

“*Observer de concert*”: Giovanni Domenico Cassini, Jean Richer e la prima misura accurata della distanza Terra-Sole

Elisabetta Rossi, Università di Milano, Elisabetta.Rossi1@unimi.it

Elisabetta Rossi ha conseguito la Laurea Magistrale in Astrofisica e Cosmologia all’Università di Bologna nel luglio 2021 ed è attualmente Dottoranda in Studi Storici all’Università di Milano. Come parte del gruppo ERC - TACITROOTS, la sua ricerca riguarda l’attività sperimentale della Fiorentina Accademia del Cimento (1657-67).

Abstract

Tra i principali obiettivi di Luigi XIV, meglio conosciuto come il Re Sole, vi era la volontà di rendere la Francia una potenza dominante in Europa non solo dal punto di vista militare, ma anche nei campi letterario, artistico e scientifico. Per realizzare una sorta di “età dell’oro” per la Francia, il Re intendeva conquistare territori d’oltreoceano da sottomettere al controllo francese. Il Primo Ministro di Stato, il visionario e diplomatico Jean Baptiste Colbert, propose pertanto di finanziare, oltre alle imprese militari, anche una serie di spedizioni scientifiche. Questi viaggi avevano lo scopo di determinare con precisione le coordinate geografiche dei possedimenti coloniali francesi per stimarne la reale estensione e dimostrare così l’influenza del Re Sole.

Gli astronomi dell’Académie des Sciences de Paris (1666), esperti matematici, geografi e cartografi, presero parte a queste spedizioni scientifiche organizzate in vari possedimenti oltreoceano. Negli anni in cui l’astronomo italiano Giovanni Domenico Cassini si trovava alla corte di Luigi XIV, queste esplorazioni vennero da lui supervisionate dalle sale dell’Observatoire Royal, la cui realizzazione fu in gran parte merito dello stesso Cassini.

Scopo del presente contributo è riportare alla luce la storia della spedizione scientifica che si svolse a Caienna (Guyana francese) negli anni 1672-73, presentandone il piano organizzativo (incluso il calendario astronomico, la scelta della destinazione e dell’astronomo responsabile delle osservazioni), l’effettiva realizzazione ed il suo lascito. Tra i risultati scientifici della spedizione, particolare rilevanza riveste la prima determinazione accurata della distanza della Terra dal Sole, nota anche come Unità Astronomica (AU), ottenuta attraverso osservazioni simultanee di misure parallattiche. Il desiderio di gloria del Re Sole, iniziato con un’aggressiva campagna militare e di espansione, si tradusse in un incredibile sviluppo dell’astronomia moderna.

Introduzione: La nascita delle moderne spedizioni scientifiche alla corte di Luigi XIV

La politica di Luigi XIV (1638-1715) -Re di Francia e Navarra dal 1643 al 1715, conosciuto come *Roi Soleil*- prevedeva la conquista e annessione del maggior numero possibile di territori geografici oltreoceano attraverso campagne militari. Nell'ambizioso piano del Re, la Francia avrebbe vissuto una sorta di “età dell'oro” divenendo la potenza dominatrice in Europa in ambito letterario, artistico e scientifico. Fu il francese Jean-Baptiste Colbert (1619-1683), controllore generale delle finanze (1665-1683) e segretario di stato per la marina (1668-1683), a guidare il programma di ricostruzione economica che rese la Francia una delle potenze più influenti nel panorama europeo. Colbert suggerì la fondazione di una delle prime Accademie scientifiche dell'epoca moderna, l'Académie Royale des Sciences (1666): l'istituzione esprimeva l'avanguardia della monarchia francese ed esserne membri era un grande onore per gli studiosi dell'epoca, i quali avevano accesso ad una ricerca finanziata dallo Stato. Su consiglio di Colbert vennero anche fondate l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres (1663), l'Académie Royale d'Architecture (1671) e l'Observatoire Royal di Parigi, un magnifico luogo per osservazioni astronomiche e studi geografici, di cui l'astronomo italiano Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) supervisionò i lavori di progettazione.

In quegli anni, il governo francese stava conducendo anche una lenta e sistematica campagna di reclutamento per attirare i migliori scienziati europei e concentrarli a Parigi. Il ruolo chiave in questa operazione fu svolto sempre da Colbert, il quale nell'estate del 1668 contattò Cassini, già conosciuto fuori dall'Italia per le sue osservazioni astronomiche e per la costruzione della linea meridiana (1655) nella Basilica di San Petronio a Bologna, ancora oggi la meridiana più lunga al mondo. Cassini accettò l'invito, lasciò la città in cui deteneva la cattedra Universitaria di astronomia e si trasferì a Parigi il 4 aprile 1669, ricevendo, almeno per un periodo, un doppio stipendio. Qui, divenne membro dell'Académie Royale des Sciences e iniziò a collaborare con altri matematici, astronomi e fisici.

Infine, il Primo Ministro di Stato propose di finanziare, al fianco di campagne coloniali e militari, anche delle spedizioni con puri scopi scientifici, tra cui il primario obiettivo di determinare con precisione le coordinate geografiche terrestri (latitudine e longitudine) delle remote colonie francesi oltremare, così come delle coste francesi, al fine di stimare l'estensione dei territori sotto il controllo del Re Sole. Seguendo il consiglio di Colbert e credendo nella capacità dell'analisi scientifica di fornire nuove conoscenze sul mondo, l'Académie iniziò quindi a programmare spedizioni in vari paesi, tra cui Canada, Danimarca, Guiana Francese, Isole Capo Verde, Martinica, Senegal, Egitto, Siam, Cina e altri, guidate da astronomi dell'istituzione, le cui competenze in ambiti geografico e matematico furono fondamentali per

il raggiungimento degli obiettivi scientifici. Inoltre, questo innovativo progetto di spedizioni scientifiche rafforzò il potere commerciale e marittimo della Francia.

Tutte le campagne di esplorazione scientifica organizzate dall'Académie in quegli anni furono attentamente supervisionate da Giovanni Domenico Cassini, il quale coordinava il lavoro degli astronomi dall'Observatoire grazie alla sua autorità e al suo temperamento, rendendo Parigi un "centro di calcolo" per la raccolta e l'elaborazione dei dati. Nei suoi scritti, il termine “*observer de concert*” riassume a più riprese, in riferimento ai risultati ottenuti da osservazioni simultanee e coordinate di astronomi in diversi luoghi della terra.

Dopo questa breve introduzione sull'ambiente politico e scientifico parigino in cui nacquero i progetti di spedizioni scientifiche, l'articolo procederà con una Sezione (1) focalizzata sulla spedizione del 1672-73 in Guyana francese, il cui resoconto apparve alcuni anni dopo, nel 1679, e venne successivamente ripubblicato nelle Memorie dell'Accademia.ⁱ Verranno analizzati gli step organizzativi della missione, tra cui la scelta della destinazione e dell'astronomo responsabile delle osservazioni, il francese Jean Richer (1630?-1696), il calendario astronomico pianificato prima della partenza e gli obiettivi principali. Nelle Sezioni successive, saranno discussi due dei risultati scientifici più significativi della spedizione: l'applicazione di un nuovo metodo per misurare la longitudine terrestre (Sez. 2) e la prima determinazione precisa della distanza Terra-Sole, nota come Unità Astronomica (Sez. 3). Risaltando la storia del significativo viaggio a Caienna, ancora oggi capitale della Guyana francese, e delle osservazioni astronomiche svolte oltreoceano, l'articolo, estratto dalla tesi magistrale intitolata “*Unveiling the size of the Universe: the first accurate measurement of the Earth-Sun distance by Giovanni Domenico Cassini*”, metterà in evidenza alcune delle eredità della spedizione scientifica. Il desiderio di gloria del Re Sole, espresso inizialmente attraverso un'aggressiva espansione coloniale, si rivelò (anche) un inatteso sviluppo dell'astronomia moderna.

1. La spedizione scientifica a Caienna, Guyana francese (1672-73)

La spedizione scientifica a Caienna, organizzata mentre Giovanni Domenico Cassini si trovava all'Observatoire di Parigi, aveva come obiettivo principale la verifica sperimentale di diverse teorie e grandezze astronomiche di notevole interesse per gli astronomi dell'epoca. Tra queste, l'inclinazione dell'eclittica (l'angolo tra l'orbita terrestre e il piano dell'equatore), le date degli equinozi, le parallassi del Sole, di Venere e di Marte, i movimenti, le fasi e la parallasse della Luna, i movimenti di Mercurio (un

ⁱ J. Richer, *Observations Astronomiques et Physiques faites en L'isle de Caienne par M. Richer, de l'Académie Royale des Sciences*, Paris, Imprimerie Royale, 1679. Successivamente ripubblicato in: *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (1666-1699), VIII¹, pp. 233-326

pianeta che era stato raramente osservato dall'Europa), le caratteristiche principali delle stelle dell'emisfero Sud (non visibili o solo parzialmente da Parigi), l'effetto della rifrazione della luce, uno studio sul barometro, la lunghezza del pendolo il cui periodo era pari a due secondi, e alcune misurazioni delle maree (Richer, 1679, p. 2).

1.1. La scelta della destinazione: Madagascar o Guyana francese?

Uno dei fondatori dell'Académie, Adrien Auzout (1622-1691), presentò la proposta di spedizione scientifica all'istituzione in data 11 gennaio 1667, alcune settimane dopo il primo incontro formale avvenuto il 22 dicembre 1666.ⁱⁱ Auzout propose di inviare gli osservatori in Madagascar, e in particolare a Fort-Dauphin, oggi conosciuta come Tolagnaro, ad una latitudine di $\phi_M \approx 25^\circ$. Il territorio si trovava però fuori dalla fascia dei tropici - che hanno un intervallo di latitudine $|\phi| \leq 23^\circ 27'$ - dove il Sole si trova allo zenit due volte all'anno. Lì, la rifrazione è trascurabile, mentre l'effetto di distorsione è massimo all'orizzonte. Per questa ragione, l'Académie decise di modificare la proposta iniziale, suggerendo una nuova destinazione: la Guyana francese. Caienna, con una latitudine di $\phi_C = 4^\circ 56'$ Nord, fu menzionata come destinazione per la prima volta in una lettera datata 4 settembre 1669 di Christiaan Huygens (1629-1695), anch'egli all'Observatoire e membro dell'Académie, indirizzata a Henry Oldenburg (1618-1667), segretario della Royal Society di Londra (1660).ⁱⁱⁱ Le comunicazioni tra Parigi e la Guyana sarebbero risultate inoltre più rapide rispetto al Madagascar.

1.2. La scelta dell'astronomo: Jean Richer

Sia la scelta di Caienna come destinazione, sia l'incarico a Jean Richer di realizzare le osservazioni astronomiche, garantirono la fattibilità e il successo della spedizione. Nel gennaio del 1670 due uomini, il Signor Meurisse, di cui non si conoscono le date di nascita e morte, e Jean Richer, furono designati come "matematici incaricati di recarsi a Caienna per effettuare osservazioni astronomiche di utilità per la navigazione" (Olmsted, 194, p.120). La vita di Richer è in parte sconosciuta: è quasi certo che sia nato in Francia, probabilmente intorno agli anni '30 del 1600, ma il luogo esatto non è noto. Entrato nell'Académie come giovane astronomo nel 1666, dopo aver ricevuto un'ottima formazione e aver lavorato come ingegnere, ricevette il titolo di *mathématicien* nel 1670.

Richer e Meurisse furono anche incaricati di un'altra spedizione (1670) lungo le coste del New England dell'Acadia, che rappresentò il primo viaggio oltreoceano a scopi puramente scientifici

ⁱⁱ Paris, Archives de l'Académie des Sciences, *Régistres de l'Académie des Sciences, II (Mathématiques, 1666-68)*, p. 155.

ⁱⁱⁱ C. Huygens, *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens publiées par la Société Hollandaise des Sciences*, La Haye, Martinus Nijhoff, Vol. VI, 1888.

dell'Accademia francese. Durante la spedizione in Acadia, Richer studiò il comportamento delle maree, effettuò determinazioni precise di latitudine per Belle-Île, al largo delle coste francesi, e Fort Pentagouët, attualmente situato nel Maine, Stati Uniti. La relazione ufficiale di questa spedizione fu redatta all'inizio del 1671 da Richer e presentata all'Académie. Purtroppo, il testo del breve resoconto è andato perduto insieme ai *Procès-verbaux* dell'istituzione per gli anni 1670-74. Tuttavia, è possibile ricostruire gli eventi attraverso la corrispondenza di Huygens, come dimostrato da Olmsted (1960).

1.3. La partenza per Caienna

Sebbene sia possibile rintracciare la storia dell'organizzazione della missione attraverso i documenti conservati negli archivi di Parigi, compresa la scelta della destinazione, dell'astronomo responsabile e del calendario astronomico, solo la lettura del resoconto nel 1679 consente di ricostruire le osservazioni effettuate, gli strumenti utilizzati, le difficoltà incontrate ed i risultati ottenuti. Altre fonti di primaria importanza per questo studio sono due lettere scritte da Richer a Cassini, conservate presso la biblioteca dell'Osservatorio di Parigi.^{iv} La prima è datata 4 maggio 1672, subito dopo la partenza, mentre la seconda è del 22 luglio 1672, dopo alcuni mesi di osservazioni. I manoscritti attestano che, nonostante il piano originale prevedesse di rimanere a Caienna per soli sei mesi, già poco dopo la partenza Richer richiedeva ulteriori rifornimenti di cibo e un aumento dei fondi per poter prolungare la permanenza. Non esistono documenti che attestino una risposta da parte di Cassini, né aspetti dell'interazione di Richard e Meurisse con gli abitanti della Guyana. Infine, di fondamentale importanza per comprendere l'eredità della spedizione è il volume di Cassini del 1684.^v

Per condurre le osservazioni astronomiche in Guyana, Richer portò con sé un telescopio da 20 piedi (ft) e uno da 5, un quadrante con un raggio di 2,5 ft e un ottante con un raggio di 10 ft. Le lenti obbiettive erano state realizzate dall'artigiano Jacques Borelly (1623-1689). Per la misurazione del tempo, Richer portò con sé due orologi a pendolo, uno con un periodo di 1 secondo e un altro con un periodo di 2 secondi, entrambi realizzati da Isaac II Thuret (1830-1706), orologiaio del Re. Prima della partenza, nei mesi di settembre e ottobre 1671, Richer e Meurisse condussero in collaborazione con Cassini prove e calibrazioni degli strumenti, ripetendole una volta arrivati oltreoceano. Queste verifiche permisero di accertare che gli strumenti non avevano subito danni durante il viaggio in nave (Richer, 1679, pp.3-5). Prima di imbarcarsi a bordo del mercantile diretto a Caienna, nel febbraio del 1672, in ritardo rispetto ai

^{iv} J. Richer, *Lettre de Richer à Cassini I, Cayenne le 4 mai 1672*, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, B4/11 bis (70); J. Richer, *Lettre de Richer à Cassini I, Cayenne le 20 juillet 1672*. Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, B4/11 bis (71).

^v J.D. Cassini, *Elémens de l'astronomie vérifiées par M. Cassini par le rapport de ses Tables aux observations de M. Richer faites en l'isle de Caienne. Avec les observations de MM. Varin, Des Hayes et de Glos faites en Afrique et en Amérique*, Paris, Imprimerie Royale, 1684.

piani originali, Richer effettuò anche alcune misurazioni sull'ampiezza delle maree al largo del porto francese di La Rochelle.

1.4. Le osservazioni a Caienna

Appena giunto a Caienna, l'astronomo identificò con grande precisione la linea meridiana del luogo osservando l'ombra del Sole per tre giorni consecutivi e tracciando una linea sul terreno. Alcune richieste avanzate da Adrien Auzout, come la misurazione delle dimensioni angolari del Sole, della Luna e degli altri pianeti e l'osservazione telescopica della Via Lattea per determinarne la natura e la composizione, furono ignorate da Richer, forse perché non erano di interesse primario per Cassini o forse a causa della mancanza di strumenti appropriati. Tuttavia, Richer si concentrò sulla determinazione dell'obliquità dell'eclittica (ottenuta misurando l'altezza meridiana del Sole ai solstizi), che risultò essere di $23^{\circ}28'32''$, solo 5 secondi d'arco in meno rispetto alle previsioni di Cassini, una differenza trascurabile, o “*insensible*”, a detta di Cassini (1684, p.10).

Nel resoconto ufficiale vennero inoltre riportate le osservazioni di Mercurio (Richer, 1679, pp.12-14), Venere (pp.14-15), la luna e le sue eclissi (pp.15-18), e del Sole (pp.6-11). Le misurazioni dell'altezza meridiana del Sole erano, come specificato da Richer relative al suo bordo, e da correggere quindi utilizzando le tavole fornite dall'abate Jean Picard (1620-1682). Questi dati furono utilizzati da Cassini per compilare le nuove effemeridi (Cassini, 1684, pp.23-24) che includevano anche le osservazioni di un'altra spedizione scientifica dell'Académie a Gorée (nell'attuale Senegal) e nelle Antille (Martinica e Guadalupa). Inoltre, Richer decise di dedicare due interi del suo report alle altezze meridiane delle stelle fisse capitoli (1679, pp.21-66) - ovvero le altezze raggiunte durante il passaggio sul meridiano geografico di riferimento dell'osservazione - misurate nelle diverse notti con l'ottante. Osservò stelle con declinazione Nord, equatoriali, zodiacali e con declinazione Sud (comprese alcune costellazioni non visibili da Parigi, tra cui Ara, Carina, Centauro, Croce del Sud, Dorado, Gru e Fenice).

Nell'insieme, le lettere manoscritte ed il report del 1679 attestano le competenze e la preparazione di Richer il quale, al ritorno dalla Guyana, ottenne il prestigioso titolo di *ingénieur du Roi*, e a cui fu assegnato un progetto di ingegneria in Germania. Non esistono altre informazioni biografiche oltre al luogo, Parigi, e all'anno, 1696, della morte di Jean Richer.

2. La misura della longitudine terrestre

Se la determinazione della latitudine era un compito abbastanza facile nel XVII secolo (i marinai che si trovavano nell'emisfero settentrionale erano in grado di trovare la latitudine della propria nave con una precisione di circa 1° , in base all'altezza della Stella Polare, utilizzando strumenti come l'astrolabio e il

quadrante), il calcolo della longitudine, invece, richiedeva operazioni più complesse; per questo motivo in Europa venne istituito un *longitude prize* da vari imperi coloniali. L'osservazione simultanea di fenomeni astronomici da una nave e da un altro luogo (di riferimento) sulla terraferma mostrava una differenza di tempo tra i due luoghi corrispondente alla differenza di longitudine (poiché un'ora di differenza di tempo locale corrisponde a 15° di rotazione della Terra intorno al suo asse e, di conseguenza, di longitudine). All'epoca della spedizione di Caienna, gli astronomi si servivano delle eclissi lunari (pratica descritta in dettaglio nella relazione di Richer del 1679) per misurare la longitudine di un luogo. Tuttavia, Cassini era fortemente convinto che un nuovo metodo, che prevedeva la misurazione simultanea delle eclissi dei satelliti di Giove ottenute da diversi punti della Terra, avrebbe portato a notevoli risultati nella ricerca della longitudine. Fu Galileo Galilei (1564-1642) il primo ad osservare quattro delle lune di Giove, denominandole “astri medicei” e dedicando così la scoperta alla famiglia de' Medici; i satelliti vennero più tardi rinominati Io, Ganimede, Europa e Callisto. Galileo ipotizzò che, grazie al loro moto molto rapido e al loro verificarsi regolare, le lune potessero essere utili per correggere, rinnovare e perfezionare la conoscenza geografica del tempo. Il metodo richiedeva però orologi a pendolo di alta precisione, che non erano funzionanti in navigazione. In più, alla morte di Galileo nel 1642, le uniche tavole pubblicate sui moti dei satelliti di Giove erano ancora imprecise.

Nonostante ciò, secondo Cassini la bassa frequenza delle eclissi lunari rendeva il metodo in uso in quegli anni meno utile di quello di Galileo; inoltre, mentre si trovava a Bologna, Cassini aveva già compilato le effemeridi delle lune di Giove. A Parigi, l'astronomo ottenne il sostegno dei colleghi e riuscì a raccogliere i dati delle eclissi da luoghi geografici diversi e distanti tra loro: queste osservazioni astronomiche simultanee rappresentano un'importante traccia della collaborazione tra scienziati nell'epoca moderna. Gli sforzi per determinare le coordinate terrestri facevano parte del più ampio progetto francese dell'Académie volto a combinare le esplorazioni con la necessità pratica di ottenere mappe geografiche corrette da utilizzare per la navigazione.

2.1. Osservazioni in Danimarca, Francia e Guyana

Una delle prime destinazioni scelte per le spedizioni scientifiche francesi fu la Danimarca, e più precisamente l'isola di Hven, dove un secolo prima Tycho Brahe (1546-1601) aveva fondato l'Osservatorio di Uraniborg. Jean Picard aveva suggerito di organizzare un viaggio a Uraniborg per determinare con accuratezza la posizione dell'osservatorio e confrontarla con la longitudine di Parigi (Bertrand, 1869, pp.28-29). La richiesta fu approvata da Colbert e Picard stesso partì per la Danimarca il

21 luglio 1671.^{vi} Nell'anno successivo, Picard e Cassini riuscirono a stabilire insieme la differenza di longitudine tra Parigi e l'isola di Hven, che risultò $10^{\circ}32'30''$, corrispondente a 42m10s (Picard, 1680, pp.226-229). Il valore risultò di soli 12 minuti d'arco più grande rispetto a quello reale ($10^{\circ}20'33''$), che si può ricavare sottraendo dalla longitudine di Hven ($12^{\circ}41'28''$), quella di Parigi ($2^{\circ}20'55''$).

Poco dopo, Cassini necessitò delle osservazioni di Richer per stimare la differenza di longitudine tra luoghi geografici ancora più distanti: Parigi e Caienna. A causa del maltempo e delle condizioni atmosferiche avverse, però, Richer poté osservare i satelliti di Giove solo nella seconda parte del suo soggiorno in Guyana. Il moto delle lune il 1° aprile 1672, insieme al confronto dell'altitudine meridiana del Sole agli equinozi e all'eclissi lunare del 7 novembre 1672, fornirono tre differenze di longitudine: 3h26m33s (corrispondenti a $51^{\circ}38'15''$), 3h42m (corrispondenti a $55^{\circ}30'$) e 3h28m28s (corrispondenti a $52^{\circ}7'0''$) rispettivamente (Cassini, 1684, pp.37-39). La differenza di longitudine reale tra Parigi e Caienna è di 3h39m22s in unità di tempo, corrispondenti a $54^{\circ}50'30''$. In questo caso, quindi, le stime non risultarono precise come per Hven, il che non è inaspettato data la distanza molto maggiore tra la Francia e la colonia d'oltreoceano.

Il nuovo metodo che coinvolgeva i satelliti di Giove si dimostrò quindi adatto a ottenere misure di longitudine sufficientemente precise sulla terraferma, rappresentando un risultato epocale per geografia, cartografia ed astronomia. Attraverso queste nuove determinazioni precise delle coordinate, le mappe della Francia e dei possedimenti coloniali mostrarono che la potenza era stata rappresentata molto più estesa di quanto non fosse in realtà. Nel libro che racconta l'affascinante storia della risoluzione del problema della longitudine, Dava Sobel scrisse che “*in effetti, Re Luigi XIV di Francia, di fronte a una mappa aggiornata del suo regno basata su precise misurazioni di longitudine, si lamentò del fatto che stava perdendo più territori per mano dei suoi astronomi che dei suoi nemici*”.^{vii}

3. Svelare le dimensioni dell'Universo

Tra le varie spedizioni organizzate in quegli anni sotto la supervisione di Cassini, quella a Caienna merita particolare attenzione poiché grazie alle osservazioni effettuate sul posto, ed in contemporanea a Parigi, l'astronomo ottenne un valore per la distanza Terra-Sole straordinariamente vicino a quello reale, specialmente considerando l'epoca. La misura dell'Unità Astronomica (UA), la distanza media tra la Terra e il Sole, è stata oggetto di ricerca sin dai tempi antichi. Il primo a tentare una misura fu l'astronomo greco Aristarco di Samo (circa 310 a.C. - circa 230 a.C.), che stimò che il Sole fosse solo 19 volte più distante

^{vi} J. Picard, *Voyage D'Uranibourg ou Observations Astronomiques faites en Dannemarck par Monsieur Picard de l'Académie Royale Des Sciences*, Paris, Imprimerie Royale, 1680.

^{vii} “*Indeed, King Louis XIV of France, confronted with a revised map of his domain based on accurate longitude measurements, reportedly complained that he was losing more territory to his astronomers than to his enemies.*” (Sobel, 1995, p.27)

dalla Terra rispetto alla Luna. Le stime successive gradualmente aumentarono il valore dell'UA, ma rimasero ancora molto lontane dal valore reale.

3.1. La parallasse di Marte

La misura angolare della distanza Terra-Sole è chiamata parallasse solare (π_{\odot}) e rappresenta la differenza nella posizione apparente del Sole nel cielo osservata dalla Terra, in momenti diversi dell'anno. Questo parametro non può essere determinato direttamente, poiché durante il giorno non esiste un sistema fisso di riferimento come per le stelle nel cielo notturno, e inoltre, il centro del Sole è difficile da identificare con precisione. Consapevole di queste difficoltà, Cassini ideò una soluzione innovativa per misurare indirettamente la parallasse solare, chiedendo a Richer di misurare la parallasse del pianeta Marte (π_M) e calcolare la sua distanza dalla Terra. Più Marte è vicino alla Terra, maggiore è la sua parallasse. Le condizioni osservative più favorevoli sarebbero state quindi con Marte in opposizione, ovvero alla minima distanza dalla Terra. Per questo motivo, la commissione dell'Académie inviò Richer a Caienna nell'autunno del 1672, periodo in cui era prevista un'opposizione del pianeta, evento che non accadeva da quindici anni.

Il metodo migliore per misurarne la parallasse era osservare la posizione del pianeta rispetto a una stella fissa da due luoghi differenti sulla Terra. Se gli astronomi avessero riscontrato una differenza, sarebbe stata la prova di una parallasse percettibile. Tuttavia, nessuna stretta congiunzione di Marte con una stella si sarebbe verificata in quei mesi. Cassini e Richer decisero quindi di osservare l'altezza meridiana di Marte e alcune stelle vicine al pianeta, confrontando le loro altezze. Per sincronizzare gli orologi nei due luoghi delle osservazioni, gli astronomi utilizzarono le orbite delle lune di Giove. Seguendo le istruzioni di Cassini, Richer annotò l'altezza meridiana di Marte (e di alcune stelle vicine) quasi ogni giorno da luglio a novembre 1672. Tuttavia, a causa delle condizioni meteorologiche sfavorevoli, solo tre notti di settembre fornirono misurazioni affidabili. Cassini, da Parigi, effettuò le stesse osservazioni con condizioni meteorologiche migliori.

Il confronto delle posizioni angolari di Marte rispetto alle stelle permise a Cassini di stabilire che Marte appariva più basso a Parigi di 12", 13" e 17" rispetto a Caienna (Cassini, 1684, p.40). Tuttavia, la terza misurazione alla fine di settembre risultò più grande delle due precedenti, nonostante Marte fosse più lontano dalla Terra rispetto all'inizio del mese. Cassini attribuì questa discrepanza a un piccolo errore impercettibile nelle osservazioni, del quale era pienamente consapevole.

3.2. La geometria del sistema

Cassini adottò un valore medio per la differenza angolare nell’altezza meridiana di Marte di $15''$, da cui ricavò la parallasse orizzontale di Marte come $\pi_M = 25,3''$. I calcoli sono discussi solo parzialmente negli *Elémens*: la procedura matematica presentata di seguito è frutto del lavoro di tesi. In riferimento alla Fig. 1, sinistra, conoscendo la distanza tra Parigi (P) e Caienna (C_A) e la lunghezza della circonferenza terrestre, l’angolo al centro ϕ si ottiene attraverso la proporzionalità con l’angolo giro. Cassini a Parigi e contemporaneamente Richer a Caienna misurarono l’altezza di Marte sull’orizzonte (h). Il complementare di questo angolo è la distanza $z_A = 90^\circ - h$. Siccome i due triangoli $MC_A C$ (Marte-Caienna-centro della Terra) e MPC (Marte-Parigi-centro della Terra) sono simili, e siccome $\phi/2$ e l’angolo alla base, dato da $90^\circ + z$, sono noti, l’unico angolo indeterminato è $p/2$. Questo corrisponde a metà della parallasse diurna di Marte.

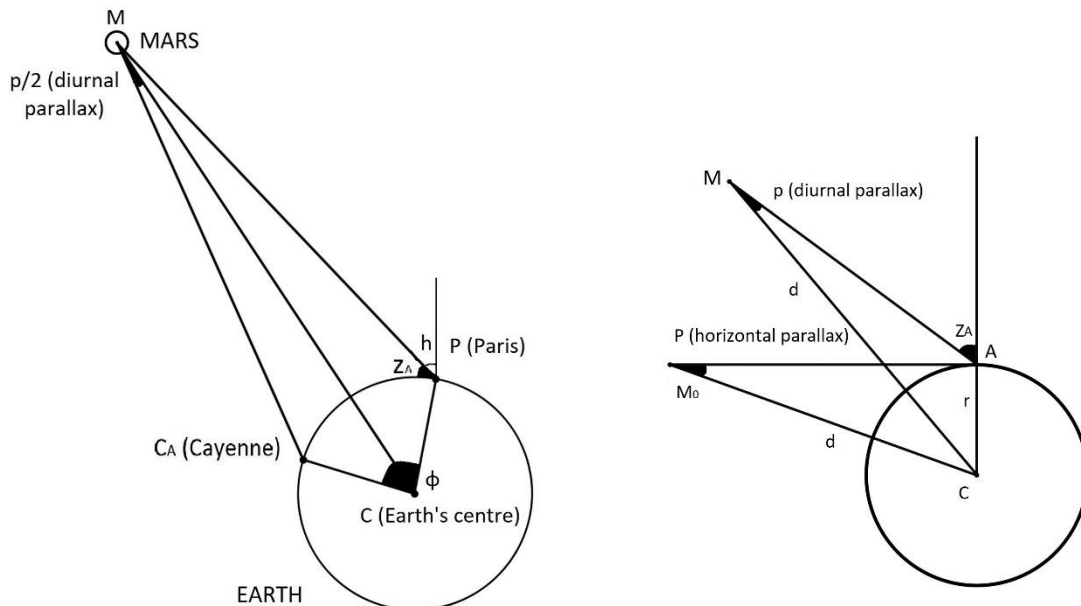


Fig. 1, sinistra. Geometria per il calcolo della parallasse diurna di Marte.

Fig. 1, destra. Geometria per il calcolo della parallasse orizzontale di Marte.

Dal valore della parallasse diurna (p) si può poi ricavare la parallasse orizzontale (P), la quale si riferisce al raggio equatoriale terrestre (r , in Fig.1, destra), ed è quindi sempre maggiore (o al limite uguale) alla prima: $P \geq p$. Considerando il triangolo MAC (Marte-punto di osservazione-centro della Terra), per la legge dei seni, e dal momento che il seno dell’angolo z_A è uguale al seno del supplementare di $M\hat{A}C$, è possibile scrivere la seguente equazione: $\frac{r}{\sin p} = \frac{d}{\sin z_A}$, dove d è la distanza di Marte (M o M_0). Ne

deriva che $\text{sen } p = \frac{r}{d} \text{sen } z_A = \text{sen } P \text{sen } z_A$. Nell'approssimazione dei piccoli angoli, $\text{sen } p \approx p$ e $\text{sen } P \approx P$. La parallasse orizzontale risulta quindi: $P \approx \frac{p}{\text{sen } z_A}$. Il valore medio per la parallasse diurna di Marte considerato da Cassini era $p = 15''$ e quindi $z_A = 90^\circ - h_{\text{Paris}} = 41^\circ$ da cui deriva la stima dell'astronomo per la parallasse orizzontale: $P \approx \frac{15''}{\text{sen } (41^\circ)} \approx 25''$.

Con il metodo della parallasse, conosciuto l'angolo (e quindi la tangente) e conosciuto il raggio terrestre (cateto minore), Cassini ottenne una distanza di Marte dalla Terra nel momento dell'opposizione di circa $8100R_T$, espressa in unità di raggi terrestri R_T , dove $1 R_T$ è la distanza media tra il centro della Terra e la superficie della Terra, ed è un'unità di misura utilizzata per le distanze nel Sistema Solare. Rimaneva ancora da ricavare la tanto ricercata UA.

3.3. La terza legge di Keplero

Il metodo di Cassini richiedeva a questo punto un parallelismo tra la distanza Terra-Marte e quella Terra-Sole. Poiché la rivoluzione copernicana portò nuove idee sul Sistema Solare, gli astronomi iniziarono a interessarsi alla derivazione dell'UA attraverso la terza legge dei moti planetari di Johannes Kepler (1571-1630), una relazione matematica empirica che afferma che il quadrato del periodo orbitale di un pianeta è proporzionale al cubo del semi-asse ellittico orbitale. I periodi orbitali dei pianeti potevano essere facilmente misurati e le distanze dei pianeti dal Sole (in UA) potevano essere anch'esse derivate, utilizzando metodi di triangolazione.^{viii} L'unico valore indeterminato era l'UA.

Cassini combinò a questo punto il principio della parallasse e la terza legge di Kepler. Conoscendo la distanza Terra-Marte e i periodi di rivoluzione dei due pianeti, e poiché la distanza tra Terra e Marte era proporzionale alla distanza media Terra-Sole come $1': 2' \frac{2}{3}$, la stessa relazione doveva verificarsi tra le parallasse solari e di Marte (dato che la parallasse è inversamente proporzionale alla distanza). Cassini ottenne $\pi_\odot = 9,5''$ per la parallasse solare e calcolò la distanza Terra-Sole come $21.600 R_T$ con un errore di $\pm 2000 R_T$, fino a $\pm 3000 R_T$ (Cassini, 1684, p.46). Il valore reale della parallasse solare è $\pi_\odot = 8,8''$, quindi i calcoli matematici di Cassini, derivanti dai dati osservativi, sottostimarono leggermente il valore reale dell'UA, che misura $23.485 R_T$, ovvero circa 149,6 milioni di km.

^{viii} Il metodo della triangolazione era utilizzato per calcolare le distanze dei pianeti dal Sole, in analogia con il metodo impiegato da Aristarco per misurare la distanza della Luna. Egli osservava il satellite quando si trovava in quadratura, una fase vicina, ma non esattamente uguale, a primo e ultimo quarto di Luna. Lo stesso concetto veniva utilizzato per i pianeti interni: le osservazioni venivano effettuate quando Venere e Mercurio si trovavano nella loro massima elongazione, ovvero con una fase o una mezza illuminazione, e il sistema Sole-Terra-pianeta formava un triangolo rettangolo. La tangente dell'angolo sotto il quale veniva vista la distanza Sole-pianeta era data dal rapporto tra i due cateti (distanza Sole-pianeta e distanza Terra-Sole). Al contrario, i pianeti esterni venivano osservati in quadratura. Tutte le distanze venivano quindi calcolate come multipli o sottomultipli dell'UA.

3.4. L’eredità delle misurazioni

Prima di Cassini, nel 1659, Huygens aveva effettuato misurazioni della distanza angolare tra il Sole e Venere, riprendendo le idee di Aristarco e assumendo che il diametro di Venere fosse uguale a quello della Terra. Egli sovrastimò l’UA solo del 5%, ma la sua supposizione, seppur non del tutto errata (dato che il diametro angolare di Venere è circa il 95% di quello terrestre), non era scientificamente dimostrata. Diversamente, Cassini mostrò l’affidabilità della sua determinazione della distanza Terra-Sole riportando tutte le misurazioni effettuate contemporaneamente a Parigi e a Caienna, divenendo così il primo scienziato a derivare un valore accurato per l’UA basato su osservazioni. Poco dopo di lui, il primo Astronomo Reale inglese John Flamsteed (1646-1719) ottenne valori simili per le parallassi di Marte (25") e del Sole (10"), osservando anch'egli il pianeta in opposizione nel 1672. Riportando due volte l'altezza angolare del pianeta da Greenwich (Londra) sfruttando la rotazione terrestre, ottenne un valore per l’UA leggermente inferiore a quello di Cassini, ma comunque in accordo con esso. In Francia, altri osservatori a metà del XVIII secolo ritenevano che la parallasse solare dovesse essere compresa tra 11" e 15".

Nonostante l’aumento della qualità degli strumenti astronomici nel secolo successivo, le nuove determinazioni dell’UA non furono migliori di quelle di Cassini se non prima degli anni 60 del 1700, quando l’Académie de Sciences e la Royal Society organizzarono spedizioni scientifiche in occasione di due importanti eventi astronomici: i transiti di Venere del 1761 e del 1769. Con un nuovo metodo proposto da James Gregory (1638-1675) ed Edmond Halley (1656-1742), per il quale non era richiesta alcuna misura angolare ed era sufficiente cronometrare la durata del transito da quanti più luoghi possibile sulla Terra, gli astronomi ottennero stime da 123 a 157 milioni di km per il primo transito e da 149 a 157 milioni di km, valori più accurati, durante il secondo evento astronomico.

Di fatto, la spedizione a Caienna, condotta quasi un secolo prima, rimane un punto di riferimento nella storia per la determinazione dell’UA, grazie ad un metodo pratico per investigare la parallasse solare attraverso quella di Marte. Il più grande lascito di questa determinazione riguarda la conoscenza, da parte degli astronomi, della misura galattica più importante e fondamentale e la conoscenza del primo metodo della scala delle distanze cosmiche (o scala delle distanze). All’epoca, infatti, il Sistema Solare era concepito come l’intero Universo (da cui il titolo originale del mio lavoro di tesi, “*Unveiling the size of the Universe*”, volutamente con la U maiuscola). Per i contemporanei di Cassini, le misurazioni suggerirono quanto piccoli fossero gli esseri umani in confronto a questo sconosciuto Universo, rivelatosi inaspettatamente grande. “*Ed ecco grandi distanze che abbiamo appena ricavato da tre piccole [misure] di parallasse*”, scrisse Cassini.^{ix}

^{ix} “*Voilà de grandes distances que nous venons de conclure de trois petites parallaxes.*” (J.D. Cassini, 1684, p.47).

Conclusioni

I due anni a Caienna rappresentano una delle prime spedizioni con scopi puramente scientifici organizzati dall'Académie des Sciences di Parigi, fondata nel 1666 dal Primo Ministro di Stato Colbert. All'epoca, un viaggio attentamente pianificato di uno scienziato competente, con l'obiettivo di indagare fenomeni e teorie specifici, rappresentava un'innovazione notevole. Naturalmente, il consenso reale e l'assistenza finanziaria erano indispensabili, condizioni che in Francia furono soddisfatte per la prima volta poco prima del 1670.

Jean Richer tornò a Parigi nel 1673 dopo il suo viaggio a Caienna e le sue osservazioni furono discusse in alcuni salotti parigini. Tuttavia, per motivi sconosciuti, la pubblicazione dei suoi appunti fu ritardata e apparve solo nel 1679. Le caratteristiche principali della spedizione, tra cui un programma osservativo specifico deciso prima della partenza, la scelta della destinazione e di un promettente astronomo e ingegnere, portano al successo delle osservazioni, legato non solo alle abilità di Richer, ma anche agli strumenti astronomici scelti e testati. Le direttive e la supervisione di Giovanni Domenico Cassini furono anch'essi elementi chiave per la spedizione.

Il viaggio di due anni di Jean Richer in Guyana fornì risultati scientifici significativi. Tra questi, la stima della differenza in longitudine tra il territorio oltreoceano e la Francia, da tradursi in un notevole miglioramento delle carte geografiche. Inoltre, le osservazioni simultanee di Richer a Caienna e di Cassini a Parigi permisero all'astronomo italiano di stimare, per la prima volta nella storia ed in maniera accurata, la distanza Terra-Sole, il cui valore era stato cercato per secoli. Infine, sulla scia del successo di Richer in Guyana, l'Académie organizzò nuove e numerose spedizioni scientifiche in altri territori d'oltreoceano, traducendo il desiderio di gloria del Re Sole, iniziato con un'aggressiva campagna militare, in un incredibile sviluppo della scienza moderna.

Ringraziamenti

Ringrazio la Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia (SISFA) ed in particolare la Commissione per il Premio di Laurea 2022, composta da Luca Guzzardi, Laura Serra e Pasquale Tucci, per aver giudicato la mia Tesi Magistrale “*Unveiling the size of the Universe: the first accurate measurement of the Earth-Sun distance by Giovanni Domenico Cassini*” meritevole del riconoscimento. Ringrazio altresì il Professor Bonoli per aver accolto il mio intervento nei Quaderni di Astronomia e per il supporto ricevuto in questi anni. Sono molto grata alla mia relatrice di tesi, Professoressa Paola Focardi (Università di Bologna), le cui competenze sono state fondamentali per lo sviluppo di questo lavoro. Un ringraziamento speciale al Professor Eugenio Bertozzi (Università di Bologna) per i consigli ricevuti e di cui farò tesoro.

Bibliografia primaria

- J.D. Cassini, *Note sur Jean-Dominique Cassini écrite de sa propre main : début de texte autobiographique (son origine, sa formation en Italie, son arrivée à l'Observatoire)*, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, D1/13 (3).
- J.D. Cassini, *Elémens de l'astronomie vérifiées par M. Cassini par le rapport de ses Tables aux observations de M. Richer faites en l'isle de Caienne. Avec les observations de MM. Varin, Des Hayes et de Glos faites en Afrique et en Amérique*, Paris, Imprimerie Royale, 1684.
- J.D. Cassini, *Instructions générales pour les observations géographiques à faire dans les voyages (4 feuillets)*, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, D 1/11 (A/9).
- J.D. Cassini, *Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de sa Majesté pour perfectionner l'astronomie et la géographie, avec divers traités astronomiques par messieurs de l'Académie Royale des Sciences*, Paris, Imprimerie Royale, 1693.
- C. Huygens, *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens publiées par la Société Hollandaise des Sciences*, La Haye, Martinus Nijhoff, Vol. VI, 1888.
- J. Picard, *Voyage D'Uranibourg ou Observations Astronomiques faites en Dannemarck par Monsieur Picard de l'Académie Royale Des Sciences*, Paris, Imprimerie Royale, 1680.
- J. Richer, *Lettre de Richer à Cassini I, Cayenne le 4 mai 1672*, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, B4/11 bis (70).
- J. Richer, *Lettre de Richer à Cassini I, Cayenne le 20 juillet 1672*. Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, B4/11 bis (71).
- J. Richer, *Observations Astronomiques et Physiques faites en L'isle de Caienne par M. Richer, de l'Académie Royale des Sciences*, Paris, Imprimerie Royale, 1679.
- Paris, *Régistres de l'Académie des Sciences, II (Mathématiques, 1666-68)*.
- Mémoires de l'Académie Royale des Sciences (1666-1699)*, VIII¹, p. 233-326.

Bibliografia secondaria

- W.J.H. Andrewes (Ed.), *The Quest of Longitude*, Cambridge, Harvard University Press, 1996.
- F. Arago *Astronomie populaire*, Paris, Gide et J. Baudry, 1854.
- J.K. Beatty, C.C. Petersen and A. Chaikin (Eds.), *The New Solar System*, Cambridge, Cambridge University Press, 1999.
- M. van den Bel. “*Against Right and Reason*”: *The Bold but Smooth French Take-Over of Dutch Cayenne (1655-1664)*, “*Itinerario*”, 2021, 45(1), pp.70-98.
- J. Bertrand, *L'Académie des sciences et les académiciens de 1666 à 1793*, Paris, J. Hetzel, 1869.
- F. Brétar, *Histoire de la détermination des longitudes de Ptolémée à Borda: Développements théoriques et mise en pratique. Application à la navigation*, “*DEA d'épistémologie, d'histoire des sciences et des techniques*”, Paris, Université Paris VII, 2004.
- A. Cassini, *Gio: Domenico Cassini Uno Scienziato del Seicento*. Pinerolo: Arti Grafiche Alzani, 2003.
- M. Daumas, *Scientific Instruments of the 17th and 18th Centuries and their Makers*, London, Batsford, 1972.

E. Rossi (2024), “«*Observer de concerts*»: Giovanni Domenico Cassini, Jean Richer e la prima misura accurata della distanza Terra-Sole”, *Giornale di Astronomia*, 50/1, pp. 28-36, DOI: [10.19272/202408801005](https://doi.org/10.19272/202408801005)

- S. Débarbat, *The French Savants, and the Earth-Sun Distance: a Resumé*, “The Journal of Astronomical Data”, 2013, 19(1), pp.109-19.
- D. Deias, *Inventer l'Observatoire : sciences et politique sous Giovanni Domenico Cassini (1625-1712)*, Paris, EHESS, 2020.
- N. Dew, *Scientific travel in the Atlantic world: the French expedition to Gorée and the Antilles, 1681-1683*, Cambridge, Cambridge University Press, 2010.
- O. Gingerich, *Transits in the Seventeenth Century and the Credentialling of Keplerian Astronomy*, “Journal for the History of Astronomy”, 2013, 44(3), pp.303-12.
- S.J. Goldstein Jr., *Christiaan Huygens' measurement of the distance to the Sun*, “The Astronomical Journal”, 1985, 90, pp.1900-05.
- R. de Grijis, *Sustained cartographic innovations in nascent French Canada: the life and times of Jean Deshayes*, “Journal of Astronomical History and Heritage”, 2020, 23(1), p.100-18.
- R. Hahn, *The anatomy of a scientific institution: the Paris Academy of Sciences, 1666-1803*, Berkley, University of California Press, 1971.
- V. Jullien, *Le calcul des longitudes. Un enjeu pour les mathématiques, l'astronomie, la mesure du temps et la navigation*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2002.
- M. Klemun and U. Spring (2016) *Expedition as Experiments, Practising Observation and Documentation*, London, Palgrave Macmillan, 2016.
- L. Kury, *Les instructions de voyage dans les expéditions scientifiques françaises (1750-1830)*, “Revue d'histoire des sciences”, 1998, 51 (1), pp.65-92.
- J. Lamy, *Le problème des longitudes en mer dans les traités d'hydrographie des Jésuites aux XVIIe et XVIIIe siècles*, “Histoire & mesure”, 2006, 21(2), pp.95-120
- F. Marguet, *Histoire générale de la navigation du XV^e au XIX^e siècle*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1931.
- L.F.A. Maury, *L'Ancienne Académie des sciences*, Paris, Didier, 1864.
- E. Maindron, *L'Académie des Sciences*, Paris, Alcan, 1888.
- D.P. Miller, P.H. Hanns, *Visions Of Empire: Voyages, Botany, And Representations Of Nature*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996.
- J. Olmsted, *The Scientific Expedition of Jean Richer to Cayenne (1672-1673)*, “Isis”, 1942, 34(2), pp.117-28.
- J. Olmsted, *The Voyage of Jean Richer to Acadia in 1670: A Study in the Relations of Science and Navigation under Colbert*, “Proceedings of the American Philosophical Society”, 1960, 104(6), pp.612-34.
- C.M. Petto, *Mapping and charting in early modern England and France: Power, patronage, and production*, Lanham, MD, Lexington, 2015.
- C. Perrault, *Mémoires de ma vie*, Paris, H. Laurens, 1909.
- M.M. Portuondo, *Lunar eclipses, longitude, and the New World*, “JHA: Journal for the History of Astronomy”, 2009, 40(3), pp.249-279.
- N. Safier, *Measuring the New World: Enlightenment science and South America*, Chicago, The University of Chicago Press, 2008.
- D. Sobel, *The True Story Of A Lone Genius Who Solved The Greatest Scientific Problem Of His Time*, US, Walker & Company, 1995.

E. Rossi (2024), “«*Observer de concert*»: Giovanni Domenico Cassini, Jean Richer e la prima misura accurata della distanza Terra-Sole”, *Giornale di Astronomia*, 50/1, pp. 28-36, DOI: [10.19272/202408801005](https://doi.org/10.19272/202408801005)

J. Soll, *The Information Master. Jean-Baptiste Colbert's Secret State Intelligence System*, Ann Arbor, The University of Michigan Press, 2011.

A. Van Helden, *Measuring the Universe: Cosmic Dimensions from Aristarchus to Halley*, Chicago, IL, University of Chicago Press, 1985.

C.A. Wilson, *From Kepler's laws, so-called, to universal gravitation: empirical factors*, “Archive for Rational Mechanics and Analysis”, 1970, 6, pp.89-170.