

Il problema delle Longitudini

Gilda Spenuso

Liceo Classico P.Virgilio e Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Per affrontare qualsiasi viaggio è indispensabile avere punti di riferimento fissi, in modo tale da potersi orientare e non perdere mai la strada. Se il viaggio da compiere è breve, ci vengono in aiuto strade, piazze e luoghi di interesse, per farla breve, la cartografia. Quando il viaggio si fa più lungo e bisogna attraversare ampie zone il problema si fa più grosso, soprattutto se ci si ritrova a dover fare lunghi viaggi in mare. Lì non vi sono altri punti di riferimento oltre alla costa, e nel caso in cui ci si trovi in alto mare si corre il rischio di perdere la rotta e non arrivare a destinazione. Per risolvere il problema sulle mappe della terra è stato tracciato un reticolo di linee orizzontali e verticali: i paralleli e i meridiani.

Già gli antichi greci tentarono di ovviare al problema in questo modo. Eratostene, nelle ventisette tavole del primo atlante del mondo, aveva suddiviso le zone geografiche tracciando un certo numero di linee parallele ad una di riferimento, ma queste non erano regolarmente distanziate tra loro.

Ma come fare per determinare con precisione la propria posizione in base alla latitudine e alla longitudine?

Al giorno d'oggi i moderni GPS sono in grado di indicare la tua posizione precisa con un errore inferiore ai 10 metri, ma in passato non era così semplice.

Per la latitudine il problema era minore: vi erano diversi metodi basati sull'osservazione del cielo, che faceva quasi da “cartellone stradale”, ed è stato ovvio anche il posizionamento dell'equatore, il parallelo di riferimento per tutti gli altri. Per la longitudine il problema era ben più grosso: siccome la terra ruota sull'asse nord-sud non vi è nessun meridiando che si distingua dagli altri per posizione, e inoltre non vi erano metodi sufficientemente accurati per determinare la posizione in cui ci si trova in mare.

Il progresso sulla determinazione della longitudine coincide con gli sviluppi del commercio. La scoperta delle Americhe nel 1492, e conseguentemente la nascita di nuove rotte commerciali e l'inizio delle grandi esplorazioni ha reso sempre più impellente il bisogno di orientarsi con precisione in mare e in particolare negli oceani, dove le coste non erano più visibili.

Nel 1514 Johann Werner pubblicò una traduzione della Geografia di Tolomeo, in cui proponeva il metodo delle distanze lunari. Tale metodo si basava sulla velocità di movimento della Luna rispetto alle stelle di fondo. Sarebbe bastato calcolare la distanza della Luna da una stella vicina ad essa in un dato

tempo assoluto, in modo tale da poter comparare il tempo assoluto, ricavato dall'osservazione della luna, con il tempo locale. Questo metodo in teoria era corretto, ma in pratica era molto poco accurato in quanto le misurazioni delle distanze sarebbero state molto poco precise e non vi era nessuna teoria matematica sull'orbita della Luna sufficientemente accurata.

Nel 1530 Gemma Frisius suggerì di utilizzare a tale scopo un orologio, che sarebbe stato regolato con un tempo assoluto da comparare poi all'ora locale. Anche quest'altro metodo è corretto, ma gli orologi dell'epoca non erano in grado di segnare l'ora esatta a lungo, tanto più in mare dove erano soggetti a frequenti oscillazioni e sbalzi di temperatura.

Nel 1567 il re di Spagna Filippo II offrì un premio di 6000 ducati a chi fosse riuscito a risolvere il problema. A concorrere per il premio vi fu anche Galileo Galilei, che propose nel 1616 un sistema basato sull'osservazione e sul calcolo dei transiti delle lune di Giove, ma il metodo non convinse gli spagnoli, nonostante nel 1612 avesse già compilato le tavole con i movimenti dei satelliti.

Così provò a riproporre il suo metodo alle Provincie Unite d'Olanda nel 1636. La sua proposta fu presa in considerazione, ma fu impedito ai commissari olandesi di far visita a Galileo a causa del processo indetto dalla Santa Inquisizione.

Nel 1634 Jean Baptiste Morin ripropose il metodo delle distanze lunari in una variante che teneva conto anche dell'effetto della parallasse. La proposta fu apprezzata dal cardinale Richelieu, ma il metodo fu giudicato impraticabile.

Nel 1666 Jean Baptiste Colbert convinse il sovrano Luigi XIV a fondare l'*Academie Royale des Sciences*, allo scopo di incentivare la ricerca scientifica, ma in particolar modo di far progredire la scienza della navigazione. L'istituto avrebbe dovuto ospitare i migliori scienziati dell'epoca, tra cui numerosi astronomi e matematici.

Uno di questi studiosi ospitati dall'*Academie*, Huygens, tentò di perfezionare l'orologio o a pendolo, ma le sue ricerche non ebbero buon esito. Nel 1668 il suo orologio venne portato in viaggio da Tolone a Creta, e la longitudine trovata riportò un errore di circa 100 chilometri.

Nello stesso periodo Gian Domenico Cassini riprese in considerazione il metodo proposto da Galileo, e nel 1668 pubblicò le *Ephemerides Bononienses Mediceorum Syderu*. Cassini usò il metodo dei satelliti gioviani per tracciare una mappa della terra dalla forma distorta dei continenti ma dalla longitudine esatta. Così il problema era risolto per i luoghi sulla terraferma, ma rimaneva irrisolto per quanto riguarda il calcolo delle longitudini in mare.

Nel 1662 un gruppo di filosofi e scienziati inglesi fondò la *Royal Society of London for the Promotion of Natural Knowledge*, uno dei suoi scopi principali era quello di risolvere il problema della longitudine.

Robert Hooke, che ne faceva parte, svolse svariate indagini sui meccanismi degli orologi, arrivando alla conclusione che era impossibile crearne uno sufficientemente accurato da segnare il tempo esatto in mare.

Nel 1674 John Flamsteed riprese in considerazione il metodo della distanza lunare e convinse il re a creare un osservatorio reale di cui diventò il direttore. L'osservatorio fu ubicato a Greenwich e i lavori cominciarono nel 1675.

Si pensò di creare delle tabelle che consentissero di prevedere la posizione della luna rispetto alle stelle, in modo da metterle a confronto col tempo locale, ma per fare ciò erano necessari numerosi calcoli e dati. Flamsteed impiegò 15 anni a compilare le sue tavole, che gli consentirono anche di catalogare più di 3000 stelle, catalogo pubblicato nel 1725 col titolo di *Historia Coelestis Britannica*.

Negli ultimi decenni del Seicento e nei primi del Settecento si verificarono numerosissimi incidenti in mare in cui diverse navi furono perdute poiché non riuscivano a calcolare con sufficiente accuratezza la propria posizione. Il più grave di questi avvenne nel 1707, sulle coste delle isole Shilly, in cui persero la vita oltre duemila uomini nel naufragio di quattro navi. Urgeva una soluzione al problema della longitudine.

Il 16 giugno 1714 il parlamento inglese emanò il *Longitude Act*, in cui si offriva una ricompensa dalle 10.000 alle 20.000 sterline a seconda della precisione con cui si era riusciti a calcolare la propria posizione in mare.

Le proposte furono svariate, alcune anche molto stravaganti. La più assurda prevedeva l' utilizzo di una polvere di derivazione alchemica, la cosiddetta “polvere simpatica” di Sir Kenelm Digby. Tale polvere si supponeva avesse il potere di acuire il dolore provocato dalle ferite aperte, e la proposta consisteva nel situare dei cani feriti in mare ad una determinata longitudine e nel farli guaire dal dolore tramite la polvere ad un certo orario londinese, così che tutti i navigatori avessero potuto calcolare la differenza tra Londra e l'orario locale e di conseguenza calcolare la longitudine.

Nel 1715 John Harrison, carpentiere di Foulby, realizzò il suo primo orologio. Una dozzina di anni dopo costruì un orologio con un pendolo “a graticola”, formato da barre di acciaio ed ottone, in grado di sopportare gli sbalzi di temperatura. Nel 1730 egli venne a conoscenza del premio messo in palio dal Longitude Act, e si recò a Londra col suo pendolo. Lì incontrò Halley, che gli consigliò di non cercare fondi dalla Commissione delle Longitudini poiché questa, essendo formata da astronomi e matematici, era prevenuta nei confronti di metodi che non avessero a che fare con l'osservazione del cielo.

Cinque anni dopo, Harrison riuscì a costruire un orologio, denominato H1, dal peso di quaranta chilogrammi e dal volume che sfiorava il metro cubo. Il congegno venne esaminato dalla commissione per le longitudini, che ne chiese la sperimentazione su una tratta in mare. Così fu effettuato un viaggio

di andata e ritorno tra Londra e Lisbona. L'orologio funzionò correttamente e la Commissione offrì ad Harrison un incentivo di 500 sterline per costruirne un altro ancora più preciso. Nel frattempo Halley, Mayer e Maskelyne pubblicarono le loro effemeridi lunari, ma queste presentavano delle grosse difficoltà per quanto riguarda il calcolo della longitudine: innanzitutto il margine di errore era di circa un grado e mezzo, ma soprattutto i navigatori erano costretti ad eseguire calcoli ed osservazioni complesse che implicavano un gran dispendio di tempo prima di arrivare ad un risultato, e inoltre la Luna e le stelle fisse non erano sempre visibili, specie nei giorni del novilunio.

Nel 1759 Harrison presentò alla Commissione il modello definitivo del suo orologio, lo H4, destinato a compiere la tratta da Londra alla Giamaica. Il viaggio durò ottantuno giorni e l'orologio accumulò un ritardo di soli cinque secondi. Le condizioni del Longitude Act erano soddisfatte, ma la Commissione della Longitudine, che lavorava al metodo dell'osservazione delle distanze lunari, accampò una serie di pretesti per non ammettere la vittoria di Harrison. Solo nel 1772 John Harrison vide la tanto attesa ricompensa. Dopo una petizione al re Giorgio III ad Harrison furono donate 10.000 sterline, la metà del premio prestabilito. Una somma pari a 3.000 sterline fu assegnata alla vedova di Mayer, che aveva pubblicato le prime effemeridi lunari.

Nonostante la sua precisione, anche l'orologio di Harrison aveva un difetto: il costo. Per realizzarne uno erano necessari mesi di lavoro di manodopera specializzata, e solo pochi fortunati potevano permettersi il lusso di possederne uno. Solo dopo il 1880 gli orologi ebbero più larga diffusione, nel frattempo si continuò ad usare il metodo delle distanze lunari, seppur con le sue imprecisioni.

Calcolo della longitudine attraverso l'osservazione dei satelliti medicei

I satelliti medicei di Giove, Io, Europa, Callisto e Ganimede, forniscono in modo *naturale* un orologio di elevata precisione. Il loro moto, regolato dalla legge di gravitazione universale è assai regolare e prevedibile in modo relativamente facile. Già Galileo aveva prodotto delle tabelle sufficientemente accurate ed addirittura uno strumento, il Giovilabio, per il calcolo meccanico delle loro posizioni. Questo metodo, abbastanza utilizzato per le misure terrestri durante il seicento, non era però molto facile da utilizzare durante la navigazione, per la difficoltà di misura e per la necessità di osservare fenomeni specifici (occultazioni, congiunzioni ecc.) se si

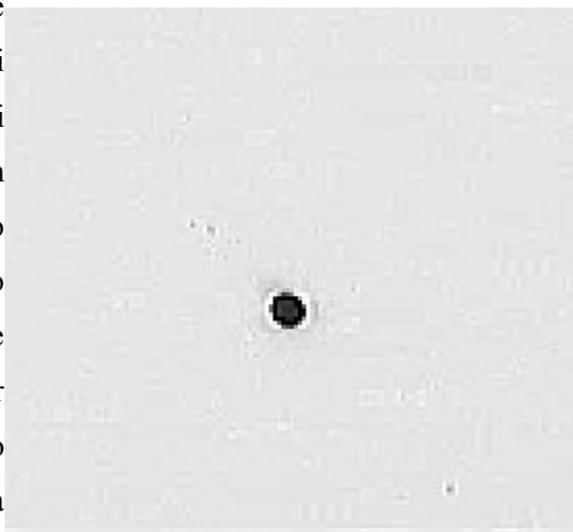


Illustration 1: Foto (negativa) di Giove e di tre satelliti

desiderava una maggiore precisione.

Noi abbiamo eseguito una misura diretta per provare la capacità di questo metodo di fornire l'ora assoluta.

Con un piccolo telescopio, di dimensioni comparabili a quelli utilizzati nel seicento (50 mm di diametro) abbiamo scattato alcune foto di Giove e dei suoi satelliti la mattina dell'8/6 intorno alle 4. Ne abbiamo selezionate alcune che risentivano meno dei veli atmosferici.

Descriviamo nel seguito la procedura utilizzata. Sulla base della foto scattata, si misura il centro di Giove e la distanza, in pixel, di questo da ciascuno dei suoi satelliti. In questa foto, Io era occultato dal pianeta e quindi non visibile.



Illustration 2: Strumentazione di misura: telescopio, webcam e PC portatile

I valori ottenuti dovrebbero coincidere o almeno essere prossimi ai valori calcolati teoricamente¹. Tenuto conto dei diversi errori di misura di questa procedura, abbiamo utilizzato un metodo un poco indiretto che è poco sensibile alla loro influenza. Per trovare l'ora per la quale c'è il miglior accordo, si calcola il rapporto tra le distanze in pixel misurate sulla foto e le distanze in secondi d'arco date dal

¹Abbiamo utilizzato il programma Jupiter Moon Tracker (http://pds-rings.seti.org/tools/tracker2_jup.html)

calcolatore nei vari istanti di tempo. Questo rapporto dovrebbe essere costante per tutti i satelliti, ma questa condizione, che sarebbe verificata solo per l'istante corrispondente allo scatto della foto, non viene verificata *esattamente* a causa dei vari errori di misura. Si cerca quindi, tra le varie posizioni teoriche, corrispondenti a tempi diversi quella con il miglior accordo, ricavando così l'ora della foto originale.

Come valutatore del miglior accordo abbiamo utilizzato uno strumento statistico, la deviazione standard (standard deviation). Si nota che il valore dello scarto inizialmente diminuisce col trascorrere del tempo, a un certo punto ci sarà un valore ripetuto per tre o più volte, dopodiché comincerà ad aumentare. Il valore minimo dell'errore ripetuto più volte coincide con l'ora in cui è stata scattata la foto. L'orario riportato dalle tabelle del calcolatore è il T.U. (tempo universale) ovvero il tempo medio al meridiano di Greenwich mentre l'orario delle foto è il tempo civile medio al meridiano dell'Italia. Per calcolare la longitudine del luogo di osservazione (Osservatorio di Arcetri) è necessario riportare il tempo medio locale al tempo solare vero, sottraendo la differenza tra il mezzogiorno del tempo civile e il mezzogiorno del tempo solare vero. A questo punto abbiamo l'ora locale e l'ora di Greenwich del momento dello scatto della foto: per ottenere la longitudine locale basta sottrarre i due tempi e convertire il risultato in gradi.

Il risultato ottenuto è quindi risultato pari a circa 11 gradi, con un errore inferiore a quello richiesto dal Longitude Act.

Bibliografia Elettronica

<http://www.astrofilitrentini.it/notiz/not11/longit1.html>

http://www.flog.it/doc/voce/2_il%20mondo.pdf

http://spazioinwind.libero.it/saf/docpdf/Longitudine_Parte_%20I.pdf

http://www.arcetri.astro.it/~ranfagni/CD/CD_TESTI/INDEX.HTM

http://www.torinoscienza.it/dossier/apri?obj_id=2727

Immagine W1275852201.png

	X	Y	Distanza			Rapporti				
Giove		79	56							
Io				109.28						
Europa	60.5	75.5	-26.88		-174.72	4.65				
Ganimede	118.5	11.75	59.32		385.55	4.67				
Callisto	55.75	76.75	-31.16		-202.56	4.78				
		Posizioni			Rapporti					
		io	europa	ganimede	callisto	io	europa	callisto	ganimede	
1	0	19.32	-48.06	-119.47	280.8	-139.87	0.2250	0.2112	0.2228	0.0074
1	2	19.32	-47.56	-119.81	280.89	-140.13	0.2243	0.2112	0.2224	0.0071
1	4	19.32	-47.04	-120.14	280.98	-140.38	0.2237	0.2111	0.2220	0.0068
1	6	19.32	-46.53	-120.47	281.06	-140.63	0.2231	0.2110	0.2216	0.0066
1	8	19.32	-46.02	-120.8	281.15	-140.89	0.2225	0.2110	0.2212	0.0063
1	10	19.32	-45.51	-121.13	281.23	-141.14	0.2219	0.2109	0.2208	0.0061
1	12	19.32	-44.99	-121.46	281.32	-141.39	0.2213	0.2108	0.2204	0.0058
1	14	19.32	-44.48	-121.79	281.4	-141.65	0.2207	0.2108	0.2200	0.0055
1	16	19.32	-43.96	-122.11	281.49	-141.9	0.2201	0.2107	0.2196	0.0053
1	18	19.32	-43.44	-122.44	281.57	-142.15	0.2195	0.2107	0.2192	0.0050
1	20	19.32	-42.92	-122.77	281.65	-142.41	0.2189	0.2106	0.2188	0.0048
1	22	19.32	-42.4	-123.09	281.74	-142.66	0.2184	0.2105	0.2184	0.0045
1	24	19.32	-41.88	-123.42	281.82	-142.91	0.2178	0.2105	0.2181	0.0043
1	26	19.32	-41.36	-123.74	281.9	-143.17	0.2172	0.2104	0.2177	0.0041
1	28	19.32	-40.84	-124.06	281.98	-143.42	0.2167	0.2104	0.2173	0.0038
1	30	19.32	-40.31	-124.39	282.06	-143.67	0.2161	0.2103	0.2169	0.0036
1	32	19.32	-39.79	-124.71	282.14	-143.92	0.2155	0.2102	0.2165	0.0034
1	34	19.32	-39.26	-125.03	282.22	-144.18	0.2150	0.2102	0.2161	0.0032
1	36	19.32	-38.73	-125.35	282.3	-144.43	0.2144	0.2101	0.2158	0.0030
1	38	19.32	-38.2	-125.67	282.38	-144.68	0.2139	0.2101	0.2154	0.0028
1	40	19.32	-37.68	-125.99	282.46	-144.94	0.2133	0.2100	0.2150	0.0026
1	42	19.32	-37.15	-126.31	282.54	-145.19	0.2128	0.2099	0.2146	0.0024
1	44	19.32	-36.62	-126.62	282.62	-145.44	0.2123	0.2099	0.2143	0.0022
1	46	19.32	-36.08	-126.94	282.69	-145.7	0.2117	0.2098	0.2139	0.0020
1	48	19.32	-35.55	-127.25	282.77	-145.95	0.2112	0.2098	0.2135	0.0019
1	50	19.32	-35.02	-127.57	282.85	-146.2	0.2107	0.2097	0.2132	0.0018
1	52	19.32	-34.48	-127.88	282.92	-146.45	0.2102	0.2097	0.2128	0.0017
1	54	19.32	-33.95	-128.2	283	-146.71	0.2097	0.2096	0.2124	0.0016
1	56	19.32	-33.41	-128.51	283.08	-146.96	0.2092	0.2095	0.2121	0.0016
1	58	19.32	-32.88	-128.82	283.15	-147.21	0.2087	0.2095	0.2117	0.0016
2	0	19.32	-32.34	-129.13	283.23	-147.46	0.2082	0.2094	0.2113	0.0016
2	2	19.32	-31.8	-129.44	283.3	-147.72	0.2077	0.2094	0.2110	0.0017
2	4	19.32	-31.26	-129.75	283.37	-147.97	0.2072	0.2093	0.2106	0.0017
2	6	19.32	-30.72	-130.06	283.45	-148.22	0.2067	0.2093	0.2102	0.0018
2	8	19.32	-30.18	-130.37	283.52	-148.47	0.2062	0.2092	0.2099	0.0020
2	10	19.32	-29.64	-130.67	283.59	-148.73	0.2057	0.2092	0.2095	0.0021
2	12	19.32	-29.1	-130.98	283.67	-148.98	0.2052	0.2091	0.2092	0.0023
2	14	19.32	-28.56	-131.29	283.74	-149.23	0.2047	0.2090	0.2088	0.0024
2	16	19.32	-28.01	-131.59	283.81	-149.48	0.2043	0.2090	0.2085	0.0026
2	18	19.32	-27.47	-131.89	283.88	-149.74	0.2038	0.2089	0.2081	0.0028
2	20	19.32	-26.92	-132.2	283.95	-149.99	0.2033	0.2089	0.2078	0.0029
2	22	19.32	-26.38	-132.5	284.02	-150.24	0.2029	0.2088	0.2074	0.0031
2	24	19.32	-25.83	-132.8	284.09	-150.49	0.2024	0.2088	0.2071	0.0033
2	26	19.32	-25.29	-133.1	284.16	-150.74	0.2019	0.2087	0.2067	0.0035

Illustration 3: Tabella di calcolo del miglior accordo tra le posizioni misurate e le posizioni calcolate