

IL LABORATORIO STORICO IN UN INSEGNAMENTO UNIVERSITARIO: L'ESPERIENZA DEL CORSO DI LABORATORIO DI ASTRONOMIA E ASTROFISICA

ANTONELLA TESTA, DAVIDE CENADELLI

Sezione di Storia della Fisica

Istituto di Fisica Generale Applicata, Università degli Studi di Milano

Email: antonella.testa@unimi.it, davide.cenadelli@unimi.it

1. Introduzione

Gli studenti iscritti al corso di Laurea in Fisica dell'Università degli Studi di Milano hanno, di fatto, ben poche opportunità, nel loro percorso formativo, di avvicinarsi alla Storia della Fisica. Per l'anno accademico 2000-2001 e 2001-2002 l'opportunità era offerta dal corso di Storia della Fisica e di Storia della Scienza, che gli studenti incontravano all'ultimo anno del Corso di Laurea.

La situazione non è molto diversa per il futuro. Il manifesto degli studi dell'anno accademico 2002-2003 del nostro ateneo per la laurea quadriennale in fisica prevede insegnamenti di Storia della Scienza, di Storia della Fisica e Storia del Pensiero Scientifico Contemporaneo che, sebbene previsti per l'indirizzo di Didattica e Storia della Fisica, sono seguiti anche da studenti di altri indirizzi. Per la laurea triennale è contemplato il solo corso di Storia della Scienza.

E' inoltre più che noto, e largamente discusso, il fatto che comunemente, nella formazione degli studenti, i docenti delle discipline fisiche facciano scarso ricorso alla storia della fisica e dell'evoluzione del pensiero scientifico come strumento didattico.

Una situazione peculiare non solo del nostro ateneo.

Questo contributo non vuole essere una discussione sul ruolo della storia nell'insegnamento della fisica a livello universitario o ad altri livelli. Al riguardo, ci sono pareri discordanti: essi muovono da ragioni metodologiche ma anche dalle oggettive difficoltà dell'inserimento della Storia di una disciplina nei curricula di insegnamento della disciplina stessa e quant'altro.

A questo proposito va però evidenziato che le voci a favore della funzione della Storia della Fisica nella formazione di un fisico si concentrano più spesso sul ruolo dell'analisi delle memorie degli scienziati, dell'evoluzione del pensiero scientifico, delle diverse tesi storiografiche o

delle biografie di scienziati. Meno comunemente gli strumenti storici si vedono investiti di un ruolo attivo in quest'ambito.

Nasce da queste premesse l'idea di offrire, all'interno del corso di Laboratorio di Astronomia e Astrofisica del Corso di Laurea in Fisica, l'opportunità di svolgere un'esperienza di laboratorio in un contesto storico con strumentazione storica.

Condotta nell'anno accademico 2001-2002 per il secondo anno consecutivo, ha raccolto favorevoli consensi sia da parte dei docenti di discipline quali astronomia, astrofisica e laboratorio sia da parte degli studenti. Nel seguito illustreremo l'esperienza ed esporremo qualche considerazione.

2. L'esperienza di laboratorio

Da ormai un ventennio, accanto all'attività di ricerca e didattica, la sezione di Storia della Fisica dell'Istituto di Fisica Generale Applicata, sotto la guida di Guido Tagliaferri prima e di Pasquale Tucci poi, ha portato avanti un vasto progetto di recupero, salvaguardia e valorizzazione del patrimonio storico-scientifico, con particolare riguardo al patrimonio storico dell'Osservatorio Astronomico di Brera del quale l'Istituto di Fisica si è occupato a seguito della convenzione stipulata nel 1983 tra Università ed Osservatorio. Il recente restauro (avvenuto nel 1997-1998) del glorioso telescopio rifrattore Merz (1863-1865) dell'Osservatorio non è che uno dei capitoli di questo progetto: con esso lo strumento, ricollocato nell'originaria cupola d'osservazione restaurata, ha riacquisito la funzionalità che era stata compromessa dall'incuria e dallo scorrere del tempo.

Già impiegato nelle attività di diffusione di cultura scientifica rivolte al pubblico e agli studenti delle scuole di ogni ordine e grado, da un paio d'anni lo strumento è utilizzato attivamente per la didattica nell'ambito del Laboratorio di Astronomia e Astrofisica del IV anno del Corso di Laurea in Fisica.

Il rifrattore a montatura equatoriale di 21.8 cm di diametro e 3.15 m di lunghezza focale, che alla fine dell'Ottocento condusse Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910) a tracciare le sue celebri mappe di Marte, è uno strumento che consente ancora oggi di osservare il cielo garantendo profonde emozioni.

Attraverso l'oculare del telescopio di Schiaparelli, nonostante l'elevato inquinamento luminoso della città di Milano, nel centro della quale è collocata l'antica cupola, numerosi oggetti del cielo possono essere osservati e studiati, per finalità educative e didattiche. Tra essi il sistema di Giove e

dei quattro satelliti medicei (Io, Europa, Ganimede, Callisto). Sebbene l'osservazione non consenta di risolvere la dimensione dei satelliti è affascinante seguire le rapide variazioni di posizione dei satelliti intorno a Giove anche nel breve spazio di qualche ora, che già stupirono Galileo (in fig. 1 le prime osservazioni di Galileo del 7 e 8 gennaio 1610).

Da qui l'idea di proporre agli studenti un'esperienza didattica nel contesto del Laboratorio di Astronomia e Astrofisica del IV anno del corso di laurea.

Ma che senso ha parlare di "laboratorio di astronomia"? E' un'espressione che merita senz'altro di essere discussa. Gli eventi astronomici sono, infatti, di per sé eventi non riproducibili. Ciononostante tra tutti gli eventi astronomici:

- alcuni sono imprevedibili
- altri sono prevedibili sulla base di leggi statistiche
- altri ancora sono prevedibili sulla base di leggi deterministiche note

E' in quest'ultimo caso che si colloca il nostro "laboratorio di astronomia". Siamo nel contesto della giustificazione ed utilizziamo uno strumento storico, quale suggeritore di idee, che consente di poter identificare una procedura utilizzabile per il controllo di una legge ben nota. Nel contesto in cui siamo l'accezione "laboratorio di astronomia" è da intendersi dunque solo una tecnica di controllo e non una tecnica di scoperta.

L'esperienza proposta agli studenti consiste nel controllo osservativo della terza legge di Keplero, applicata al sistema di Giove e dei satelliti medicei.

Con considerazioni di carattere musicale Keplero (1571-1630) illustrò come i pianeti si muovano intorno al Sole; secondo la formulazione kepleriana, nel V libro dell'Harmonicae Mundi (1619), la terza legge dice che

Infine è cosa certissima ed esattissima che la proporzione, che lega i tempi periodici di ciascuna coppia di pianeti, sia precisamente la proporzione sesquialtera (il rapporto 3/2) delle distanze medie

$$T_1 \div T_2 = (a_1)^{3/2} \div (a_2)^{3/2} \quad (1)$$

dove T_1, T_2 = periodi e a_1, a_2 = distanze medie

La formulazione a cui sono più comunemente abituati gli studenti perché più spesso riferita da testi di vari livelli è:

I cubi dei semiassi maggiori delle orbite planetarie sono proporzionali ai quadrati dei rispettivi periodi di rivoluzione

$$\frac{a^3}{T^2} = \text{cost.}$$

in cui il valore della costante è ottenuto, grazie al contributo di Newton (1643-1727), con le leggi della dinamica e la legge di gravitazione universale in:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} M_{\text{Sole(Giove)}}$$

quantità che non dipende dal pianeta(satellite) considerato, essendo G la costante di gravitazione universale

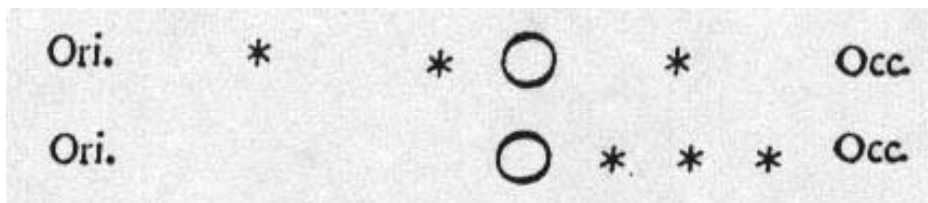


Fig. 1 – 7 e 8 gennaio 1610. Galileo compie le prime osservazioni dei satelliti medicei.

3. Definizione del sistema e assunzioni di base

Il sistema di Giove e dei satelliti medicei si presta molto bene al controllo della legge.

E' un sistema assimilabile ad un sistema solare in cui Giove gioca il ruolo del Sole e i satelliti quello dei pianeti. Poiché il rapporto tra la massa di Giove e quella dei satelliti è dell'ordine di 10^4 (v. tab 1) è corretto assumere che la massa di ogni satellite sia infinitamente piccola rispetto a quella del pianeta, condizione necessaria affinché le leggi di Keplero siano verificate. Così come pure sono trascurabili le interazioni gravitazionali tra i satelliti per cui per ogni satellite ci si può ricondurre ad un sistema a due corpi Giove-satellite.

Sebbene per la verifica della legge siano necessarie osservazioni relative a due soli pianeti (satelliti) il sistema scelto ci offre ben 4 pianeti (satelliti) osservabili agevolmente all'oculare del telescopio.

	<i>Periodo (giorni)</i>	<i>Semiasse maggiore (km)</i>	<i>Diametro (km)</i>	<i>Massa (kg)</i>	<i>Rapporto $m_{Giove}/m_{satellite}$</i>
<i>Giove</i>	11,9 anni	778.000.000	142.984	$1,9 \cdot 10^{27}$	
<i>Io</i>	1,769	422.000	3.630	$9 \cdot 10^{22}$	21000
<i>Europa</i>	3,551	671.000	3.138	$5 \cdot 10^{22}$	40000
<i>Ganimede</i>	7,155	1.071.000	5.268	$1,5 \cdot 10^{23}$	13000
<i>Callisto</i>	16,689	1.883.000	4.806	$1,1 \cdot 10^{23}$	18000

Tab. 1

Le inclinazioni delle orbite dei satelliti rispetto al piano equatoriale di Giove sono dell'ordine di 1° - 3° ; l'inclinazione del piano equatoriale di Giove è piccola rispetto al piano della sua orbita (circa 3°); infine il piano dell'orbita di Giove è poco inclinato rispetto all'orbita terrestre (circa 1°). Questi dati consentono di semplificare la geometria del sistema ed assumere che le orbite dei satelliti e di Giove giacciono nello stesso piano, quello dell'eclittica.

In considerazione della bassa eccentricità delle orbite (il valore più alto, per il satellite Europa, è 0,009) è ragionevole infine assumere che i satelliti si muovano di moto circolare uniforme cosicché il moto di ogni satellite all'oculare del telescopio è assimilabile ad un moto armonico che si svolge sul piano equatoriale di Giove.

E' inoltre condizione necessaria che l'esperienza sia realizzabile nei tempi consentiti dal calendario accademico. In questi anni, la posizione di Giove alle nostre latitudini è tale che il pianeta risulta agevolmente osservabile per qualche mese dal tardo autunno alla primavera in orari accettabili; il lungo periodo di Giove, inoltre, e il corto periodo dei satelliti (v. Tab. 1) ci assicurano di poter svolgere le misure necessarie proprio in questi pochi mesi di calendario del corso.

4. Il metodo di misura e la geometria del sistema

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, dalla (1) si deriva che l'esperienza consiste nella misura della dimensione dell'orbita (r_i , r_j) e del periodo di rivoluzione (T_i , T_j) per almeno due satelliti per verificare che

$$\frac{r_i^3}{T_i^2} = \frac{r_j^3}{T_j^2}$$

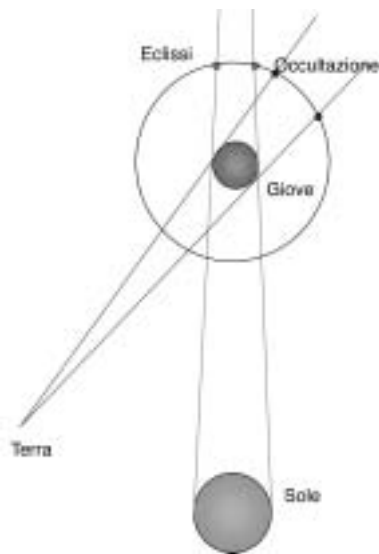


Fig. 2 - Eclissi ed occultazioni dei satelliti.



Fig. 3 - Massima elongazione.

La misura dei tempi di rivoluzione dei satelliti intorno a Giove è piuttosto semplice se si ricorre ai numerosi eventi di eclissi ed occultazioni (fig. 2) che occorrono ai satelliti. Il periodo infatti può essere ottenuto dalla misura dell'intervallo di tempo che intercorre tra due successive inizi (o fine) eclissi oppure due successivi inizi (o fine) occultazioni.

Le eclissi si verificano quando il satellite transita nel cono d'ombra prodotto dal disco di Giove illuminato dal Sole; le occultazioni quando il satellite risulta, per l'osservatore sulla Terra, nascosto dal disco di Giove. Mentre i fenomeni di eclissi dipendono solo dalla posizione relativa di Giove e Sole, quelli di occultazione dipendono dalla geometria Terra-Sole-Giove.

Poiché, in base alle considerazioni sopraesposte, il moto di ciascun satellite intorno a Giove appare, all'osservatore sulla Terra, assimilabile ad un moto armonico, la misura del raggio dell'orbita si può risolvere con la misura della massima elongazione (fig. 3), a cui corrisponde il punto di inversione del moto armonico.

Non essendo necessario, ai fini dell'esperienza, conoscere il valore assoluto dell'elongazione è possibile misurare il raggio in funzione del raggio di Giove.

All'oculare del telescopio la rotazione apparente della volta celeste produce un rapido spostamento di Giove e dei satelliti con velocità costante

(per gli oggetti sull'equatore la velocità è di 15 secondi d'arco per secondo). Sfruttando tale moto apparente la misura del raggio r si può ottenere da una misura di tempo attraverso la determinazione del tempo necessario a spazzare il disco di Giove t_G e il del tempo necessario a spazzare la distanza bordo di Giove-satellite t_r .

Per lo svolgimento di questa misura è necessario equipaggiare il telescopio di un micrometro a reticolo illuminato. Si dispone il reticolo con il filo orizzontale orientato lungo la congiungente Giove-satellite e si misura il tempo necessario a spazzare la distanza satellite-bordo di Giove e il diametro di Giove.

A causa dell'inclinazione dell'asse terrestre e in base alla posizione orbitale di Giove e della Terra Giove ed i satelliti si muovono nel campo dell'oculare in una direzione diversa dalla congiungente Giove-satelliti. I tempi risultano pertanto modificati di un fattore moltiplicativo che dipende dall'angolo tra la congiungente Giove-satelliti e la direzione del moto, fattore però eliminato dal rapporto tra i tempi.

$$\frac{1}{2}t_G \div \left(t_r + \frac{1}{2}t_G \right) = 143000 \div r$$

Questo metodo impone alcune considerazioni.

-Il cono di eclisse e quello di occultazione risultano sovrapposti in opposizione cioè quando la Terra si trova tra Giove e Sole; raggiungono invece la massima separazione (circa 11°) in quadratura. A causa di questa geometria può accadere (per i satelliti più vicini) di non riuscire ad uscire da uno dei due coni (di eclissi od occultazione) prima di entrare nell'altro: è il caso di Io che può passare, ad esempio, da un inizio occultazione seguita da una fine eclisse senza essere interessato dagli eventi di fine occultazione ed inizio eclisse.

-Il numero di eventi di eclissi ed occultazioni dei satelliti è piuttosto elevato in ragione della quasi perfetta complanarità tra le orbite della Terra e di Giove intorno al Sole, e delle orbite dei satelliti intorno a Giove. Può però accadere, in particolari configurazioni del sistema Terra-Giove-satelliti che, per quanto piccola, la non complanarità produca una riduzione del numero di eventi od anche la totale assenza di eventi, come è accaduto nel caso di Callisto (perché più distante degli altri da Giove), nella stagione 2000-2001.

-Sebbene non sia possibile risolvere le dimensioni dei satelliti all'oculare i fenomeni di inizio (o fine) eclissi (o occultazione) non si verificano istantaneamente proprio a causa della dimensione del satellite che impiega

un certo intervallo di tempo (qualche minuto nel nostro caso) ad apparire (o scomparire): per questo è necessario misurare il periodo tra due inizi successivi o due termini successivi di un evento avendo ben definito cosa si intende per inizio e fine di questi eventi. In particolare è ragionevole scegliere le situazioni di osservazione più facili da distinguere: si può stabilire, ad esempio, come il momento di riferimento dell'inizio eclisse quello in cui il satellite risulta definitivamente scomparso per l'osservatore e come inizio occultazione quello in cui il satellite risulta perfettamente scomparso oppure quello in cui il satellite è tangente al disco di Giove.

-Nelle misure della dimensione dell'orbita c'è da evidenziare che, a causa dell'inclinazione dell'asse terrestre rispetto al piano dell'orbita ($23,5^\circ$ circa) Giove e il suo satellite si muovono, nel campo dell'oculare, non lungo la loro congiungente ma in una direzione che dipende dalla posizione orbitale di Giove e della Terra. Questo non costituisce un problema perché i tempi di spazzamento del disco di Giove e dell'orbita risultano modificati dello stesso fattore, ma impone di non poter utilizzare le misure dei due tempi se non accoppiate a due a due, raccolte non in momenti lontani nel tempo (le misure possono essere condotte anche a qualche ora di distanza senza che questo ne infici la validità).

5. Programmazione e fase sperimentale

A rigore l'osservatore dovrebbe osservare di continuo in attesa di eventi che interessino i satelliti. Si tratta di una pratica ovviamente non compatibile con i tempi della didattica pertanto si ricorre alle Effemeridi quale strumento di selezione degli eventi che riguardano i satelliti su un intervallo di tempo che può coprire qualche mese di osservazioni.

E' rilevante a questo proposito osservare che all'oculare del telescopio è estremamente difficile identificare i satelliti che pertanto si presentano come indistinguibili. Le dimensioni e le caratteristiche superficiali dei satelliti sono infatti tali da non produrre una luce sensibilmente diversa per l'osservatore al telescopio, se non forse per il più grande dei satelliti, Ganimede.

Le Effemeridi vengono utilizzate per la selezione sia degli eventi sia delle elongazioni massime.

Il ricorso alle Effemeridi può generare senza dubbio obiezioni di carattere metodologico. E' opportuno ricordare però che l'esperienza consiste solo in un controllo di una legge ben nota; così come altrove si è già fatto uso di valori che sono oggetto della misura per sostenere considerazioni analogamente è da considerarsi il ricorso alle Effemeridi.

Nel corso anche di pochi mesi, a causa dei brevi periodi di rivoluzione, i satelliti di Giove compiono moltissime rivoluzioni intorno al pianeta e, quindi, subiscono numerose eclissi ed occultazioni. Quelle accettabili devono soddisfare però alcune condizioni

- che sia buio nel luogo di osservazione
- che Giove si trovi a sufficiente altezza sull'orizzonte da rendere osservabile il pianeta e i satelliti e che lo spessore dell'atmosfera non sia tale da compromettere eccessivamente la qualità dell'osservazione

Sono condizioni strettamente legate al luogo dove si compie l'osservazione, che interviene solo in questa fase. Date le distanze in gioco, infatti, la geometria del sistema può essere considerata identica indipendentemente dal luogo di osservazione sulla superficie terrestre; le Effemeridi, inoltre, vengono fornite di norma in tempo universale proprio perché possano essere utilizzabili da qualsiasi osservatore sulla Terra.

Le condizioni medie di *seeing* della città di Milano e l'esperienza inducono ad escludere eventi che occorrono ai satelliti quando Giove sia ad un'altezza inferiore ai 15° sull'orizzonte.

Gli eventi selezionati dovranno inoltre essere in numero di gran lunga superiore al necessario per consentire di portare comunque a termine l'esperienza anche in presenza di avverse condizioni meteorologiche.

L'analisi delle Effemeridi fa emergere che i fenomeni più frequenti e più facilmente osservabili sono a carico di Io che ha un periodo molto breve; per Europa sono numerosi ma è più difficile osservare eventi consecutivi perché, dato il periodo di circa 3 giorni e mezzo, se un evento accade di giorno il successivo accade di notte. Ma è Callisto il satellite con fenomeni più rari non solo per effetto del periodo più lungo ma anche, come già si è detto, della distanza.

6. Analisi dei risultati e discussione degli errori

La misura dei periodi di rivoluzione è affetta da errori estremamente contenuti (dell'ordine di qualche parte su 10.000). Si è già discusso della difficoltà dell'individuare l'esatto momento di inizio o fine di un evento. Questo fa sì che, nelle condizioni peggiori, la misura si possa considerare affetta da un errore pari al tempo necessario per coprire tutto l'intervallo di scomparsa (inizio eclissi o occultazione) o ricomparsa (fine eclissi o occultazione), dell'ordine di qualche minuto cioè un tempo trascurabile rispetto ai periodi di rivoluzione in gioco (il minore, quello di Io, è pari a circa un giorno e mezzo).

Per contro si tratta comunque di una misura non ripetibile se non ad un successivo evento e come tale complessivamente ripetibile solo in un numero limitato di occasioni e pertanto passibile di una statistica debole.

La misura delle orbite offre, rispetto a quella dei periodi, il vantaggio della ripetibilità su un lasso di tempo, anche se contenuto (dell'ordine di qualche ora). La misura infatti alla massima elongazione corrisponde al momento di minima velocità del satellite rispetto all'osservatore terrestre; il satellite risulta pertanto pressoché fermo per un certo intervallo di tempo nel corso del quale la misura può essere ripetuta numerose volte e da diversi osservatori per ridurre l'errore sistematico ed incrementare la statistica. Ciò è tanto più vero quanto è maggiore la distanza da Giove e dunque per i satelliti più esterni.

A differenza della misura dei periodi la varianza della misura delle orbite è però notevole poiché i tempi misurati sono molto ridotti e occasionalmente al limite della sensibilità di qualche osservatore. E' possibile influire sui tempi? No, perché i tempi spazzati dipendono solo dalla dimensione angolare da spazzare e dalla velocità angolare di rotazione della Terra (e non, ad esempio, dall'ingrandimento impiegato). Tra gli altri fattori non ovviamente modificabili rientra con ruolo rilevante anche il *seeing* della serata in cui si svolgono le osservazioni.

Per tali ragioni e in considerazione del fatto che il raggio interviene, nella verifica della legge, con la terza potenza con questo metodo ci si aspetta per il rapporto tra il cubo del raggio delle orbite e il quadrato del periodo anche errori del 10-15% e fino anche al 20% rispetto ai valori veri ($3,18 \cdot 10^{15} \text{ m}^3/\text{s}^2$).

Quali sono dunque, complessivamente, le fonti di errore che possono essere individuate e qual è il contributo di esse? Rispetto alle assunzioni fatte:

-La massa dei satelliti non è infinitamente piccola rispetto a quella di Giove, ma è sicuramente trascurabile (i rapporti tra la massa di Giove e quella dei satelliti sono dell'ordine di 10^4).

-Le orbite non sono perfettamente complanari (le inclinazioni sono dell'ordine di qualche grado al più).

-Le orbite dei satelliti non sono perfettamente sferiche: le eccentricità sono dell'ordine di 10^{-3} .

-Il disco di Giove non è perfettamente sferico. L'ellitticità di Giove è però pari a 0,06. Il valore non è da ritenersi, a priori, poco elevato. Tuttavia i tempi di spazzamento del disco di Giove e della distanza Giove-satellite sono da ritenersi solo modestamente affetti da esso. Preponderante su questo

dato è senza dubbio, su tempi dell'ordine di soli pochi secondi, l'incertezza della misura legata agli errori personali introdotti dagli osservatori.

-La configurazione orbitale Sole-Giove-Terra muta durante la rivoluzione dei satelliti (periodo sinodico-periodo siderale).

Il periodo di rivoluzione che con il metodo esposto viene misurato tra due successivi eventi (di eclissi od occultazione) è il periodo sinodico che differisce rispetto al vero, cioè al periodo siderale (quello misurato rispetto ad un sistema di riferimento fisso). Nel caso delle eclissi, poiché la geometria del sistema dipende solo dalla posizione relativa di Giove e Sole la relazione che intercorre tra periodo siderale e sinodico

$$\frac{1}{T_{sid}} = \frac{1}{T_{sin}} + \frac{1}{T_G} \text{ con } T_{G+} \text{ periodo di rivoluzione di Giove}$$

ci consente di concludere facilmente che si tratta di un errore trascurabile (dell'ordine di 10^{-3}). Il valore del rapporto $1/T_G$ è molto piccolo perché il periodo di Giove è lungo (11,9 anni) rispetto ai periodi di rivoluzione dei satelliti.

Nel caso delle occultazioni l'espressione è più complessa, per introdurre anche la dipendenza dalla rivoluzione della Terra, ma analogamente si tratta di un contributo trascurabile.

-La velocità della luce è finita.

Tra due eventi successivi di eclissi od occultazione varia la distanza tra Terra e Giove e la differenza di percorso che la luce deve compiere per raggiungere l'osservatore sulla Terra si traduce in un errore sulla misura del tempo che intercorre tra i due eventi. Si tratta di un errore dell'ordine del minuto, dal peso paragonabile a quello commesso con la valutazione della durata dell'inizio (fine) di un fenomeno.

Complessivamente la valutazione degli errori sopraindicati ci induce a concludere che il peso più rilevante lo detengono gli:

- Errori di sensibilità degli strumenti
- Errori personali sia casuali che sistematici

7. Alcune considerazioni conclusive

L'esperienza del controllo osservativo della terza legge di Keplero applicata al sistema di Giove e dei satelliti medicei è stata suggerita da uno strumento storico che, per quanto gloriosamente impiegato in osservazioni planetarie, non era stato impiegato per questi scopi.

Lo strumento scientifico è spesso inteso dallo studente del corso di laurea in fisica come un mezzo per poter ottenere risultati che suggeriscono una

legge, e pertanto come mezzo di scoperta. Come tale, lo strumento viene spesso considerato per la sua funzione complementare allo sviluppo di una teoria che si accompagna magari ad nuova scoperta. Più rara è la considerazione dello strumento con un ruolo più attivo: lo strumento come suggeritore di un metodo per illustrare una legge, ovvero come indicatore di un percorso di investigazione, è un elemento centrale per il nostro laboratorio.

Ci siamo chiesti quali fosse la "tipologia", se individuabile, dello studente e le motivazioni che lo possono indurre ad afferire a questo tipo di laboratorio.

C'è da premettere che il numero di studenti coinvolti in questa attività è limitato: non è bassa la richiesta ma è bassa la ricettività del laboratorio stesso (11 studenti in due anni). Ciononostante, un'indagine condotta presso gli studenti coinvolti ci consente comunque di trarre alcune considerazioni.

Accedono a questo laboratorio per lo più studenti che intendono perfezionare i propri studi in astronomia e astrofisica. A parziale giustificazione bisogna tenere in considerazione, per lo meno relativamente alla situazione del nostro ateneo, che gli studenti che intraprendono l'indirizzo di astrofisica sono numericamente superiori a coloro che intendono laurearsi in ambito di storia della fisica; a questo va aggiunto che non sempre la ricettività del laboratorio di astrofisica può soddisfare le richieste espresse dagli studenti.

Ciononostante la gran parte degli studenti sceglie di proposito questo laboratorio, rispetto a quello astrofisico proprio per l'opportunità di poter condurre le osservazioni.

L'aspetto storico riveste presso gli studenti una certa curiosità e interesse che, andando oltre lo specifico interesse professionale, stimola però alla scelta di questo laboratorio rispetto ad altri.

Il fascino dell'esperienza di laboratorio condotta in ambiente storico e con uno strumento storico, alla stregua di quanto svolto da grandi astronomi del passato, è riconosciuto come importante fattore emozionale, che spinge alcuni degli studenti del corso a frequentare assiduamente anche per osservazioni non necessarie e in giorni/orari anche piuttosto scomodi.

L'opportunità per gli studenti di sviluppare, in modo autonomo all'interno del lavoro di gruppo, alcuni approfondimenti dell'esperienza in ambito storico, didattico o astronomico (ad esempio la misura della velocità della luce secondo il metodo di Roemer, la messa a punto di algoritmi di calcolo per la posizione e gli eventi dei satelliti, la storia delle osservazioni dei satelliti, la preparazione di un'esperienza didattica sullo stesso argomento, ...) ha prodotto risultati significativi.

Inconsapevoli, prima di frequentare, della necessità di una rigorosa programmazione ed organizzazione per il buon fine dell'esperienza connessa evidentemente all'impossibilità di programmare le osservazioni altrimenti che secondo quanto previsto dalle Effemeridi, la valutazione degli studenti dopo aver svolto il laboratorio trova spazio anche per individuare come estremamente formativo, nel percorso di studi, il dover ben programmare l'attività sperimentale e doversi coordinare con i colleghi. Il laboratorio è riconosciuto, in questo senso, avere una funzione formativa utile negli ambiti più differenziati.

Bibliografia

- Astronomical Almanac Handbook of British Astronomical Society, (pubblicato ogni anno per l'anno successivo).
- Bridges, R. (1995). "Fitting orbits to Jupiter's moons with a spreadsheet" *Physics Education* 1995, 30: 271-276.
- Drake, S. (1978). *Galileo at work* (New York: Dover, 1978).
- Drake, S. (1979). "Galileo and satellite prediction" *Journal of the History of Astronomy* 1979, 10: 65-95.
- Lawson, A. E. (2002). "What does Galileo's discovery of Jupiter's Moons tell us about the process of scientific discovery?" *Science & Education* 2002, 11: 1-24.
- Lombardi, A. M. (2000). *Keplero: semplici leggi per l'armonia dell'universo* I grandi della scienza-Le Scienze, 13, 2000)
- Meeus, J. (1990). *Astronomia con il computer* (Milano: Hoepli, 1990).
- North, J. D. (1983). "The satellites of Jupiter, from Galileo to Bradley" in Van der Merwe, A. (ed.) (1983). *Old and new questions in physics, cosmology, philosophy, and theoretical biology* (New York: Plenum Press, 1983). pp.689-717.
- Pelosi, G., Selleri, S. (1997). "Ole Roemer e la prima determinazione della velocità della luce" *Quaderni di storia della fisica* 1997, 1: 71-79.
- Ronchi, V. (1983). *Storia della fisica da Euclide ad Einstein* (Bari: Laterza, 1983).
- Van Helden, A. (1983) "Roemer's speed of light" *Journal for the History of Astronomy* 1983, 14: 137-141.
- Van Helden, A., Hankins, T. (ed.) (1994). "Instruments" *Osiris* 1994, 9.