insostenibile anche se diffuso, il ritenere che le carte nautiche siano state costruite impiegando la bussola: un rilevamento con tale strumento comporta infatti il ricorso alle coordinate polari di direzione e di distanza nonché la conoscenza del punto d'origine delle coordinate stesse, cioè della precisa posi-

zione del centro della bussola: ma nei tempi considerati questo dato, che è in sostanza il punto nave, non poteva ottenersi durante la navigazione.

Successivamente l'adozione della strumentazione ricordata, stando a quanto emerge dai documenti che sopravvivono, avrebbe dovuto portare quasi ad ignorare l'astronomia nella navigazione, specie in un mare a regime di venti costanti come il Mediterraneo. Tale conclusione non può tuttavia essere facilmente accettata per varie ragioni, benché abbiano un innegabile peso dubbi già da tempo sollevati circa l'effettiva destinazione di portolani e carte - almeno di quelli conservati -, anche in relazione al livello di alfabetizzazione dei piloti; per non dire del reiterarsi di norme che imponevano di avere carte e bussole a bordo, segno che tale pratica non doveva essere generalmente seguita. In realtà, l'antico modo di navigazione dovette, almeno per inerzia, continuare ancora per un lungo periodo, così che la vecchia e la nuova pratica furono coesistenti e complementari; inoltre, accanto ai peleggi permaneva la navigazione diurna a vista lungo le coste.

Comunque, agli inizi del Quattrocento, la nuova strumentazione ha permesso di navigare anche nella cattiva stagione e, in unione all'orologio a polvere, di rilevare gli scostamenti dalla rotta voluta e di apportarvi le necessarie correzioni. Ciò fu possibile grazie al « marteloio »: un grafico corredato di tavole numeriche, per la prima volta citato in un inventario genovese del 1390¹ e documentato nell'atlante nautico di Andrea Bianco del 1436², dove lo strumento è presentato nel modo seguente:

Questo si xe lo amaistramento de navegar per la raxon de marteloio, como apar per questo tondo e quadro e per la toleta, per la qual podemo saver chose chomo xe la toleta a mente e saver andare per ogni parte del mondo senca mexura e senca sesto, chonçosia che alguna persona che vorà far questa raxon eli à luogo a saver ben multiplicar e ben partir. Amaistramento del mar si è per saver ben navegar, e si se vuol saver la suma de marteloio per questo muodo quanto se avanca per una quarta di vento e quanto se alarga, chosì per una quarta e per do e per tre e per quatro; e se algun te domandase, per queste

¹ C. DESIMONI, *Elenco di carte ed atlanti nautici di autore genovese oppure in Genova fatti o conservati*, in « Giornale ligustico », 2 (1875), pp. 41-71, in particolare p. 47: « Nell'Archivio Notarile di Oberto Foglietta, al 12 Gennaio 1390, è notato: nell'inventario de' beni della madre di Battista de Jacopo un *Martelogium... item carta una pro navigando* ».

² Venezia, Biblioteca Nazionale Marciana, cod. It. Z. 76 (coll. 4783), f. 2 v.: alcune parti dello scritto sono evanescenti. L'atlante è firmato e datato: *Andreas Bianco de Veneciis me fecit MCCCCXXXVI*; i ff. 2 v.-3 r. sono riprodotti in *Cristoforo Colombo e l'apertura degli spazi*, Roma 1992, pp. 596-597.

sume se pol far tute raxon de navegar, conçosa che nui non podemo saver la raxon chosi a ponto, ma nui se achosteremo ben a la vertade. Anchora te volo mostrar per cotal muodo: foxe una nave que vol andar per ponente e non de puol andar e si va quarta una de soto inver el garbin mia cento e alargase mia vinti dal ponente e avanca nonanta oto, e per do quarte se alarga mia trenta oto e avanca mia nonanta do, per tre quarte se alarga mia cinquanta cinque e avanca mia otanta tre, per quatro quarte se alarga mia setanta un e avanca mia setanta un, per cinque quarte alargo mia otanta tre e avanco mia cinquanta cinque, per sie quarte se alarga mia nonanta do e avanco mia trenta oto, per sete quarte alargo mia nonanta oto e avanco mia vinti, per oto quarte se alargo mia cento e vanco mia nesun, imperò xe lo retorno, lo qual xe schrito in la toleta de marteloio, chomo apar per le suo chaxelle a le ssuo righe.

Il disegno è in sostanza un abaco che permette di visualizzare lo scostamento in direzione e distanza dalla rotta prescelta dovuto a venti o a correnti avverse, e di stimarne l'entità utilizzando un compasso e le scale delle miglia presenti nella figura. Il grafico riproduce l'impianto circolare della rosa dei venti con all'interno una griglia a maglie quadrate; a partire dall'angolo superiore sinistro di quest'ultima, dove è la scala, si irraggia sulla griglia stessa il tracciato di due « venti » divisi in ottave.

Tre tavole, scritte sotto la figura e riassunte nella tabellina in alto a destra, accompagnano il grafico:

Per una quarta de vento				Per 1 quarta			
alargo mia	20	e avanco	98	sie de retorno	51	avanco	50
per 2 quarte	38	avanco	92	per 2 quarte sie	26	avanco	24
per 3 quarte	55	avanco	83	per 3 quarte sie	18	avanco	15
per 4 quarte	71	avanco	71	per 4 quarte sie	14	avanco	10
per 5 quarte	83	avanco	55	per 5 quarte sie	12	avanco	6 1/2
per 6 quarte	92	avanco	38	per 6 quarte sie	11	avanco	4
per 7 quarte	98	avanco	20	per 7 quarte sie	10 1/5	avanco	5 1/10
per 8 quarte	100	avanco	000	per 8 quarte sie	000	avanco	000

Per dexena de marteloio

per una quarta de vento

me alargo mia	2	avanco	9 4/5
per 2 quarte sie	3 4/5	avanco	9 1/13
per 3 quarte sie	5 1/2	avanco	8 3/10
per 4 quarte sie	7 1/10	avanco	7 1/10
per 5 quarte sie	8 3/10	avanco	5 1/2
per 6 quarte sie	9 1/5	avanco	3 4/5
per 7 quarte sie	9 4/5	avanco	2
per 8 quarte sie	10	avanco	000

La prima tavola, per un percorso di 100 miglia mantenuto costante e in funzione dello scostamento (per scarroccio, deriva, bordeggio) dalla rotta prefissata espresso in quarte di vento (*per una quarta di vento, per 2 quarte, ... per 13 quarte*), indica in miglia di quanto la rotta vera, ossia il percorso effettuato, si è scostata (*alargo*) dalla rotta, e di quante miglia si sia effettivamente avanzato (*avanco*, in altri testi anche *avanço* e *avanzo*) verso la direzione voluta. La seconda - dove l'*avanco* di 7 quarte dovrebbe essere 2, anziché $5\frac{1}{10}$ - fornisce, in relazione a ciascun *alargo* elencato nella tabella precedente, la correzione per riportarsi in rotta con l'indicazione in miglia della distanza da percorrere (*de retorno*) e l'effettivo avanzamento verso la direzione voluta (*avanco*). La terza è semplicemente l'adeguamento della prima a un percorso ridotto a 10 miglia. Le tre tavole sono costruite operando su due triangoli rettangoli (Fig. 1) che hanno in comune il cateto corrispondente all'*alargo*: per la prima

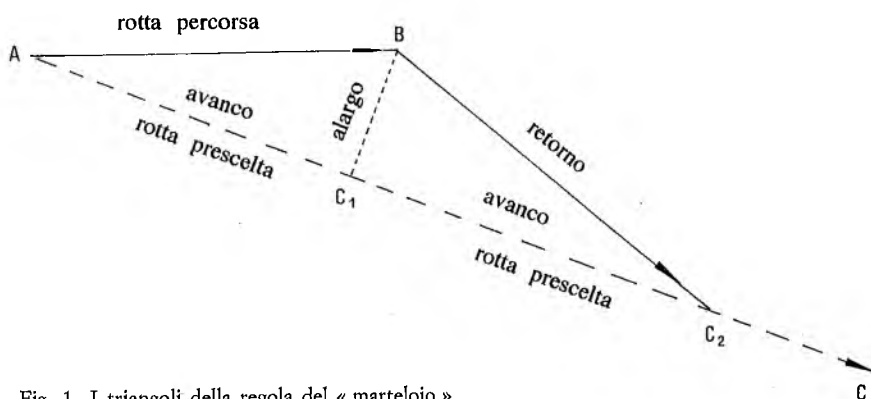


Fig. 1. I triangoli della regola del « marteloio »

e per la terza l'altro cateto è l'*avanco*, mentre l'ipotenusa è il percorso effettivamente compiuto; per l'altra il secondo cateto è ancora l'*avanco*, posto sul prolungamento dell'*avanco* precedente, mentre l'ipotenusa è il *retorno*. Le tavole sono redatte conformemente ai valori numerici delle funzioni trigonometriche seno e coseno (rispettivamente per l'*alargo* e l'*avanco* della prima e della terza), cosecante e cotangente (per il *retorno* e per l'*avanco* della seconda) delle relative quarte di vento (di $11^{\circ} 15'$, $22^{\circ} 30'$, $33^{\circ} 45'$, ... 90°), ai quali i tabulati corrispondono molto bene nonostante gli arrotondamenti e fatto salvo il dato di cui si è indicata la correzione.

Ad evitare equivoci, desidero qui sottolineare che la scomposizione dello scostamento dalla rotta e della rispettiva correzione non ha alcun rapporto con la pratica, più tarda, di rilevare le deviazioni secondo la latitudine e la longitudine, concetti che non hanno alcun significato per la nautica del tempo.

Il marteloio – in qualsiasi modo sia stato composto, impiegando tavole trigonometriche (in merito alle quali si vorrebbe saperne di più, almeno circa la provenienza, nel Trecento se non prima, dei valori della cosecante e della cotangente) oppure ricorrendo a costruzioni grafiche – è evidentemente il lavoro di un buon matematico, il quale, comunque abbia operato, seppe senz'altro riportare alla geometria i problemi pratici della navigazione; mentre da parte di chi lo vuole impiegare si richiede « saver ben multiplichar e ben partir » – il che significa che non era alla portata di tutti i comandanti e di tutti i piloti –: qui l'abbiamo ricordato perché, fino alla prima metà del Quattrocento e per la marineria del Mediterraneo, rappresenta sicuramente l'unico incontestabile contributo della scienza all'arte della navigazione. I successivi sviluppi, che si avranno nella penisola iberica a partire dall'espansione coloniale portoghese, potranno avere come fondamento iniziale solo queste conoscenze, qui rapidamente ricordate, e troveranno i propri punti di forza più nell'astronomia che nella matematica.

* * *

Per illustrare questa situazione possiamo convenientemente richiamare un brano delle autorevoli *Décadas de Asia* (1522-1563) di João de Barros:

No tempo que o infante dom Anrique começou o descobrimento de Guiné, tôda a navegação dos mareantes era ao longo da costa, levando-a sempre por rumo, da qual tinham suas noticias por sinais de que faziam roteiros como ainda ao presente usam em alguma maneira, e para aquele modo de descobrir, isto bastava.

Peró depois que eles quiseram navegar a decoberto, perdendo a vista da costa e engolfando-se no pêgo do mar, conheceram quantos enganos recebiam na estimativa e juizo das singraduras que segundo seu modo em vinte quatro horas davam de caminho ao navio, assim por razão das correntes como doutros segredos que o mar tem, da qual verdade de caminho, a altura é mui certo mostrador. Però como a necessidade é maestra de tôdas artes, em tempo del-rei dom João o segundo, foi por êle encomendado êste negocio a mestre Rodrigo e a mestre Josepe judeo, ambos seus médicos, e a um Martim de Boémia natural daquelas partes, o qual se gloriava ser discípulo de Joam de Monte Regio, afamado astrónomo entre os professores desta sciência. Os quais acharam esta maneira de navegar por altura do Sol, de que fizeram suas tavoódas para declinação dele, como se agora usa entre os navegantes, já mais apuradamente do que começou (Déc. I, liv. IV, cap. 2, composta intorno al 1539).

Per la marineria portoghese risulta dunque una situazione analoga alla mediterranea, almeno anteriormente alla conquista di Ceuta nel 1415, alla spedizione di Gil Eannes al Capo Bojador nel 1434, che segnò l'avvio delle navigazioni lungo le coste occidentali africane, e alla colonizzazione delle Azzorre promossa dall'infante don Enrico dal 1439; mentre le difficoltà incontrate nei nuovi viaggi furono superate dal ricorso esplicito, per la prima volta scientemente voluto, al sapere astronomico dei dotti: dapprima ad opera del medesimo principe Enrico con la mal nota Accademia di Sagres, il quale comunque fece sicuramente venire da Majorca maestro Giacomo, l'ebreo Jefuda Cresques, « homen mui docto na arte de navegar, que fazia cartas e instrumentos, ... pera ensinar sua sciencia aos officiaes Portuguezes daquelle mester » - come dice sempre il Barros (Déc. I, liv. I, cap. 16) -, e quindi con la meglio documentata Junta dos Mathematicos istituita da Giovanni II, che regnò dal 1481 al 1495.

L'astronomia per il periodo considerato costituiva ormai un patrimonio di sapere comune dell'Occidente latino, particolarmente diffuso anche per lo stretto rapporto vigente nella cultura del tempo tra l'astronomia-astrologia e la medicina. In tal senso è sintomatico il ricorso ai due medici del re, maestro Rodrigo - di cui non si hanno notizie - e maestro José Vizinho - uno degli esaminatori del progetto di Colombo nel 1483, astronomo di una spedizione scientifica in Guinea nel 1485, e traduttore in latino e in volgare dell'*Almanach* di Abraham Zacuto, edito a Leiria probabilmente intorno al 1496 -, oltre che all'astronomo Martin Behaim o, alla latina, Martinus Bohemus (1459-1507)

All'epoca dei primi viaggi portoghesi di esplorazione l'Europa in campo astronomico aveva ormai assimilato il sapere del passato, soprattutto per la mediazione araba che proprio nella penisola iberica aveva trovato una situazione particolarmente favorevole, grazie anche al contributo degli ebrei, tanto per le traduzioni che per la produzione di lavori originali: dalla grande enciclopedia arabo-giudaico-cristiana, i *Libros del saber de astronomia*, e dalle *Table*, volute entrambe da Alfonso X *el Sabio*, re di Castiglia dal 1252 al 1284, alle opere di Giovanni Regiomontano (1436-1476), il maggior astronomo del Quattrocento, passando per il ricupero della *Geografia* di Tolomeo, tradotta dal greco in latino da Iacopo d'Angelo intorno al 1406, la maturazione scientifica dell'Occidente è ormai compiuta. Il sapere astronomico dell'ultimo medioevo poco discute dei grandi sistemi del mondo, ma per decine di località redige efemeridi, anche molto estese ed elaborate, sempre indirizzate all'uso astrologico ma di norma costruite su solidi fondamenti astronomici e con ver-

satile perizia matematica, le quali dalla seconda metà del XV secolo saranno moltiplicate in infinito dalla stampa; innova e perfeziona gli antichi strumenti d'osservazione, di rilevamento e di calcolo e ne inventa di nuovi, mostrando insieme un'inesauribile fantasia, non di rado fine a se stessa, e una sperimentata conoscenza di problemi e di tecniche.

Il ricorso alle conoscenze astronomiche per le navigazioni oceaniche era destinato a innovare profondamente l'arte nautica pure sul piano concettuale, avviando un radicale cambiamento delle tecniche tradizionalmente impiegate: anche l'astronomia, a sua volta, trarrà giovamento dalla necessità di affrontare questioni nuove che esigevano soluzioni concrete. Per la prima volta dovette essere creato un quadro scientifico di riferimento del quale l'elaborazione teorica rimaneva di competenza dei dotti mentre l'applicazione era demandata ai piloti; inoltre, l'arte nautica non era più imparata soltanto a bordo attraverso un lungo apprendistato come era avvenuto per secoli, ma era insegnata in una scuola da un astronomo che poteva anche non avere alcuna esperienza diretta di navigazione, e i marinai per divenire piloti dovranno superare l'esame, anche di teoria, di fronte al Piloto mayor della Casa de contratación. Si può aggiungere che in sede di prima applicazione dei nuovi procedimenti e per viaggi di particolare importanza sarà necessario imbarcare pure astronomi di professione, come il già ricordato Vizinho, e Andrés de San Martín per la circumnavigazione di Magellano: in quest'ultimo caso altri due astronomi, i fratelli Ruy e Francisco Faleiro, erano stati impegnati nella preparazione della spedizione. Infine, altro sintomo del cambiamento è la constatazione che per la prima volta alcuni astronomi sono consultati per ragioni tecniche – e non più in veste di astrologi per tracciare oroscopi –, in relazione a importanti questioni di interesse pubblico, come nell'esame del progetto ricco di implicazioni economico-politiche presentato da Colombo alla corte portoghese nel 1483 e nella definizione della linea di confine tra possedimenti spagnoli e portoghesi fissata dal trattato di Tordesillas del 1494 e nella successiva conferenza di Badajoz.

Il passaggio dall'antico al nuovo fu segnato da incomprensioni e da fraintendimenti, dallo scontro tra scienza e sapere di mestiere, tra differenti atteggiamenti mentali – degli uni da sempre interessati a trovare soprattutto pure giustificazioni di carattere teorico e degli altri tesi a risolvere, in condizioni operative difficili e con una strumentazione grossolana, i problemi reali della navigazione –, e sovente tra formulazioni valide in astratto ma di difficile o impossibile attuazione in concreto. Quel ricorso comportò da un lato l'adozione degli strumenti in uso tra gli astronomi, come il quadrante e l'astrolabio, e dall'altro la semplificazione e il volgarizzamento dei testi, soprattutto

tavole e grafici, insieme all'ideazione di procedimenti speditivi elementari per agevolare anche i non dotti nell'uso dei primi e nell'applicazione dei secondi; l'intento era quello di mettere i piloti in condizione di risolvere i propri problemi, limitandosi ad insegnare loro *come* trovare le soluzioni, senza troppo addentrarsi nei *perché* che delle procedure stesse giustificavano la validità: antico metodo didattico sul quale fino a ieri si fondava la formazione dei tecnici.

* * *

I problemi posti all'attenzione degli astronomi dalle navigazioni in oceani sconosciuti riguardano il riconoscimento delle posizioni delle navi, e la soluzione è trovata per analogia, estendendo ad essi i procedimenti usati in astronomia e nella cartografia matematica di Tolomeo per definire la collocazione di

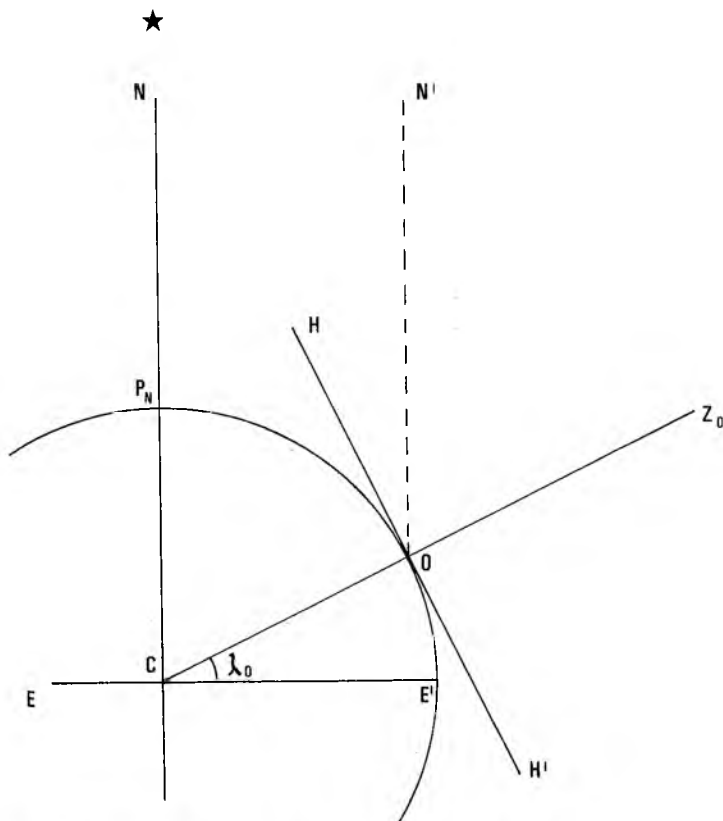


Fig. 2. Determinazione della latitudine con l'altezza della Stella Polare

corpi in cielo e di luoghi sulla Terra, vale a dire ricorrendo a determinazioni di latitudine e di longitudine, che così per la prima volta entrano nella nautica. Il problema della latitudine è prevalente già con le spedizioni portoghesi lungo le coste occidentali dell’Africa, quello della longitudine diverrà tale con le successive traversate oceaniche. I procedimenti risolutivi per entrambi sono noti dall’antichità nei loro principi, benché non sempre l’applicazione di essi avesse dato dei buoni risultati, come appare dai dati di latitudine e longitudine di alcune migliaia di località tramandati dalla *Geografia* di Tolomeo.

La latitudine di un luogo è data dalla distanza angolare di esso dall’equatore misurata lungo il meridiano passante per il luogo medesimo, e già si era osservato che geometricamente essa è uguale all’altezza del polo sull’orizzonte del luogo considerato. Infatti (Fig. 2), se O è il luogo, P_NOE' il meridiano,

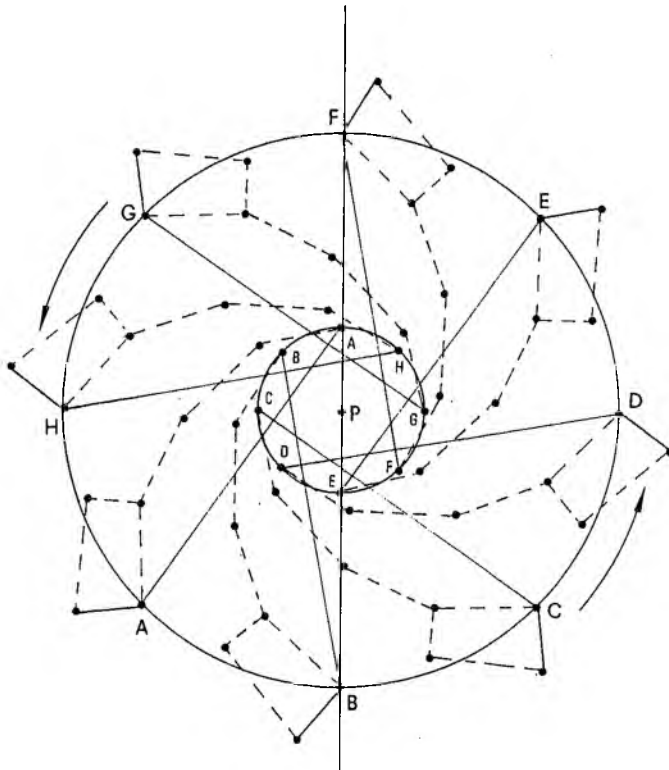


Fig. 3. Posizione della Polare rispetto al polo e corrispondenti posizioni delle guardie

EE' la traccia dell'equatore, C il centro della Terra, CP_NN l'asse celeste che individua la direzione nord, l'angolo OĈE' è la latitudine λ_O di O; inoltre, se HH' è la traccia del piano dell'orizzonte di O, Z_O lo zenith del medesimo, e ON' la direzione parallela a CP_NN, essendo retti gli angoli HÔZ_O e P_NĈE' e uguali N'ÔZ_O e P_NĈO, perché corrispondenti rispetto alle parallele NP_NC e N'O, gli angoli N'ÔH e OĈE' sono uguali in quanto risultano dalla sottrazione dei due angoli uguali N'ÔZ_O e P_NĈO da due angoli retti.

Il procedimento, molto semplice in teoria, presentò subito alcuni problemi, oltre all'aleatorietà di metterlo in pratica su navi piccole e poco stabili: anzitutto la localizzazione del polo, dal quale la Stella Polare, oggi molto prosima, allora distava 3°25', descrivendo quindi attorno ad esso una circonferenza di tale ampiezza, che non era certo possibile trascurare, ma era difficile da rilevare direttamente. Il rimedio trovato (Fig. 3) consistette nel collegare otto posizioni della Polare a quelle corrispondenti delle « guardie », Kochab (β UMi, la più luminosa della costellazione) e Fercad (γ UMi), le ultime del carro, più facilmente rilevabili, e nell'adottare come espediente mnemonico

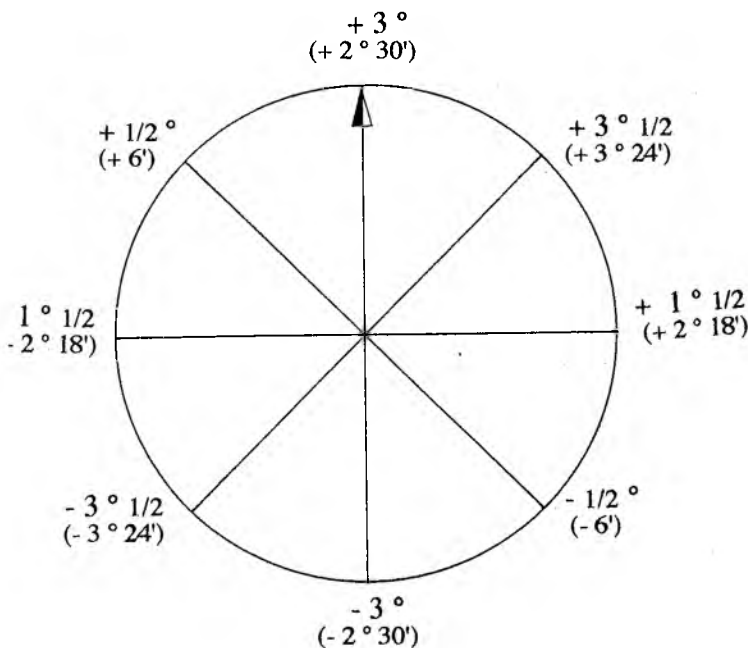


Fig. 4. « Regimento do Norte »

l'immagine di una figura umana, posta di fronte, a braccia aperte e piedi uniti, con il capo e i piedi corrispondenti rispettivamente alle culminazioni superiore e inferiore di β e γ , e le braccia alle rimanenti posizioni cardinali, collocando fra mezzo le intermedie; ad ogni posizione erano inoltre assegnati i valori delle correzioni da apportare ai dati d'osservazione e da mandare a memoria: le correzioni, però, benché determinate da astronomi, differiscono da quelle attualmente calcolabili che riportiamo tra parentesi nel relativo grafico schematico (Fig. 4). L'immagine è nota come *Regimento do Norte*.

Inoltre, rilevata l'altezza della Polare (e non del polo) nel porto di partenza per una determinata posizione delle guardie, ed effettuato ai successivi approdi analogo rilevamento con le guardie sempre nella stessa posizione, si otteneva la differenza di latitudine tra i vari luoghi; se invece alla partenza si era operata la correzione, e analogamente si procedeva agli approdi, se ne otteneva, oltre alla differenza, pure la latitudine. Venne anche in uso, per le rotte percorse con più frequenza, di segnare sul quadrante, accanto ai valori corrispondenti della graduazione, il nome delle varie località, provvedendosi così a redigere empiricamente un'elementare tavola di latitudine: l'ope-

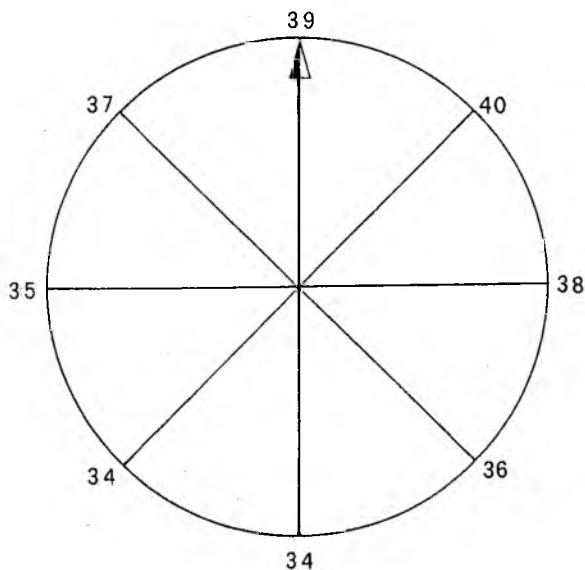


Fig. 5. « Rueda de alturas » per Cadice

KL Março tem dias .xxi. ha lūa .xxx. ho. dia .xij.
 hōeno .xij. Di: Lugar. sol Declinaçã: sol.
 Domes d'offices Graa d'Inu.

d	Ardian martyr e simplic	1	20	3	59
e	Donado martyr e basilci	2	21	3	35
f	Marunino martyr p'ca	3	12	3	11
g	Lucio papa e martyre	4	23	2	48
A	Sain focas martyre.	5	24	2	24
b	Victor e victorino mart	6	25	2	0
c	Thome d'agno confessor	7	26	1	36
d	Appollonio martyr.	8	72	11	12
e	Os q'reta martyres.	9	28	0	48
f	Alexandre e gaiyo martyr	10	29	0	24
g	Quarenta mil martyres	11	1 ^{ax}	0	0
A	Sam gregorio papa 2do	12	2	0	24
b	Sam leão de bispo bispo	13	31	0	48
c	Leo papa e martyr e do	14	4	1	12
d	longinus martyr.	15	5	1	36
e	Servuois virgem e mart	16	6	2	0
f	Matthiao bispo e confesso	17	6	2	24
g	Anselmo bispo e donator	18	7	2	48
A	Joicepb d'noila sc'boza	19	8	3	11
b	Subberto confessor	20	9	3	35
c	Beato abade fundador	21	10	3	59
d	Paulo bispo e confessor	22	11	4	22
e	Wigmete preste e martyr	23	12	4	46
f	Abcodoro p'sbi e s'ca	24	13	5	9
g	Anuciaca de nosla sc'boza	25	14	5	33
A	Sam castorio martyr	26	15	5	56
b	Joam yrmiram confessor	27	16	6	19
c	Marcello papa e gronoan	28	17	6	43
d	Quirino martyr eustacio	29	18	7	6
e	Sam segundo martyr	30	19	7	29
f	Sfdice p'papa e babina vi	31	20	7	51

Fig. 6. Pagina di Marzo dell'edizione volgare dell'*Almanach* di Zacuto: la declinazione del Sole in gradi e minuti primi è segnata nelle due ultime colonne

razione era possibile perché si impiegavano sovente strumenti di legno rivestiti di pergamena.

Divenendo i viaggi sempre più lunghi, tanto che al ritorno poteva anche accadere che fosse impossibile vedere le guardie nella posizione osservata all'andata, poiché esse l'assumevano di giorno, ad evitare difficoltà furono redatti grafici con i valori di altezza della Polare per le otto posizioni delle guardie stesse (*Rueda de alturas*) (Fig. 5).

Continuando le navigazioni verso sud e superando l'equatore, la Polare si abbassa sempre di più sull'orizzonte fino a scomparire, tanto che non si può più fare ricorso ad essa per la determinazione della latitudine; la soluzione fu trovata ricorrendo all'altezza del Sole sull'orizzonte, la quale però non muta solo allo spostarsi dell'osservatore in latitudine, ma cambia anche quotidiana-

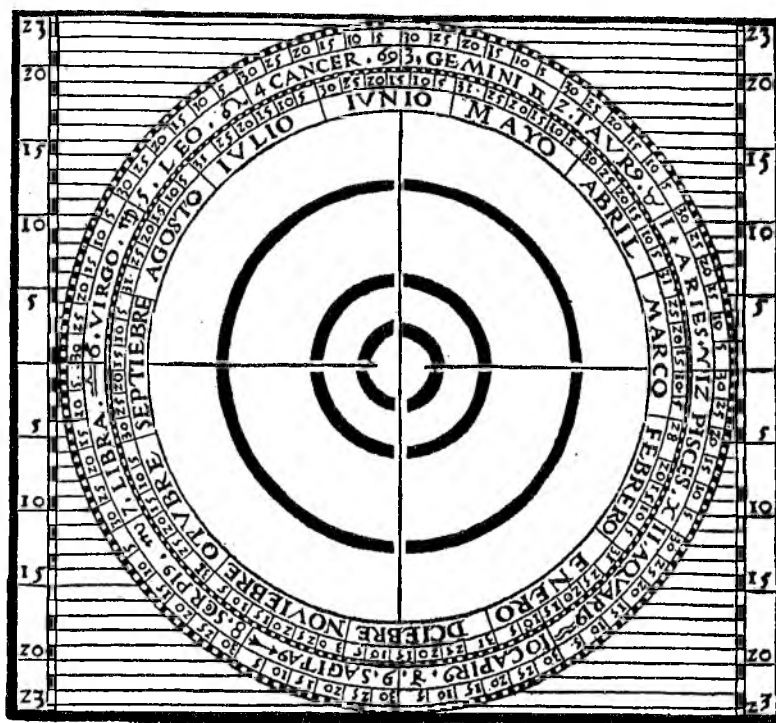


Fig. 7. Grafico per ricavare la declinazione del Sole, segnata nelle colonne laterali in relazione sia al calendario sia allo zodiaco (MARTÍN CORTÉS ALBÁCAR, *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar*, Madrid 1551)

mente a seconda della declinazione, cioè della posizione di esso sull'eclittica, da 0° agli equinozi a $23^\circ 1/2$ circa nei solstizi: i valori della declinazione per i vari giorni dell'anno erano usualmente tabulati nelle efemeridi, tra numerosi altri dati astronomici e astrologici, ed erano impiegati per poter collocare il Sole nelle « case ».

Tale procedimento, più complesso del ricorso alla Polare, comportava pertanto il rilevamento dell'altezza del Sole e insieme l'uso delle tavole di declinazione - che per primo Vizinho estrasse dall'*Almanach* di Zacuto, le tradusse in volgare e le pubblicò (Fig. 6), intorno al 1509 e probabilmente anche un decennio prima, in forma essenziale, semplificata, particolarmente idonea all'uso in navigazione da parte dei piloti -, oppure di grafici (Fig. 7) dai quali era possibile ottenere gli stessi dati.

Infatti (Fig. 8), se si considera il punto O sul meridiano $P_N O E'$, la latitudine di esso λ_0 , corrisponde all'angolo $O \hat{C} E'$. Intorno agli equinozi,

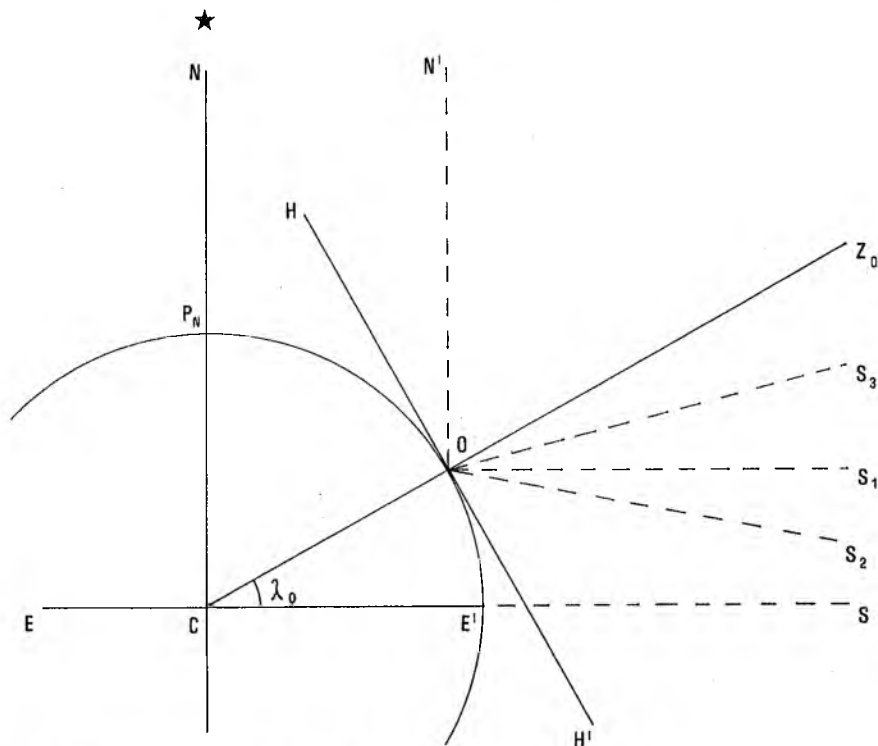


Fig. 8. Determinazione della latitudine tramite l'altezza del Sole meridiano

quando il Sole meridiano è perpendicolare all'equatore nella direzione SE', alla quale per il punto O corrisponde la direzione parallela S_1O , la latitudine di O si ottiene misurando l'angolo $H'\hat{O}S_1$, altezza del Sole sull'orizzonte, e sottraendolo da 90° , cioè dall'angolo $H'\hat{O}Z_O$, compreso tra l'orizzonte e la direzione dello zenith: si ottiene così l'angolo $S_1\hat{O}Z_O$, che è uguale a $O\hat{C}E'$, in quanto corrispondenti rispetto alle parallele $NP_N C$ e $N'O$. Nel solo caso degli equinozi non è necessario il ricorso alle tavole. L'angolo $S_1\hat{O}Z_O$, distanza zenitale del Sole, può anche essere misurato direttamente, purché si disponga di uno strumento con la graduazione rovesciata, vale a dire con 90° all'orizzonte e 0° allo zenith.

Se il Sole non è agli equinozi, occorre sapere preliminarmente dalle *Tavole* il valore della distanza del Sole stesso dall'equatore celeste, ossia la declinazione, riferita al giorno in cui si compie il rilevamento o alla relativa posizione del Sole sullo zodiaco, che corrisponde agli angoli $S_1\hat{O}S_2$ se il Sole è australe (tra l'equinozio d'autunno e quello di primavera), e $S_1\hat{O}S_3$ se boreale (tra l'equinozio di primavera e quello d'autunno); se l'osservatore è nell'emisfero settentrionale, misurata l'altezza del Sole meridiano sull'orizzonte, vale a dire gli angoli $H'\hat{O}S_2$ se il Sole è australe, oppure $H'\hat{O}S_3$ se è boreale, al primo valore si aggiungerà la declinazione australe oppure si sottrarrà quella boreale dal secondo, ottenendo l'angolo $H'\hat{O}S_1$, corrispondente alla posizione del Sole equinoziale, così da riportarsi alla situazione considerata inizialmente e quindi si procederà in modo analogo. Se con il Sole boreale si misura la distanza zenitale $S_3\hat{O}Z_O$, sommando a questa la declinazione boreale $S_1\hat{O}S_3$, si ottiene l'angolo $S_1\hat{O}Z_O$, uguale alla latitudine λ_O ; con il Sole australe, se si misura la distanza zenitale $S_2\hat{O}Z_O$, sottraendo da questa la declinazione australe $S_2\hat{O}S_1$, si ottiene il medesimo angolo $S_1\hat{O}Z_O$, uguale alla latitudine λ_O . Operando nell'emisfero australe vanno cambiati i segni delle operazioni.

* * *

Questo procedimento - che non sembra sia mai stato usato in precedenza per la determinazione della latitudine - è chiaramente attestato per il 1485 da Cristoforo Colombo: *Rex Portugalie misit in Guinea anno Domini 1485 magister Jhosepius [Vizinho], fixicus eius et astrologus, ad complendum altitudinem Solis in totta Guinea qui omnia adimplevit et renunciavit dito serenissimo regi me presente, quod... in die XI marcij invenit se distare ab equinoxiali gradus V minuite [?] in insula vocata de los Ydolos que est prope Sierra Lioa, et hoc cum maxima*

*diligencia procuravit*³. Convieni notare che Vizinho fece il rilevamento l'11 Marzo, data corrispondente all'equinozio secondo il calendario in uso prima della riforma gregoriana, cioè nel caso più semplice, e che era anche stato inviato in prossimità dell'equatore: queste coincidenze fanno pensare che la spedizione alla Guinea fosse una verifica del nuovo procedimento.

La determinazione della latitudine tramite l'altezza del Sole è meno agevole di quella con la Stella Polare, sia per le complicazioni dovute alla necessità di utilizzare le tavole oltre allo strumento, e di fare conti, sia per dover compiere il rilevamento al centro del disco del Sole che abbaglia e ha dimensioni apparenti cospicue rispetto all'immagine puntiforme e pallida della Polare.

Le condizioni operative derivano soprattutto - come si è accennato - dall'instabilità delle imbarcazioni, tanto che per un lungo periodo non sembra si facessero rilevamenti in mare, ma solo a terra e che addirittura si approdasse proprio per ottenere dati più sicuri, come, assieme a numerosi altri testimoni, asserisce il Barros nel racconto della spedizione di Vasco da Gama del 1497:

E a primeira terra que tomou antes de chegar ao cabo de Bôa Esperança, foí a baía a que óra chamam de Sancta Helena, havendo cinco meses que era partido de Lisboa, onde safu em terra, por fazer aguáda e assim tomar a altura do Sol. Porque, como do uso do astrolábio para aquele mister da navegação, havia pouco tempo que os mareantes deste reino se aproveitavam, e os navios eram pequenos não confiava muito de a tomar dentro neles por causa do seu arfar. Principalmente com um astrolábio de pau de três pálmos de diametro, o qual armavam em três paus, á maneira de cábreá por melhor segurar a linha solar, mais verificada e distintamente poderem saber a verdadeira altura daquele lugar, posto que levassem outros de latão mais pequenos, tão rusticamente começou esta arte que tanto fruto tem dado ao navegar (Déc. I, liv. IV, cap. 2).

Nel brano citato si parla solo di astrolabi, ma con essi erano di norma usati anche i quadranti, che probabilmente furono i primi strumenti astronomici ad essere impiegati per la navigazione: lo attestano molte testimonianze e risulta pure chiaramente dall'elenco della strumentazione - l'unico, a mia conoscenza, così esauriente e particolareggiato - in dotazione alla flotta di cinque navi capitanata da Magellano per il viaggio di circumnavigazione del globo (1519-1522).

³ *Raccolta di documenti e studi*, pubblicata dalla R. Commissione Colombiana... parte 1, vol. III, *Autografi di Cristoforo Colombo*, a cura di C. DE LOLLIS, Roma 1892, serie B, n. 860.

Quanto ci interessa può desumersi dalla « Relación del coste que tuvo la Armada de Magallanes », in cui alla strumentazione è riservato uno specifico paragrafo:

Cartas de marear y cuadrantes y estrolabios y agujas y relojes que se dió á la Armada.

Sesenta y ocho mil ciento ochenta y dos maravedís, que ponen se ha gastado en las cartas de marear, y cuadrantes que van en la armada, en esta manera:

1.125 maravedís que se dieron á Nuño García para comprar pergaminos para hacer las cartas;

900 por una docena de pieles de pergaminos que se dieron al dicho;

864 maravedís que costaron otra docena de pieles que se dieron al dicho Nuño García;

13.125 maravedís por siete cartas de marear que hizo por la orden de Rui Falero á cinco ducados;

11.250 maravedís que se pagaron á Nuño García de once cartas de marear que hizo por la orden de Fernando Magallanes;

13.500 maravedís por otras seis cartas de marear que hizo hacer Rui Falero con una que envió á S.A.;

1.121 maravedís por seis cuadrantes de madera que hizo Rui Falero;

750 maravedís de un estrolabio de palo que hizo el dicho Rui Falero;

4.500 maravedís que pagó el capitan Magallanes, por un plano esférico que hizo hacer para S.M.;

4.500 maravedís que se pagaron al dicho Magallanes por seis estrolabios de metal con sus pautas;

4.080 que se pagaron al dicho por 15 agujas de marear;

1.875 maravedís que pagó al dicho por 15 cuadrantes de madera abrozuados;

476 maravedís por unos compases dorados con su caja, que envió el dicho con la carta á S.M.;

340 maravedís por una caja de cuero que hizo hacer para que fuese el plano esférico;

612 maravedís por 12 relojes de arena que compró el capitan;

750 maravedís por dos agujas de marear que tiene el dicho capitan;

600 maravedís por seis pares de compases;

750 maravedís que se pagaron á Nuño García por dos agujas de marear;

136 maravedís que se pagó del corregimiento de una aguja de marear que estaba dañada;

884 maravedís que costaron cuatro cajas grandes para cuatro agujas que hizo hacer Rui Falero;

6.094 maravedís por 16 agujas de marear y 6 relojes que envió Bernaldino del Castillo de Cádiz;

que así monta todo lo dicho, segun mas largamente parescerá asentado en el libro de la dicha Armada 68.182⁴.

⁴ M. FERNANDEZ DE NAVARRETE, *Collecion de los viages y descubrimientos que hicieron por mar los Españoles desde fines del siglo XV*, t. IV, Madrid 1837, Documento XVII, pp. 162-182, in particolare pp. 179-180.

renza con la graduazione da 0° a 90° sul lato curvo, due traguardi sul lato retto o raggio, dalla parte dove termina la graduazione, e da un filo a piombo pendente dal vertice: tenendo lo strumento nel piano verticale e mirando a un oggetto, il filo a piombo, disponendosi a perpendicolo per gravità, ne segna l'altezza sul lembo graduato. Tale tipo essenziale (quadrante di altezze) ebbe numerosi perfezionamenti: in particolare (Fig. 10), con l'aggiunta di una tavola zodiacale, sulla quale si regolava la posizione di una perlina scorrevole sul filo del piombo, e di appositi tracciati, permetteva di conoscere l'ora desumendola dall'altezza del Sole sull'orizzonte (quadrante orario). I meno

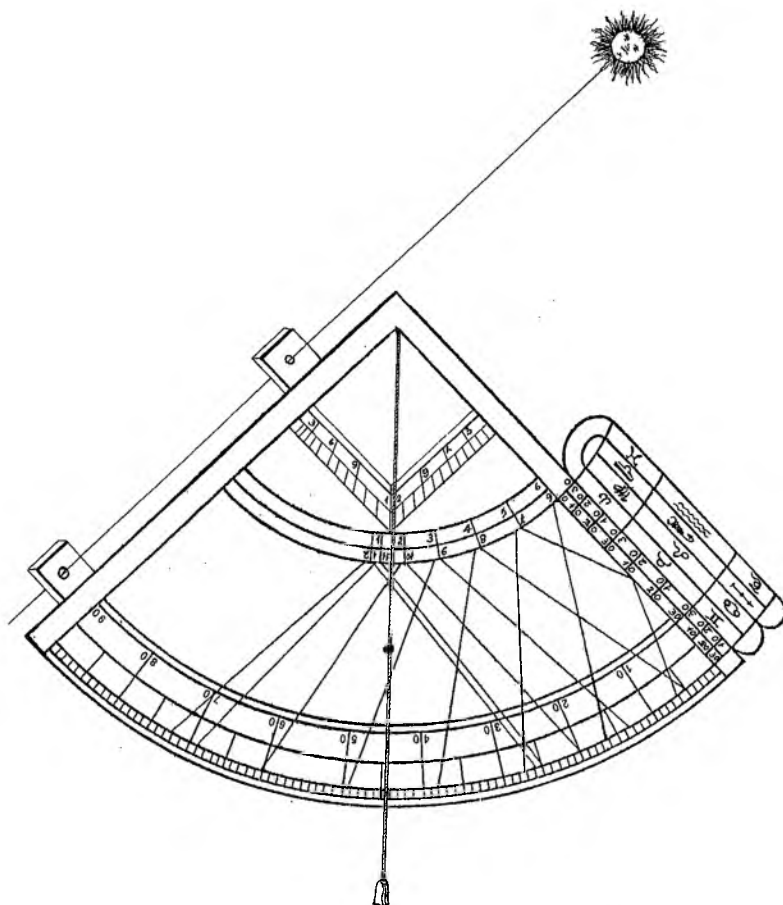


Fig. 10. Quadrante orario dal planisfero di Diego Ribeiro, 1529

costosi esemplari in legno, che sovente hanno graduazioni e tracciati disegnati su di un foglio di pergamena incollato su una faccia dello strumento, presentano difetti maggiori di quelli in metallo, di solito in ottone, in quanto quei materiali sono soggetti ad alterarsi e a deformarsi. Nell'uso il quadrante deve essere tenuto perfettamente nel piano verticale ad evitare che il filo del piombo strisciando sulla superficie si fermi fuori dalla posizione corretta dando così false letture: situazione che, insieme al continuo oscillare, doveva essere quasi la norma quando lo strumento fosse stato impiegato a bordo.

Rispetto all'astrolabio, oltre al minor costo, il quadrante offre, all'incirca con lo stesso ingombro, il vantaggio di disporre di una graduazione di estensione lineare doppia, permettendo così di avere suddivisioni più fini. Si pensi che una graduazione per essere leggibile non può avere divisioni inferiori al millimetro, per cui una circonferenza di 12 cm di diametro è la minima per la divisione in 360° in uno strumento costruito con grande abilità ed accuratezza su di una lastra metallica con la superficie ben piana e liscia, con un'attrezzatura - compassi, righe, punte traccianti, bulini... - in perfette condizioni d'uso. Nel caso di un quadrante all'incirca di uguale ingombro, con raggio di 12 cm, il lembo ha una lunghezza lineare di circa 19 cm da dividere in 90 parti, per cui nella graduazione un grado occupa poco più di 2 mm. Lo svantaggio del quadrante rispetto all'astrolabio, sta oltre che nella molto minore potenzialità di informazione - che nel nostro caso meno interessa -, nelle modalità d'impiego: infatti, l'uno grazie ad un anello di sospensione si dispone naturalmente, per gravità, nel piano verticale, mentre il quadrante, che deve essere tenuto in mano, può assumere e mantenere la posizione corretta solo grazie alla capacità dell'operatore; inoltre, mentre le parti mobili dell'astrolabio sono rigidamente collegate e possono spostarsi solo manovrandole, il filo a piombo, che è totalmente libero, risente del vento e dei movimenti della nave.

* * *

L'astrolabio piano tradizionale (Fig. 11) - risalente alla tarda età ellenistico-romana, e successivamente diffuso dall'India alla Spagna, tra i musulmani che l'hanno utilizzato fino a tempi recenti, e i cristiani che se ne sono serviti fino al XVII secolo -, è uno strumento di rilevamento e di calcolo, molto raffinato e complesso, così nella costruzione come nell'uso, e di estrema versatilità nell'impiego tanto astronomico che terrestre. Per l'utilizzazione in mare venne drasticamente semplificato e ridotto a semplice rilevatore di

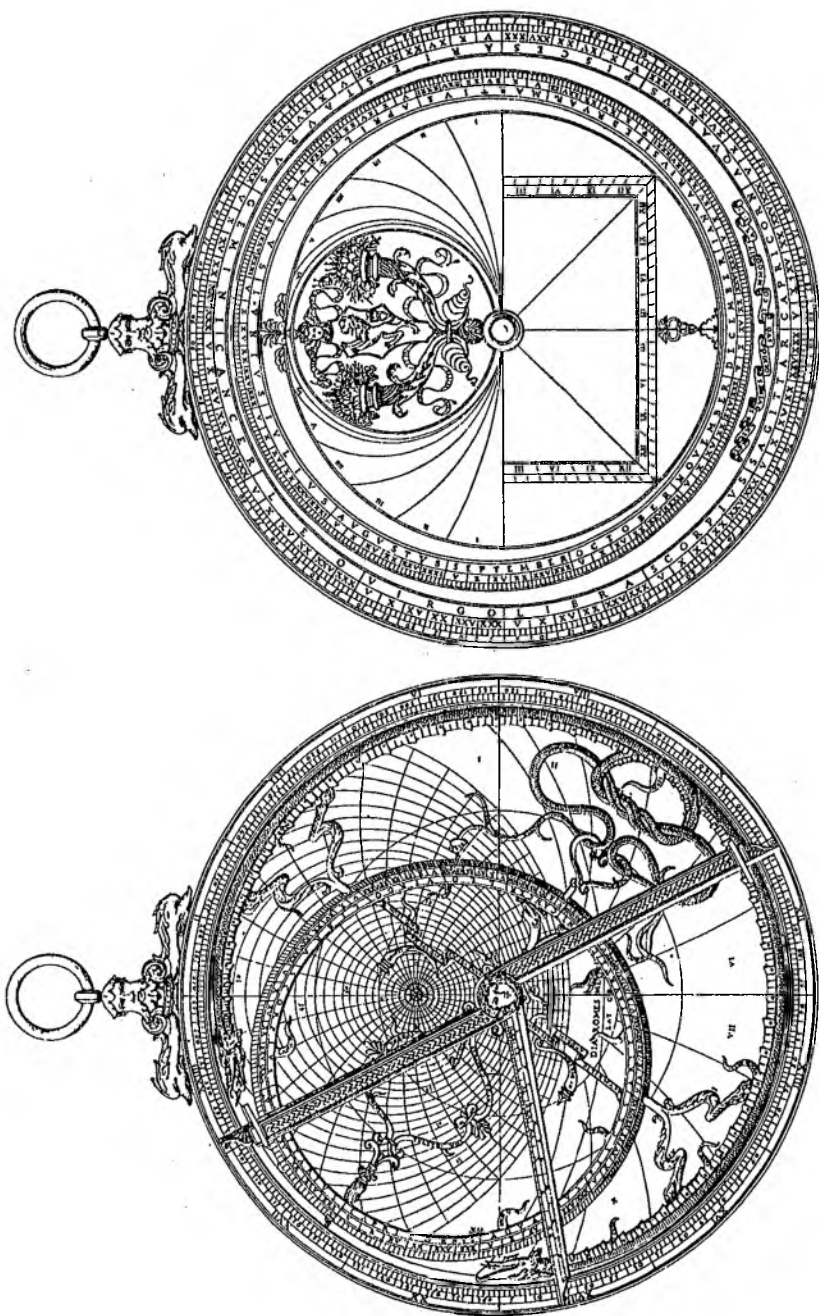


Fig. 11. Fronte e dorso dell'astrolabio piano di Piervincenzo Danti, circa 1490

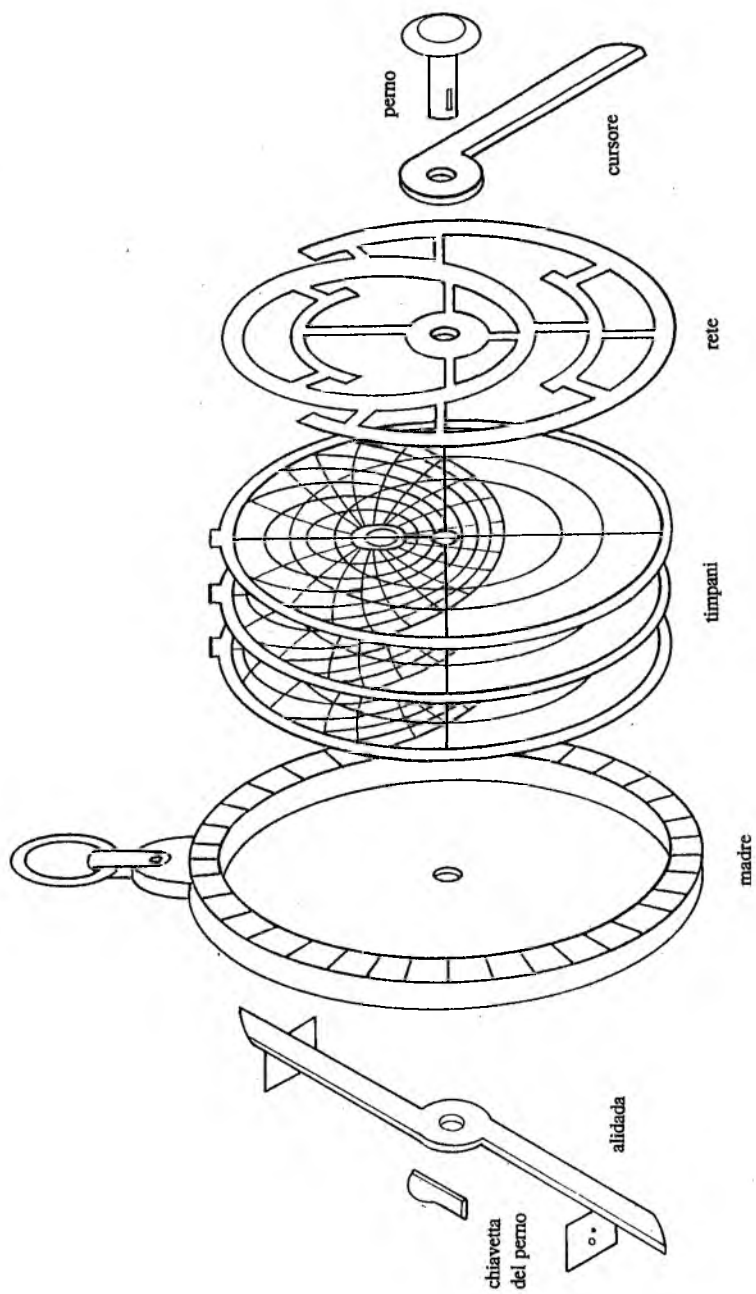


Fig. 12. Astrolábio piano scomposto nelle sue parti

angoli in elevazione. La storia dell'astrolabio marittimo è un buon esempio dell'evoluzione di uno strumento come successivo adeguamento sia ai fini per i quali è costruito sia alle condizioni nelle quali deve essere impiegato.

L'astrolabio piano è essenzialmente un modello di universo geocentrico ottenuto per proiezione stereografica polare sul piano dell'equatore: è sostanzialmente costituito (Fig. 12) da un tracciato fisso di cerchi d'altezza (almucantarati) e di direzioni (azimut) per una determinata latitudine, cui è sovrapposta una « rete » ruotabile su cui sono posizionate le stelle più luminose e l'eclittica che dà il luogo del Sole per tutto l'anno. La rete, ruotando, mostra le posizioni del Sole e delle stelle per qualsiasi momento e, sostituendo i dischi di latitudine (timpani), per qualsiasi luogo: può quindi funzionare come calcolatore analogico per risolvere tutti i problemi relativi alle posizioni del Sole e delle stelle per un dato momento, fornendo informazioni sui relativi fenomeni, dati delle efemeridi, misure di tempo... Dotato di un lembo graduato e di un'alidada di mira diametrale, rotante attorno al centro, con due

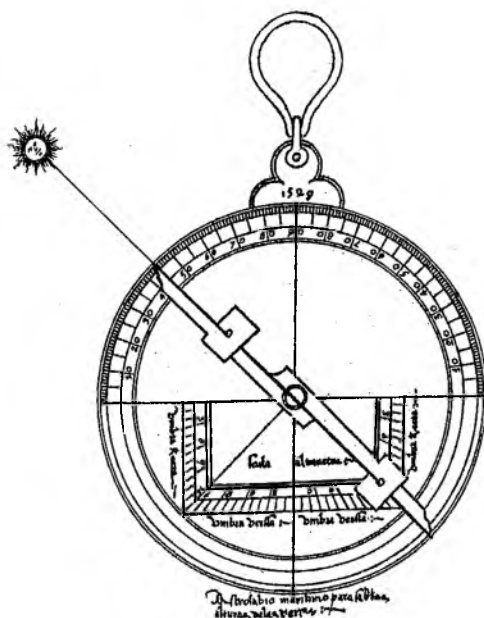


Fig. 13. L'astrolabio marittimo dal planisfero di Diego Ribeiro, 1529: « Astrolabio marittimo para saber la altura dela tierra »

pinnule di traguardo, serve per rilevamenti nel piano verticale oppure orizzontale. Sul retro reca un calendario zodiacale che collega i gradi dello zodiaco ai giorni dell'anno e viceversa, e una « scala altimetro delle ombre » per la soluzione, nell'impiego terrestre, di semplici problemi di geometria applicata.

L'introduzione del ricorso all'altezza del Sole per la determinazione della latitudine, per la quale si richiedeva solo la misura dell'azimut o della distanza zenitale dell'astro, indusse a ridurre l'astrolabio piano a semplice misuratore di angoli in elevazione eliminando quanto non avesse stretta attinenza con questa specifica funzione. La fase intermedia verso la completa evoluzione dell'astrolabio marittimo è attestata dal disegno (Fig. 13) che compare nell'angolo in basso a destra nel planisfero di Diego Ribeiro del 1529, conservato alla Biblioteca Vaticana (Borg. Carte III): l'unica faccia dello strumento ivi raffigurata, essendo l'altra evidentemente muta, è il dorso, integro, con il lembo graduato solo nei due quadranti superiori che conserva lo zero sul diametro orizzontale, mentre nella metà inferiore compare ancora la scala altimetro, e al centro è imperniata l'alidada. Le condizioni operative hanno imposto ulteriori trasformazioni (Fig. 14): affinché lo strumento non fosse smosso dal vento, fu reso molto più pesante aumentandone lo spessore fino a portarne il peso oltre i 2 kg per un diametro di circa 20 cm, ed è ottenuto per fusione anziché per lavorazione in lastra, mentre per ridurre la resistenza al vento il disco, sempre più massiccio, è forato da ampie finestre; è scomparsa la scala altimetro che non aveva più alcuna funzione; in qualche caso la graduazione è limitata ad un solo quadrante, e può anche essere capovolta, con i 90° sul diametro orizzontale e lo 0° sul verticale, indicando che, accanto al rilevamento dell'altezza del Sole sull'orizzonte, era ormai diffusamente praticato pure il ricorso alla misurazione della distanza zenitale. Anche l'alidada si è fatta più massiccia, con le pinnule più vicine al centro per rendere più agevole il rilevamento dell'altezza del Sole senza mirare direttamente ad esso, ma ottenendo il puntamento con il far passare un suo raggio luminoso attraverso i fori delle pinnule stesse (Fig. 15): l'innovazione va comunque a scapito della precisione, che è sacrificata alla comodità e alla speditezza. L'astrolabio marittimo, che resterà in uso fino al Settecento, è il primo strumento creato esclusivamente per uso nautico. Della sessantina di esemplari oggi esistenti, la maggioranza è stata recuperata in operazioni di archeologia sottomarina dai relitti di navi naufragate; le dimensioni vanno mediamente da poco meno di 20 a 30 cm di diametro, con un peso oscillante tra i 2 e i 3 kg, con pochissime eccezioni rappresentate però da strumenti circa l'uso effettivo dei quali si possono avere molti dubbi. Il formato ridotto, per cui la divisione corrispondente

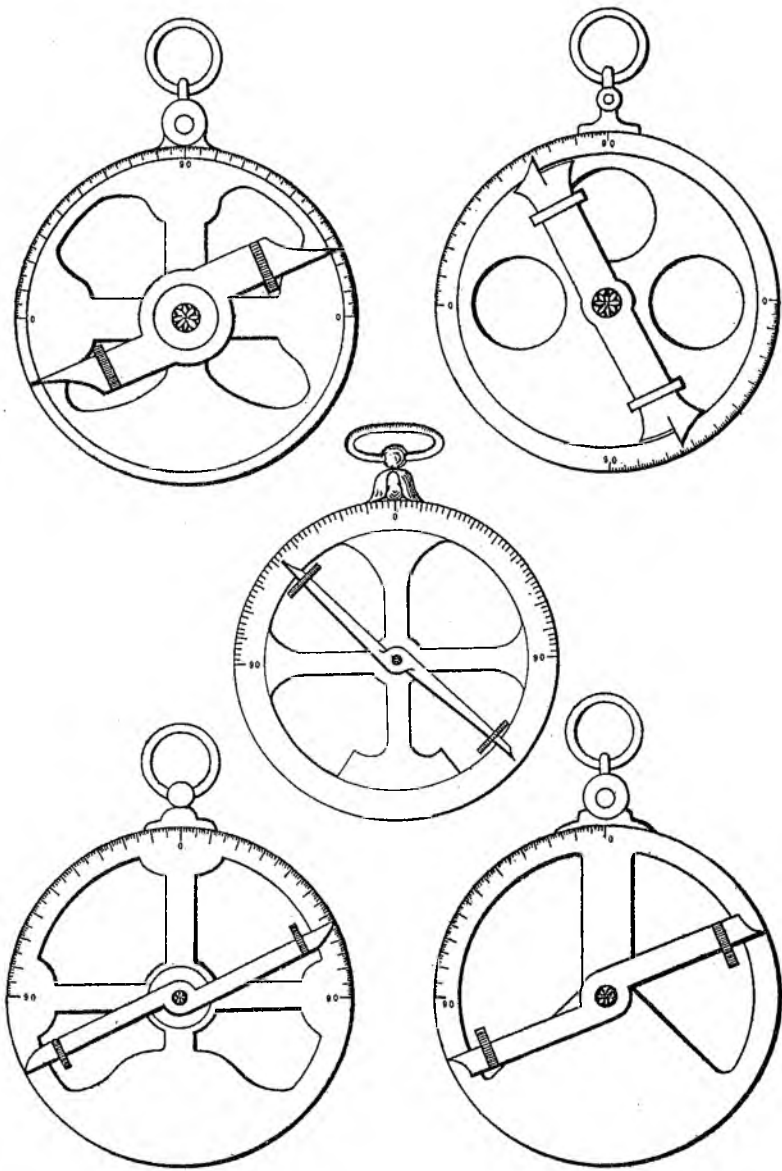


Fig. 14. Vari tipi di astrolabi marittimi

a 1° ha un'ampiezza tra i 2 e i 3 mm, lascia perplessi, se si pensa che la declinazione del Sole varia giornalmente da un massimo di circa 24' agli equinozi a un minimo di 39" ai solstizi: ampiezze difficilmente rilevabili con quella graduazione. Tale osservazione, unita alla considerazione delle caratteristiche costruttive dell'astrolabio, intese a renderne possibile l'uso a bordo, induce a pensare che fosse utilizzato in navigazione per avere indicazioni approssimative, e spiega il ricorso a strumenti di grandi dimensioni da impiegarsi in postazione fissa a terra, come i grandi astrolabi di Vasco da Gama e di Magellano, che erano potenzialmente in grado di fornire misure più fini: essi infatti,



Fig. 15. Uso dell'astrolabio marittimo (PEDRO DE MEDINA, *Regimento de navegación*, Sevilla 1563)

considerate le dimensioni, dovevano poter arrivare a divisioni di circa 1 mm per 20' o anche 10' d'arco.

La più antica descrizione dell'astrolabio marittimo, corredata da un piccolissimo schizzo dello strumento (Fig. 16), è riportata da Alessandro Zorzi in un suo manoscritto fiorentino⁵, dove è riferita una notizia relativa alle navigazioni dei portoghesi lungo le coste occidentali dell'Africa, da lui raccolta nel 1517:

Nàvicono con squadrante et astrolabio, ma il suo astrolabio ha il suo medicinio che le sue due pinule perforate che sono sopra la ditta linea della fiducia, sono molto apreso al police del astrolabio et questo fano che se fusino distante verso il lembo per il moto dille barche che stanno sul mare ondeggiante non lasano posar ditto astrolabio in modo che il sol possi penetrar iusto per tal mezzo, il perché è più comodo a tener tal pinule poco discoste. Tamen ho visto il suo astrolabio il quale non ha se non el limbo con numeri et così l'elclada. Et non hanno il Zodiaco con sue stelle in su la sua rete né etiam il ciel impresso con sui azimut et helmucanerat né scala in dorso con quadrante. È grevissimo di brongio straforato come qui porò la figura, et cosa semplice.

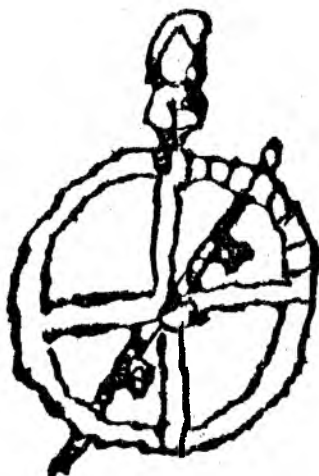


Fig. 16. L'astrolabio marittimo di Alessandro Zorzi (disegno ingrandito)

⁵ Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale, B. Rari 233 (già Magliabechiano XIII.80), ff. 135 v. - 136 r.

L'astrolabio marittimo sarà soppiantato nell'uso nautico solo dal *radius astronomicus* o balestriglia o bastone di Giacobbe, non però nella sua forma originaria - come spesso si sostiene e come appare pure da numerose opere cinquecentesche sulla navigazione - ma dai suoi successivi perfezionamenti fino al sestante attuale, passando per l'ottante e il quadrante di Davis (1595).

La balestriglia, forse inventata come strumento astronomico dal matematico ebreo provenzale Levi ben Gerson (1288-1344), ripreso da Regiomontano, fu riproposta dagli inizi del Cinquecento dal cosmografo di Norimberga Johannes Werner (1468-1522) nel suo nuovo metodo di determinazione della longitudine - divulgato da Pietro Apiano (*Cosmographicus liber*, Landshutae 1524) - che ricorreva al rilevamento delle distanze angolari tra alcune stelle zodiacali e le posizioni che la Luna assume nel suo muoversi nel cielo (Fig. 17).

Lo strumento è in sostanza un misuratore d'angoli, costituito da un regolo graduato di legno, a sezione quadrata di circa 3 cm di lato, lungo dai

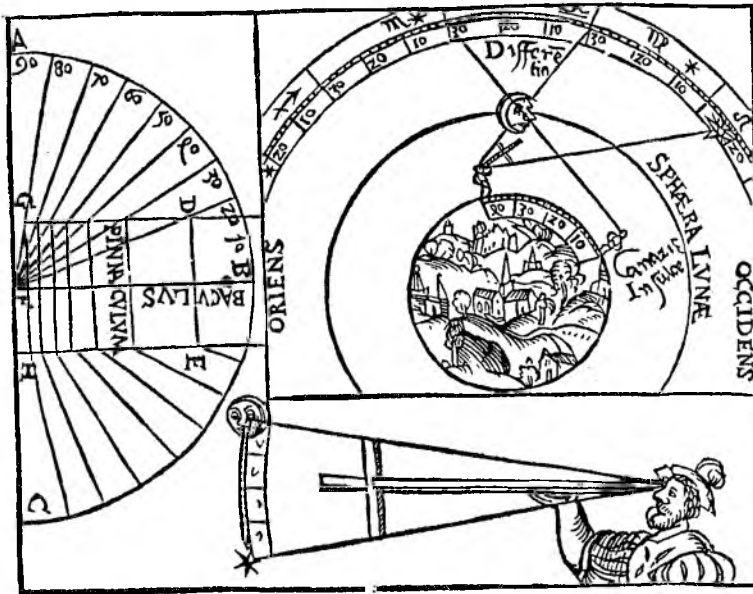


Fig. 17. Il *radius astronomicus*: a sinistra il procedimento di divisione della graduazione, a destra l'impiego nel metodo delle distanze lunari per trovare la longitudine (PETRUS APIANUS, *Cosmographia...*, Antuerpiae 1539)

70 cm a oltre il metro, con una traversa a croce (o martello), più corta, scorrevole avanti e indietro: geometricamente le due parti rappresentano rispettivamente il raggio (variabile) e la corda (fissa) di un cerchio ideale. Si impiega (Fig. 18) mirando lungo il regolo alla distanza angolare da misurare e portando le estremità della traversa a coincidere con gli estremi dell'angolo in questione: la lettura dei valori indicati dalla posizione della traversa sulla graduazione del regolo, dà l'ampiezza dell'angolo. Già per costruzione presenta alcuni problemi, in quanto non può misurare angoli al disotto dei 5° , perché



Fig. 18. L'uso della balestriglia (PEDRO DE MEDINA, *Regimento de navegación*, Sevilla 1563)

il regolo dovrebbe essere tanto lungo da divenire scarsamente maneggevole, e prossimi ai 90° perché le relative divisioni della graduazione sarebbero troppo fitte o in alternativa occorrerebbe una traversa di eccessiva lunghezza: a tale inconveniente si tentò di rimediare in parte dotando la balestriglia di traverse di diversa lunghezza, ciascuna da usarsi su di una propria graduazione, riportando le adottate su differenti facce del regolo. Lo strumento era comunemente usato per misurare da terra le distanze angolari tra stelle, Luna e pianeti. Pure in questo impiego presenta qualche difficoltà: in generale, in quanto bisogna mirare con un occhio contemporaneamente secondo due linee di direzione che sfiorano rispettivamente due lati opposti della base del regolo e le estremità sia della traversa sia dell'angolo da misurare, per cui sono presso che inevitabili gli errori di parallasse; e in particolare perché è fisiologicamente quasi impossibile rilevare angoli prossimi allo zenith. Il trasferimento dello strumento all'uso nautico ha ulteriormente peggiorato le possibilità di impiego: infatti - pur tacendo delle consuete difficoltà dovute alla scarsa stabilità dell'osservatore a bordo -, dovendosi misurare l'altezza della Polare sull'orizzonte, operando ovviamente di notte e in mare aperto, a una buona visibilità della stella corrisponde una pessima visibilità dell'orizzonte; se invece si opera con il Sole meridiano, il rilevamento della sua massima altezza si può ottenere solo seguendone per qualche tempo l'ascesa fino al culmine quando il suo movimento si inverte, il che si percepisce perché - mirando al Sole stesso, a sfioro su un'estremità della traversa, mentre l'altra è mantenuta coincidente con l'orizzonte -, fino a quel momento la traversa medesima era avvicinata all'osservatore e quindi, per continuare a seguirne il disco, comincia ad esserne allontanata: il tipo e la durata dell'operazione sono di evidente pericolo per la vista.

Tuttavia, come ho accennato, testi e illustrazioni coevi offrono molte testimonianze di simili impieghi quasi impossibili: per parte mia ritengo che tali situazioni possano spiegarsi solo pensando che l'estensione dell'uso della balestriglia alla nautica sia stata più teorizzata che concretamente attuata, e nemmeno provata in termini di fattibilità effettiva dai dotti i quali, ispirandosi a un'autorità come Regiomontano e nell'astratta supposizione, pur suffragata da qualche esito felice, che quanto funziona in terra debba funzionare pure in mare e che comunque trattasi sempre di misurare angoli, proposero quello strumento e quelle procedure ai tecnici.

La mia supposizione si fonda sull'osservazione che nessuna balestriglia - benché si dica introdotta nella penisola iberica da Martin Behaim - compare nell'inventario di Magellano del 1519, e sulla constatazione che mentre

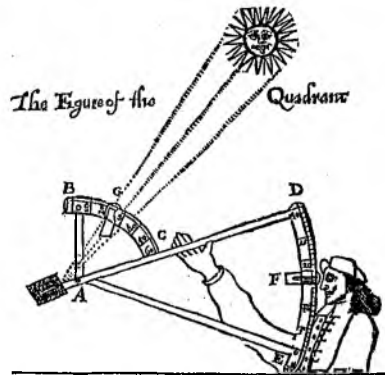
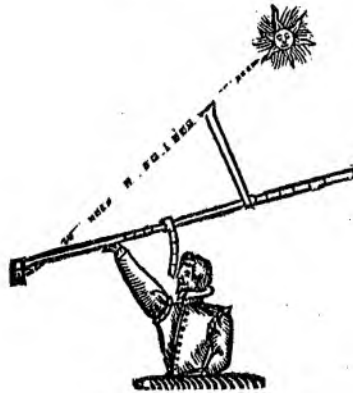
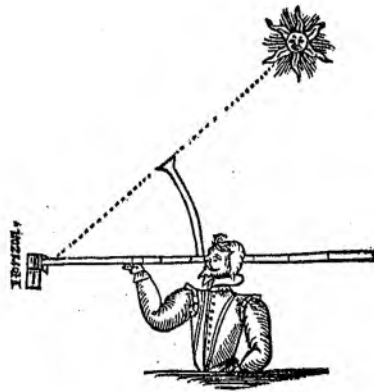


Fig. 19. Le fasi evolutive del quadrante (o quarto) di John Davis

tutti i dotti⁶ propongono complesse e astruse procedure matematiche di esecuzione della graduazione, in realtà essa veniva tracciata in modo empirico, ponendo lo strumento su di un quadrante, spostando quindi la traversa fino a farne coincidere le estremità da un lato con il bordo esterno di esso e dall'altro con una funicella tesa dal vertice via via alle successive graduazioni, e segnando sul regolo la posizione assunta dalla traversa stessa.

In realtà la balestriglia fu rapidamente modificata per renderla funzionale alla nuova destinazione, e la storia si può ricostruire in sintesi dalle immagini (Fig. 19) di *The seamans secrets* del capitano John Davis (London 1595) e di *The mariner's magazine* di Samuel Sturmy (London 1669). Nella prima l'osservatore, voltando ormai le spalle al Sole, manovrando opportunamente la mezza traversa mobile, ne fa cadere l'ombra sul traguardo forato, posto all'estremità del regolo, attraverso il quale vede l'orizzonte: il valore dell'angolo è letto sulla graduazione che sta ancora segnata sul regolo stesso; si sono così evitati l'abbacinamento e la necessità di dover mirare contemporaneamente a due punti distanti. Nella seconda è mantenuta la stessa posizione dell'osservatore, e la mezza traversa superiore mobile sul regolo graduato è portata ancora a gettare l'ombra sul traguardo posto all'estremità del medesimo, ma ad esso si punta tramite un altro mirino mobile sulla mezza traversa inferiore la quale assume la forma di un arco di cerchio. Nell'ultima figura lo strumento ha ormai compiuto per intero la propria evoluzione: le due graduazioni, nella forma di due archi di circonferenza che assommano a 90° , fanno rigidamente parte della struttura che guadagna in solidità e maneggevolezza, mentre uniche parti mobili sono rimasti i due piccoli traguardi; l'osservatore volge le spalle al Sole e punta l'orizzonte attraverso il traguardo F e la fessura in A; avendo regolato a stima la posizione del mirino dell'ombra G, aggiusta il traguardo F finché l'ombra del margine superiore di G cade sul margine superiore della fessura in A, attraverso la quale vede l'orizzonte: sommando la lettura delle due scale si ha la distanza zenitale. Le successive innovazioni riguarderanno solo l'applicazione dell'ingrandimento ottico.

⁶ Ad esempio: PETRUS APIANUS, *Cosmographicus liber*, Landshutae 1524; GEMMA FRISIUS, *De radio astronomico et geometrico*, Antuerpiae 1545; MARTÍN CORTÉS, *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar*, Sevilla 1551; MICHEL COIGNET, *Instruction nouvelle... touchant l'art de naviguer*, Anvers 1581; LUCAS WAGENHAER, *Speculum nauticum*, Lugduni Batavorum 1586; JOHN DAVIS, *The seamans secrets*, London 1595; GARCÍA DE CESPEDES, *Regimento de navegación*, Madrid 1606...

1493	1493	1494	1501
Eclipsis Lunę	Eclipsis Solis	Eclipsis Lunę	Eclipsis Lunę
1 13	10 2 38	7 4 12	3 17 49
Aprilis	Octobris	Idarii	Aprilis
Humida puratio	Humida puratio	Humida puratio	Humida puratio
1 49	1 4	1 44	1 13
	Puncta octo	Puncta quatuor	Puncta decem
1494	1494	1497	1504
Eclipsis Lunę	Eclipsis Lunę	Eclipsis Lunę	Eclipsis Lunę
21 14 38	14 19 45	18 6 38	29 11 36
Idarii	Septembris	Januarii	Septembris
Humida puratio	Humida puratio	Humida puratio	Humida puratio
1 45	1 48	1 45	1 45
	Puncta tria	Puncta tria	Puncta decem
1497	1500	1501	
Eclipsis Solis	Eclipsis Lunę	Eclipsis Lunę	
24 3 2	5 14 3	3 17 49	
Idarii	Idarii	Aprilis	
Humida puratio	Humida puratio	Humida puratio	
9 16	1 37	1 13	
Puncta tria	Puncta decem	Puncta decem	
1502	1502	1504	
Eclipsis Solis	Eclipsis Lunę	Eclipsis Lunę	
30 19 45	11 12 30	29 11 36	
Septembris	Octobris	Septembris	
Humida puratio	Humida puratio	Humida puratio	
1 7	1 1	1 45	
Puncta decem	Puncta tria	Puncta decem	

Fig. 20. Eclissi dal 1493 al 1504 dal *Calendarium* di Regiomontano

(a)	L. 4173	S. 6417	S. 4818	S. 6426	L. 4183	L. 4184
(b)	<i>b</i> 1	<i>b</i> 13	<i>b</i> 13	<i>b</i> 13	<i>b</i> 0	<i>b</i> 5
(c)	<i>m</i> 25	<i>m</i> 52	<i>m</i> 51	<i>m</i> 49	<i>m</i> 45	<i>m</i> 10
(d)	44 +	44 +	44 +	44 +	44 +	44 +
(e)	1 +	14 -	10 +	6 +	15 -	4 -
(f)	2 10	14 22	14 45	14 39	1 14	5 50
(g)	1 58	14 38	16 12	15 2	2 2	5 49
	-12	+ 16	+ 1 27	+ 23	+ 48	-1
(a)	L. 4175	L. 4176	L. 4178	S. 6438	L. 4186	L. 4187
(b)	<i>b</i> 1	<i>b</i> 6	<i>b</i> 17	<i>b</i> 8	<i>b</i> 23	<i>b</i> 0
(c)	<i>m</i> 32	<i>m</i> 28	<i>m</i> 50	<i>m</i> 26	<i>m</i> 4	<i>m</i> 39
(d)	44 +	44 +	44 +	44 +	44 +	44 +
(e)	4 +	8 -	13 +	13 -	16 -	11 +
(f)	2 20	7 4	18 47	8 57	23 32	1 34
(g)	2 38	7 45	18 38	7 45	0 20	1 36
	+ 18	+ 41	- 9	-1 12	+ 48	+ 2

(a) Numero dell'evento secondo Th. Oppolzer, *Canon der Finsternisse*,

Wien 1887: L. (eclisse di Luna), S. (eclisse di Sole).

(b) Massimo dell'evento in Tempo Universale secondo Oppolzer.

(c) Differenza per la longitudine di Norimberga.

(d) Equazione del tempo.

(e) Massimo dell'evento in Tempo Locale di Norimberga.

(f) Massimo dell'evento secondo Regiomontano.

(g) Errore.

Fig. 21. Confronto tra i dati di Regiomontano e quelli attualmente calcolati

Nel frattempo le navigazioni oceaniche, specie quelle nel senso dei paralleli, posero il problema della determinazione della longitudine, ben più complesso, anche se fin dall'antichità si era compreso che la soluzione per due punti della superficie terrestre andava trovata per differenza tra i tempi locali riferiti a un unico momento, che allora poteva essere individuato solo da un evento astronomico visibile contemporaneamente dai due punti: in sostanza un'eclisse, in particolare il suo massimo. E tale fu il procedimento applicato per secoli sulla base della ben nota equivalenza tra 15° di longitudine e 1^h di tempo, fino al 1736 quando John Harrison poté provare la bontà del suo cronometro. In antico il confronto dei tempi locali di osservazione del fenomeno era compiuto casualmente, quando si veniva a conoscenza dei due rilevamenti; nel caso però di un impiego per i viaggi di esplorazione e di scoperta, le osservazioni assumevano ben altro significato, in quanto servivano a definire, con la latitudine, la posizione del punto di stazione, la cui conoscenza, anche per poter stabilire la rotta di rientro, non poteva certo essere rinviata al ritorno in patria. Era necessario quindi avere le previsioni già al momento della partenza, sia per poter predisporre l'osservazione a tempo debito, sia appunto per conoscere subito *in loco* dove ci si trovava.

Le previsioni delle eclissi, fenomeni di grande rilevanza astrologica, erano normalmente contenute nelle tavole astronomiche e nei calendari: dal finire del Quattrocento in Europa dominavano le compilazioni di Regiomontano, il *Calendarium* e le *Ephemerides*, edite per la prima volta a Norimberga nel 1474 per gli anni fino al 1506, e poi continuamente ristampate - un suo *Calendarium* era posseduto da Colombo -, mentre nella penisola iberica erano diffuse anche le edizioni latina e volgare dell'*Almanach* di Zacuto. Le previsioni erano elaborate ricorrendo sia alla ciclicità del fenomeno sia al calcolo: comunque presentavano molti errori anche cospicui, come si può vedere dal confronto dei dati di due pagine del *Calendarium* di Regiomontano (Venetiis 1483), relative agli anni 1493-1504 (Fig. 20), con quelli attualmente calcolati (Fig. 21). Nella tavola di Regiomontano in ogni colonna la prima riga riporta l'anno, la seconda indica se l'eclisse sia di Sole o di Luna, la terza dà il giorno con l'ora e i minuti contati da mezzogiorno, la quarta il mese, la quinta specifica il contenuto della riga successiva dove in ore e minuti è dato il tempo per passare dal contatto fra i due corpi celesti al massimo del fenomeno (*dimidia duratio*), la settima indica in dodicesimi di diametro (*puncta*) quanta parte del disco sia interessata dal fenomeno quando è parzia-

le, mentre manca quando è totale; al di sotto l'immagine visualizza quest'ultima informazione.

Dal confronto risultano errori di previsione che vanno da + 1^h 27^m a - 1^h 12^m, con una dispersione che non permette nemmeno di supporre errori sistematici. Anche il procedimento delle distanze lunari di Werner potrà essere applicato solo a partire dal Settecento per gli allora inevitabili errori delle tavole con le posizioni della Luna, la quale ha un movimento particolarmente complesso.

Quando si ricorre alle previsioni per determinare la longitudine, agli errori delle tavole debbono essere aggiunti anche i dovuti all'osservazione *in loco*: di tipo strumentale per difetti di graduazione, di tipo osservativo nell'impiego della strumentazione per l'obiettivo difficoltà di individuare il massimo del fenomeno e di misurare i tempi, dovendosi partire a contare il tempo almeno dal momento del Sole meridiano e poi arrivare alle fasi dell'eclisse

	long.		lat.		long.		lat.
	<i>b</i>	<i>m</i>	<i>gradi</i>		<i>b</i>	<i>m</i>	<i>gradi</i>
Nuremberga	0	0	49	Patavia	0	10	48
	(0	0	49)		(0	3	45)
Lysibona	1	40	41	Venetie	0	10	45
	(1	21	39)		(0	5	45)
Toletum	1	24	41	Ancona	0	14	44
	(1	1	40)		(0	10	44)
Corduba	1	27	38	Roma	0	20	42
	(0	53	38)		(0	6	42)
Parisius	0	30	48	Tarentum	0	44	40
	(0	35	49)		(0	25	40)
Avinio	0	32	44	Brundisium	0	40	39
	(0	24	44)		(0	27	41)
Lipsia	0	10	51	Neapolis	0	36	41
	(0	5	51)		(0	12	41)
Vienna	0	15	48	Florentie	0	10	43
	(0	21	48)		(0	1	44)
Oxonium	0	52	53	Mediolanum	0	0	44
	(0	49	52)		(0	7	45)
Taurinum	0	2	43	Genua	0	4	43
	(0	13	45)		(0	8	44)

Fig. 22. Dati di longitudine e di latitudine di alcune città desunti dalla « Tabula regionum » del *Calendarium* di Regiomontano confrontati con i dati effettivi riportati tra parentesi

impiegando gli orologi a polvere... Non deve quindi stupirci se molto spesso le determinazioni di longitudine quattro-cinquecentesche risultano poco attendibili, né mi pare che abbiano bisogno di altre giustificazioni. A conferma riporto i dati di longitudine e latitudine (riferiti al meridiano di Norimberga) per alcune città europee, confrontandoli con i valori attuali posti tra parentesi (Fig. 22): sono tratti dal solito *Calendarium* di Regiomontano, che non era un marinaio ma un astronomo, e sono relativi a località ben note che in molti casi hanno anche avuto una lunga tradizione nel campo dell'astronomia.

Si comprende quindi la sconsolata constatazione di Andrés de San Martín - riferita dal Barros che ebbe accesso alle carte di lui oggi scomparse - quando nel porto di S. Lucia in Brasile il 17 Dicembre 1519 tentò di trovare la propria posizione utilizzando una congiunzione di Giove con la Luna, tabulata sia da Zacuto sia da Regiomontano, ottenendo però un valore di longitudine assolutamente inattendibile: « me mantengo en que quod vidimus loquimur, quod audivimus testamur, y que toque a quien toque, en el almanaque están errados los movimientos celestes sicúti experientia experti sumus » (Déc. III, liv. V, cap. 10).