



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DEPARTMENT OF PHYSICS AND ASTRONOMY "A. RIGHI"

SECOND CYCLE DEGREE

PHYSICS

**DIDATTICA DELL'ASTRONOMIA NELLA
SCUOLA SECONDARIA DI SECONDO GRADO:
UN CASO STUDIO SU INTERESSE E
APPROCCIO STORICO-SCIENTIFICO**

Supervisor
Dott. Stefano Marchesi

Defended by
Lucrezia Aste

Graduation Session Ottobre 2025

Academic Year 2024/2025

Abstract

Questo lavoro di tesi nasce dal desiderio di comprendere ed esplorare come gli studenti del liceo si rapportino all'astronomia, una disciplina affascinante ma poco presente nei percorsi scolastici. La domanda di ricerca di partenza è stata se e in che misura l'astronomia possa essere accolta con curiosità e coinvolgimento da parte degli studenti, e se un percorso che valorizzi il legame tra lo sviluppo delle conoscenze astronomiche e la storia delle civiltà possa costituire un valore aggiunto per l'apprendimento. Dopo un'analisi della letteratura sulla didattica dell'astronomia, che mette in luce sia la persistenza di misconcezioni sia il potenziale interdisciplinare della disciplina, è stato realizzato un progetto sperimentale in due classi terze di un liceo scientifico. L'intervento ha avuto come tema l'evoluzione dei calendari, intrecciando la comprensione dei fenomeni astronomici (moti di Sole, Terra e Luna, stagioni e fasi lunari) con l'evoluzione storica e culturale della comprensione stessa.

Attraverso la somministrazione di un test iniziale e di un test finale, è stato possibile raccogliere dati sul livello di conoscenze e sul grado di interesse degli studenti. I risultati mostrano come l'astronomia susciti curiosità e motivazione, pur in presenza di conoscenze spesso parziali e frammentarie. L'approccio storico è stato generalmente percepito come un valore aggiunto, anche se non apprezzato e compreso da tutti. L'esperienza, pur nei limiti di un caso studio breve e circoscritto, conferma il potenziale dell'astronomia come strumento educativo capace di stimolare partecipazione, favorire connessioni interdisciplinari e promuovere una visione integrata del sapere.

Indice

Abstract	i
Elenco delle figure	v
Elenco delle tabelle	vi
1 Ricerca in didattica dell'astronomia	1
1.1 Storia della ricerca in didattica dell'astronomia	1
1.2 Studi sulla ricerca in didattica dell'astronomia	3
1.2.1 Idee comuni più diffuse	5
1.3 Perché è importante insegnare astronomia	10
2 Approccio storico alla didattica dell'astronomia: un caso studio	13
2.1 Presentazione del progetto di tesi	13
2.1.1 Obiettivi	13
2.1.2 Campione	14
2.1.3 Metodologia	14
2.2 Introduzione	15
2.3 Storia dell'astronomia	16
2.4 La Luna	20
2.4.1 Caratteristiche	21
2.4.2 Moti lunari	21
2.4.3 Fasi lunari	23
2.4.4 Eclissi	24
2.4.5 I calendari lunari e il calendario islamico	25
2.5 Storia del Calendario	25
2.5.1 Calendario Romano	26
2.5.2 Romolo	26
2.5.3 Numa Pompilio	27
2.5.4 Calendario Giuliano	28
2.5.5 Giulio Cesare	29
2.5.6 Ottaviano Augusto	30
2.5.7 Calendario Gregoriano	31
2.5.8 Calcolo dell'equinozio di primavera	32
2.6 La Terra	32
2.6.1 Moti terrestri	32
2.7 Giovanni Domenico Cassini e la meridiana della Basilica di San Petronio . .	34
2.7.1 Sistema Tolemaico e sistema Copernicano	36
2.7.2 Verifica sperimentale della seconda legge di Keplero	38
3 Test iniziale: struttura, risposte, analisi dati	41
3.1 Parte A. Progresso didattico e interesse per la materia	41
3.2 Parte B. Valutazione delle conoscenze pregresse	44

3.2.1	Analisi di correlazione	51
3.3	Parte C. Autovalutazione	53
4	Test finale: struttura, risposte, analisi dati	59
4.1	Parte A. Interesse e riscontri riguardo al progetto	59
4.2	Parte B. Valutazione delle conoscenze e competenze acquisite	65
4.3	Parte C. Autovalutazione	70
4.3.1	Domande a risposta aperta	74
5	Conclusione	77
5.1	Limiti, validità e prospettive future	78
5.2	Considerazioni finali	79
A	Test Iniziale	81
A.1	Parte A. Pregresso didattico e interesse per la materia	81
A.2	Parte B. Valutazione delle conoscenze pregresse	82
A.3	Parte C. Autovalutazione	85
B	Test Finale	87
B.1	Parte A. Interesse e riscontri riguardo al progetto	87
B.2	Parte B. Valutazione delle conoscenze e competenze acquisite	88
B.3	Parte C. Autovalutazione	90
C	Risposte	91
D	Utilizzo dell'Intelligenza Artificiale Generativa	97
	Riferimenti	99

Elenco delle figure

1	Baxter (1989), fasi lunari	5
2	Baxter (1989), forma della Terra	7
3	Baxter (1989), ciclo dì-notte	8
4	Baxter (1989), stagioni	9
5	Grotte di Lascaux, Francia	18
6	Schema fasi lunari	24
7	Fasi lunari a seconda della latitudine terrestre	24
8	Ricostruzione del calendario romano Fasti Anziati	28
9	Distribuzione della radiazione solare sulla superficie terrestre nei solstizi . .	34
10	Meridiana di Danti, Basilica di San Petronio	35
11	Meridiana della Basilica di San Petronio: schema e foro gnomonico	36
12	Proiezioni del Sole al solstizio d'inverno e d'estate	38
13	Test iniziale, parte A: istogrammi	43
14	Test iniziale, parte B: istogrammi (pt. 1)	46
15	Test iniziale, parte B: istogrammi (pt. 2)	47
16	Figure relative alle domande Tlbb04 e Tlbb08	51
17	Correlazione tra esperienza pregressa e risposte date al test iniziale, parte B; correlazione tra interesse e risposte date al test iniziale, parte B	53
18	Test iniziale, parte C: istogramma	54
19	Correlazione tra autovalutazione e risposte date al test iniziale, parte B . .	56
20	Test finale, parte A: istogramma prima domanda	60
21	Test finale, parte A: istogrammi (pt. 1)	62
22	Test finale, parte A: istogrammi (pt. 2)	63
23	Test finale, parte B: istogrammi (pt. 1)	68
24	Test finale, parte B: istogrammi (pt. 2)	69
25	Domanda sulle stagioni: test iniziale e test finale	70
26	Test finale, parte C: istogramma	71
27	Correlazione tra autovalutazione e risposte date al test finale, parte B . . .	73
28	Figura relativa alla domanda Tlbb04	83
29	Figura relativa alla domanda Tlbb07	83
30	Figura relativa alla domanda Tlbb08	84
31	Figura relativa alla domanda TFbb10	89

Elenco delle tabelle

1	Test iniziale, parte A: esperienza pregressa in ambito astronomico	42
2	Test iniziale, parte A: percentuali di risposta e indicatori statistici descrittivi	44
3	Test iniziale, parte B: codici e domande	45
4	Test iniziale, parte B: risposte aggregate	47
5	Correlazione tra esperienza pregressa e risposte date al test iniziale, parte B	52
6	Correlazione tra interesse e risposte date al test iniziale, parte B	53
7	Test iniziale: autovalutazione, risposte corrette, sbagliate, “non lo so” . . .	55
8	Correlazione tra autovalutazione e risposte date al test iniziale, parte B . .	56
9	Test finale, parte A: domanda TFaa01	60
10	Test finale, parte A: percentuali di risposta e indicatori statistici descrittivi .	61
11	Test finale, parte B: codici e domande	66
12	Test finale, parte B: risposte aggregate	67
13	Test finale, parte C: risposte aggregate e indicatori statistici descrittivi . . .	71
14	Test finale: autovalutazione, risposte corrette, sbagliate, “non lo so”	72
15	Correlazione tra autovalutazione e risposte date al test finale, parte B . . .	73
16	Test iniziale, parti A e C: risposte	92
17	Test iniziale, parte B: risposte	93
18	Test finale, parti A e C: risposte	94
19	Test finale, parte B: risposte	95

1 Ricerca in didattica dell'astronomia

Quando e dove nasce l'astronomia? Se proviamo a rispondere a questa domanda probabilmente ci vengono subito in mente i nomi di grandi fisici e matematici che hanno fatto la storia e rivoluzionato la scienza nel corso dei secoli. Viaggiando a ritroso nel tempo, tra questi troviamo Isaac Newton (1642-1727) con la sua Legge della Gravitazione Universale; Giovanni Keplero (1571-1630), che con le sue leggi descrisse il moto dei pianeti attorno al Sole; Galileo Galilei (1564-1642), che con l'uso del cannocchiale rivoluzionò il modo di osservare il cielo. Tornando ancora più indietro incontriamo Niccolò Copernico (1473-1543), noto per aver proposto la teoria del sistema eliocentrico¹, in cui il Sole occupa il centro del sistema planetario, in contrasto con la visione geocentrica sostenuta da Claudio Tolomeo (circa 100-170 d.C.). Quest'ultimo, nel suo trattato *Almagesto* (150 d.C.), descriveva un universo con la Terra immobile al centro, attorno alla quale ruotavano il Sole, la Luna e gli altri pianeti. Ma la storia dell'astronomia non inizia con questi grandi nomi. Si può tornare indietro nel tempo, passando da Maya (750 a.C.-1697 d.C.), Egizi (3900-343 a.C.) e Sumeri (IV-III millennio a.C.). Di queste civiltà non ci sono pervenuti trattati astronomici, ma diverse testimonianze indicano che già allora l'essere umano osservava il cielo con attenzione, riconoscendo nelle sue ciclicità - come le fasi lunari, l'alternarsi delle stagioni e l'apparizione delle stelle - strumenti fondamentali per regolare la vita quotidiana e i riti religiosi.

Possiamo dunque affermare che l'astronomia nasce con l'uomo stesso. Questa scienza, che si occupa di osservare e spiegare gli eventi celesti che si verificano nello spazio, è forse la più antica tra le scienze, e di certo una delle più universali. Fin dall'inizio della sua storia, l'essere umano ha rivolto lo sguardo verso l'alto, cercando di comprendere ciò che accadeva oltre: l'infinito cielo notturno, costellato di luci misteriose e mutevoli, ha ispirato domande, miti, leggende e, col tempo, teorie sempre più raffinate. Ancora oggi, l'astronomia continua ad affascinare e incuriosire persone di tutte le età, dai bambini agli adulti, dagli appassionati ai semplici osservatori occasionali. Il cielo resta uno straordinario strumento educativo, capace di stimolare domande profonde, sviluppare il pensiero scientifico e avvicinare al mondo della scienza.

1.1 Storia della ricerca in didattica dell'astronomia

Come detto in Bailey e Slater (2003), nel campo dell'educazione e della didattica, l'astronomia ha visto il susseguirsi di opinioni differenti, attraversando fasi alterne di popolarità, interesse e diffusione. Durante il periodo del Medioevo e del Rinascimento, nelle Università venivano insegnate le arti liberali, considerate discipline fondamentali per l'educazione accademica. Le sette arti liberali si dividevano in due gruppi: il trivio (grammatica, retorica, dialettica) e il quadrivio (aritmetica, geometria, astronomia, musica) (Treccani, 2001). L'astronomia era dunque una disciplina obbligatoria nei *college* e nelle università, ritenuta parte essenziale della formazione scientifica generale. Progressivamente, e in maniera analoga alle altre discipline scientifiche, è diventata un campo più specialistico, frequentato principalmente da chi sceglie di intraprendere un percorso professionale in ambito astronomico o astrofisico. Se,

¹Copernico non fu il primo a proporre un modello eliocentrico: già nel terzo secolo a.C. Aristarco di Samo aveva proposto un modello analogo, che tuttavia venne poi rigettato, qualche secolo dopo, in favore del modello tolemaico.

come già detto, l'astronomia è tra le scienze più antiche, presente da sempre nella storia del pensiero umano, la ricerca in didattica dell'astronomia è un ambito relativamente recente. I primi articoli scientifici sull'argomento risalgono agli anni Trenta del Novecento, ma fu solo tra gli anni Sessanta e Settanta che iniziarono a essere sviluppati i primi progetti educativi nelle scuole. Fu però solo negli ultimi decenni del Novecento, con l'affermarsi della didattica della fisica come campo di ricerca strutturato, che anche in astronomia si cominciò a studiare in modo sistematico i processi di insegnamento e apprendimento. Gli astronomi iniziarono così a riflettere sulle metodologie didattiche, traendo ispirazione dai modelli teorici e dalle strategie educative già consolidate nell'ambito della fisica (Fraknoi, 2014).

Inizialmente, uno dei principali ostacoli alla creazione di una rete e comunità di didattici in astronomia fu la mancanza di una comunicazione efficace tra i diversi attori coinvolti nel mondo dell'educazione. Gli insegnanti, infatti, erano soliti consultare riviste specialistiche di astronomia, mentre i primi articoli relativi alla didattica venivano pubblicati su riviste di educazione scientifica, spesso poco conosciute da chi operava nel settore astronomico. A ciò si aggiungeva l'assenza di una rivista dedicata esclusivamente alla didattica dell'astronomia, capace di raccogliere in modo sistematico contributi, esperienze e ricerche specifiche del settore. Alcune pubblicazioni iniziarono comunque a riservare spazi, rubriche o supplementi all'insegnamento dell'astronomia. Un esempio significativo fu *The Universe in the Classroom*², una newsletter rivolta all'insegnamento dell'astronomia nella scuola primaria e nella secondaria di primo grado, pubblicata dalla *Astronomical Society of the Pacific*. Anche riviste con un focus più ampio, ma con attenzione alla didattica scientifica, come *The Physics Teacher*, *The American Journal of Physics* e *Journal of Geoscience Education*, cominciarono a ospitare articoli legati alla didattica astronomica. Tuttavia, mancava ancora uno spazio condiviso dove educatori, divulgatori, ricercatori e insegnanti potessero confrontarsi, informarsi e contribuire alla costruzione di una comunità scientifica dedicata alla didattica dell'astronomia. Questa carenza editoriale rifletteva anche un limite più profondo: la difficoltà nel riconoscere l'esistenza di una comunità di ricerca specificamente focalizzata sull'insegnamento dell'astronomia.

Nei primi anni 2000 iniziarono così a nascere le prime riviste interamente dedicate a questo ambito. Tra queste, *Astronomy Education Review* (AER), che pubblicò il suo primo numero nell'ottobre 2002, rappresentò un punto di svolta. Come sottolineato da Fraknoi (2014), l'obiettivo della rivista era offrire una piattaforma ampia e diversificata: non solo articoli di ricerca accademica, ma anche editoriali, notizie, recensioni di risorse educative, discussioni tematiche e altri spunti di interesse per gli educatori. La rivista venne pubblicata per dodici volumi, fino alla sua chiusura nel dicembre 2013. Oltre ad AER, altre riviste hanno contribuito alla diffusione della didattica astronomica, tra cui *Astronomy Education Journal* e il *Journal of Astronomy and Earth Sciences Education* (JAESE), che continuano ancora oggi a promuovere la ricerca e la condivisione di esperienze educative in questo settore in costante evoluzione.

²La newsletter *The Universe in the Classroom* venne pubblicata per la prima volta nel 1984. Al giorno d'oggi non è più attiva: l'ultima pubblicazione risale al 2018. Le edizioni pubblicate tra il 1984 e il 2018 sono tuttora disponibili in formato PDF come archivio sul sito ASP <https://astrosociety.org/news-publications/universe-in-the-classroom/>.

1.2 Studi sulla ricerca in didattica dell'astronomia

Come accennato in precedenza, la ricerca in didattica dell'astronomia è un ambito relativamente recente. I primi studi sistematici risalgono agli anni Settanta e avevano principalmente un carattere descrittivo: si concentravano sull'analisi delle modalità di insegnamento dell'astronomia e sulla misurazione del livello di conoscenza di concetti di base da parte degli studenti. Da questi primi studi, però, si iniziò a capire che gli errori e le risposte scorrette fornite dagli studenti non erano semplicemente il frutto di una mancanza di conoscenze, ma spesso nascevano da convinzioni profonde, da idee preesistenti derivanti dalla loro esperienza quotidiana. Così come nella didattica della fisica, anche in astronomia si è compreso che l'insegnamento non si svolge mai in uno spazio neutro, ma si confronta inevitabilmente con un insieme di conoscenze intuitive o di senso comune che gli studenti costruiscono nel tempo, a partire dall'osservazione del mondo e dalla loro esperienza diretta. Queste concezioni spontanee - per quanto scorrette rispetto ai modelli scientifici - risultano coerenti all'interno della logica personale dello studente e sono sostenute da anni di osservazioni e interpretazioni personali. Non si tratta dunque solo di errori, ma di modelli mentali alternativi, che svolgono una funzione organizzativa nella comprensione della realtà. Il processo di apprendimento si rivela quindi complesso: gli studenti tendono a interpretare le nuove informazioni alla luce dei concetti che già possiedono, cercando di inserirle nei propri schemi cognitivi preesistenti. Questi modelli concettuali, però, possono essere in contrasto con quelli proposti dalla scienza e spesso devono essere rielaborati o superati attraverso un percorso guidato di confronto, riflessione e ristrutturazione delle proprie idee.

Il paradigma secondo cui gli studenti costruiscono modelli mentali per interpretare i fenomeni astronomici ha spinto i ricercatori ad approfondire il tema con indagini sempre più sistematiche. Uno degli studi più noti in questo ambito è stato condotto da Philip Sadler ed è stato reso celebre attraverso il documentario *A Private Universe* (Schneps, 1989). Nel documentario, della durata di circa 20 minuti, vengono mostrate brevi interviste a laureati e docenti dell'Università di Harvard, ai quali vengono poste semplici domande sui meccanismi che regolano le stagioni e le fasi lunari. Sorprendentemente, la maggior parte degli intervistati non riesce a fornire spiegazioni corrette, evidenziando lacune concettuali anche in persone con un alto livello di istruzione formale. Il video segue inoltre da vicino il percorso di apprendimento di una studentessa delle scuole superiori, ritenuta tra le più brave della classe: nonostante abbia frequentato le lezioni e mostrato interesse per la materia, la ragazza fatica a costruire una spiegazione coerente e scientificamente corretta a questi fenomeni (Schneps & Sadler, 2010). Il documentario mette in luce in modo efficace un fenomeno ben noto nella didattica delle scienze: gli studenti tendono a mantenere le proprie convinzioni personali, spesso sviluppate a partire dall'esperienza quotidiana, anche di fronte a spiegazioni nuove e dettagliate. La conoscenza scientifica non si sovrappone semplicemente a quella preesistente, ma viene filtrata e rielaborata secondo i paradigmi già presenti, generando spesso concezioni errate o distorte della realtà. Da queste osservazioni emerge con forza la necessità di un approccio costruttivista all'insegnamento. L'apprendimento non parte da una "tabula rasa": ogni studente possiede già un bagaglio di idee, convinzioni e schemi interpretativi che devono essere riconosciuti, analizzati e messi in discussione in modo attivo. Le concezioni ingenuie non possono essere semplicemente corrette o sostituite, ma devono essere portate alla luce, confrontate con modelli scientificamente validi e ristrutturate attraverso un percorso guidato di riflessione e confronto. I nuovi concetti, in questo senso, non vanno imposti, ma devono

emergere da un confronto tra le idee preesistenti e le evidenze fornite dall'insegnamento. Negli ultimi decenni, il modello costruttivista ha rappresentato un punto di riferimento centrale per la ricerca in didattica. A partire dagli anni Ottanta, pedagogisti, educatori e studiosi di didattica delle scienze hanno sviluppato un ampio filone di studi che ha posto al centro dell'apprendimento il ruolo attivo dello studente e le sue concezioni pregresse. Questo movimento internazionale ha dato vita a una produzione molto vasta di ricerche, progetti didattici e riflessioni teoriche, che hanno contribuito in modo decisivo al rinnovamento delle metodologie di insegnamento delle scienze naturali, includendo progressivamente anche l'astronomia.

Il documentario citato rappresenta uno dei primi esempi di indagine nel campo della didattica dell'astronomia. Pur non seguendo pienamente i criteri metodologici di rigore, affidabilità e validità che oggi caratterizzano la ricerca educativa, esso ha avuto un ruolo fondamentale nello sviluppo del settore. Il messaggio trasmesso dal video è immediato ed efficace, e ha contribuito in modo significativo a sensibilizzare il mondo dell'educazione scientifica su un tema allora poco esplorato. In questo senso, ha rappresentato un punto di partenza importante, aprendo la strada a successive ricerche più strutturate e metodologicamente solide nel campo della didattica dell'astronomia.

Un altro studio importante, anche se meno noto, è quello sviluppato da Sadler (1992) nell'ambito della sua tesi di dottorato, dal titolo *The initial knowledge state of high school astronomy students*. Il lavoro si basa su un questionario a risposta multipla somministrato a oltre 1.400 studenti delle scuole superiori negli Stati Uniti, prima dell'insegnamento formale dell'astronomia. Il questionario era composto da 51 domande: oltre alla risposta corretta, ognuna presentava delle opzioni errate tratte da idee preesistenti comuni. Uno dei risultati principali che emerse fu che molte idee errate erano più diffuse rispetto alle risposte corrette. Addirittura, in alcuni casi, sono stati gli studenti con migliore rendimento scolastico a manifestare in modo persistente alcune delle concezioni sbagliate più diffuse. Grazie a questo progetto si poté iniziare a costruire degli interventi didattici mirati, più efficaci e consapevoli, basati sulle idee comuni presenti negli studenti.

Oltre agli studi pionieristici già citati, negli anni successivi la ricerca in didattica dell'astronomia ha continuato a svilupparsi ed espandersi, arricchendosi di nuovi approcci teorici e metodologici. Numerosi ricercatori hanno concentrato i loro sforzi sull'analisi delle concezioni intuitive che bambini e ragazzi elaborano spontaneamente rispetto ai fenomeni astronomici. L'ambito è stato progressivamente esplorato in maggiore profondità, attraverso indagini sistematiche condotte in diversi contesti scolastici e a vari livelli di istruzione. Due importanti contributi di sintesi, che offrono una panoramica ampia e articolata dello sviluppo del settore, sono rappresentati dalle rassegne *A Review of Astronomy Education Research* di Bailey e Slater (2003) e *Big Ideas: A Review of Astronomy Education Research 1974-2008* di Lelliott e Rollnick (2010). Entrambi i lavori analizzano criticamente le principali tendenze emerse nella ricerca nell'arco di più decenni, evidenziando l'evoluzione delle domande di ricerca, dei modelli teorici utilizzati e delle pratiche didattiche proposte. Gran parte delle ricerche si sono concentrate in particolare sugli studenti della scuola primaria, mettendo in luce un insieme ricorrente di idee intuitive e misconcezioni che spesso ostacolano la comprensione dei concetti astronomici. Si è osservato che molti bambini tendono a sviluppare spiegazioni personali e intuitive per fenomeni come le stagioni e l'alternanza tra giorno e notte, basandosi su esperienze sensoriali e osservazioni quotidiane piuttosto che su modelli scientifici. Tali concezioni risultano spesso difficili da modificare anche dopo l'insegnamento

formale, rendendo evidente la necessità di interventi educativi mirati. Le ricerche in questo ambito hanno quindi gettato le basi per un ripensamento dell'insegnamento dell'astronomia, promuovendo approcci centrati su attività di osservazione, modellizzazione, discussione collettiva, promuovendo così un apprendimento più profondo e significativo.

1.2.1 Idee comuni più diffuse

Fasi lunari e sistema Sole-Terra-Luna Uno dei grandi argomenti di astronomia che spesso portano con sé idee sbagliate e misconcezioni è quello delle fasi lunari. A riguardo, di grande importanza è lo studio di Baxter (1989) su un campione di bambini di età compresa tra i 9 e 16 anni. L'autore ha identificato alcune spiegazioni alternative ricorrenti tra i bambini interrogati sui periodici cambiamenti della forma della Luna; tra queste troviamo per esempio le nuvole che coprono la Luna, piante o pianeti che gettano ombra sulla Luna, l'ombra del Sole, l'ombra della Terra. In Figura 1 si trova un riassunto visuale di queste spiegazioni.

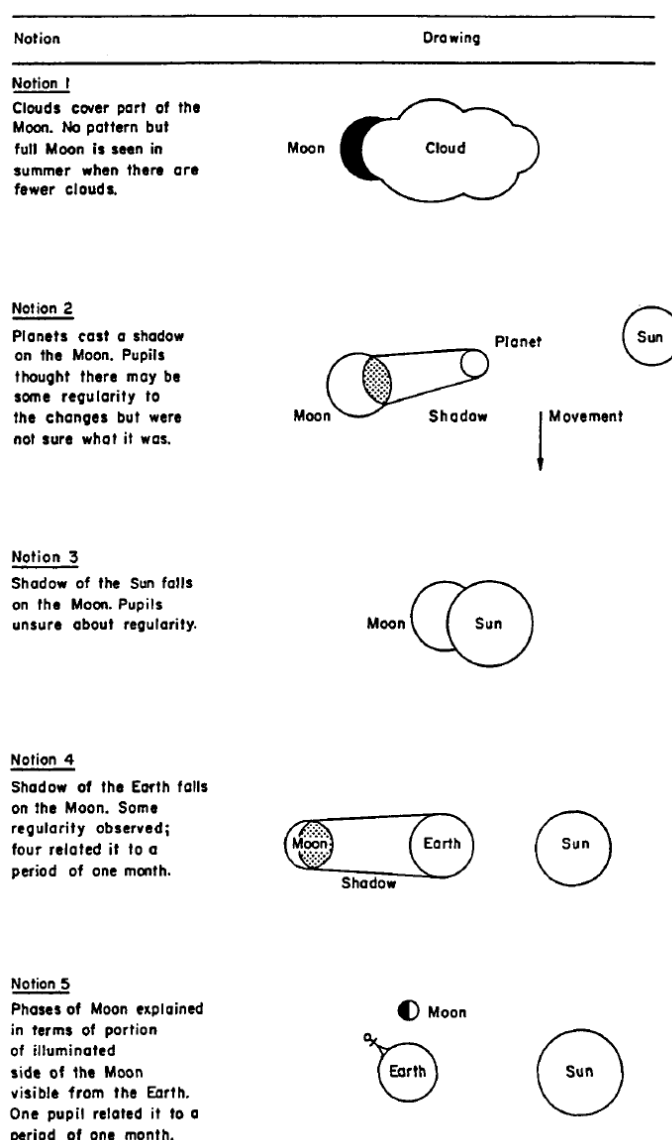


Figura 1: Concezioni dei bambini sulle fasi lunari individuate da Baxter (1989).

Stahly et al. (1999) hanno condotto una ricerca nelle classi terze della scuola primaria, prima e dopo un percorso didattico progettato per promuovere il cambiamento concettuale degli studenti. Dallo studio emerge che anche in questo caso negli studenti sono presenti idee ingenuie sulle fasi lunari: molti tendono a spiegarle facendo riferimento a cause esterne come l'ombra della Terra o il passaggio di nuvole, oppure come trasformazioni della Luna stessa che autonomamente "cambia forma". Queste idee spesso derivano da una scarsa conoscenza del sistema Sole-Terra-Luna e del moto relativo tra i tre corpi celesti. In alcuni casi, l'intervento didattico ha portato a una migliore comprensione e consapevolezza negli studenti, ma in molti alunni le concezioni errate si sono rivelate resistenti al cambiamento. Gli autori sottolineano l'importanza di un approccio attivo e costruttivista per affrontare efficacemente le idee preesistenti degli alunni.

Per gli studenti più grandi, come parte della sua tesi di dottorato, la ricercatrice statunitense Rebecca Susan Lindell ha sviluppato il *Lunar Phase Concept Inventory (LPCI)* (Lindell, 2001), un questionario a risposta multipla per indagare le idee sul ciclo delle fasi lunari. Nello studio di Lindell e Olsen (2002) viene preso come campione un gruppo di studenti universitari iscritti a corsi introduttivi di astronomia. I risultati hanno evidenziato che anche tra gli adulti persistono idee scorrette simili a quelle riscontrate nei bambini: fasi lunari causate dall'ombra della Terra o confuse con l'alternanza tra il giorno e la notte. Gli autori sottolineano che l'apprendimento formale spesso non riesce a scardinare queste concezioni se non viene accompagnato da attività che stimolino l'integrazione tra osservazione della realtà, modellizzazione spaziale e rappresentazioni corrette.

Forma della Terra Alcuni studi si sono concentrati in particolare sulle idee che hanno gli studenti riguardo la forma della Terra. Tra i primi studi troviamo quello di Nussbaum e Novak (1976), con un successivo approfondimento condotto da Nussbaum (1979), condotti entrambi nella scuola primaria. Da queste ricerche emerge che spesso i bambini non hanno una comprensione del concetto di Terra come corpo sferico nello spazio: spesso hanno un'idea di Terra piatta, oppure di Terra piatta con cielo a cupola, o ancora di Terra con due lati dove la gente vive solo "sopra". Anche quando accettano l'idea di Terra sferica, fanno fatica a comprendere che le persone possano vivere "sotto", perché questo è in contrasto con la loro esperienza quotidiana di gravità.

Nel tentativo di conciliare i modelli mentali preesistenti, derivanti dall'esperienza quotidiana, con i concetti scientifici appresi a scuola, gli studenti producono immagini ibride della Terra. Jones et al. (1987) parlano di Terra a forma di disco, di Terra cava con interni non ben definiti, o di confusione tra rappresentazioni simboliche e realtà fisica.

Anche Baxter (1989) ha studiato le concezioni dei bambini, riscontrando una progressiva evoluzione delle idee, ma anche una forte resistenza dei modelli individuali. L'autore riporta le stesse idee trovate negli studi di Nussbaum, sottolineando come per i ragazzi sia difficile far coincidere la loro esperienza sensoriale con il concetto di gravità come forza direzionale verso il centro della Terra. In Figura 2 sono riportate le concezioni dei bambini sulla forma della Terra individuate dall'autore.

Moto diurno e ciclo di-notte Studi riguardanti il moto diurno di Sole-Terra e il ciclo di-notte sono esposti nei lavori di Vosniadou e Brewer (1994) e di Baxter (1989). Da queste ricerche emergono alcune idee comuni presenti nei bambini, tra cui quella di un'alternanza di-notte causata dal movimento del Sole attorno alla Terra. Nei casi più ingenui, addirittura,

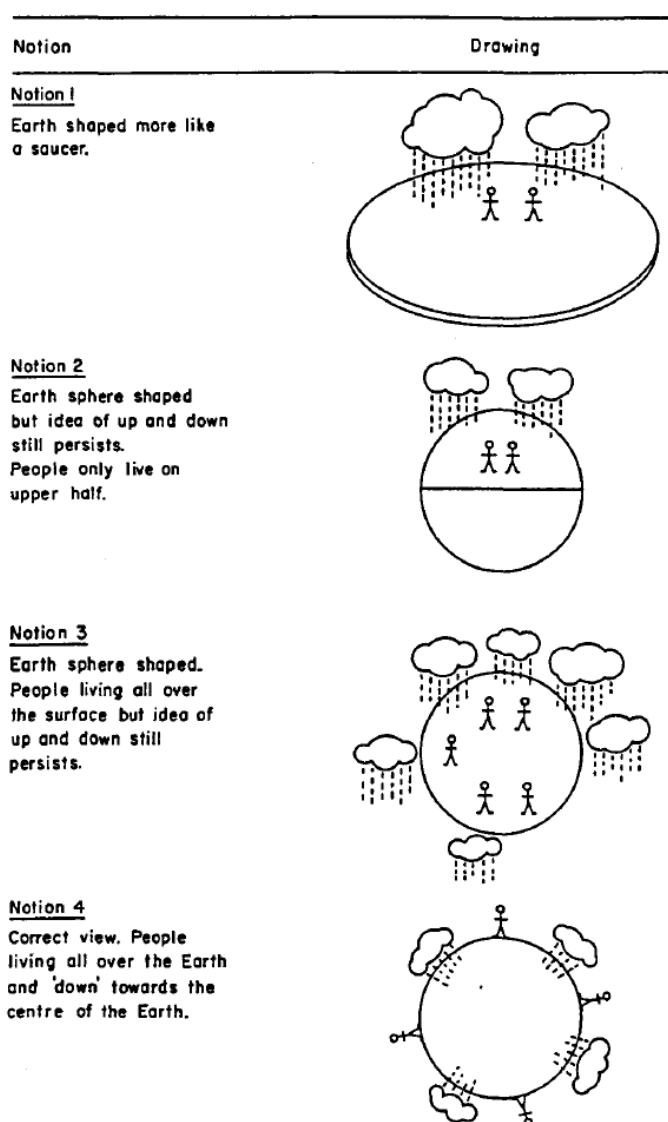


Figura 2: Concezioni dei bambini sulla forma della Terra individuate da Baxter (1989).

i bambini parlano del Sole che si nasconde dietro la montagna, oppure del Sole nascosto dalle nuvole o dalla Luna. In altri casi gli studenti accettano l'idea che la Terra ruoti, ma mantengono contemporaneamente l'idea del Sole in movimento che causa il ciclo dì-notte. Baxter sottolinea che l'idea della Terra in movimento rispetto al Sole è in contrasto rispetto alla percezione quotidiana che hanno i bambini, ossia che la Terra appare ferma e il Sole invece si muove. Per questo motivo, i modelli scientifici faticano ad affermarsi se non supportati da attività didattiche esplicite, visive e dialogiche, che aiutino a superare la percezione immediata. In Figura 3 sono riportate le concezioni dei bambini sul ciclo dì-notte individuate dall'autore.

Stagioni Un altro tema molto indagato nella didattica in astronomia riguarda le stagioni: esso rappresenta una delle difficoltà concettuali più persistenti sia nei bambini che negli adulti. Nello studio di Baxter (1989) relativo alle concezioni astronomiche di bambini e ragazzi,

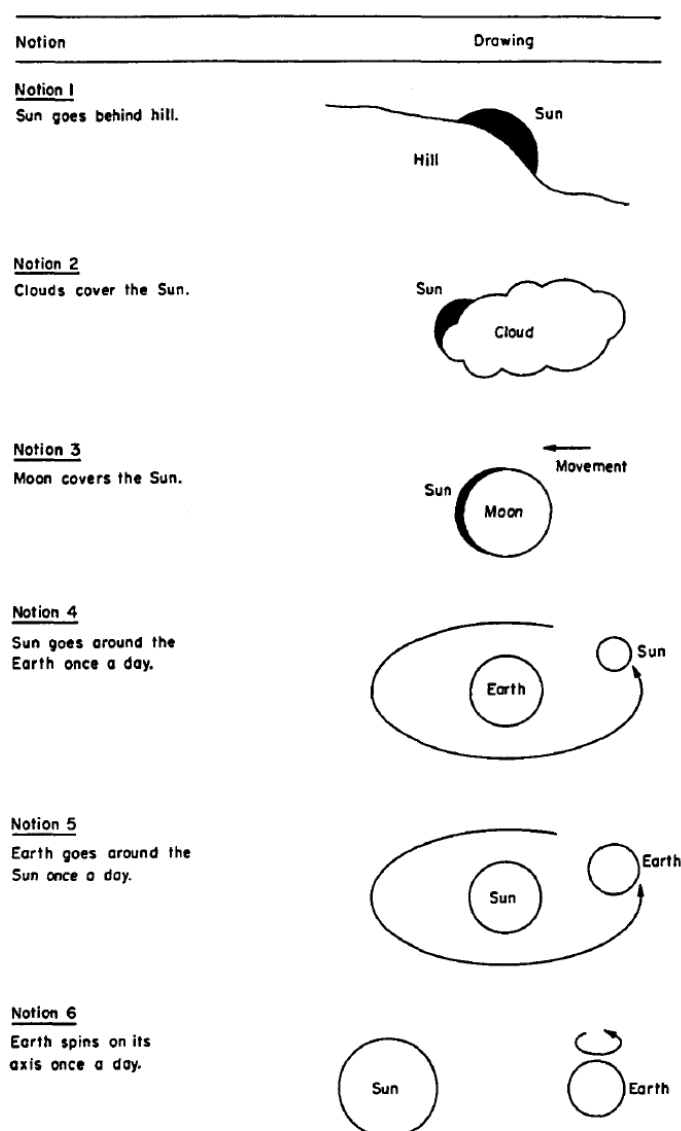


Figura 3: Concezioni dei bambini sul ciclo di-notte individuate da Baxter (1989).

l'autore mette in luce alcune idee che gli studenti hanno riguardo il motivo delle stagioni. Si passa dall'idea di corpi esterni, quali altri pianeti o pesanti nubi invernali, che limitano e tolgono calore al Sole, all'idea di un Sole che si sposta per far arrivare l'estate in zone diverse. L'idea erronea più comune è quella secondo cui le stagioni dipendano dalla distanza della Terra dal Sole: molti studenti ritengono che in estate la Terra sia più vicina al Sole, mentre in inverno sia più lontana. Questa spiegazione è giustificata dall'esperienza quotidiana secondo cui più siamo vicini a una fonte di calore e più sentiamo caldo. In Figura 4 sono riportate le concezioni dei bambini sulle stagioni individuate dall'autore.

Anche dopo anni di scolarizzazione gli studenti faticano ad abbandonare il modello secondo il quale la causa delle stagioni è da ricercare nella diversa distanza della Terra dal Sole durante l'anno. Gli studenti apprendono che la Terra si muove in un'orbita ellittica attorno al Sole, risultando così più lontana o più vicina ad esso nel corso dell'anno. Questa informazione, di per sé corretta, viene inserita in un modello sbagliato, generando una

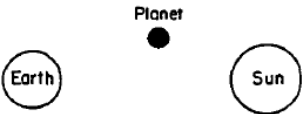
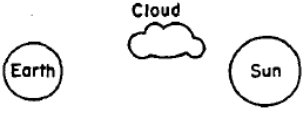
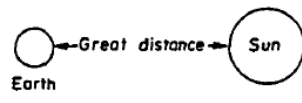
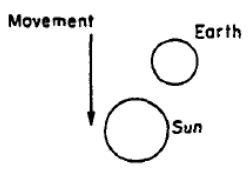
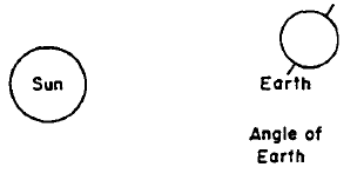
Notion	Drawing
<u>Notion 1</u> Cold planets take heat from the Sun.	
<u>Notion 2</u> Heavy winter clouds stop heat from the Sun.	
<u>Notion 3</u> Sun further away from the Earth in the winter.	
<u>Notion 4</u> Sun moves to the other side of the Earth to give them their summer.	
<u>Notion 5</u> Changes in plants cause the season	No diagram
<u>Notion 6</u> Seasons explained in terms of the Earth's axis being set at an angle to the Sun's axis.	

Figura 4: Concezioni dei bambini sulle stagioni individuate da Baxter (1989).

spiegazione secondo cui la Terra è più vicina al Sole in estate, e per questo sentiamo più caldo. In tutto ciò non viene tenuto conto dell'inclinazione dell'asse terrestre, in quanto non percepita come vera causa delle stagioni.

Come evidenziato da Baxter (1989) e successivamente ripreso da Ronchi (2013), molte concezioni ingenuie dei bambini sui fenomeni astronomici presentano notevoli analogie con le teorie scientifiche un tempo accettate come vere dalla comunità scientifica. Ad esempio, il moto apparente del Sole, presentato dagli alunni come spiegazione del ciclo dì/notte, ricalca fedelmente il modello tolemaico, accettato come vero per diversi secoli. Oppure, la convinzione che le fasi lunari siano causate dall'ombra della Terra riproduce un'ipotesi accettata in epoche precedenti all'affermazione della spiegazione eliocentrica. Questo parallelismo non è casuale: così come l'umanità ha costruito spiegazioni basandosi sull'osservazione diretta e sull'esperienza quotidiana, anche i bambini elaborano modelli coerenti con ciò che vedono, sebbene privi di una solida comprensione scientifica. Mostrare

agli alunni che le loro attuali spiegazioni non sono errori ma tappe cognitive analoghe a quelle percorse dall'umanità, e che queste loro idee erano condivise anche da grandi pensatori del passato, può avere un effetto positivo. Aiuta gli alunni a legittimare le loro idee come tappe naturali del pensiero, riducendo la percezione di errore come fallimento e facilitando il passaggio verso modelli scientificamente corretti. Inoltre, questo approccio consente di integrare la storia della scienza come risorsa didattica, dimostrando come la conoscenza scientifica non sia una collezione di teorie di successo e di vittorie, ma piuttosto il frutto di un'evoluzione storica e collettiva, ricca di errori, ripensamenti e cambiamenti concettuali.

1.3 Perché è importante insegnare astronomia

Come è stato detto all'inizio del Capitolo 1.1, l'astronomia è diventata oggi una disciplina specialistica, poco studiata a scuola e nei corsi universitari non dedicati. In Italia viene affrontata principalmente nel primo ciclo di istruzione, ossia alla scuola primaria (o "scuola elementare" nel linguaggio comune) e alla scuola secondaria di primo grado (o "scuola media"). Nelle *Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo d'istruzione* (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR), 2012), gli obiettivi di apprendimento che riguardano l'astronomia sono i seguenti:

- Scienze, obiettivi di apprendimento al termine della classe terza di scuola primaria: «[...] *Avere familiarità con la periodicità dei fenomeni celesti (di/notte, percorsi del sole, stagioni).*»
- Scienze, obiettivi di apprendimento al termine della classe quinta di scuola primaria: «[...] *Ricostruire e interpretare il movimento dei diversi oggetti celesti, rielaborandoli anche attraverso giochi col corpo.*»
- Scienze, obiettivi di apprendimento al termine della classe terza della scuola secondaria di primo grado: «[...] *Osservare, modellizzare e interpretare i più evidenti fenomeni celesti attraverso l'osservazione del cielo notturno e diurno, utilizzando anche planetari o simulazioni al computer. Ricostruire i movimenti della Terra da cui dipendono il dì e la notte e l'alternarsi delle stagioni. Costruire modelli tridimensionali anche in connessione con l'evoluzione storica dell'astronomia. Spiegare, anche per mezzo di simulazioni, i meccanismi delle eclissi di sole e di luna. Realizzare esperienze quali ad esempio: costruzione di una meridiana, registrazione della traiettoria del sole e della sua altezza a mezzogiorno durante l'arco dell'anno.*»

Nelle *Indicazioni nazionali per i percorsi liceali* (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR), 2010) è riportata la stessa dicitura per tutti i licei (liceo artistico e relativi indirizzi, liceo classico, liceo linguistico, liceo musicale e coreutico, liceo scientifico e sua opzione delle scienze applicate, liceo delle scienze umane e sua opzione economico-sociale):

- Scienze naturali, primo biennio: «[...] *Per le scienze della Terra si completano e approfondiscono contenuti già in precedenza acquisiti, ampliando in particolare il quadro esplicativo dei moti della Terra.*»

Dalle *Indicazioni nazionali* si capisce che la maggior parte dei concetti astronomici viene insegnata principalmente alla scuola secondaria di primo grado, e ripresa poi nel primo biennio del liceo, in modo più o meno approfondito a seconda dell'interesse dell'insegnante

e della classe. L'educazione astronomica però avviene anche in molti altri luoghi al di fuori dell'aula scolastica: nei musei, nei planetari, nelle riviste, nei libri, nei social network, alla TV. In tutte queste occasioni non sono solo gli studenti a trarne beneficio e a imparare, ma anche gli adulti, gli appassionati, e tutti coloro che sono interessati e affascinati da questa materia. Viste le numerose occasioni per approfondire temi astronomici al di fuori dell'ambiente scolastico è lecito chiedersi se sia ancora importante proporre l'astronomia come materia curricolare.

John R. Percy risponde a questa domanda nel suo articolo *Teaching Astronomy: Why and How?* (Percy, 2006). L'astronomia ha sempre profondamente influenzato la nostra storia e la nostra cultura: non è esagerato immaginare che nasca con noi esseri umani. Essa è il frutto di un lungo percorso fatto di osservazioni, misurazioni, credenze religiose e filosofiche, intrecciate con lo sviluppo del pensiero scientifico. È una storia di grandi teorie, ma anche di errori, passi falsi, modelli superati, di continui ripensamenti. Conoscere la storia dell'astronomia vuol dire conoscere la storia dell'uomo. Studiare astronomia significa, inoltre, confrontarsi con le grandi domande che da sempre tormentano l'essere umano: chi siamo? Da dove veniamo? Qual è il nostro posto nell'universo? Attraverso i secoli e le culture queste domande hanno sviluppato la storia dell'uomo e tuttora contribuiscono a sviluppare una visione del mondo critica, ampia e consapevole.

L'astronomia non è solo contemplazione del cielo: essa ha avuto, e continua ad avere, anche importanti implicazioni pratiche. Il calcolo del tempo, la definizione dei calendari, la comprensione delle stagioni e dei cicli naturali, la navigazione, la meteorologia, il funzionamento di tecnologie come il GPS. Tutti i giorni abbiamo a che fare con l'astronomia: quando vediamo il Sole sorgere, quando vediamo il primo quarto di luna sull'orizzonte, quando distinguiamo l'estate dall'inverno. Tutti fenomeni così familiari e quotidiani da rendere in apparenza quasi superfluo interrogarsi sulle loro cause, ma che allo stesso tempo hanno alla loro base concetti astronomici, che - come mostrerò in questo lavoro - possono risultare ignoti a fasce sorprendentemente ampie di popolazione.

Come detto da Percy (1997), a livello scolastico l'astronomia offre un'alternativa alla modalità sperimentale del metodo scientifico: la modalità osservativa. L'osservazione del cielo stimola domande, ipotesi, costruzione e verifica di modelli. Studiare il moto apparente del Sole durante la giornata, l'inclinazione dei raggi solari durante l'anno o le fasi della Luna permette agli studenti di sviluppare capacità di osservazione, descrizione e interpretazione dei fenomeni. Inoltre, questi contenuti costringono a confrontarsi con grandezze e ordini di misura molto diversi da quelli a cui solitamente si è abituati, ampliando la comprensione del mondo fisico e favorendo lo sviluppo di un pensiero critico e analitico.

È inoltre importante evidenziare come l'astronomia, forse più di ogni altra disciplina scientifica, affascini, sviluppi l'immaginazione e incuriosisca. Genera stupore nei più giovani, ma coinvolge anche il pubblico adulto; stimola l'interesse e accompagna alla scoperta dell'universo. Per questo, l'astronomia può essere non solo uno strumento per apprendere, ma anche un'occasione per appassionarsi alla conoscenza, per scoprire - o riscoprire - il piacere di interrogarsi sul mondo.

Un ulteriore punto di forza dell'insegnamento dell'astronomia è l'interdisciplinarietà, perché l'astronomia rappresenta un punto di incontro tra diverse materie. È collegata alla fisica, in quanto permette di spiegare con esempi pratici concetti altrimenti ostici, come gravitazione, relatività, luce, spazio e tempo. È collegata alla matematica, perché i fenomeni celesti vengono descritti e modellizzati da leggi matematiche precise. È collegata all'arte, perché le

testimonianze di grandi eventi astronomici del passato ci arrivano anche da quadri e opere di autori che hanno colorato le loro tele con lo stupore di ciò che vedevano in cielo. Ma l'astronomia si collega anche alla chimica (composizione stellare e planetaria), alla geografia (coordinate celesti, orientamento), alla filosofia (epistemologia, cosmologia), alla letteratura (poesie e racconti del cielo stellato).

Nel contesto attuale, caratterizzato da una crescente iperspecializzazione del sapere, ma allo stesso tempo dalla necessità di connessioni interdisciplinari, l'insegnamento dell'astronomia può giocare un ruolo chiave nel superare la frammentazione del sapere scolastico. Al giorno d'oggi non è più sufficiente parlare solo di singole materie, perché le frontiere della ricerca e del sapere richiedono competenze trasversali. La dimensione interdisciplinare rappresenta una sfida sociale ed educativa cruciale, che coinvolge la dimensione epistemologica, istituzionale, politica, culturale e formativa. Proporre percorsi didattici centrati sull'astronomia significa dunque offrire agli studenti un'occasione per integrare saperi diversi e sviluppare competenze trasversali. Ed è proprio sulla base di questa convinzione che si fonda il lavoro di tesi, come verrà raccontato nei prossimi capitoli.

2 Approccio storico alla didattica dell'astronomia: un caso studio

2.1 Presentazione del progetto di tesi

Il progetto di tesi qui descritto si colloca nell'ambito della ricerca in didattica dell'astronomia presentato nel capitolo precedente. Si tratta di un intervento didattico pensato e realizzato con finalità esplorative, senza la pretesa di trarre conclusioni generalizzabili o di validare modelli teorici. Il lavoro si configura come un esempio di caso studio, limitato sia nel tempo sia nel campione di studenti partecipanti: per questo motivo non è stato possibile trarre conclusioni statisticamente robuste. Tuttavia, ritengo che quanto verrà presentato nelle prossime pagine sia utile per illustrare modalità di progettazione e realizzazione di un'attività interdisciplinare di astronomia nella scuola secondaria di secondo grado e riflettere su possibili modalità di inserimento dell'astronomia nella didattica.

Il progetto nasce dalla consapevolezza che l'astronomia sia una disciplina poco trattata nei curricula scolastici (Bailey e Slater, 2003; Percy, 2006) e che molti studenti presentino spesso conoscenze frammentate o misconcezioni riguardo ai fenomeni astronomici di base (Jones et al., 1987; Baxter, 1989; Sadler, 1992; Lindell e Olsen, 2002). A partire da queste premesse, ho ideato un breve percorso didattico rivolto a due classi terze del liceo scientifico, con l'obiettivo di integrare contenuti astronomici e contesto storico. L'argomento scelto è stato "Storia ed evoluzione del calendario", che ha permesso di collegare naturalmente concetti astronomici più tecnici quali moti della Luna, della Terra, del Sole, a un contesto storico di trasformazioni ed evoluzioni concettuali. In questo modo ho potuto presentare agli studenti una lezione che non offrisse solo nozioni scientifiche, ma anche una prospettiva interdisciplinare che mettesse in evidenza il legame tra osservazione astronomica, sviluppo delle civiltà ed evoluzione del pensiero scientifico.

Di seguito vengono riportati nel dettaglio gli obiettivi, il campione e le modalità per questo progetto.

2.1.1 Obiettivi

L'intervento didattico è stato progettato con l'intento di raggiungere più obiettivi.

- **Obiettivo principale:** verificare l'interesse e il coinvolgimento degli studenti in lezioni di astronomia inserite in un percorso storico, valutando al contempo il loro livello di comprensione e rielaborazione dei contenuti trattati.
- **Obiettivi secondari:**
 - Analizzare il livello di conoscenze e competenze pregresse in astronomia, confrontandolo con quanto riportato dalla letteratura riguardo alla presenza di misconcezioni diffuse.
 - Offrire un'esperienza diretta di didattica dell'astronomia, dando agli studenti la possibilità di conoscere una materia marginale nei curricula scolastici.

- Sperimentare un percorso interdisciplinare che unisca aspetti storici e scientifici, valorizzando connessioni tra discipline e promuovendo una visione più ampia della conoscenza.

2.1.2 Campione

Il campione era costituito da due classi terze del Liceo "A. Rosmini" di Rovereto (TN), indirizzo Scientifico con opzione Scienze Applicate:

- classe 3ASA: 25 studenti;
- classe 3BSA: 14 studenti.

I ragazzi e le ragazze coinvolte avevano un'età compresa tra i 16 e i 17 anni. Non tutti gli studenti sono stati presenti per tutta la durata del progetto, di conseguenza il numero di persone che ha risposto ai test varia e verrà riportato di volta in volta.

2.1.3 Metodologia

Il progetto si è articolato in tre fasi, ognuna svolta a distanza di circa una settimana dalla precedente e dalla successiva.

1. **Test iniziale.** Il test iniziale si è svolto sotto forma di questionario a risposta multipla online. Le prime domande erano volte a raccogliere informazioni dirette sulle esperienze pregresse di astronomia degli studenti e sull'interesse per il mondo scientifico, in particolare per la fisica e l'astronomia, nonché più nello specifico verso il progetto al centro di questa tesi. Le successive domande erano volte a capire le loro conoscenze astronomiche su fenomeni come il moto di Sole-Terra-Luna, le stagioni, le fasi lunari. L'ultima domanda era di autovalutazione. Presenterò in dettaglio questo test nel Capitolo 3.
2. **Lezioni.** Gli studenti hanno partecipato a due ore di lezione da me tenute, distribuite in due giornate diverse (un'ora ciascuna) a distanza di una settimana circa. Le lezioni erano di tipo frontale e sono state supportate da una presentazione multimediale. Nonostante ciò, ci sono stati diversi momenti di interazione con la classe: gli studenti hanno avuto occasione di intervenire attivamente, ponendo domande per chiarire i concetti esposti o condividendo riflessioni ed esperienze personali. Anche da parte mia ci sono state domande rivolte alla classe per stimolare la partecipazione e favorire la costruzione condivisa del discorso. Ho cercato di mantenere uno stile adatto a una lezione scolastica, ma al tempo stesso capace di suscitare l'interesse e l'attenzione dei ragazzi, facendo ricorso a esempi vicini alla loro quotidianità e utilizzando un linguaggio accessibile ma rigoroso.
3. **Test finale.** Al termine del percorso è stato somministrato un questionario online a risposta multipla, volto a valutare conoscenze e competenze acquisite, rilevare eventuali cambiamenti nell'interesse per l'astronomia, raccogliere riscontri qualitativi sull'esperienza didattica proposta. Presenterò il questionario e i relativi risultati nel Capitolo 4.

Come detto, questo capitolo è dedicato alla presentazione della lezione di astronomia proposta agli studenti delle classi terze del Liceo Scientifico. Il tema scelto, la storia e l'evoluzione del calendario, ha permesso di intrecciare aspetti storici e scientifici, offrendo un'occasione per affrontare l'astronomia in una prospettiva interdisciplinare. La lezione ha ripercorso il passaggio dai primi calendari lunari fino alle riforme romana, giuliana e gregoriana, soffermandosi anche sul contributo di Giovanni Domenico Cassini e sulla meridiana da lui realizzata nella Basilica di San Petronio a Bologna. Attraverso questo percorso, sono stati introdotti e approfonditi i moti di Sole, Terra e Luna, le stagioni e le fasi lunari, collegando i concetti scientifici all'evoluzione storica dei calendari e degli strumenti di misura. Gli obiettivi principali erano quelli di far vivere agli studenti un'esperienza diretta di didattica dell'astronomia - disciplina poco presente nei curricoli scolastici - e di mostrare come la conoscenza del cielo sia da sempre legata alla vita quotidiana e alla storia delle civiltà. L'intento era quindi non solo trasmettere nozioni, ma stimolare curiosità, favorire collegamenti tra discipline e promuovere una visione più ampia e integrata del sapere.

2.2 Introduzione

Che cosa sappiamo davvero sull'origine dell'universo? Quando e come ha avuto inizio tutto ciò che conosciamo? Queste domande hanno affascinato l'umanità fin dai suoi albori, suscitando riflessioni e teorie diverse a seconda delle epoche e delle culture. Anche oggi, le risposte variano, anche solo all'interno della comunità scientifica.

Un cosmologo contemporaneo, ad esempio, farebbe riferimento alla teoria del Big Bang. Secondo questa visione, miliardi di anni fa tutto ciò che esisteva - spazio, tempo ed energia - era concentrato in un minuscolo punto estremamente denso e caldo, chiamato *singolarità*. In un istante, questo si espanse con incredibile rapidità, dando luogo a quello che viene comunemente definito come il Big Bang. Da lì, l'universo ha iniziato a raffreddarsi e ad evolversi, con un processo che ha portato al disaccoppiamento tra materia e radiazione. Un astrofisico, però, potrebbe sostenere che non è davvero lì che tutto è iniziato. La teoria del Big Bang si basa infatti sulla relatività generale di Einstein, che descrive l'universo solo a partire dalla singolarità. Secondo alcune ipotesi, prima di quel momento ci sarebbe stata una fase chiamata *inflazione*, dominata non dalla materia o dalla luce, ma da una forma di energia sconosciuta, detta *energia oscura*. Altri ancora, sulla base di recenti sviluppi della fisica quantistica applicata alla cosmologia, suggeriscono un'idea più radicale: che l'universo non abbia avuto né un inizio né avrà una fine, ma che sia sempre esistito in qualche forma, eternamente.

Quindi cosa sappiamo dell'inizio dell'universo? È una domanda alla quale ancora oggi si cercano delle risposte. Fin dal principio l'essere umano ha osservato il cielo in cerca di risposte e spiegazioni: dal movimento delle stelle all'alternarsi delle stagioni; dal susseguirsi di giorno e notte al cambiamento delle fasi della Luna. Le prime popolazioni hanno cercato di dare un significato a questo spettacolo celeste attraverso miti e leggende che parlano di eroi e di divinità, che intrecciano il loro destino al moto degli astri nel cielo. A questo aspetto più suggestivo e metafisico dell'osservazione del cielo notturno se n'è però sin da subito aggiunto un altro: la ricerca nel cosmo di un ordine, una regolarità che potesse aiutare a misurare lo scorrere del tempo. L'astronomia, in questo senso, è nata anche come risposta a un bisogno pratico e universale: quello di organizzare la vita quotidiana, l'agricoltura, le feste religiose e i cicli della natura.

I primi osservatori del cielo a lasciare una traccia delle loro osservazioni che è giunta fino a noi furono i Sumeri. Scrutavano gli astri per interpretare la volontà degli dèi e predire il futuro, intrecciando strettamente religione e astrologia. Nel corso del tempo, osservando con attenzione i cicli del Sole, della Luna e delle stelle, Babilonesi ed Ebrei svilupparono sistemi sempre più elaborati per contare e ordinare i giorni. Essi crearono calendari lunari, in cui i mesi duravano circa 29 o 30 giorni, in armonia con il ciclo della Luna. Anche gli Egizi vedevano nel cielo la dimora delle loro divinità, come Ra, il dio Sole, e Nut, dea del cielo, e costruirono un calendario scandito dal ritorno ciclico della stella Sirio. Queste antiche civiltà iniziarono a misurare i movimenti dei pianeti, a prevedere le eclissi lunari, e a organizzare tali conoscenze in tavole e calendari astronomici.

Furono poi i Greci i primi a trasformare il mito in indagine razionale sull'ordine naturale che lega i fenomeni dell'universo: filosofi come Talete, Pitagora e Aristotele tentarono di spiegare l'universo con leggi e principi matematici. Greci e Romani basavano il loro tempo sul moto apparente del Sole, costruendo calendari solari che riflettevano il ritmo delle stagioni e la durata dell'anno tropico³. Questi primi calendari non erano semplici strumenti di misura: rappresentavano il tentativo di dare ordine al tempo. Questo tentativo era guidato non solo dall'osservazione razionale, ma anche dal desiderio di connettersi con il divino e con il cosmo. La storia dei calendari, dunque, è anche la storia dell'umanità e del suo desiderio di dare un senso al tempo attraverso il linguaggio delle stelle.

Con il passare dei secoli, le osservazioni e la ricerca scientifica progredirono. Tolomeo elaborò un modello geocentrico dell'universo, destinato a dominare il pensiero occidentale per oltre un millennio. Ma fu solo con Copernico, Keplero e Galileo che l'astronomia si liberò dai vincoli delle antiche credenze, scardinando la Terra dal centro dell'universo, e inaugurando così l'era della scienza moderna. Newton, con la sua legge di gravitazione universale, svelò il meccanismo invisibile che governa i movimenti dei corpi celesti, aprendo la strada alla comprensione del cosmo. L'astronomia divenne una scienza esatta, capace di spiegare le leggi che governano il movimento dei corpi celesti.

Oggi, grazie a telescopi potenti e sonde spaziali, esploriamo galassie lontane nel tempo e nello spazio, scopriamo stelle nate e morte migliaia di anni fa, indaghiamo le onde gravitazionali e la radiazione spaziale. La storia però non finisce qui, perché più andremo avanti e più le nuove tecnologie ci porteranno a scoprire i segreti che l'universo ha in serbo. Se gli strumenti che abbiamo a disposizione sono enormemente più potenti di quelli usati in passato, il desiderio di scoprire e comprendere l'universo rimane immutato oggi come allora: la curiosità e la meraviglia ci spingono a scrutare il cielo e ci lasciano affascinati dai misteri che esso nasconde.

2.3 Storia dell'astronomia

«Dobbiamo ricordare che la storia dell'astronomia è un viaggio a ritroso nel tempo, in culture estranee al nostro modo di pensare moderno, e che, come i buoni antropologi, dobbiamo cercare di vedere il mondo attraverso gli occhi e la mente di tali culture. Quel che dà alla storia dell'astronomia il suo speciale interesse è il fatto che il suo oggetto di ricerca - quel

³L'anno tropico è il tempo che intercorre tra due equinozi primaverili successivi, ossia tempo impiegato dal Sole per tornare nella stessa posizione vista dalla Terra, corrispondente al ciclo delle stagioni. La sua durata è di 365,2422 giorni solari medi, ossia 365 giorni, 5 ore, 48 minuti, 46 secondi.

cielo che le culture preistoriche, antiche e medievali cercarono di capire - è lo stesso cielo che esplorarono gli astronomi moderni.» (Hoskin, 2017)

Archeoastronomia L'astronomia è la scienza che studia i corpi celesti e i fenomeni a essi associati. Essa è una delle più antiche scienze, e non è esagerato pensarla nata assieme all'essere umano. È difficile però datarne con precisione le origini perché non esistono prove certe che consentano di datare le prime osservazioni astronomiche della storia umana. Per questa prima fase iniziale si parla di archeoastronomia, ossia una combinazione di studi astronomici e archeologici. Un esempio di questa prima astronomia è il complesso di **Stonehenge**, il monumento paleolitico più noto costruito sulle basi di una precisa conoscenza astronomica. Altri esempi sono i tumuli di Newgrange (Irlanda), i Menhir, le torri inca di Cuzco o di Machu Picchu. Da alcuni storici questi vengono considerati i primi osservatori astronomici della storia; queste strutture dimostrano l'antico legame che da sempre ha unito l'essere umano al cielo, ma anche l'ottima capacità di precisione delle osservazioni.

Più gli studi sull'archeoastronomia procedono e più si hanno prove sulle conoscenze astronomiche dei popoli antichi, spostando la data d'inizio delle prime osservazioni celesti sempre più indietro nel tempo.

Le ultime scoperte legano gli studi del cielo alle **Grotte di Lascaux** (Francia), dove gli storici hanno visto nelle pitture rupestri della cosiddetta Sala dei Tori riferimenti a costellazioni e asterismi⁴. Questo porterebbe a datare la prima forma di astronomia al Paleolitico superiore, compreso tra il 15.000 a.C. e il 13.000 a.C.. In particolare, gli studiosi hanno notato nella Sala dei Tori il disegno di un uro, sopra la cui spalla sarebbe distinguibile l'ammasso delle Pleiadi. Inoltre, le corna dell'animale rappresenterebbero la costellazione del Toro, e l'occhio corrisponderebbe alla stella Aldebaran. Più sotto si possono individuare anche tre puntini che individuano la cintura di Orione nella medesima costellazione (cfr. Figura 5, sinistra). In un'altra zona delle grotte gli studiosi avrebbero individuato due calendari lunari: ai piedi di un cavallo selvaggio si notano 29 puntini scuri e allineati che potrebbero rappresentare i giorni di un mese lunare; in un'altra parete sotto la figura di un grande cervo si nota una sequenza di 13 puntini e un quadrato vuoto, che potrebbero rappresentare metà ciclo lunare e il novilunio (cfr. Figura 5, destra) (Maragno, 2024).

Un altro sito molto importante è quello di **Warren Field**. Si tratta di un insieme di 12 buche risalenti all'incirca all'8000 a.C., che vengono interpretate come il primo esempio di calendario. Esse sembrano riprodurre le fasi della Luna per seguire i mesi lunari. Questo è considerato il primo esempio di struttura di rilevazione del tempo.

Sumeri Il primo popolo di astronomi della storia è stato quello dei Sumeri (IV-III millennio a.C.). Essi notarono - forse non per primi - che alcuni punti luminosi della volta celeste si spostavano con il passare del tempo, rispetto ad altri che invece rimanevano immobili. Questi ultimi venivano chiamati *stelle fisse*, mentre i corpi in moto presero il nome di *stelle erranti*. Oggi forse questa distinzione a noi può sembrare una banalità, ma ottomila anni fa non lo era

⁴Le Grotte di Lascaux vennero scoperte casualmente il 12 settembre 1940 da quattro ragazzi francesi (Marcel Ravidat, Jacques Marsal, Georges Agnel, Simon Coencas). Le grotte vennero aperte al turismo dopo la seconda guerra mondiale, ma nel giro di poco tempo ci si rese conto che i dipinti presenti all'interno si stavano visibilmente danneggiando a causa dell'anidride carbonica prodotta dai visitatori. Nel 1963 le grotte vennero definitivamente chiuse al pubblico. Oggi l'unico modo per vedere le grotte è visitare Lascaux II (1983), una replica artificiale della Sala dei Tori e della Galleria Dipinta, che si trova a pochi passi dal sito originale.



Figura 5: Grotte di Lascaux, Francia. A sinistra, nella Sala dei Tori, il particolare di un uro: le corna corrispondono alla costellazione del Toro; i punti sopra la spalla dell'uro corrispondono all'ammasso delle Pleiadi; i puntini a fianco corrispondono alla cintura della costellazione di Orione (Barberis, 2019). A destra, sotto l'animale sono raffigurati 13 puntini neri e un quadrato vuoto, che potrebbero rappresentare metà ciclo lunare (Codex, 2015).

per nulla, e questa scoperta deve aver rappresentato un evento molto importante. Questo infatti può avvenire solo grazie a un'osservazione sistematica e regolare, e verosimilmente anche grazie a qualche forma di registrazione delle osservazioni precedenti: tutti elementi che sono presenti nel moderno metodo scientifico. Nonostante la complessità insita nelle campagne di osservazione, lo studio del moto degli astri in cerca di regolarità e ciclicità accomuna molti popoli antichi. I Sumeri furono i primi a misurare esattamente i moti planetari e a prevedere le eclissi di Luna.

Maya I Maya (circa V secolo a.C. - 1697 d.C.) svilupparono un calendario estremamente sofisticato, testimoniando la loro profonda attenzione per il tempo e i suoi cicli. Realizzarono affreschi e iscrizioni che portano traccia delle loro misurazioni del tempo e strutture architettoniche spesso declinate in funzione del calendario. Utilizzavano almeno tre sistemi principali di computo temporale:

- *Haab*: un anno solare di 365 giorni, composto da 18 mesi di 20 giorni ciascuno, a cui si aggiungevano cinque giorni finali detti Wayeb, considerati un periodo sfortunato;
- *Tzolk'in*: un calendario sacro di 260 giorni, derivato dall'incrocio ciclico dei numeri da 1 a 13 con venti nomi di giorni, utilizzato per rituali, eventi cerimoniali e divinazioni;
- *Calendario Ciclico*: l'intersezione tra Haab e Tzolk'in, che genera un ciclo completo di circa 18.980 giorni, ovvero circa 52 anni, dopo i quali la stessa combinazione data si ripete.

Grazie alla documentazione epigrafica e ai codici Maya, oggi possiamo comprendere nel dettaglio questi sistemi e il loro funzionamento. Tuttavia, è fondamentale ricordare che i Maya elaboravano queste rappresentazioni temporali in un contesto culturale molto diverso dal nostro. Anche altre culture nel passato o nel presente si orientano secondo calendari basati su eventi naturali - come le stagioni delle piogge, la migrazione degli uccelli o l'alternanza dei cicli agricoli - piuttosto che sui parametri astronomici formali. In questo senso, dobbiamo stare attenti a non trasferire i nostri modelli di pensiero sui Maya: le nostre interpretazioni rischiano di riflettere le nostre conoscenze attuali, mentre la loro visione del tempo derivava

da un'esperienza del mondo costruita su ordine simbolico, cerimoniale e osservativo, che non coincide necessariamente con la nostra razionalità scientifica moderna.

Babilonesi I Babilonesi (XXI secolo a.C. - II secolo d.C.), come tanti altri popoli antichi, tentarono di dare un ordine e uno schema al caos del cosmo, cercando una motivazione scientifica che era però celata dalla loro religione. Essi ritrovavano le loro divinità nelle stelle e nei pianeti, e attribuivano un grande valore all'interpretazione del comportamento dei corpi celesti.

Egizi Rispetto alle popolazioni precedenti e coeve, gli Egizi (3900-343 a.C.) avevano un modo completamente diverso di tenere traccia del tempo. Per loro i solstizi e gli equinozi erano di poco interesse, perché erano molto più legati alla loro terra e al fiume Nilo. Vivendo in una terra arida e con poche piogge, l'esondazione annua del Nilo era per loro un evento molto importante e degno di festeggiamenti. Ogni anno infatti, nel mese di luglio, il fiume rompeva gli argini e andava a bagnare i territori limitrofi; quando poi le acque si ritiravano a novembre, lasciavano sui campi uno strato di fango molto fertile (limo). I contadini avevano imparato a sfruttare al meglio queste piene, che consideravano un dono delle divinità. Secondo la mitologia, ogni anno il Nilo esondava perché era ricolmo delle lacrime di Iside, la dea madre della vita e della guarigione, che piangeva la morte del marito Osiride, dio della vita e della morte (Brooke-Hitching, 2020).

Per via della grande importanza di questo fiume, il calendario egizio si basava sui cicli del Nilo ed era composto da tre stagioni. La prima stagione (*Akhet*) andava da luglio a novembre, quando le coltivazioni erano sommerse dalle acque del fiume. La seconda stagione (*Peret*) andava da novembre a marzo, quando le acque si ritiravano e lasciavano riemergere i terreni. La terza stagione (*Shemu*) andava da marzo a luglio e segnava il tempo del raccolto. Il ciclo di piene era così affidabile che gli Egizi lo associavano alla levata eliacale della stella Sirio, che era altrettanto regolare ed appariva nel cielo nello stesso periodo per pura combinazione. Così il calendario egizio iniziava ogni anno con la prima comparsa di Sirio in cielo. Per gli Egizi alcune stelle specifiche erano di estrema importanza, in quanto legate al fiume Nilo e alla mitologia. Nonostante ciò, non c'è alcuna prova di una catalogazione astronomica o della registrazione di altre forme di osservazione precisa. Si pensa che gli Egizi non andassero alla ricerca di una conoscenza scientifica del movimento dei pianeti, ma che usassero il cielo semplicemente come un libro dove leggere la mitologia, e come uno strumento per misurare lo scorrere del tempo.

Greci A differenza di molte altre civiltà antiche, che spiegavano i fenomeni celesti attraverso miti e interventi divini, i Greci iniziarono a indagare la natura con un approccio razionale, cercando di interpretare i movimenti degli astri mediante osservazioni e modelli matematici. Non sono giunte fino a noi mappe celesti o disegni dell'astronomia greca, per cui le fonti principali restano le opere letterarie, come l'*Iliade* e l'*Odissea*, e i testi dei filosofi. Un ruolo fondamentale spetta ad Aristotele (384-322 a.C.), che ci permette di conoscere, tramite i suoi scritti, anche il pensiero dei filosofi più antichi oggi perduti, tra cui Talete di Mileto (circa 640/625-548/545 a.C.), Anassimandro (610-546 a.C.), Anassimene (586-528 a.C.) e Pitagora (580/570-495 a.C.).

Questi pensatori cercarono di riconoscere regolarità e cicli nel cosmo, sviluppando le prime forme di conoscenza scientifica applicata al mondo fisico. Pitagora attribuì alla sfera

lo statuto di forma perfetta, ideale non solo per la Terra ma per l'intero cosmo. Aristotele, proseguendo questa tradizione, interpretò l'eclissi lunare come una dimostrazione della sfericità terrestre, poiché l'ombra proiettata dalla Terra sulla Luna si presenta sempre circolare. Già nel IV secolo a.C., dunque, alcuni studiosi greci avevano compreso che la Terra non fosse piatta, ma sferica.

Tolomeo Claudio Tolomeo visse nell'Antico Egitto dal 100 d.C. al 170 d.C. circa, e fu un grande astronomo, matematico, geografo. La sua opera più importante prende il nome di *Almagesto* (150 d.C.) e rappresenta una delle opere astronomiche più importanti ed antiche che ci sono arrivate per intero. Il suo nome originale greco significava *grande trattato*, tradotto poi in arabo con *il massimo*. La prima traduzione in arabo risale al IX secolo d.C., eseguita da Haggiag ibn Yussuf ibn Matar su ordine del califfo Harun al Rashid, della dinastia Abasside. Grazie a questa traduzione l'opera venne introdotta in Europa nel XII secolo d.C. ed è giunta poi fino a noi. In questo lavoro Tolomeo parlò del modello niceno del moto solare, secondo cui la Terra si trova in una posizione eccentrica rispetto al moto del Sole, in modo da dare giustificazione della variazione della lunghezza delle stagioni, pur mantenendo una cosmologia geocentrica. Tolomeo aggiunse inoltre altre stelle al catalogo avviato da Ipparco e arrivò a definire 48 costellazioni, che in gran parte coincidono con quelle attuali. Fornì inoltre efficaci modelli geometrici per predire i moti dei pianeti, su delle tavole che si sarebbero rivelate utili per astronomi e astrologi.

2.4 La Luna

«La Luna, in realtà piccolissima, ci appare grande come il Sole: per questo è stata adorata come una divinità di uguale importanza. Per la regolare variabilità del suo aspetto è stata strumento di misura del tempo e simbolo di elementi contrastanti e contrapposti: da una parte Luna piena, luminosa e benevola, dall'altra Luna nuova, oscura e misteriosa. E ancora oggi, nonostante le conoscenze acquisite, nonostante l'uomo l'abbia raggiunta con sonde e spedizioni di ricerca, nonostante si siano chiariti molti problemi, e si sappia che la Luna è solo una palla di roccia che ruota nello spazio, sono ancora molti quelli che credono nella sua influenza sugli eventi terrestri, dal ritmo delle piogge alla nascita dei bambini.» (Rigutti, 2002)

Come presto vedremo, i primi calendari realizzati erano di tipo **lunare**, ossia basati sul ciclo della Luna e sulle fasi lunari. Per meglio comprendere il loro funzionamento e la loro regolarità, è doveroso fare qui un approfondimento sulla Luna, sui suoi moti e su come la vediamo dalla Terra.

La Luna è l'unico **satellite naturale** del nostro pianeta. Rispetto ai satelliti degli altri pianeti del sistema solare, la Luna è molto grande in confronto alla Terra: la sua massa infatti è 1/81 della massa terrestre, e il suo diametro, pari a 3476 km, misura 1/4 rispetto a quello della Terra. La Luna orbita attorno alla Terra a una distanza media di circa 384.400 km dal nostro pianeta; Terra e Luna insieme orbitano attorno a un centro di massa comune che si trova a circa 4700 km dal centro della Terra. Dato che il centro di massa si trova interno alla Terra e non esterno a essa, i due corpi non sono considerati come un sistema binario, ma come uno satellite dell'altro.

2.4.1 Caratteristiche

La distanza tra Terra e Luna è sufficientemente piccola da permetterci di osservare la Luna a occhio nudo e poter distinguere zone scure e zone chiare. Le zone scure, dette **mari**, sono delle enormi distese di roccia basaltica formatesi quando l'impatto di qualche grande meteorite ha spezzato la crosta solida facendo fuoriuscire dall'interno materiale ancora fluido. Un mare celebre è il *Mare Tranquillitatis*, dove atterrò Apollo 11 nel 1969. I mari occupano circa il 17% della superficie lunare, il resto è occupato dalle zone chiare, chiamate **crateri**. Questi sono ciò che resta della superficie primitiva, in quanto derivano dall'impatto con asteroidi e meteoriti. In generale hanno dimensioni molto variabili, possono andare da pochi centimetri a centinaia di chilometri. Uno dei più famosi è il cratere *Tycho* (che prese il nome dall'astronomo Tycho Brache), ben visibile a occhio nudo.

Sull'origine della Luna non ci sono ipotesi certe, ma la più accreditata vede la presenza di un corpo chiamato Theia. Si pensa infatti che la Luna si sia formata circa 4,5 miliardi di anni fa, quando anche la Terra era ancora in fase di formazione. Successe che un corpo delle dimensioni di Marte, chiamato appunto Theia, urtò la Terra in modo violento ma non completamente distruttivo. Questo impatto scagliò nello spazio una grande quantità di materiale terrestre e di Theia. I detriti prodotti si raccolsero in orbita attorno alla Terra formando un disco, e con il tempo, attraverso un processo di accrescimento, si aggregarono e diedero vita alla Luna.

Essendo un satellite e non una stella, essa non brilla di luce propria, ma di luce riflessa. Infatti la luce che vediamo derivare dalla Luna in realtà è la luce del Sole, che raggiunge la superficie lunare, viene riflessa e arriva fino a noi. Proprio per questo motivo non vediamo la Luna sempre piena: la sua luminosità dipende dalla posizione relativa che c'è tra Luna, Terra e Sole.

2.4.2 Moti lunari

Il moto della Luna nello spazio è molto complesso: nonostante sia dominato dalla presenza gravitazionale della Terra, viene altresì influenzato in maniera non trascurabile anche dalla presenza del Sole e degli altri pianeti. Possiamo soffermarci sui due moti principali, ossia quello di **rotazione** attorno al proprio asse e quello di **rivoluzione** attorno alla Terra. La particolarità di questi due moti è che sono sincroni, ossia avvengono entrambi nello stesso verso e periodo di tempo: questa fa sì che la Luna mostri sempre la stessa faccia alla Terra. Questa sincronia è dovuta alle forze di marea esercitate dalla Terra, che nella fase iniziale della storia della Luna hanno creato dei rigonfiamenti gravitazionali. Nel tempo, questi rigonfiamenti hanno generato attrito che ha rallentato la rotazione della Luna, finché essa non è entrata in una situazione di equilibrio stabile, per cui la sua rotazione e la sua rivoluzione sono diventate di durata uguale. Questo fenomeno in realtà è molto comune, presentato ad esempio anche da molte lune di Giove o Saturno. Legato a ciò, è tipico riferirsi alla faccia nascosta della Luna chiamandola *The dark side of the Moon* (espressione usata anche dai Pink Floyd come titolo del loro album del 1973). In realtà questa espressione è fuorviante, perché non esiste un lato della Luna perennemente al buio. Quello che succede è che c'è un lato che non vediamo mai dalla Terra, il lato nascosto, ma che anch'esso riceve luce solare e vede l'alternarsi di giorno e notte.

Moto di rotazione La Luna ruota attorno al proprio asse polare, che è inclinato di un angolo $\alpha \approx 1,5^\circ$ rispetto alla perpendicolare al piano della sua orbita attorno alla Terra. Questa inclinazione (nota come obliquità) è molto piccola se confrontata con quella della Terra ($\alpha \approx 23,4^\circ$). Per questo motivo la Luna non ha stagioni vere e proprie come la Terra, perché l'illuminazione della sua superficie varia pochissimo nel corso dell'anno. Inoltre, la durata del giorno lunare (cioè il tempo che intercorre tra due albe consecutive nello stesso punto) risulta pressoché uguale a tutte le latitudini, salvo situazioni particolari vicino ai poli, dove possono esistere zone in ombra o luce quasi perpetua.

Moto di rivoluzione La Luna ruota attorno alla Terra seguendo un'orbita ellittica (eccentricità $\gamma \approx 0,055$), in cui la Terra occupa uno dei due fuochi. Il moto avviene in senso antiorario (da ovest verso est), lo stesso della rotazione lunare e della rivoluzione terrestre. Il piano orbitale della Luna è inclinato di un angolo $\theta \approx 5^\circ$ rispetto al piano dell'eclittica (il piano dell'orbita terrestre attorno al Sole). L'intersezione dei due piani è chiamata *linea dei nodi* e attraversa l'eclittica in due punti: il nodo ascendente e il nodo discendente. Questa linea non è fissa, ma ruota lentamente lungo l'eclittica, percorrendola interamente in circa 18,6 anni: un fenomeno noto come precessione dei nodi.

Nel moto di rivoluzione della Luna si distinguono due periodi differenti: il mese siderale e il mese sinodico. Il **mese siderale** (dal latino *sidereum*, che significa "stellare") è il tempo medio che la Luna impiega per completare un giro di 360° attorno alla Terra, tornando nella stessa posizione rispetto alle stelle fisse. In altre parole, è il tempo che intercorre tra due passaggi della Luna nello stesso punto dell'orbita. Il mese siderale ha una durata di 27,32 giorni solari medi, ossia 27 giorni, 7 ore, 43 minuti e 12 secondi. Il **mese sinodico** (dal latino *synodicum* e dal greco *synodikós*, che significa "riunione"), detto anche lunazione o mese lunare, è il tempo che intercorre tra due noviluni consecutivi (o, in generale, tra due fasi uguali). In altre parole, è il tempo medio che la Luna impiega per riallineare nuovamente la sua posizione con il Sole e la Terra dopo aver compiuto una rivoluzione attorno a questa. La durata media del mese sinodico è di circa 29,53 giorni, ossia 29 giorni, 12 ore, 44 minuti e 3 secondi. Si parla di durata media perché in realtà essa non è costante: può variare tra 29,27 giorni (al solstizio d'estate) e 29,84 giorni (al solstizio d'inverno), a causa delle irregolarità del moto lunare e delle influenze gravitazionali del Sole.

La differenza temporale tra mese siderale e mese sinodico deriva dal fatto che, mentre la Luna orbita attorno alla Terra, anche la Terra si sposta lungo la sua orbita attorno al Sole: la Luna deve quindi recuperare strada per riallinearsi con Sole e Terra. Facciamo un esempio considerando il plenilunio come punto di partenza. Mentre la Luna compie un giro di 360° attorno alla Terra, essa si sposta in avanti di un piccolo pezzo, quindi per ritornare ad avere un plenilunio la Luna deve avanzare anch'essa di un pezzo. In particolare, la Terra si muove attorno al Sole di quasi 1° al giorno, e quindi nei circa 27 giorni del mese siderale la Terra (assieme alla Luna) si sposta di circa 27° . Sommando tutto e tenendo conto delle imprecisioni, per riallinearsi al plenilunio la Luna deve ruotare di $360^\circ + 29^\circ \approx 389^\circ$. In conclusione, nel mese siderale la Luna compie una rotazione attorno alla Terra di 360° in 27,32 giorni, mentre nel mese sinodico la Luna ruota attorno alla Terra di 389° in 29,84 giorni. Se la Terra non ruotasse attorno al Sole ma fosse ferma rispetto ad esso, allora il mese siderale e il mese sinodico avrebbero la stessa durata e quindi coinciderebbero.

2.4.3 Fasi lunari

Durante il moto orbitale della Luna attorno alla Terra, l'illuminazione della faccia lunare rivolta verso di noi cambia a seconda della posizione del satellite rispetto alla Terra e al Sole. I diversi aspetti con cui appare la Luna sono chiamati **fasi lunari**. In Figura 6 è riportato uno schema con le diverse posizioni della Luna rispetto alla Terra e al Sole. Fin dall'antichità, le fasi della Luna hanno influenzato il comportamento umano: venivano associate ai raccolti, alla fertilità e alla gestione del tempo. Molte civiltà hanno infatti creato calendari lunari basati sul ciclo della Luna. Le principali fasi lunari sono:

- **Fase di Luna nuova** (detta anche novilunio o congiunzione): si verifica quando Sole, Luna e Terra in quest'ordine sono sulla stessa linea. La luna non è visibile perché sorge e tramonta assieme al Sole: di giorno non la vediamo perché ci mostra il lato non illuminato, di notte si trova dall'altra parte del globo. In questa fase possono verificarsi le eclissi di Sole, come discusso più in dettaglio nella prossima sezione.
- **Fase di Luna crescente**: si verifica dopo la Luna nuova, quando la parte illuminata aumenta progressivamente. A volte si può vedere una debole luminosità sul lato non illuminato: è la luce cinerea, ossia la luce solare riflessa dalla Terra.
- **Fase di primo quarto** (anche detta quadratura crescente): l'immaginaria linea che congiunge la Terra alla Luna è perpendicolare rispetto alla linea che congiunge la Terra al Sole. In questo caso si vede un quarto della superficie lunare.
- **Luna piena** (detta anche plenilunio o opposizione): si ha quando Sole, Terra e Luna in questo ordine sono sulla stessa linea. Tutto il disco ci appare illuminato perché la Luna si trova opposta al Sole. Questa fase è ben visibile durante tutta la notte perché la Luna sorge quando il Sole tramonta, e tramonta quando il Sole sorge. In questa fase possono verificarsi le eclissi di Luna, come discusso più in dettaglio nella prossima sezione.
- **Fase di Luna calante**: si verifica dopo la Luna piena, quando la parte illuminata della Luna diminuisce progressivamente.
- **Fase di ultimo quarto** (anche detta quadratura calante): l'immaginaria linea che congiunge la Terra alla Luna è perpendicolare rispetto alla linea che congiunge la Terra al Sole. In questo caso si vede un quarto della superficie lunare (quello opposto rispetto al primo quarto).

La Luna compie il suo moto di rotazione in senso antiorario se osservata dall'emisfero boreale; per questo motivo ogni giorno la vediamo sorgere circa 50 minuti più tardi. Per un osservatore che si trova nell'emisfero boreale, quando la Luna è crescente, la parte illuminata del disco è quella che si trova verso ovest (a destra), mentre quando la Luna è calante, la parte illuminata del disco è quella che si trova verso est (a sinistra). Per un osservatore che si trova nell'emisfero australe avviene il contrario: quando la Luna è crescente la parte illuminata è a est, mentre quando è calante la parte illuminata è a ovest. Questo perché nell'emisfero australe è come se si stesse guardando la Luna a testa in giù, da un punto di vista boreale: per questo motivo appare ribaltata. Un osservatore che si trova all'equatore invece vedrà lo spicchio illuminato della Luna verso nord quando essa è in fase crescente, mentre lo vedrà illuminato verso sud quando essa è in fase decrescente. Quando la Luna si trova in fase

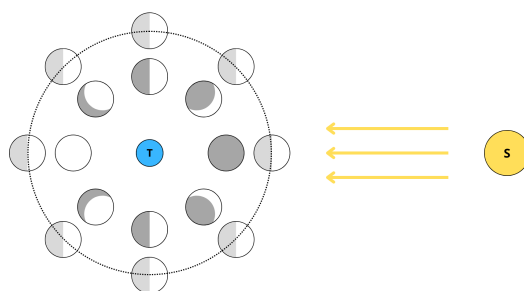


Figura 6: Schema che mostra la posizione della Luna rispetto alla Terra e al Sole, e le corrispondenti fasi lunari viste dal nostro pianeta.

calante in cui rimane visibile solo la falce inferiore, viene anche chiamata *Luna a barchetta*. In Figura 7 sono mostrate le varie fasi della Luna viste da diverse latitudini della Terra.

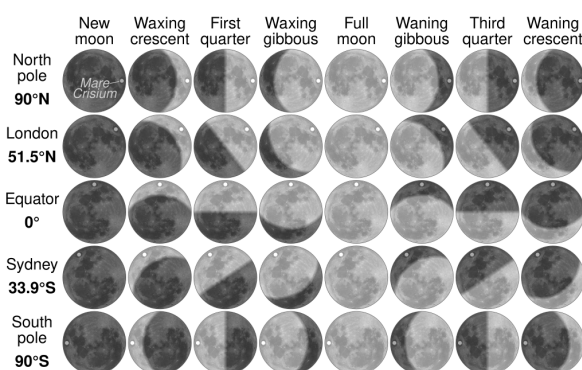


Figura 7: Fasi lunari viste da diverse latitudini della Terra (Cmglee, 2024).

2.4.4 Eclissi

Come già detto, il piano orbitale della Luna è inclinato di un angolo $\theta \approx 5^\circ$ rispetto al piano dell'eclittica. Per questo motivo, durante la Luna nuova o la Luna piena, i tre corpi (Sole, Terra e Luna) non sono quasi mai perfettamente allineati. Durante la Luna nuova, la Luna si trova tra Sole e Terra, ma di solito leggermente sopra o sotto la linea che li congiunge, quindi il Sole non viene oscurato. Durante la Luna piena, la Luna si trova dalla parte opposta della Terra rispetto al Sole, ma di nuovo leggermente spostata, quindi la luce solare la illumina completamente.

Quando però la Luna si trova esattamente su uno dei nodi (i punti in cui il suo piano orbitale interseca quello dell'eclittica), si verificano le **eclissi**, cioè l'oscuramento totale o parziale di un astro da parte di un altro. Possiamo avere due diverse tipologie di eclissi:

- **Eclissi di Sole.** Avviene durante la fase di Luna nuova, quando la Luna si interpone tra Sole e Terra. In questo caso la Luna transita per un nodo, ossia passa esattamente davanti al Sole, oscurandolo per un breve periodo. La Luna proietta così un cono d'ombra sulla Terra, che appare preciso e ristretto nelle zone centrali, mentre risulta molto più esteso nelle zone circostanti dove l'ombra è più debole e solo parziale. Quando i tre astri sono perfettamente allineati, si parla di eclissi centrale; quando

invece non lo sono, si parla di eclissi parziale. Le eclissi centrali possono essere a loro volta suddivise in: eclissi solare totale (se il disco solare viene completamente occultato), eclissi solare anulare (se la Luna è più lontana dalla Terra e non copre tutto il Sole), eclissi solare ibrida (se in alcune zone appare totale e in altre anulare).

- **Eclissi di Luna.** Avviene durante la fase di Luna piena, quando la Terra si trova tra Sole e Luna. Anche in questo caso la Luna transita per un nodo, e l'ombra della Terra oscura del tutto o parzialmente la Luna. L'ombra che la Terra produce è di forma conica ed è più ampia della Luna stessa, accompagnata anche da un cono di penombra, nel quale solo una parte dei raggi del Sole viene intercettata dalla Terra. Per questo motivo si possono avere eclissi di Luna totale (se la Luna entra totalmente nel cono d'ombra), oppure eclissi di Luna parziale (se la Luna entra solo in parte nel cono d'ombra).

Gli allineamenti tra Sole, Terra e Luna che danno origine alle eclissi solari e lunari non sono così rari come si può pensare. In un anno si possono avere da 4 a 8 eclissi, combinate in modi differenti. Le eclissi lunari sono visibili da qualsiasi punto della superficie terrestre e hanno una durata media di circa 4 ore complessive, poiché il cono d'ombra originato dalla Terra è molto grande. Le eclissi solari, invece, si possono vedere solo nella fascia terrestre dove la Luna proietta la sua ombra, durante il breve periodo di allineamento. A questo va aggiunto il fatto che non sempre le eclissi di Sole interessano zone abitate della Terra o sono accompagnate da tempo sereno: per questi motivi le eclissi di Sole sono osservate più raramente rispetto a quelle di Luna.

2.4.5 I calendari lunari e il calendario islamico

Le prime popolazioni basavano i loro calendari sul ciclo della Luna, che dura in media circa 29,5 giorni. Per questo motivo alternavano mesi di 29 e 30 giorni, formando un anno lunare di 12 mesi sinodici, cioè circa 354 giorni. Poiché l'anno lunare è più corto dell'anno solare, i mesi lunari non si allineavano con le stagioni, causando uno sfasamento di circa 10-11 giorni ogni anno.

Un esempio noto è il calendario islamico dell'Egira, il cui inizio è fissato al 16 luglio 622 d.C. (rispetto al calendario giuliano), data in cui fu compiuta l'Egira da Maometto⁵. L'anno islamico dura 354 giorni: per compensare lo sfasamento rispetto all'anno lunare che dura 354,37 giorni, ogni due o tre anni viene aggiunto un giorno supplementare all'ultimo mese. Ogni giorno inizia al tramonto del Sole e ogni mese inizia con l'osservazione della prima falce di Luna nuova.

2.5 Storia del Calendario

Come detto poco sopra, i primi calendari conosciuti erano in gran parte **lunari**, costruiti sull'osservazione del ciclo della Luna, che dura circa 29 giorni e mezzo. Questa durata portava a mesi di 29 o 30 giorni, e un anno lunare composto da circa 354 giorni. Per civiltà antiche come i Sumeri, i Babilonesi e gli Ebrei, questo tipo di scansione temporale si adattava bene alla vita quotidiana e religiosa, ma presentava una sfida: i mesi lunari non si allineano perfettamente con l'anno solare, causando uno sfasamento rispetto alle stagioni. Per risolvere questo

⁵L'Egira indica l'esodo di Maometto e dei primi musulmani dalla Mecca verso Yathrib, poi rinominata Medina (ossia *Città del Profeta*).

problema, si ricorreva a volte all'aggiunta di un tredicesimo mese ogni pochi anni, dando origine ai calendari **lunisolari**. Un esempio raffinato di calendario lunisolare è quello cinese, in uso da millenni, che ancora oggi regola molte festività tradizionali. Anche il calendario ebraico e quello babilonese appartengono a questa categoria, mostrando quanto fosse diffuso il tentativo di armonizzare Luna e Sole.

Nel frattempo, altre civiltà iniziarono a privilegiare il movimento del Sole, che determina il succedersi delle stagioni, fondamentale soprattutto per le attività agricole. Gli Egizi, ad esempio, adottarono un calendario **solare** di 365 giorni, basato sul ciclo del Sole e sull'osservazione della stella Sirio, la cui riapparizione nel cielo coincideva con la piena del Nilo. Questo calendario, straordinariamente preciso per l'epoca, influenzò profondamente anche il successivo calendario romano.

2.5.1 Calendario Romano

Con il termine *calendario romano* (o *calendario pre-giuliano*) si intende l'insieme di calendari che si utilizzarono nella **Roma Antica** dalla sua fondazione (753 a.C.) fino all'avvento del calendario giuliano, avvenuto nel 46 a.C.. Tradizionalmente, la sua istituzione viene attribuita a Romolo (771-716 a.C., primo re di Roma) nel 753 a.C. e nel corso dei secoli subì diverse modifiche, fino a essere completamente sostituito dal calendario giuliano emanato da Gaio Giulio Cesare (101-44 a.C.).

2.5.2 Romolo

Il primo calendario romano, che come detto viene tradizionalmente attribuito a **Romolo** (771-716 a.C.), era lunare, basato sul calendario lunare greco. Della struttura di questo calendario abbiamo testimonianza da alcuni autori latini, tra i quali Macrobio (IV secolo), che ne parla in *Saturnalia*, I. Il calendario era diviso in dieci mesi da 30 o 31 giorni, non propriamente basati sul ciclo della Luna perché la durata del mese lunare è di 29,5 giorni, implicando quindi mesi da 29 o 30 giorni. Il calendario iniziava con la luna piena di marzo (il 15 marzo), e prevedeva i seguenti mesi:

Martius (31 giorni), Aprilis (30 giorni), Maius (31 giorni), Iunius (30 giorni), Quintilis (31 giorni), Sextilis (30 giorni), September (30 giorni), October (31 giorni), November (30 giorni), December (30 giorni).

In totale durava quindi 304 giorni. I 61 giorni che mancavano per tornare al 15 marzo non venivano assegnati a nessun mese: si smetteva semplicemente di contare i giorni e si riprendeva il conteggio dal marzo successivo. Il nome dei primi mesi deriva dalle principali divinità, come Marte (dio della guerra), Afrodite (dea dell'amore), Maia (dea della terra), Giunone (dea della maternità e della procreazione). Gli altri mesi invece prendono il nome dalla loro posizione nel calendario. Non siamo sicuri che il calendario di Romolo fosse composto da dieci mesi: fonti antiche e lavori recenti suggeriscono che fosse invece della durata di dodici mesi. La maggior parte delle fonti storiche, tuttavia, supporta l'idea che fosse composto da 10 mesi e che il calendario da 12 mesi sia stato introdotto solo in seguito (Warne, 2016), (Treccani, 1938).

2.5.3 Numa Pompilio

Il calendario romano venne modificato nel 713 a.C. da **Numa Pompilio** (754-673 a.C.), il secondo re di Roma. Mantenendo sempre il calendario su base lunare, Numa Pompilio aggiunse due mesi prima dell'inizio dell'anno, in modo da portare il conteggio totale a dodici: il mese di gennaio e quello di febbraio. Per fare ciò, tolse un giorno da ogni mese che ne aveva 30, in modo che risultassero tutti dispari; i Romani infatti pensavano che i numeri pari portassero sfortuna. Successivamente aggiunse il mese di gennaio da 29 giorni e quello di febbraio da 28. Lo stesso febbraio veniva in realtà diviso in due parti: la prima parte terminava il 23 del mese con i Terminalia, ossia una festa antica dedicata al dio Jupiter Terminalis, la divinità protettrice dei confini di Roma; la seconda parte comprendeva i restanti 5 giorni del mese. I mesi erano quindi:

Ianuarius (29 giorni), Februarius (28 giorni), Martius (31 giorni), Aprilis (29 giorni), Maius (31 giorni), Iunius (29 giorni), Quintilis (31 giorni), Sextilis (29 giorni), September (29 giorni), October (31 giorni), November (29 giorni), December (29 giorni).

L'anno presentava così 355 giorni, 10 in meno rispetto all'anno tropico. Per mantenere la corrispondenza tra i due anni veniva aggiunto un mese intercalare, chiamato Mercedonio, ad anni alterni. Questo mese era inserito dopo la prima parte di febbraio e assorbiva anche gli ultimi 5 giorni, in più presentava altri 22 o 23 giorni. Il ciclo dunque risultava il seguente: anno da 355 giorni - anno con Mercedonio da 22 giorni - anno da 355 giorni - anno con Mercedonio da 23 giorni, e così via. L'anno con il mese Mercedonio presentava 377 o 378 giorni. Questa alternanza andava avanti per 16 anni; per i successivi 7 anni invece si avevano solo anni normali intervallati da anni con Mercedonio da 22 giorni, e a seguire c'era un altro anno normale. Si presentava così un ciclo di 24 anni, che andava ripetuto. Seppur complicato, questo ciclo basato su un'alternanza meticolosa risultava essere molto preciso per l'epoca. Facendo i calcoli si ottiene che questo ciclo è formato da 8766 giorni, che divisi per 24 anni danno una media di 365,25 giorni, molto vicina alla durata dell'anno tropico che oggi conosciamo.

In ogni mese del calendario c'erano tre giorni importanti: *Kalendae* (calende) era il primo giorno del mese; *Nonae* (none) corrispondeva al quinto giorno per i mesi da 29 o 28 giorni, e al settimo giorno per i mesi da 31 giorni; *Ides* (idi) corrispondeva al tredicesimo giorno per i mesi da 29 o 28 giorni, e al quindicesimo per i mesi da 31 giorni. Per indicare gli altri giorni si procedeva con un conteggio alla rovescia, contando i giorni che mancavano al successivo giorno principale, includendo gli estremi. Ad esempio il 13 maggio era il giorno *ante diem tertium Idus Maias*, letteralmente il *terzo giorno prima delle idi di maggio* (anche se in italiano è più giusto indicarlo come il *secondo giorno prima della idi di maggio*). Per identificare i singoli anni invece ci si riferiva ad essi con il nome del console in carica quell'anno. Solo successivamente si iniziò a contarli dalla fondazione di Roma, avvenuta nel 753 a.C.

Di questo calendario abbiamo un'importante testimonianza dai *Fasti Anziati*, un calendario romano murale affrescato risalente alla fine dell'età repubblicana (509-27 a.C.) (cfr. Figura 8). Nonostante ci sia pervenuto in forma frammentata, appare chiaro e comprensibile. Il calendario è composto da una tabella divisa in 13 colonne, corrispondenti ai mesi dell'anno. In testa a ciascuna colonna è riportato il nome del mese in forma abbreviata: IAN (Ianuarius), FEB (Februarius), MAR (Martius), APR (Aprilis), MAI (Maius), IVN (Iunius), QVI (Quintilis), SEX (Sextilis), SEP (September), OCT (October), NOV (November), DEC (December), INTER

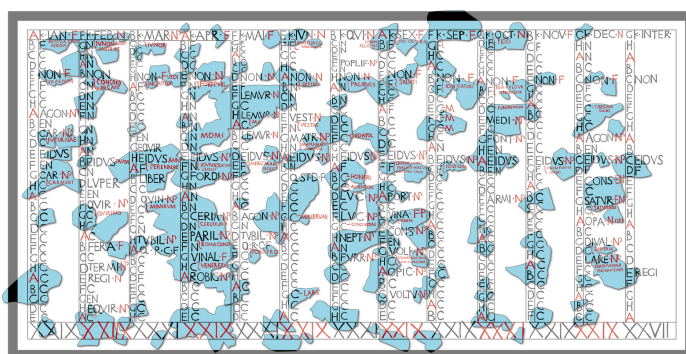


Figura 8: Ricostruzione dei Fasti Anziati, un calendario romano murale affrescato risalente alla fine dell'età repubblicana (509-27 a.C.) (Levaring, 2021).

(Intercalaris). Alla fine di ciascuna colonna è riportato il conteggio dei giorni totali di ciascun mese. Nelle righe di ciascuna colonna sono riportati i giorni, contrassegnati da una lettera che va da A a H ed indicano la sua posizione nel ciclo nundinale di 8 giorni⁶. Sono indicate anche le calende con la lettera K, le none con la sigla NON, e le idi con la sigla EIDVVS. Alcuni giorni sono contrassegnati con altre lettere: F per “fastus dies” (giorni leciti), quando le azioni legali erano permesse; N per “nefastus dies” (giorni infausti), quando le azioni legali non erano permesse; C per “comitialis dies” (giorni dei comizi), quando si potevano tenere i Comizi, ossia le assemblee politiche. Da questo affresco si può notare che l’anno parte con il primo di gennaio e non dal 15 marzo come nel calendario di Romolo. Non si conosce con esattezza il momento in cui si passò a contare i giorni dal 1° gennaio, ma lo scrittore latino Varrone (Marco Terenzio Varrone, 116-27 a.C.) ci dà testimonianza che questo cambiamento esisteva già dal 153 a.C.⁷. A confermarlo è il nome del mese di gennaio (Ianuarius in latino), dedicato a Giano Bifronte, dio degli inizi e della fine che guarda al futuro e al passato.

Il calendario di Numa Pompilio subì alcune modifiche nel corso degli anni, dovute anche al fatto che non sempre vennero aggiunti i mesi intercalari nel modo corretto. I pontefici infatti allungavano o accorciavano gli anni a loro piacimento, spesso per fini politici. Per questo motivo il calendario si trovò ad aver accumulato circa tre mesi di ritardo rispetto al ciclo delle stagioni. Questo sfasamento si risolse solo nel 46 a.C., quando Giulio Cesare introdusse il calendario giuliano (chiamato secondo il suo nome).

2.5.4 Calendario Giuliano

Il calendario giuliano venne promulgato nel 46 a.C. da **Giulio Cesare** (101-44 a.C.), che incaricò l’astronomo greco Sosigene di Alessandria di riformare il calendario romano in vigore fino a quel momento. Esso infatti aveva accumulato un ritardo di circa tre mesi rispetto al ciclo delle stagioni, tanto che l’estate cadeva nei mesi di ottobre/novembre. Sosigene suggerì a Giulio Cesare di usare un calendario solare basato sulle stagioni e sulla posizione del Sole, e di abbandonare quindi il calendario lunare.

⁶Il ciclo nundinale corrispondeva alla settimana romana, composta da 8 giorni indicati dalla lettera A alla lettera H. Ogni anno iniziava sempre dal giorno A, perciò ogni data era sempre contraddistinta dalla stessa lettera in ogni anno. La parola nundinale deriva dalla parola *nundine* (dal latino *nundinae*, composto da *novem* “nove” e *dies* “giorno”) ed indica il nono, ossia il giorno di mercato. Per loro era il nono giorno e non l’ottavo perché contavano entrambe le estremità di un ciclo.

⁷Varrone si riferisce ad una fonte perduta, un commentario di Marco Fulvio Nobiliore, console nel 159 a.C..

2.5.5 Giulio Cesare

Per correggere questo sfasamento vennero aggiunti il mese classico intercalare di 23 giorni e altri due mesi straordinari di 67 giorni in totale, inseriti tra novembre e dicembre. L'anno del 46 a.C., ossia il primo anno del calendario giuliano, fu un anno eccezionale con 15 mesi, durato nel complesso 445 giorni. Questo anno venne anche chiamato *ultimus annus confusionis* ossia "anno della confusione", per via delle grandi correzioni che si dovettero fare (Encyclopaedia Romana, 2015). Questa riforma viene raccontata anche dallo storico Svetonio (Gaio Svetonio Tranquillo, circa 69-122 d.C.) nella sua opera *De vita Caesarum* (*Vite dei Cesari* o *Vita dei Cesari* o *Vite dei dodici Cesari*). Si tratta di un'opera storiografica divisa in otto libri, che narra le vite di Giulio Cesare e degli imperatori che sono venuti dopo di lui, da Ottaviano Augusto (63 a.C. - 14 d.C.) a Domiziano (51-96 d.C.). Nel primo libro Svetonio scrive (Svetonio, Cesare, 40 (Homolaicus, 2015)):

[40] *Conuersus hinc ad ordinandum rei publicae statum fastos correxit iam pridem uitio pontificum per intercalandi licentiam adeo turbatos, ut neque messium feriae aestate neque uindemiarum autumnus conpeterent; annumque ad cursum solis accommodauit, ut trecentorum sexaginta quinque dierum esset et intercalario mense sublato unus dies quarto quoque anno intercalaretur. quo autem magis in posterum ex Kalendis Ianuariis nouis temporum ratio congrueret, inter Nouembrem ac Decembrem mensem interiecit duos alios; fuitque is annus, quo haec constituebantur, quindecim mensium cum intercalario, qui ex consuetudine in eum annum inciderat.*

[40] Dedicatosi quindi a riordinare lo stato della repubblica, corresse il calendario che l'abuso dei pontefici nell'intercalare aveva turbato a tal punto, che non coincidevano più né le ferie dei raccolti con l'estate, né quelle delle vendemmie con l'autunno; regolò l'anno sul corso del sole, in modo che avesse 365 giorni e, abolito il mese intercalare, avesse un solo giorno intercalare ogni quattro anni. Perché in futuro l'inizio dell'anno nuovo collimasse con le Calende di Gennaio, inserì altri due mesi tra Novembre e Dicembre; fu dunque l'anno, nel quale queste cose entrarono in vigore, di quindici mesi con l'intercalare, che per consuetudine cadeva in quell'anno.

Il calendario giuliano era un calendario solare, ossia basato sul ciclo delle stagioni. Era composto da 12 mesi fissi di 30 e 31 giorni, ad eccezione del mese di febbraio che ne aveva 28: in totale erano quindi 365 giorni. I mesi erano leggermente differenti da come li conosciamo noi oggi⁸:

Ianuarius (31 giorni), Februarius (28 giorni), Martius (31 giorni), Aprilis (30 giorni), Maius (31 giorni), Iunius (30 giorni), Quintilis (31 giorni), Sextilis (31 giorni), September (30 giorni), October (31 giorni), November (30 giorni), December (31 giorni).

Inoltre ogni quattro anni veniva aggiunto un giorno intercalare in più per rimanere allineati con le stagioni: questo giorno veniva aggiunto al mese di febbraio, ripetendo il giorno 24 per due volte. Era il sesto giorno prima delle calende di marzo, in latino *sextus dies ante calendas Martias*. Quando veniva ripetuto, prendeva il nome di *bis sextus dies ante calendas Martias*, che significa letteralmente "due volte il sesto giorno prima delle calende di marzo".

⁸Alcune fonti riportano una suddivisione dei giorni differente: Februarius (29), Sextilis (30 giorni), September (31 giorni), October (30 giorni), November (31 giorni), December (30 giorni). Solo con Ottaviano Augusto si sarebbe arrivati alla suddivisione che oggi conosciamo. Questa credenza arriva da una tradizione medievale, ma non è confermata da fonti romane antiche. Rimane il fatto che alcuni punti sono ancora oggetto di dibattito tra gli storici.

Per questo motivo l'anno che diventava di 366 giorni prendeva il nome di anno bisestile. Oggi il giorno in più viene aggiunto in coda al mese, introducendo il giorno 29 febbraio.

2.5.6 Ottaviano Augusto

Ottaviano Augusto (Gaio Giulio Cesare Ottaviano Augusto, 63 a.C. - 14 d.C.), il successore di Giulio Cesare, modificò leggermente il calendario giuliano. Dopo l'assassinio di Giulio Cesare nel 44 a.C., il mese Quintilis venne ribattezzato con il nome di Iulius, in onore appunto di Giulio Cesare. Allo stesso modo il mese Sextilis fu ribattezzato come Augustus, in onore di Augusto che divenne imperatore proprio in quel mese. Lo storico Svetonio riporta la riforma di Augusto nel secondo libro dell'opera *De vita Caesarum* (Svetonio, Augusto, 31 (Homolaicus, 2015)):

[31] ...Annum a Divo Iulio ordinatum, sed postea negligentia conturbatum atque confusum, rursus ad pristinam rationem redegit; in cuius ordinatione Sextilem mensem e suo cognomine nuncupavit magis quam Septembrem quo erat natus, quod hoc sibi et primus consulatus et insignes victoriae optigissent.

[31] ...Riportò alla cadenza originale il calendario che il Divo Giulio aveva riformato, ma che era poi stato turbato e confuso per negligenza; e in questo riordino ribattezzò il mese Sestile con il suo cognome, preferendolo a Settembre che era il suo mese natale, poiché in tale mese si erano verificati sia il suo primo consolato sia importanti vittorie.

Così il calendario risultava essere:

Ianuarius (31 giorni), Februarius (28 giorni), Martius (31 giorni), Aprilis (30 giorni), Maius (31 giorni), Iunius (30 giorni), Iulius (31 giorni), Augustus (31 giorni), September (30 giorni), October (31 giorni), November (30 giorni), December (31 giorni).

Da quel momento nomi e lunghezze dei mesi non vennero più modificate e ancora oggi manteniamo quelle stabilite da Cesare e Augusto. Venne anche scoperto un errore che i sacerdoti avevano fatto interpretando in modo scorretto le istruzioni di Sosigene: essi avevano aggiunto un anno bisestile ogni tre anziché ogni quattro anni, sicché si era accumulato uno sfasamento di 3 giorni. Per rimediare a ciò gli anni bisestili furono sospesi fino all'anno 8 a.C., per poi essere ripresi quell'anno, che divenne il primo bisestile dell'era cristiana. Questo errore viene raccontato anche dallo scrittore romano Gaio Plinio Secondo, detto Plinio il Vecchio (23 d.C. - 79 d.C.). Nella sua opera *Naturalis historia* (Storia naturale), nel libro XVIII, egli riporta (Plinio il Vecchio, *Naturalis historia*, Lib XVIII (Homolaicus, 2015)):

[211] Tres autem fuere sectae, Chaldaea, Aegyptia, Graeca. his addidit quartam apud nos Caesar dictator annos ad solis cursum redigens singulos Sosigene perito scientiae eius adhibito; et ea ipsa ratio postea conperto errore correctata est ita, ut duodecim annis continuis non intercalaretur, quia coeperat ad sidera annus morari, qui prius antecederat.

[211] Vi furono d'altra parte tre scuole di pensiero, la Caldea, l'Egizia, la Greca. A queste ne aggiunse una quarta tra di noi Cesare dittatore, che regolò i singoli anni sul corso del Sole avvalendosi di Sosigene che era specializzato in questa scienza; e quella stessa regola fu in seguito corretta avendovi scoperto un errore, sospendendo l'intercalazione per dodici anni di fila, poiché l'anno stava cominciando a ritardare rispetto alle stelle, che prima precedeva.

Da questo momento quindi l'anno venne ad avere 365 giorni, con l'aggiunta di un giorno ogni quattro anni. Il calendario giuliano rimase in vigore per molti secoli, anche dopo la

caduta dell'Impero Romano d'Occidente. Bisognerà aspettare il 1582 per vederlo sostituito - inizialmente solo in un limitato numero di nazioni - da un nuovo calendario, quello gregoriano.

2.5.7 Calendario Gregoriano

Come oggi sappiamo, l'anno tropico ha una durata di 365,2422 giorni solari medi⁹, ossia 365 giorni, 5 ore, 48 minuti, 46 secondi. Sono poco meno di 365 giorni e 6 ore, che corrispondono alla durata media su cui si basava il calendario giuliano. In realtà già Ipparco di Nicea (190-120 a.C.) aveva stimato una durata dell'anno di 356 giorni, 5 ore e 55 minuti (solo 7 minuti in più della stima moderna), ma probabilmente Sosigene considerò questa discrepanza trascurabile. Con il passare degli anni, la differenza tra la durata effettiva dell'anno e quella usata nel calendario, seppur minima, portò ad uno sfasamento tra il calendario utilizzato e il ciclo delle stagioni. Si perdeva infatti circa un giorno ogni 128 anni. Questo fenomeno era noto già nel medioevo, dove gli astronomi riportarono evidenza che l'equinozio di primavera e la data della Pasqua stavano lentamente arretrando. Ne parlò anche Dante (1265-1321) nella Divina Commedia, Paradiso XXVII, 142-143: «*Ma prima che gennaio tutto si sverni / per la centesima ch'è là giù negletta*». Alla fine del 1500 si notò che l'equinozio di primavera era slittato, e invece di cadere il 21 marzo arrivava l'11 marzo. Per correggere questo errore, il 24 febbraio 1582 Papa Gregorio XIII emanò la bolla papale *Inter gravissimas* che sostituì il calendario giuliano e introdusse il calendario gregoriano.

Come prima cosa venne fatta una modifica dei giorni per tornare in linea con il ciclo delle stagioni e riportare la data dell'equinozio al 21 marzo: vennero soppressi 10 giorni nel mese di ottobre 1582, passando così da giovedì 4 ottobre a venerdì 15 ottobre. Venne poi introdotto un nuovo sistema per il calcolo degli anni bisestili: rimase l'aggiunta di un giorno al mese di febbraio ogni quattro anni, con qualche variazione. Per ridurre lo sfasamento, si stabilì di diminuire il numero di anni bisestili all'interno di un ciclo di 400 anni, rendendo non bisestili gli anni multipli di 100 (che erano bisestili nel calendario giuliano) ma lasciando bisestili quelli multipli di 400. Ad esempio, gli anni 1700, 1800 e 1900 divennero non bisestili, mentre rimasero bisestili il 1600 e il 2000.

Il calendario gregoriano fu adottato subito nella maggior parte dei paesi cattolici (Italia, Francia, Spagna, Portogallo, Polonia-Lituania, Belgio-Paesi Bassi-Lussemburgo). In altri paesi trascorsero alcuni mesi o anni prima che venisse adottato ufficialmente: tra i primi, troviamo per esempio l'Austria nel 1583, e Boemia e Moravia nel 1584. Essendo stato voluto da un papa, i paesi non cattolici inizialmente rifiutarono di adottare il calendario gregoriano. In particolare, la riforma del calendario ebbe luogo nei paesi protestanti solo nel Settecento; il calendario venne adottato tra fine Ottocento e inizio Novecento in Giappone (1873), Egitto (1875), Cina (1912), Turchia (1924); in Russia addirittura si adottò nel 1918, dopo la Rivoluzione d'Ottobre, che nella datazione gregoriana ebbe luogo il 7 novembre 1917. Nella liturgia ortodossa tutt'ora non è adottato il calendario gregoriano, ma si usa quello giuliano: per questo, le festività religiose ortodosse tendono a cadere più avanti di quelle cattoliche e protestanti, anche se ciò non è sempre vero per la Pasqua. Nel periodo storico in cui in diverse parti del mondo venivano usati contemporaneamente entrambi i calendari, era abitudine anteporre alla data la sigla O.S. (*old style*) per indicare il calendario giuliano, e la sigla N.S. (*new style*) per indicare il calendario gregoriano.

⁹ Il giorno solare è il tempo che intercorre tra due culminazioni consecutive del Sole nella stessa località. Il giorno solare medio è la durata media dei giorni solari durante l'anno: dura 24 ore, ossia 86.400 secondi.

La diversa entrata in vigore del calendario gregoriano nei vari paesi portò a dei fatti storici curiosi. Un esempio è la data di nascita di **Isaac Newton**, matematico, fisico, astronomo inglese. Egli nacque a Woolsthorpe-by-Colsterworth in Inghilterra il 25 dicembre 1642. All'epoca in Inghilterra era ancora in uso il calendario giuliano: nel resto dei paesi cattolici però era già in vigore il calendario gregoriano, e secondo questo calendario Newton sarebbe nato il 4 gennaio 1643.

Un altro fatto storico degno di nota che risentì nel cambio del calendario fu la **Rivoluzione d'Ottobre**. Conosciuta anche come Grande Rivoluzione Socialista d'Ottobre, rappresenta la parte finale della Rivoluzione russa, cominciata otto mesi prima, che segnò il crollo dell'Impero russo e la successiva instaurazione della Repubblica Socialista Federativa Sovietica Russa. Viene conosciuta come "rivoluzione d'ottobre" perché avvenne a Pietrogrado (Russia) la notte tra il 24 e 25 ottobre 1917, data che si riferisce al calendario giuliano vigente in Russia in quel momento. L'anno successivo venne adottato il calendario gregoriano, ed è quindi consuetudine datare la rivoluzione al 6-7 novembre 1917, nonostante ci si riferisca a essa ancora come alla "rivoluzione di ottobre".

Addirittura ci fu una religiosa, **Teresa d'Avila** (divenuta poi Santa Teresa d'Avila il 24 aprile 1614) che nacque il 28 marzo 1515 e morì nella notte tra il 4 e il 15 ottobre 1582. Una data quantomai peculiare, che come abbiamo visto si spiega con la coincidenza tra la morte di Teresa d'Avila e il cambio tra il calendario giuliano e quello gregoriano.

2.5.8 Calcolo dell'equinozio di primavera

Per calcolare la nuova data dell'equinozio di primavera, Papa Gregorio XIII nominò una commissione a cui affidare il difficile compito. Questa era composta da vescovi, astronomi e matematici, tra cui il cardinale Guglielmo Sirleto, il vescovo Vincenzo Laureo, Cristoforo Clavio, Ignazio Danti, Luigi Lilio. Questa commissione fece diverse osservazioni astronomiche, basate principalmente su calcoli ed osservazioni già disponibili all'epoca. In un secondo momento, dopo la riforma del calendario, vennero costruite delle meridiane per motivare e verificare la correzione del calendario gregoriano. La meridiana più importante di tutte per tale scopo è la meridiana della Basilica di San Petronio a Bologna, costruita da Gian Domenico Cassini nel 1655. Un'altra meridiana importante è quella della Chiesa di Santa Maria degli Angeli a Roma, datata 1702, progettata da Francesco Bianchini su incarico di papa Clemente XI.

2.6 La Terra

Prima di addentrarci nella storia della meridiana della Basilica di San Petronio, è utile fare un breve approfondimento sul nostro pianeta, la Terra, e sui moti che essa compie. La Terra è il pianeta sul quale viviamo: si è formata circa 4,54 miliardi di anni fa, insieme al resto del Sistema Solare, a partire da una nube primordiale di gas e polveri. È il terzo pianeta in ordine di distanza dal Sole e uno degli otto pianeti che compongono il nostro sistema. Fa parte dei pianeti rocciosi o terrestri (insieme a Mercurio, Venere e Marte) ed è il più grande tra questi, con un diametro equatoriale di circa 12.742 km e una massa di circa $5,97 \times 10^{24}$ kg.

2.6.1 Moti terrestri

La Terra compie diversi moti, alcuni molto evidenti, altri più lenti e meno percepibili. In questo contesto ci concentreremo sui due moti fondamentali: il moto di **rotazione** attorno al

proprio asse e il moto di **rivoluzione** attorno al Sole.

Moto di rotazione Il moto di rotazione è il movimento che la Terra compie girando attorno al proprio asse, immaginario, inclinato di un angolo $\alpha \approx 23,5^\circ$ rispetto alla perpendicolare al piano dell'orbita terrestre (piano dell'eclittica). Questo moto è responsabile dell'alternarsi del giorno e della notte. Per questo moto si distinguono due periodi di tempo differenti: il giorno siderale e il giorno solare. Il **giorno siderale** è il tempo necessario alla Terra per completare una rotazione di 360° su sé stessa, tornando nella stessa posizione rispetto alle stelle fisse. In altre parole, è l'intervallo di tempo che separa due passaggi consecutivi della stessa stella sul medesimo meridiano. Ha una durata di 23 ore, 56 minuti e 4 secondi. Il **giorno solare** è il tempo che intercorre tra due passaggi consecutivi del Sole al meridiano di una stessa località. Ha una durata media di 24 ore.

La differenza tra il giorno siderale e il giorno solare è dovuta al fatto che, mentre la Terra ruota attorno al proprio asse, si sposta anche lungo la sua orbita attorno al Sole. Poiché i due moti avvengono nello stesso verso (da ovest verso est), dopo una rotazione completa di 360° la Terra non si trova più esattamente nella stessa posizione rispetto al Sole, ma leggermente avanzata nella sua orbita. Per rivedere il Sole nello stesso punto del cielo deve quindi ruotare ancora per circa 4 minuti. Il giorno siderale ha una durata costante di 23 ore, 56 minuti e 4 secondi, mentre il giorno solare ha una durata variabile durante l'anno, con una media di 24 ore.

Questa variazione è dovuta principalmente a due fattori. Il primo è l'orbita ellittica della Terra: secondo le leggi di Keplero, la velocità orbitale non è uniforme, ma maggiore al perielio (quando la Terra è più vicina al Sole) e minore all'afelio (quando è più lontana). Il secondo è l'inclinazione dell'asse terrestre: il Sole si sposta rispetto all'equatore celeste, e questo influisce sul tempo che intercorre tra due culminazioni successive. Infine, il rapporto tra giorno solare e giorno siderale dipende dal verso della rotazione planetaria rispetto al moto orbitale. Per la Terra infatti si ha una rotazione prograd, quindi il giorno solare è più lungo del giorno siderale. Su pianeti con rotazione retrograd, come Venere e Urano, avviene il contrario: il giorno solare risulta più breve del giorno siderale.

Moto di rivoluzione Il moto di rivoluzione è il movimento che la Terra compie orbitando attorno al Sole. Per completare una rivoluzione, il nostro pianeta impiega circa 365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 46 secondi (un anno siderale). Questo moto avviene lungo una traiettoria ellittica, descritta in senso antiorario se osservata dal polo nord celeste. L'eccentricità dell'ellisse è in realtà molto bassa, circa $\gamma = 0,0167$, tanto che appare quasi indistinguibile da un cerchio. In questa ellisse si distinguono due punti importanti: afelio e perielio. **Afelio** è il punto di massima distanza dal Sole, raggiunto tra il 3 e il 7 luglio, quando la Terra si trova a circa 152 milioni di km dal Sole. **Perielio** è il punto di minima distanza dal Sole, che cade tra il 2 e il 5 gennaio, con una distanza di circa 147 milioni di km. La differenza fra le due distanze è di circa 5 milioni di km, meno del 3% della distanza media Terra-Sole: troppo piccola per influenzare da sola le stagioni.

Le stagioni, infatti, non dipendono dalla maggiore o minore distanza della Terra dal Sole, ma dall'inclinazione dell'asse terrestre ($\alpha \approx 23,5^\circ$). Durante l'anno, anche se la Terra avanza di posizione lungo l'orbita, l'asse terrestre rimane inclinato sempre nella stessa direzione rispetto alle stelle fisse. Questo fa sì che una parte del globo riceva più ore di luce e radiazione solare diretta (estate), mentre l'altra ne riceva di meno (inverno). Nei due momenti intermedi,

quando i raggi solari si trovano allo zenit dell'equatore, ovvero sono perpendicolari all'asse terrestre, si hanno gli equinozi (primavera e autunno). In Figura 9 è mostrato uno schema di come la radiazione solare colpisce la superficie terrestre durante i solstizi.

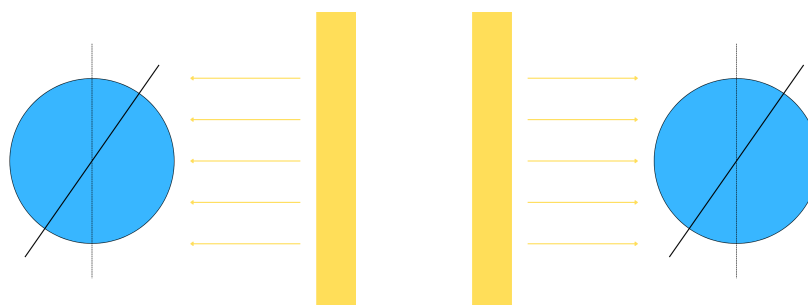


Figura 9: Schema che mostra come i raggi solari colpiscono la Terra durante i solstizi. A sinistra, il solstizio d'estate per l'emisfero boreale (massima inclinazione verso il Sole). A destra, il solstizio d'inverno per l'emisfero boreale (massima inclinazione opposta al Sole).

2.7 Giovanni Domenico Cassini e la meridiana della Basilica di San Petronio

La meridiana che si trova attualmente all'interno della **Basilica di San Petronio** a Bologna rappresenta un capolavoro di ingegneria e astronomia, essendo una delle meridiane più importanti e grandi al mondo. Venne realizzata da Giovanni Domenico Cassini nel 1655, sostituendo la precedente meridiana costruita da Ignazio Danti nel 1576. Come raccontato da Fabrizio Bònoli, per molti anni docente di Storia dell'Astronomia presso l'Università di Bologna (Bònoli, 2005), Ignazio (o Egnazio) Danti (1536-1586) fece parte della commissione istituita dal Papa Gregorio XII (1501/1502-1585) per riallineare il nuovo calendario gregoriano al ciclo delle stagioni. Era infatti importante studiare con precisione il movimento apparente del Sole nel corso dell'anno per riuscire a determinare con esattezza i giorni di equinozi e dei solstizi. Danti aveva già lavorato ad uno strumento simile nella chiesa di Santa Maria Novella a Firenze: si trattava di due meridiane, composte da due fori sulla facciata principale rivolta a sud (i fori gnomonici) e dalle linee meridiane poste sul pavimento. Danti però non riuscì a portare a termine queste opere, che rimasero quindi incompiute¹⁰. Nel 1574 Danti si trasferì a Bologna e nella Basilica di San Petronio realizzò una meridiana per studiare la lunghezza dell'anno tropico. Questa meridiana era composta da un foro posto sulla parete laterale della chiesa, da dove poteva entrare la luce del Sole, e una linea in terra. A seconda del periodo dell'anno in cui ci si trovava, la luce del Sole a mezzogiorno entrava in maniera differente nella chiesa: più si era vicini al solstizio d'inverno e più il Sole arrivava lontano sulla linea disegnata all'interno della chiesa. Di questa meridiana sono rimasti solamente un foglio illustrativo dello stesso Danti, oltre alle descrizioni e agli schizzi di Giovanni Riccioli (cfr. Figura 10). Neanche un secolo dopo la costruzione della meridiana, infatti, il muro di fondo della navata di sinistra venne demolito per ampliare la basilica, perdendo così il foro che faceva parte della meridiana.

¹⁰Le meridiane vennero poi completate nel 2016: grazie agli studi di Leonardo Ximenes (1757) e alla ricerca storica di Thoman B. Settle (1979), fu possibile risalire al progetto originale di Danti e ricostruire le opere (Ughi & Aldebrandi, 2019).

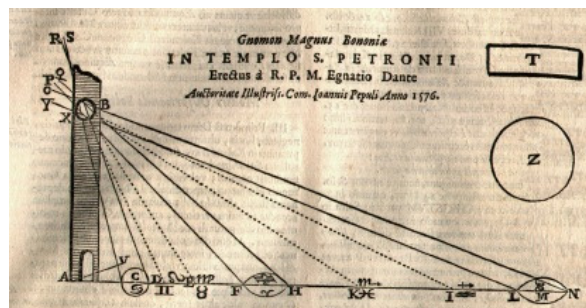


Figura 10: Meridiana di Danti nella Basilica di San Petronio a Bologna. Disegno tratto dall'opera *Almagestum Novum* di Riccioli (1651) (Bònoli, 2005).

Nel 1655 venne affidato a Giovanni Domenico Cassini il progetto di una nuova linea meridiana nella Basilica per sostituire quella di Danti. Cassini fu un matematico, astronomo, ingegnere, medico e biologo, vissuto tra il 1625 e il 1712. Fu professore di astronomia all'Università di Bologna e divenne il direttore dell'Osservatorio di Parigi nel 1671. A lui si devono numerose scoperte, tra le quali: quattro satelliti di Saturno (Giapeto, Rea, Dione, Teti), la Divisione di Cassini negli anelli di Saturno, la Grande Macchia Rossa di Giove; oltre a numerosi studi sulla superficie lunare. Proprio per via della sua bravura e accuratezza nelle osservazioni astronomiche, la Fabbriceria di San Petronio decise di affidare a lui il progetto della nuova meridiana. L'indicazione era quella di sostituire la vecchia linea meridiana di Danti con una linea più corta: Cassini però decise di realizzare un progetto che prevedeva una linea meridiana molto più lunga e, di conseguenza, più utile per le osservazioni astronomiche.

Il progetto era ambizioso, prevedeva costi elevati e presentava diverse difficoltà tecniche. L'ostacolo maggiore era rappresentato dalla facciata principale, che non era rivolta né a sud né a nord, e di conseguenza non si poteva sfruttare la navata centrale come linea meridiana. Cassini dovette studiare ingegnosamente il percorso che il raggio solare faceva tra le colonne della navata gotica e posizionare quindi il foro gnomonico nella quarta volta della navata di sinistra, ad un'altezza di 27,07 metri dal terreno (cfr. Figura 11). Il foro aveva un diametro di 27,07 mm, e assumeva la funzione di foro stenopeico¹¹, proiettando sul pavimento l'immagine stessa del Sole rovesciata e non solo una macchia di luce. Il 21 giugno 1655, giorno del solstizio d'estate, Cassini eseguì la prima misura e pose la prima pietra della linea meridiana. Risultò così che la linea meridiana sul pavimento della basilica misurava in totale 66,8 metri, ossia un seicentomillesimo (1/600.000) della circonferenza terrestre: era la meridiana più lunga del mondo. Cassini chiamò la sua opera *eliometro*, che letteralmente significa "misuratore del Sole".

Il 23 settembre 1655, giorno dell'equinozio d'autunno, la meridiana venne ufficialmente inaugurata e aperta alla cittadinanza. Cassini fece pubblicare un manifesto in cui invitava la popolazione ad assistere al passaggio dell'immagine del Sole «*fra quelle colonne, che erasi creduto impedirne la descrizione*». Dopo un periodo a Parigi presso l'Observatoire Royal, nel 1695 Cassini tornò a Bologna: in quell'occasione confrontò l'equinozio di primavera previsto dalla meridiana con quello del calendario. Confermò così che nell'anno 1700 andava saltato il giorno bisestile, così come previsto dalla riforma gregoriana.

¹¹Il foro stenopeico è un foro sufficientemente piccolo praticato sulla parete di una camera oscura, che permette di proiettare sulla parete opposta l'immagine di ciò che sta fuori dal foro.

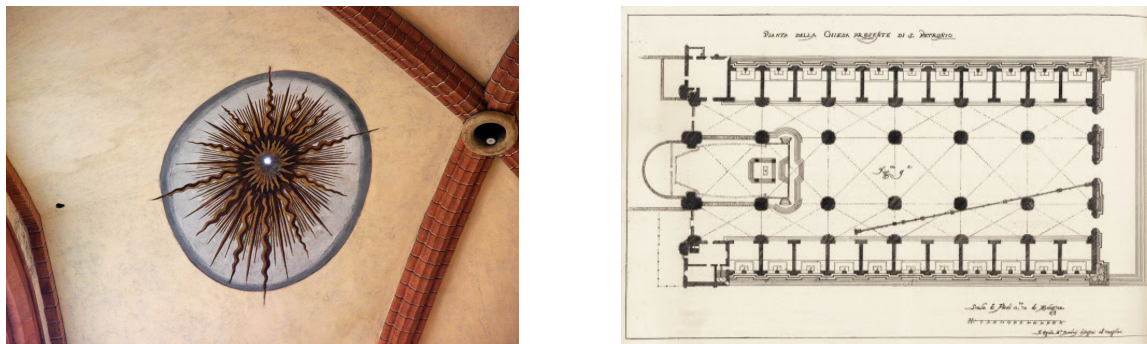


Figura 11: A sinistra, il foro gnomonico della meridiana della Basilica di San Petronio (Maupes, 2010). A destra, lo schema della linea meridiana della Basilica di San Petronio (Bònoli, 2005).

2.7.1 Sistema Tolemaico e sistema Copernicano

Ufficialmente, Cassini volle costruire una linea meridiana lunga quasi 67 metri per determinare la lunghezza dell'anno tropico con accuratezza e precisione maggiori rispetto a quelle esistenti ai suoi tempi. In realtà, il suo scopo era molto più ambizioso: l'astronomo voleva utilizzare lo strumento come prova sperimentale della veridicità della seconda legge di Keplero e quindi come conferma del sistema copernicano.

A Bologna, che all'epoca faceva parte dello Stato Pontificio, all'università si insegnava ancora il **sistema tolemaico**, secondo il quale la Terra stava al centro dell'Universo, e tutti gli altri astri, compreso il Sole, le ruotavano attorno. Questo modello aveva origini antiche, ed era stato sviluppato in particolare prima da Aristotele (384-322 a.C.), e poi da Tolomeo (100-168 d.C.) nel suo noto trattato *Almagesto* (cfr. Capitolo 2.3). Era il modello cosmologico accettato come vero dalla Chiesa, in ragione del suo mettere al centro dell'Universo la Terra (e quindi l'essere umano), nonché per il suo accordo con un'interpretazione letterale della Bibbia. Con il passare dei secoli però questo modello era stato reso progressivamente più complesso e artificioso, per riuscire di volta in volta a descrivere osservazioni che si facevano sempre più accurate. Già Tolomeo, per spiegare il moto retrogrado dei pianeti, era dovuto ricorrere all'introduzione di epicicli e deferenti; e altri accorgimenti, come l'invenzione dell'equante¹², si erano resi necessari per spiegare il diverso intervallo di tempo che separa i due equinozi (l'inverno dura 179 giorni, l'estate dura 186 giorni).

Nel 1543, **Niccolò Copernico** (1473-1543) pubblica l'opera *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, che tradotto significa *Sulle Rivoluzioni dei Corpi Celesti*. Si tratta di un'opera strettamente tecnica e professionale, che si poneva l'obiettivo di riformare le tecniche usate nel calcolo della posizione dei pianeti. Copernico infatti non intendeva rivoluzionare la cosmologia, ma cercare e ricreare ordine, semplicità e armonia nel sistema planetario, la cui modellizzazione tolemaica - con le progressive complicazioni che si erano succedute nei secoli, come detto poco sopra - gli risultava eccessivamente artificiosa. Dalle sue parole possiamo ricavare una sorta di manifesto programmatico (Copernico, 1543, adattato da Kuhn, 1969):

«Avendo meditato a lungo su questa incertezza della tradizione matematica nel deter-

¹²L'equante è un punto posto sulla linea degli apsidi (punti di maggiore e minore distanza di un oggetto dal fuoco attorno al quale orbita) di un pianeta, caratterizzato dal fatto che la velocità angolare del pianeta misurata da questo punto risulta costante nel tempo.

minare i moti del mondo delle sfere, cominciò a turbarmi il fatto che i filosofi non potessero fissarsi su nessuna teoria sicura del moto del meccanismo di un universo» ...creato da Dio che è... «ordine supremo, sebbene facessero osservazioni così accurate... sui minimi dettagli di quell'universo. Per questo mi sono assunto il compito di cercare se qualcuno avesse mai pensato che le sfere potessero muoversi secondo moti diversi da quelli che propongono gli insegnanti di matematica nelle scuole.»

L'astronomo polacco voleva dare una descrizione matematicamente migliore del moto dei corpi in cielo, che riflettesse l'armonia divina dell'Universo, in quanto a suo parere Dio doveva aver creato un cosmo ordinato e razionale, comprensibile dall'uomo attraverso la matematica. All'insaputa di Copernico, l'opera venne pubblicata con una prefazione anonima inserita dal teologo Andreas Osiander, che serviva per mitigare il contenuto e presentare il modello come solamente ipotetico e matematico. Con queste premesse, Copernico descrisse un sistema eliocentrico, in cui il Sole stava al centro del sistema planetario, mentre la Terra e gli altri pianeti gli giravano attorno. Descrisse i moti apparenti del Sole e della Luna, e spiegò il moto retrogrado dei pianeti interni. L'opera venne accolta positivamente: anche altri astronomi cattolici o protestanti dichiararono di usare il sistema eliocentrico solo per svolgere i conti, senza credere veramente che descrivesse la realtà delle cose.

Dopo Copernico ci fu **Johannes Kepler** (Giovanni Keplero, 1571-1630), che ipotizzò che i moti dei pianeti attorno al Sole fossero dovuti a una qualche forma di forza attrattiva solare. Da questa ipotesi Keplero postulò la teoria che i pianeti si muovono più o meno velocemente a seconda che siano più o meno vicini al Sole. Questa formulazione però gli impediva di fare previsioni accurate sulla posizione dei pianeti, perché di fatto in ogni momento la velocità del pianeta cambiava. Questo problema sarebbe stato poi risolto da Newton e Leibniz con l'invenzione del calcolo differenziale. Nel 1602, Keplero riuscì a superare questa limitazione, formulando come segue quella che oggi conosciamo come Seconda Legge: *"I pianeti in orbita attorno al Sole coprono aree uguali in tempi uguali."* Keplero utilizzò questa legge per nuove predizioni dei moti planetari, ma i conti ancora non tornavano. Il motivo era che il modello iniziale di Keplero si basava su orbite circolari (derivanti ancora dalla vecchia astronomia aristotelico-tolemaica). Nel 1604, Keplero decise di provare ad assumere orbite ellittiche con il Sole in uno dei fuochi: un'ipotesi che in passato aveva scartato in quanto la riteneva troppo semplice, e dava per scontato che altri astronomi prima di lui l'avessero testata. Formulò così quella che oggi conosciamo come Prima Legge di Keplero: *"I pianeti si muovono attorno al Sole con orbite ellittiche, di cui il Sole occupa uno dei due fuochi."*

Contemporaneo di Keplero fu **Galileo Galilei** (1564-1642): fisico, astronomo, matematico, filosofo, fu uno degli esponenti principali della rivoluzione scientifica, e viene considerato il padre della scienza moderna. Inventò il cannocchiale, che gli permise di fare tantissime nuove osservazioni e scoperte, tra le quali i quattro satelliti di Giove¹³, le osservazioni della superficie lunare, le costellazioni di Orione, Toro e Pleiadi. Tutto questo viene raccontato nella sua opera *Sidereus Nuncius*¹⁴. Tra le varie opere che scrisse, molto importante è il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. Ci lavorò dal 1624 al 1630, per poi pubblicarlo nel 1632. Si tratta di un testo scientifico e filosofico, in cui attraverso un dialogo tra tre personaggi

¹³Le quattro lune scoperte da Galileo Galilei sono i più grandi satelliti di Giove: Io, Europa, Ganimede, Callisto. Al tempo Galilei li chiamò Pianeti Medicei, in omaggio al suo mecenate Cosimo II de' Medici.

¹⁴Il *Sidereus Nuncius* (in italiano *Annuncio sugli astri* oppure *Il messaggero celeste*) è un trattato di astronomia pubblicato nel 1610.

(Simplicio, Sagredo e Salvati) viene confutato il sistema aristotelico-tolemaico, e sostenuto il sistema copernicano. La Chiesa in un primo momento approvò il libro, ma in breve tempo cambiò idea e lo inserì nell'Indice dei libri proibiti nel 1633¹⁵. Nello stesso anno Galilei viene costretto all'abiura e all'isolamento.

2.7.2 Verifica sperimentale della seconda legge di Keplero

In questo clima di proibizionismo e chiusura da parte della Chiesa, a meno di 20 anni dal processo di Galileo Galilei, Cassini voleva utilizzare la sua meridiana per dimostrare che il moto del Sole era solo apparente perché era la Terra a ruotargli attorno, così come sosteneva il sistema copernicano.

Varie osservazioni dimostravano che il Sole sembrava muoversi più lentamente d'estate rispetto che d'inverno, ed era risaputo che in estate esso si trovava anche alla massima distanza dalla Terra. Quello che gli astronomi si chiedevano era se il Sole sembrava muoversi più lentamente solo perché era più lontano o se questo rallentamento era reale. Verificare la seconda ipotesi voleva dire verificare la veridicità della seconda legge di Keplero, che sostiene che la Terra va più veloce quando si trova più vicina al Sole, e viceversa. L'obiettivo che si pose Cassini con la sua meridiana fu quello di misurare le dimensioni del Sole nel corso dell'anno. Osservando l'immagine proiettata sul pavimento della chiesa, notò che essa misurava 168cm x 64cm durante il solstizio d'inverno (cfr. Figura 12, sinistra), e 26cm x 26cm durante il solstizio d'estate (cfr. Figura 12, destra). Da queste immagini proiettate sul pavimento, Cassini riuscì a risalire alla dimensione reale del Sole con una precisione di circa un minuto d'arco. Dimostrò così che il diametro apparente del Sole cambiava, diminuendo man mano che la distanza dalla Terra aumentava.



Figura 12: A sinistra, a proiezione del sole attraverso la meridiana di San Petronio nel giorno del solstizio d'inverno (168cm x 24cm) (Bònoli, 2005). A destra, la proiezione del sole attraverso la meridiana di San Petronio nel giorno del solstizio d'estate (26cm x 26cm) (Bignami, 2017).

Una seconda misura che Cassini riuscì a fare fu la velocità con cui il Sole variava la sua posizione durante l'anno. L'astronomo notò che il Sole appariva più veloce durante l'inverno e più lento durante l'estate. Combinando i risultati, Cassini dimostrò che le misure ottenute di dimensione e velocità erano consistenti con la seconda legge di Keplero: la maggior lentezza del Sole nel cielo d'estate non era cioè un semplice effetto ottico dovuto alla sua maggior

¹⁵L'Indice dei libri proibiti fu un elenco di pubblicazioni proibite dalla Chiesa cattolica, creato nel 1559 da papa Paolo IV, e sospeso solamente nel 1966.

distanza dalla Terra, ma era qualcosa di reale. Allo stesso modo, la maggior velocità del Sole nel periodo invernale non si spiegava solamente con la maggior vicinanza tra Terra e Sole. Questo fu un grande risultato per l'epoca, perché dimostrava che «*da un punto di vista della teoria solare, il Sole o, il che è la stessa cosa, la Terra, può essere trattato come un pianeta, come affermato da Copernico*» (Bònoli, 2005). Anche se non dimostrava direttamente la veridicità del sistema copernicano, era una grande prova in suo favore.

3 Test iniziale: struttura, risposte, analisi dati

Come anticipato in precedenza, il test iniziale somministrato agli studenti era composto da un totale di 20 quesiti. Le prime nove domande erano mirate a raccogliere informazioni di carattere preliminare, relative sia alle esperienze pregresse in ambito astronomico, sia al livello di interesse nei confronti delle discipline scientifiche, con particolare riferimento alla fisica, all'astronomia e al progetto in oggetto. Le successive dieci domande, invece, erano strutturate come quesiti a risposta multipla ed erano finalizzate a indagare le conoscenze di base in astronomia. Infine, l'ultima domanda era dedicata all'autovalutazione. In Appendice A è riportato l'intero test presentato ai ragazzi.

Il test è stato somministrato tramite la piattaforma *Google Moduli*: gli studenti hanno svolto il questionario utilizzando il proprio cellulare personale, durante un'ora di lezione dedicata, in presenza e sotto la supervisione del docente della classe e della sottoscritta. La compilazione ha richiesto complessivamente circa venti minuti. Il questionario era anonimo: non è stato chiesto di inserire nome o informazioni personali che permettessero l'identificazione del singolo. In totale gli studenti che hanno compilato questo test iniziale sono stati 35: 21 della classe 3ASA, 14 della classe 3BSA.

Le dieci domande riguardanti i concetti astronomici di carattere generale affrontavano argomenti fondamentali come i moti del Sole, della Terra e della Luna, le loro relazioni reciproche, le fasi lunari e le stagioni. Alcune di queste si sono ispirate o sono state direttamente prese da *Lunar Phase Concept Inventory (LPCI)* di Lindell (2001) e da *Astronomy Diagnostic Test 2.0 (ADT2)* (Collaboration for Astronomy Education Research (CAER), 1999)). Tra i quesiti proposti, soltanto la domanda numero cinque prevedeva una risposta aperta, che consisteva nel riordinare correttamente quattro elementi. Tuttavia, ai fini dell'analisi dei risultati, tale quesito è stato trattato come equivalente a una domanda a risposta chiusa, in quanto presentava comunque un'unica sequenza corretta. Tutte le domande erano infatti caratterizzate dalla presenza di una sola opzione corretta tra le alternative proposte. Per ridurre il rischio di risposte casuali e offrire agli studenti la possibilità di esprimere la propria incertezza, è stata introdotta anche l'opzione "non lo so". Tale accorgimento ha consentito non soltanto di ottenere dati più attendibili, ma anche di cogliere eventuali difficoltà o lacune, risultando utile per l'analisi successiva. Alcuni quesiti, inoltre, includevano immagini a supporto, al fine di rendere più chiaro il contenuto della domanda e di facilitare la comprensione.

3.1 Parte A. Pregresso didattico e interesse per la materia

Vengono ora presentati i risultati relativi alla prima parte del questionario, dedicata alle esperienze pregresse e all'interesse degli studenti nei confronti della materia. La prima domanda chiedeva: "*Hai mai fatto delle lezioni di astronomia nel tuo percorso scolastico (dalle elementari alle superiori)?*", seguita dalla seconda domanda: "*Se sì, quando hai affrontato un modulo di lezioni di astronomia?*" In Tabella 1 è riportata una sintesi delle risposte, sia in valore assoluto sia in percentuale.

Dai dati emerge che circa il 9% del campione (3 studenti su 35) dichiara di non aver mai trattato temi di astronomia in ambito scolastico. Quasi la metà degli studenti, invece, afferma di aver affrontato per la prima volta tali argomenti nella scuola secondaria di secondo grado,

	#	%
Mai	3	8,6%
Solo nella scuola di I grado	2	5,7%
Solo nella scuola di II grado	17	48,6%
Sia nella scuola di I, che di II grado	13	37,1%
Totale	35	100%

Tabella 1: Riassunto dei risultati relativi alle domande T1aa01 “Hai mai fatto delle lezioni di astronomia nel tuo percorso scolastico (dalle elementari alle superiori)?” e T1aa02: “Se sì, quando hai affrontato un modulo di lezioni di astronomia?”. Nella seconda colonna vengono riportati i numeri di ragazzi che hanno scelto la risposta indicata, nella terza colonna i valori percentuali sul totale di 35 studenti.

in particolare durante il primo anno, ossia due anni prima della partecipazione a questo progetto. Più di un terzo dichiara infine di aver avuto esperienze di studio dell'astronomia sia nella scuola secondaria di primo grado sia, successivamente, nella scuola secondaria di secondo grado. Nel complesso, ciò che si evince è che, al netto di circa un 9% di studenti che non hanno mai affrontato l'astronomia e di un ulteriore circa 6% che vi si è approcciato solo diversi anni fa, la grande maggioranza del campione dovrebbe aver incontrato più volte, nel corso del proprio percorso scolastico, i concetti fondamentali della disciplina. Come indicato dalle *Indicazioni nazionali* (cfr. Capitolo 1.3), i contenuti trattati nel primo biennio della scuola secondaria di secondo grado dovrebbero infatti costituire un approfondimento di nozioni già introdotte nella scuola di primo grado. Alla luce di questo, almeno il 37% degli studenti dovrebbe teoricamente possedere una buona padronanza dei concetti astronomici di base.

I successivi quesiti avevano l'obiettivo di indagare l'interesse personale degli studenti nei confronti della disciplina. In particolare, sono state poste sei domande relative all'interesse per la fisica in generale, per le lezioni in aula e, nello specifico, per l'astronomia. A ciascuna domanda gli studenti hanno risposto esprimendo un grado di interesse su una scala da 1 a 5, dove 1 corrispondeva a “molto poco” e 5 a “molto”. Le sei domande erano le seguenti:

- a) T1aa04. Quanto sei interessato/a a capire i fenomeni fisici e la realtà che ci circonda?
- b) T1aa05. Quanto sei interessato/a a studiare la fisica come materia scolastica?
- c) T1aa06. Quanto trovi interessanti le lezioni di fisica tenute dal/la tuo/a docente?
- d) T1aa07. Quanto ti interessano gli argomenti astronomici?
- e) T1aa08. Quanto ti piacerebbe affrontare dei temi astronomici durante le lezioni di fisica?
- f) T1aa09. Ti incuriosisce affrontare le lezioni di astronomia che verranno proposte in questo progetto?

I risultati vengono qui presentati attraverso due strumenti: una serie di istogrammi (cfr. Figura 13), che mostrano la distribuzione delle risposte per ciascun quesito, e una tabella riassuntiva (cfr. Tabella 2) contenente sia le percentuali di risposta, sia alcuni indicatori statistici descrittivi (media, mediana, moda e deviazione standard). Per garantire un confronto coerente tra i diversi istogrammi, tutti i grafici sono stati normalizzati e impostati sulla medesima scala di misura.

- **Media:** rappresenta il valore medio delle risposte, ottenuto sommando tutte le valutazioni e dividendo per il numero di studenti. Questo indicatore fornisce una misura

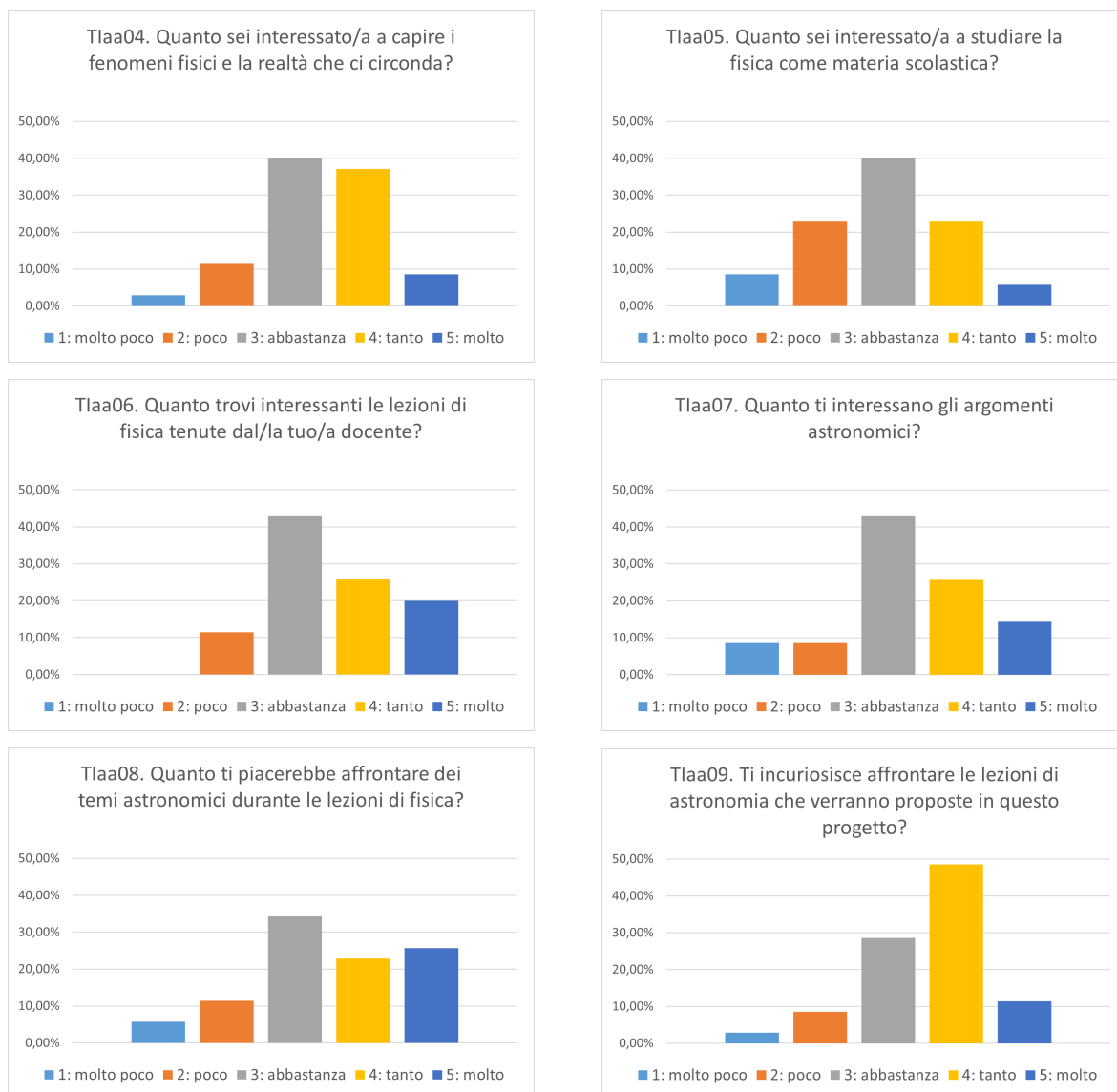


Figura 13: Istogrammi relativi alle domande Tlaa04-Tlaa09 della parte A del questionario iniziale, basati sulle percentuali di risposta.

sintetica del livello di interesse percepito dal gruppo classe e consente di avere una visione immediata dell'atteggiamento complessivo.

- **Mediana:** corrisponde al valore centrale della distribuzione, ossia quello che divide il campione in due metà uguali. A differenza della media, la mediana non risente della presenza di valori estremi, per cui restituisce un'immagine più fedele della "risposta tipica" degli studenti.
- **Moda:** indica il valore più frequente, ovvero la valutazione scelta dal maggior numero di studenti. Questo parametro è particolarmente utile perché consente di identificare l'opzione più rappresentativa dal punto di vista delle preferenze individuali.
- **Deviazione standard:** misura quanto le risposte si discostano mediamente dalla media. Un valore basso indica che gli studenti hanno fornito valutazioni simili, mostrando

	1	2	3	4	5	Media	Mediana	Moda	Dev. st.
Tlaa04	2,9%	11,4%	40,0%	37,1%	8,6%	3,4	3	3	0,9
Tlaa05	8,6%	22,9%	40,0%	22,9%	5,7%	2,9	3	3	1,0
Tlaa06	0,0%	11,4%	42,9%	25,7%	20,0%	3,5	3	3	0,9
Tlaa07	8,6%	8,6%	42,9%	25,7%	14,3%	3,3	3	3	1,1
Tlaa08	5,7%	11,4%	34,3%	22,9%	25,7%	3,5	3	3	1,2
Tlaa09	2,9%	8,6%	28,6%	48,6%	11,4%	3,6	4	4	0,9

Tabella 2: A sinistra della tabella, sono indicate le percentuali di risposta date dagli studenti alle domande Tlaa04-Tlaa09. A destra, sono riportati gli indicatori statistici descrittivi (media, mediana, moda e deviazione standard). Le risposte si basano su un grado di interesse da 1 ("molto poco") a 5 ("molto").

quindi un grado di consenso; un valore alto, invece, segnala una maggiore eterogeneità, evidenziando differenze di percezione o di interesse all'interno del campione.

Dall'osservazione dei valori riportati nella tabella si possono fare alcune considerazioni. Anzitutto, guardando le medie, si nota che le risposte degli studenti si concentrano intorno a un valore intermedio di interesse, oscillando tra il 2,9 e il 3,6. Questo suggerisce che il campione non mostra né un forte disinteresse né un entusiasmo marcato, ma tende a collocarsi in una posizione di interesse moderato-positivo. Le domande Tlaa08 e Tlaa09 legate all'astronomia presentano medie leggermente più alte rispetto alle altre, segnalando un potenziale coinvolgimento verso questa disciplina. Guardando la mediana e la moda, si vede che queste coincidono quasi sempre con il valore 3, confermando che la maggior parte degli studenti tende a posizionarsi nella fascia intermedia della scala di valutazione. L'unica eccezione si trova nella domanda Tlaa09, relativa all'interesse verso questo progetto di tesi, in cui mediana e moda raggiungono il valore 4: ciò significa che una buona parte del campione ha espresso un interesse più elevato rispetto alle altre domande. Infine, analizzando la deviazione standard, si nota che i valori oscillano tra 0,9 e 1,2. Ciò indica una dispersione moderata delle risposte: gli studenti non hanno opinioni uguali ma neanche troppo diverse. Le domande con deviazioni standard più alte sono la Tlaa07 (1,1) e la Tlaa08 (1,2), relative entrambe all'interesse verso l'astronomia. Alcuni studenti mostrano quindi più interesse verso questa disciplina e sono propensi ad affrontare temi astronomici durante le lezioni di fisica; altri studenti invece lo sono meno. Nel complesso, i dati mostrano che l'interesse degli studenti per l'astronomia si colloca su livelli lievemente superiori rispetto all'interesse generale per la fisica, pur mantenendosi in un quadro di variabilità non trascurabile. Questo risultato conferma come l'astronomia possa rappresentare un ambito capace di suscitare curiosità e motivazione, sebbene non uniformemente distribuita tra tutti i partecipanti.

3.2 Parte B. Valutazione delle conoscenze pregresse

Come detto, la seconda parte del questionario consisteva in dieci domande volte a determinare le conoscenze astronomiche. Viene riportata la lista delle domande, con il loro identificativo, nella Tabella 3; una descrizione completa dei quesiti si trova invece in Appendice A, dove il test è riportato integralmente.

Viene ora presentata una tabella (cfr. Tabella 4) che riporta i dati in forma aggregata relativi alle risposte fornite dai 35 studenti partecipanti. Questa rappresentazione consente

Codice	Domanda
Tlbb01	I pianeti, diversamente dalle stelle:
Tlbb02	In che secolo Copernico propose il suo modello eliocentrico del Sistema Solare?
Tlbb03	Immagina che l'orbita terrestre venga modificata in un cerchio perfetto attorno al Sole, in modo che la distanza dal Sole non cambi mai. Come influenzerebbe questo le stagioni?
Tlbb04	Se potessi vedere le stelle durante il giorno, ecco come apparirebbe il cielo a mezzogiorno in un dato giorno. Il Sole è vicino alle stelle della costellazione dei Gemelli. Vicino a quale costellazione ti aspetteresti di trovare il Sole al tramonto?
Tlbb05	Ordina per data di nascita i seguenti astronomi: Copernico, Newton, Keplero, Tolomeo.
Tlbb06	Il 21 dicembre, il giorno del solstizio d'inverno nell'emisfero boreale, quante ore di luce riceve il Polo Sud?
Tlbb07	Nell'immagine sottostante è mostrata la Luna vista dall'emisfero nord della Terra (sopra) e un diagramma con Terra, Sole e otto diverse possibili posizioni della Luna (sotto). Quale posizione della Luna farebbe apparire la Luna come l'immagine in alto?
Tlbb08	Osservi la Luna appena sorta come nella seguente foto. Che ore sono?
Tlbb09	La Luna orbita attorno alla Terra; approssimativamente quanto ci mette per completare la sua orbita?
Tlbb10	Un'evidenza sperimentale della seconda legge di Keplero è che:

Tabella 3: Codici associati alle domande e domande relative alla parte B del questionario iniziale. Il questionario in forma completa (comprensiva cioè delle risposte) è riportato in Appendice A.

di osservare in maniera più immediata le tendenze generali delle risposte, di evidenziare le difficoltà maggiormente diffuse e di condurre un'analisi più chiara e sistematica dei risultati. Nella tabella, le righe corrispondono alle 10 domande della parte B del questionario, mentre le colonne indicano le percentuali con cui ciascuna opzione di risposta è stata selezionata. Il simbolo / segnala le opzioni di risposta non presenti per la specifica domanda. Ai fini della codifica, è stato adottato il seguente criterio: l'opzione A indica sempre la risposta corretta, l'opzione B corrisponde all'alternativa "non lo so", mentre le opzioni comprese tra C e K rappresentano tutte le possibili risposte errate proposte nei diversi quesiti. Tale impostazione ha permesso di uniformare la raccolta dei dati e di facilitare le analisi successive.

Per rendere l'interpretazione dei dati più immediata e intuitiva, nelle Figure 14 e 15 vengono presentati gli istogrammi relativi a ciascuna domanda, basati sulle percentuali di risposta. Questi grafici permettono di visualizzare rapidamente la distribuzione delle scelte degli studenti e di cogliere eventuali tendenze o differenze tra le varie domande. Per garantire un confronto coerente tra i diversi istogrammi, tutti i grafici sono stati normalizzati e impostati sulla medesima scala di misura.

L'analisi preliminare dei dati, sia attraverso gli istogrammi sia considerando le percentuali riportate nella tabella precedente, evidenzia subito alcune tendenze significative. In particolare, si osserva che solo in 4 casi su 10 la risposta corretta è stata la più selezionata, in particolare nelle domande Tlbb01, Tlbb06, Tlbb07 e Tlbb09. Tra queste, soltanto nella domanda Tlbb01 (dove si chiedeva della differenza tra pianeti e stelle relativamente ai rispettivi moti apparenti nel cielo) la percentuale di studenti che ha scelto la risposta corretta supera il 50%, arrivando

3 TEST INIZIALE: STRUTTURA, RISPOSTE, ANALISI DATI



Figura 14: Istogrammi relativi alle domande Tibb01-Tibb08 della parte B del questionario iniziale, basati sulle percentuali di risposta. Le domande sono riportate in Tabella 3; si ricorda che la risposta A è quella corretta, la risposta B corrisponde all'opzione "non lo so", mentre le risposte da C a K sono errate.

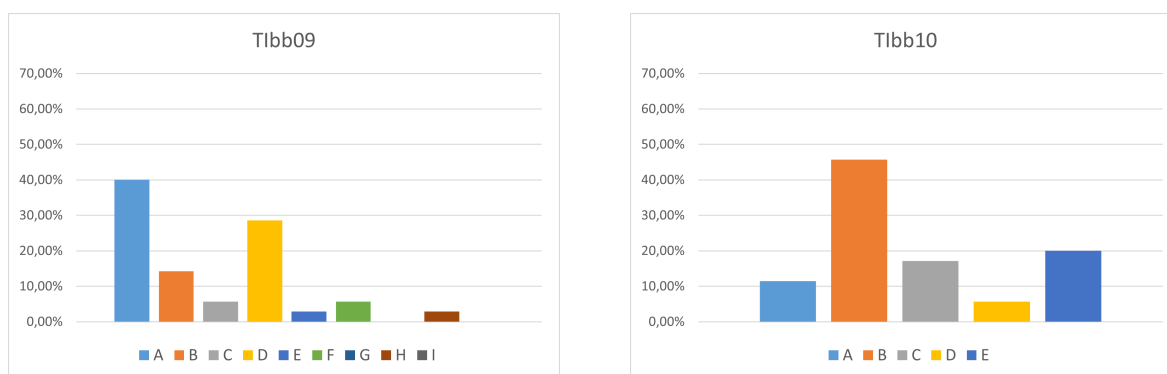


Figura 15: Istogrammi relativi alle domande Tlbb08-Tlbb10 della parte B del questionario iniziale, basati sulle percentuali di risposta. Le domande sono riportate in Tabella 3; si ricorda che la risposta A è quella corretta, la risposta B corrisponde all'opzione "non lo so", mentre le risposte da C in poi sono errate.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Totale
Tlbb01	65,7%	8,6%	5,7%	17,1%	2,9%	/	/	/	/	/	/	100%
Tlbb02	28,6%	31,4%	28,6%	11,4%	0,0%	/	/	/	/	/	/	100%
Tlbb03	14,3%	2,9%	45,7%	22,9%	14,3%	/	/	/	/	/	/	100%
Tlbb04	34,3%	2,9%	20,0%	0,0%	0,0%	42,9%	/	/	/	/	/	100%
Tlbb05	22,9%	22,9%	14,3%	20,0%	5,7%	2,9%	8,6%	2,9%	/	/	/	100%
Tlbb06	40,0%	8,6%	14,3%	20,0%	2,9%	14,3%	/	/	/	/	/	100%
Tlbb07	34,3%	11,4%	2,9%	17,1%	5,7%	11,4%	5,7%	2,9%	8,6%	/	/	100%
Tlbb08	2,9%	28,6%	0,0%	5,7%	2,9%	2,9%	2,9%	14,3%	5,7%	5,7%	28,6%	100%
Tlbb09	40,0%	14,3%	5,7%	28,6%	2,9%	5,7%	0,0%	2,9%	0,0%	/	/	100%
Tlbb10	11,4%	45,7%	17,1%	5,7%	20,0%	/	/	/	/	/	/	100%

Tabella 4: Risposte aggregate della parte B del questionario iniziale. In testa alle righe è riportato il codice della domanda Tlbb01-Tlbb10, mentre in testa alle colonne l'opzione di risposta. In tabella viene riportata la percentuale di risposta scelta per ogni domanda. Il simbolo / segnala le opzioni di risposta non presenti per la specifica domanda.

precisamente al 65,7%. Questi risultati, caratterizzati da percentuali relativamente basse, indicano fin da subito una conoscenza limitata dei concetti astronomici di base all'interno del campione, in linea con quanto riportato dalla letteratura in merito alle difficoltà comuni degli studenti nell'acquisizione dei fondamenti di astronomia.

Questa conoscenza limitata e frammentaria emerge con chiarezza anche dalle elevate percentuali di risposte "non lo so". In due domande su dieci, infatti, questa è risultata l'opzione più selezionata. In particolare, uno dei casi riguarda una domanda di carattere storico, che chiedeva di individuare il secolo in cui era stata proposta una grande teoria scientifica. L'alto ricorso a "non lo so" evidenzia come gli studenti tendano a concentrarsi esclusivamente sui contenuti concettuali e sulle teorie, trascurando il fatto che esse siano profondamente collocate in un determinato tempo e spazio. Si dimentica, in altre parole, che le grandi teorie non nascono improvvisamente, perfette e imperturbabili, ma sono il risultato di un lungo processo storico, fortemente influenzato dal contesto culturale e sociale, spesso segnato da errori, revisioni e talvolta da forti opposizioni.

Per approfondire l'interpretazione dei dati, si procede ora a un'analisi più dettagliata di alcune domande che hanno evidenziato tendenze particolari nelle risposte degli studenti.

Questo approfondimento consente di identificare i quesiti che hanno suscitato maggiori difficoltà o, al contrario, quelli in cui il campione ha mostrato una comprensione relativamente più solida dei concetti astronomici di base.

Tibb03 Analizziamo la terza domanda. *Immagina che l'orbita terrestre venga modificata in un cerchio perfetto attorno al Sole, in modo che la distanza dal Sole non cambi mai. Come influenzerebbe questo le stagioni?*

- a) Continueremmo a percepire le stagioni nello stesso modo in cui le percepiamo ora
- b) Non lo so
- c) Non percepiremmo più la differenza tra le stagioni
- d) Continueremmo a percepire le stagioni, ma la differenza sarebbe MOLTO MENO evidente
- e) Continueremmo a percepire le stagioni, ma la differenza sarebbe MOLTO PIÙ evidente

Dai dati emerge che la maggior parte degli studenti (45,7%) ha selezionato l'opzione C. Questo risultato conferma uno degli errori concettuali più comuni riportati in letteratura (cfr. Paragrafo 1.2.1): molti studenti collegano erroneamente la causa delle stagioni alla diversa distanza della Terra dal Sole, anziché all'inclinazione del suo asse. Questo fraintendimento porta gli studenti a ritenere che, se la Terra percorresse un'orbita perfettamente circolare invece di una ellittica, le stagioni scomparirebbero, poiché non ci sarebbe più un momento in cui la Terra è più vicina al Sole (estate, seguendo l'erroneo ragionamento) o più lontana (inverno, sempre secondo l'erroneo ragionamento). Tale errore può plausibilmente derivare, almeno in parte, dal modo in cui viene insegnato il moto della Terra attorno al Sole, enfatizzando il fatto che l'orbita terrestre è un'ellisse. Sebbene ciò sia corretto, va sottolineato che l'eccentricità dell'orbita è molto bassa, essendo $e = \sqrt{1 - (b/a)^2} \sim 0,0167$, dove a è il semiasse maggiore e b è il semiasse minore, da cui segue che $e = 0$ in caso di orbita circolare. Da ciò deriva che l'orbita terrestre può essere considerata quasi circolare ai fini di questo ragionamento. La reale causa delle stagioni, invece, è l'inclinazione dell'asse terrestre, che determina l'angolo con cui i raggi solari colpiscono la superficie in un determinato punto della Terra durante l'anno. Questa inclinazione fa sì che alcune aree ricevano radiazione solare più diretta in certi periodi dell'anno (estate) e più obliqua in altri (inverno), indipendentemente dalla distanza dal Sole.

Tibb04 Analizziamo la quarta domanda. *Se potessi vedere le stelle durante il giorno, ecco come apparirebbe il cielo a mezzogiorno in un dato giorno (cfr. Figura 16, sinistra). Il Sole è vicino alle stelle della costellazione dei Gemelli. Vicino a quale costellazione ti aspetteresti di trovare il Sole al tramonto?*

- a) Gemelli (Gemini)
- b) Non lo so
- c) Leone (Leo)
- d) Cancro (Cancer)
- e) Toro (Taurus)
- f) Pesci (Pisces)

Dai dati emerge che la maggior parte degli studenti (42,9%) ha selezionato l'opzione F. Questo risultato suggerisce che gli studenti sono consapevoli del fatto che dalla Terra osserviamo il Sole muoversi nel corso della giornata e, in modo analogo, le stelle durante la notte. Tuttavia, mostrano difficoltà a collegare questi due fenomeni e a riconoscere che, anche durante il giorno, non è soltanto il Sole a muoversi di moto apparente, ma l'intera volta celeste. L'origine di questa difficoltà risiede nel fatto che non è il Sole o il cielo a muoversi, bensì la Terra a compiere una rotazione attorno al proprio asse. La percezione umana, legata al nostro punto di vista, ci porta invece ad attribuire il movimento agli altri corpi celesti. Sebbene si tratti di uno dei primi concetti affrontati nello studio dell'astronomia a scuola, la sua corretta applicazione rimane talvolta problematica. A rendere ancora più difficile la comprensione è il fatto che l'esperienza quotidiana ci permette di osservare il moto apparente del Sole, ma non quello delle stelle durante il giorno, poiché la loro luce è oscurata dalla luminosità solare. Di conseguenza, per molti studenti risulta poco intuitivo collegare i due fenomeni e comprendere che, se a mezzogiorno il Sole si trova in corrispondenza della costellazione dei Gemelli (invisibile per via della luce diurna), lo stesso allineamento sarà valido anche al tramonto: è infatti la rotazione terrestre a generare l'apparente movimento sia del Sole, sia della volta celeste.

Tibb09 Analizziamo la nona domanda. *La Luna orbita attorno alla Terra; approssimativamente quanto ci mette per completare la sua orbita?*

- a) Un mese
- b) Non lo so
- c) Meno di un giorno
- d) Un giorno
- e) Una settimana
- f) Due settimane
- g) Sei mesi
- h) Un anno
- i) Più di un anno

Dai dati emerge che la maggior parte degli studenti (40,0%) ha selezionato l'opzione A, ossia la risposta corretta. Tuttavia, una percentuale significativa (28,6%) ha indicato l'opzione D. Questo risultato suggerisce che la conoscenza dei moti della Luna è presente, ma in forma spesso superficiale e non pienamente consolidata. La maggioranza degli studenti riconosce che la Luna è il satellite naturale della Terra e che compie un'orbita completa in circa 29 giorni, dato che viene comunemente approssimato a un mese. Tale conoscenza deriva probabilmente dall'esperienza quotidiana: osservando la Luna in cielo, gli studenti percepiscono il susseguirsi delle fasi, dal novilunio al plenilunio e di nuovo al novilunio, nell'arco di circa un mese. Una parte consistente del campione, però, sembra confondere il moto della Luna con quello della Terra, ritenendo che il sorgere e il tramontare della Luna siano dovuti a un suo moto orbitale in 24 ore attorno al nostro pianeta. In realtà, come per il Sole e le stelle, il moto apparente della Luna nell'arco della giornata è dovuto alla rotazione terrestre sul proprio asse, che avviene in circa 24 ore. Colpisce inoltre il fatto che, oltre alle due opzioni più selezionate, vi sia stata una distribuzione di risposte anche tra quasi tutte

le altre alternative proposte. Questo dato suggerisce una conoscenza frammentaria e poco solida dei moti lunari, che lascia spazio a molteplici interpretazioni errate.

T1bb08 In conclusione, analizziamo l'ottava domanda, anch'essa dedicata ai moti della Luna e alla relazione tra il sistema Luna-Terra-Sole. *Osservi la Luna appena sorta come nella seguente foto (cfr. Figura 16, destra). Che ore sono?*

- a) Mezzanotte
- b) Non lo so
- c) Alba
- d) A metà strada tra l'alba e mezzogiorno
- e) Mezzogiorno
- f) A metà strada tra mezzogiorno e il tramonto
- g) Tramonto
- h) A metà strada tra il tramonto e la mezzanotte
- i) A metà strada tra la mezzanotte e l'alba
- j) In qualsiasi momento della notte
- k) In qualsiasi momento del giorno o della notte

Dai dati emerge che le due opzioni più selezionate sono state “non lo so” e l'opzione K, mentre le restanti risposte risultano distribuite in modo piuttosto omogeneo tra le altre alternative. Il fatto che l'opzione più scelta sia stata “non lo so” evidenzia chiaramente la difficoltà incontrata dagli studenti nell'affrontare questo quesito. Tale impressione è ulteriormente confermata dalla dispersione delle risposte tra tutte le alternative disponibili, a indicare che molti studenti non avevano un riferimento solido su cui basare il proprio ragionamento. Questo risultato segnala una conoscenza poco approfondita dei moti lunari e delle loro relazioni con i movimenti della Terra e del Sole. Va inoltre sottolineato che si tratta di una domanda effettivamente più complessa rispetto ad altre del questionario, poiché non richiede soltanto la conoscenza dei singoli moti di Luna, Terra e Sole, ma anche la capacità di integrarli in un quadro coerente e di applicarli a un contesto nuovo, andando oltre la semplice memorizzazione nozionistica. L'altra opzione particolarmente selezionata, ossia “in qualsiasi ora del giorno e della notte”, rivela un'ulteriore misconcezione diffusa: molti studenti non sono consapevoli del fatto che la Luna sorge e tramonta in orari differenti a seconda della fase in cui si trova. Abituati a considerarla come un oggetto tipicamente notturno, difficilmente si soffermano a osservare che la sua visibilità varia nel corso del ciclo mensile, comparando anche in orari diurni a seconda della posizione relativa rispetto al Sole.

In conclusione, l'analisi delle singole domande mette in evidenza come, nella maggior parte dei casi, gli studenti abbiano mostrato difficoltà non soltanto nel ricordare correttamente concetti di base legati ai moti celesti, ma soprattutto nel saperli applicare in contesti differenti o più complessi. Alcuni quesiti hanno fatto emergere misconcezioni ampiamente documentate in letteratura - come l'errata associazione delle stagioni alla distanza Terra-Sole, o la confusione tra rotazione terrestre e moti della Luna - confermando la persistenza di idee intuitive ma fuorvianti. In altre situazioni, invece, è emerso un approccio incerto e frammentario, testimoniato dall'alta percentuale di risposte distribuite tra più alternative

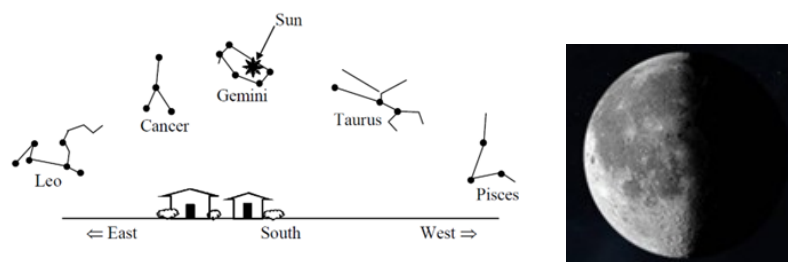


Figura 16: Immagini a supporto di due quesiti la cui comprensione si è rivelata particolarmente difficile. A sinistra, figura relativa alla domanda Tlbb04; a destra, figura relativa alla domanda Tlbb08.

o dall'elevato ricorso all'opzione "non lo so". Nel complesso, i risultati confermano che le conoscenze di astronomia del campione analizzato appaiono fragili e poco strutturate: gli studenti spesso possiedono nozioni parziali, talvolta corrette ma non integrate, che non consentono loro di costruire un quadro coerente dei fenomeni astronomici di base.

3.2.1 Analisi di correlazione

A questo punto, al fine di approfondire ulteriormente l'interpretazione dei dati raccolti, sono state condotte due analisi di correlazione, dividendo gli studenti prima in fasce di esposizione pregressa ad argomenti astronomici, poi per fasce di interesse dichiarato per l'astronomia.

Correlazione A: esperienza pregressa La prima correlazione esplorata è, come detto, quella tra l'esperienza dichiarata dagli studenti e i risultati da essi ottenuti nella seconda parte del questionario. L'obiettivo di questa analisi è verificare se un'esposizione più ampia e continuativa a contenuti di astronomia nel percorso scolastico possa avere inciso positivamente sulle conoscenze e competenze acquisite. A tal fine, il campione è stato suddiviso in tre gruppi distinti:

- **CorA-1:** 5 studenti che non hanno mai affrontato argomenti di astronomia, oppure che li hanno incontrati esclusivamente nella scuola primaria (scuola elementare e media);
- **CorA-2:** 17 studenti che hanno dichiarato di aver trattato per la prima volta temi di astronomia soltanto nella scuola secondaria di secondo grado (scuola superiore);
- **CorA-3:** 13 studenti che hanno avuto modo di approfondire l'astronomia sia nella scuola primaria sia nella scuola secondaria.

Per ciascun gruppo sono state calcolate le percentuali di risposte corrette, errate e "non lo so" su un totale di dieci quesiti a scelta multipla. In questo modo è stato possibile osservare eventuali differenze nei livelli di padronanza concettuale in base al diverso grado di esposizione pregressa alla disciplina. In Tabella 5 e in Figura 17 (sinistra) sono riportati i risultati dell'analisi, che permettono di confrontare visivamente l'andamento dei tre gruppi e di individuare possibili tendenze o correlazioni significative.

Dall'osservazione della tabella e dell'istogramma emerge che non si riscontrano differenze sostanziali tra i tre gruppi considerati. Le percentuali di risposte corrette si collocano infatti in un intervallo piuttosto ristretto, compreso tra il 27% e il 34%, mentre le risposte errate rappresentano la quota più consistente, oscillando tra il 48% e il 57%. Le risposte "non lo so" sono invece la quota più consistente, oscillando tra il 15% e il 17%.

	#	Corrette	Sbagliate	"Non lo so"	Totale
CorA-1	5	34,0%	48,0%	18,0%	100%
CorA-2	17	29,4%	51,2%	19,4%	100%
CorA-3	13	27,7%	56,9%	15,4%	100%

Tabella 5: *Correlazione tra esperienza pregressa in astronomia e risposte date al test iniziale, parte B. Nella seconda colonna è riportato il numero di studenti appartenente a ciascun gruppo. Le risposte sono divise in risposte corrette, sbagliate e segnate con "non lo so", su un totale di 10 domande.*

so" si attestano invece su valori compresi tra il 15% e il 20%. Sulla base delle premesse, ci si sarebbe potuti aspettare che il gruppo 3 - costituito da studenti che hanno affrontato argomenti di astronomia sia nella scuola primaria sia nella scuola secondaria - ottenesse risultati significativamente migliori, mostrando un numero più elevato di risposte corrette. Al contrario, i dati evidenziano che ciò non avviene: questo gruppo, pur avendo avuto maggiore esposizione alla disciplina, non solo non si distingue per un migliore rendimento, ma registra addirittura una percentuale leggermente più alta di risposte errate rispetto agli altri.

Tale risultato suggerisce che non è sufficiente affrontare più volte un concetto per garantirne una reale comprensione. Come sottolineato anche dalla letteratura di riferimento, le misconcezioni legate ai fenomeni astronomici risultano particolarmente persistenti e radicate, e difficilmente vengono superate se la didattica si limita a ripetere nozioni senza affrontare in modo esplicito gli errori concettuali. Questo mette in luce l'importanza della qualità dell'approccio didattico, che deve favorire la costruzione di una comprensione autentica e duratura, volta ad affrontare e superare gli errori concettuali presenti e persistenti negli studenti.

Correlazione B: interesse per l'astronomia Un'ulteriore analisi di correlazione è stata condotta prendendo in considerazione il livello di interesse personale per l'astronomia dichiarato dagli studenti. L'interesse è stato rilevato nella prima parte del questionario (sezione A), in particolare attraverso la domanda T1aa07, nella quale si chiedeva: *"Quanto ti interessano gli argomenti astronomici?"*. Le risposte erano fornite su una scala da 1 ("molto poco") a 5 ("molto"). Sulla base delle risposte sono stati individuati tre gruppi distinti:

- **CorB-1:** 6 studenti che hanno attribuito un punteggio pari a 1 o 2, quindi con un livello di interesse basso;
- **CorB-2:** 15 studenti che hanno attribuito un punteggio pari a 3, esprimendo un interesse intermedio;
- **CorB-3:** 14 studenti che hanno attribuito un punteggio pari a 4 o 5, corrispondenti a un livello di interesse medio-alto o elevato.

Per ciascun gruppo sono state calcolate le percentuali di risposte corrette, errate e "non lo so" su un totale di dieci quesiti a scelta multipla. Nella Tabella 6 e nella Figura 17 (destra) sono riportati i risultati dell'analisi, che permettono di confrontare visivamente l'andamento dei tre gruppi e di individuare possibili tendenze o correlazioni significative.

Dall'analisi dei dati riportati in tabella e nell'istogramma si osserva che, anche in questo caso, non emergono differenze sostanziali tra i tre gruppi considerati. La distribuzione delle risposte mostra infatti percentuali simili: le risposte corrette si collocano tra il 26% e il 33%, quelle errate tra il 48% e il 57%, mentre le risposte "non lo so" oscillano tra il 16% e il

	#	Corrette	Sbagliate	"Non lo so"	Totale
CorB-1	6	26,7%	48,3%	25,0%	100%
CorB-2	15	32,7%	51,3%	16,0%	100%
CorB-3	14	27,1%	56,4%	16,4%	100%

Tabella 6: Correlazione tra interesse in astronomia e risposte date al test iniziale, parte B. Nella seconda colonna è riportato in numero di studenti appartenente a ciascun gruppo. Le risposte sono divise in risposte corrette, sbagliate e segnate con "non lo so", su un totale di 10 domande.

25%. Ci si sarebbe potuti attendere che il terzo gruppo - costituito dagli studenti che hanno dichiarato un forte interesse per i temi astronomici - riportasse risultati migliori rispetto agli altri, ipotizzando che la motivazione personale potesse favorire un apprendimento più solido, magari anche attraverso fonti esterne all'ambito scolastico. Tuttavia, i dati non confermano tale aspettativa: il livello di interesse dichiarato non sembra tradursi in un rendimento superiore nel test. Questo risultato, in linea con quanto osservato nell'analisi precedente, suggerisce che l'interesse, se non accompagnato da un percorso didattico efficace e mirato, non è di per sé sufficiente a garantire una comprensione più profonda dei concetti astronomici.

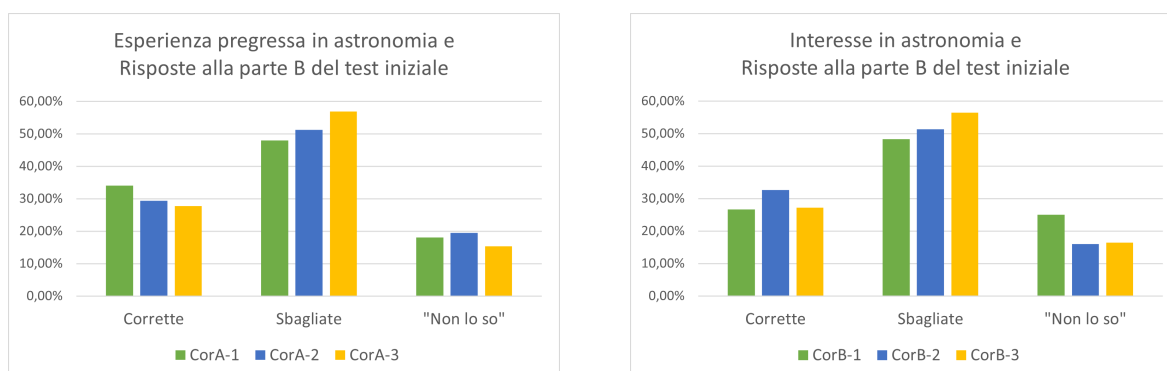


Figura 17: A sinistra, istogramma relativo alla correlazione tra esperienza pregressa in astronomia e risposte date alla parte B del test iniziale: l'esperienza pregressa aumenta andando da CorA-1 a CorA-3. A destra, istogramma relativo alla correlazione tra interesse in astronomia e risposte date alla parte B del test iniziale: l'interesse dichiarato aumenta andando da CorB-1 a CorB-3.

In sintesi, le analisi di correlazione condotte, sia in base all'esperienza pregressa in astronomia sia al livello di interesse dichiarato, non evidenziano differenze sostanziali nei risultati tra i diversi gruppi. Questo suggerisce che né una maggiore esposizione precedente alla disciplina né un interesse personale più elevato siano, da soli, sufficienti a garantire una comprensione più approfondita dei concetti astronomici, sottolineando ancora una volta l'importanza di un approccio didattico mirato e di qualità.

3.3 Parte C. Autovalutazione

Dopo aver approfondito le risposte alle domande della parte B del questionario iniziale, si passa ora a esaminare l'ultima domanda, dedicata all'autovalutazione. L'obiettivo era quello di indagare la percezione che gli studenti hanno della propria preparazione e il loro grado di

sicurezza nelle risposte fornite. La domanda a loro posta era la seguente: *In generale, quanto sei sicuro che le tue risposte a questo sondaggio siano corrette?*

- a) *Per niente sicuro*
- b) *Poco sicuro*
- c) *Abbastanza sicuro*
- d) *Molto sicuro*

Per facilitare l'analisi, è stato assegnato il valore 1 alla risposta “per niente sicuro”, il valore 2 a “poco sicuro”, il valore 3 a “abbastanza sicuro” e il valore 4 a “molto sicuro”. In Figura 18 viene riportato un istogramma delle frequenze delle risposte date dal campione di studenti.

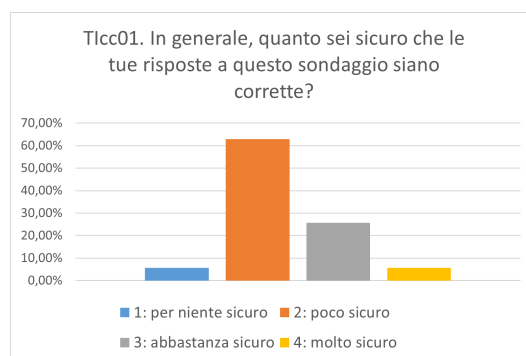


Figura 18: *Istogramma relativo alla parte C del test iniziale, ossia alla domanda di autovalutazione.*

Dai dati emerge che la maggior parte degli studenti tende a collocarsi nelle categorie centrali della scala, con una prevalenza di risposte corrispondenti al valore 2 (“poco sicuro”). La media pari a 2,3 conferma una tendenza complessiva a valutarsi tra il “poco sicuro” e l’“abbastanza sicuro”. La mediana e la moda sono entrambe uguali a 2, sottolineando l'esistenza di un nucleo consistente di studenti che percepiscono un livello piuttosto basso di sicurezza. Infine, la deviazione standard bassa indica che le risposte non sono molto disperse: la maggior parte degli studenti si colloca attorno ai valori intermedi, mentre solo una minoranza si colloca nelle posizioni più estreme (valori 1 e 4).

Queste considerazioni emerse dall'analisi descrittiva suggeriscono di approfondire il possibile legame tra la percezione soggettiva che hanno gli studenti e i risultati oggettivi. In particolare, è interessante capire se un livello più elevato di sicurezza percepita corrisponda a un numero maggiore di risposte corrette, oppure se, al contrario, ci siano scostamenti significativi tra ciò che gli studenti ritengono di sapere e i risultati realmente ottenuti. In Tabella 7 è riportato per ciascun studente (indicato con il codice S01-S35) il livello di autovalutazione o sicurezza espresso e il numero di risposte corrette, di risposte sbagliate, di risposte “non lo so”. In questo modo si possono subito confrontare i risultati oggettivi con la percezione, evidenziando eventuali situazioni di sovrastima o sottostima delle proprie competenze.

Per una comprensione più immediata del legame tra percezione soggettiva e risposte oggettive, è stata calcolata la media delle risposte fornite dagli studenti, distinguendo tra corrette, sbagliate e contrassegnate con “non lo so”, divise in base al grado di autovalutazione dichiarato. In questo modo si può subito vedere se ci sono correlazioni tra l'autovalutazione e il rendimento. In Tabella 8 vengono riportati i dati calcolati. Nelle celle è indicato sia il dato numerico, sia il dato percentuale calcolato su un totale di 10 risposte. Nell'ultima riga

Studente	Autovalutazione	Corrette	Sbagliate	"Non lo so"
S01	2	1	5	4
S02	2	0	5	5
S03	2	2	4	4
S04	2	3	5	2
S05	2	3	6	1
S06	3	1	5	4
S07	2	1	5	4
S08	3	3	6	1
S09	2	3	7	0
S10	3	3	5	2
S11	2	4	6	0
S12	2	2	8	0
S13	4	3	6	1
S14	2	4	6	0
S15	1	1	2	7
S16	2	4	4	2
S17	2	3	6	1
S18	2	1	8	1
S19	3	5	4	1
S20	1	1	5	4
S21	3	3	7	0
S22	2	4	5	1
S23	3	2	7	1
S24	2	2	6	2
S25	4	3	3	4
S26	2	1	8	1
S27	2	2	7	1
S28	2	7	3	0
S29	2	8	2	0
S30	3	1	9	0
S31	2	3	5	2
S32	3	5	4	1
S33	3	5	4	1
S34	2	3	4	3
S35	2	6	3	1
Totale		103	185	62

Tabella 7: Nella seconda colonna è indicato il livello di autovalutazione che ciascun studente si è attribuito. Nelle altre colonne a destra è mostrato il numero di risposte corrette, sbagliate e segnate con "non lo so" su un totale di 10 domande. I codici S01-S35 identificano i singoli studenti. L'ultima riga mostra il numero totale di risposte per ciascuna categoria.

invece, gli stessi dati sono calcolati sull'intero campione. A supporto della tabella, in Figura 19 vengono riportati due istogrammi che contengono le stesse informazioni della tabella, ma con le variabili invertite. A sinistra, l'istogramma con il grado di autovalutazione in asse orizzontale e la media delle risposte sulle colonne colorate; a destra, l'istogramma con la media delle risposte sull'asse orizzontale e il grado di autovalutazione sulle colonne colorate.

Autovalutazione	Media di corrette	Media di sbagliate	Media di "non lo so"
1 = per niente sicuro	1,0	3,5	5,5
2 = poco sicuro	3,0	5,4	1,6
3 = abbastanza sicuro	3,1	5,7	1,2
4 = molto sicuro	3,0	4,5	2,5
Campione totale	2,9	5,3	1,8

Tabella 8: *Correlazione tra autovalutazione e risposte date al test iniziale, parte B. Le risposte sono indicate come media di risposte corrette, sbagliate e segnate con "non lo so" su un totale di 10 domande, divise a seconda del punteggio dato all'autovalutazione.*

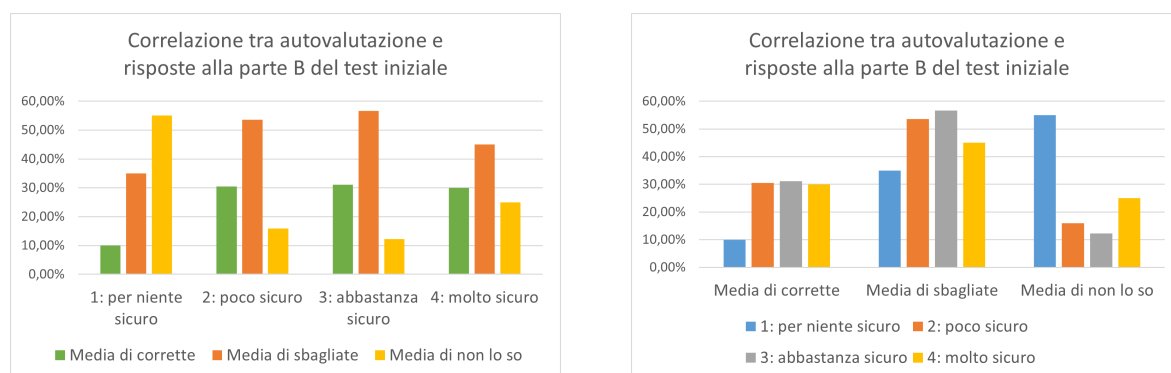


Figura 19: *Istogrammi relativi alla correlazione tra autovalutazione e media di risposte corrette, sbagliate e segnate con "non lo so" della parte B del test finale (totale 10 domande). A sinistra, l'istogramma con il grado di autovalutazione in asse orizzontale e la media delle risposte sulle colonne colorate; a destra, l'istogramma con la media delle risposte sull'asse orizzontale e il grado di autovalutazione sulle colonne colorate.*

Dalla tabella e dagli istogrammi si possono fare alcune osservazioni. Anzitutto, gli studenti che si sono dichiarati per niente sicuri hanno ottenuto in media solo 1 risposta corretta su 10, assieme a un numero elevato di risposte "non lo so" (5,5) e diverse risposte sbagliate (3,5). Sembra quindi che questo gruppo dimostri effettivamente delle difficoltà a rispondere ai quesiti, così come esso stesso dichiara. Nei livelli intermedi (poco sicuro e abbastanza sicuro) si nota che i risultati sono molto simili: in media circa 3 risposte corrette, più di 5 risposte sbagliate, e oltre 1 risposta "non lo so". Nonostante tra questi due gruppi non ci siano differenze significative, si può notare che rispetto al primo gruppo sono aumentate le risposte corrette, mentre sono diminuite le risposte sbagliate e i "non lo so". Questo sembra indicare che a una maggior fiducia dichiarata corrisponda un aumento di risposte corrette e una diminuzione di risposte non certe. Il gruppo degli studenti che si sono definiti molto sicuri mostra anch'esso una media di sole 3 risposte corrette, accompagnate però da un numero leggermente inferiore di errori (4,5) e da un aumento delle risposte "non lo so" (2,5). Questo

risultato, al contrario di quanto detto prima, suggerisce che l'elevata sicurezza soggettiva non si traduce automaticamente in un rendimento migliore. In conclusione, quindi, non si notano delle dirette correlazioni tra l'autovalutazione soggettiva e il rendimento oggettivo: la sicurezza non cresce in parallelo alle prestazioni e le differenze tra i gruppi sono minime.

Un aspetto che può contribuire a spiegare l'assenza di un miglior rendimento tra gli studenti che dichiarano di sentirsi "molto sicuri" riguarda la natura stessa dei quesiti proposti. Gran parte delle domande, infatti, era costruita per indagare alcune misconcezioni tipiche, già ampiamente documentate nella ricerca in didattica dell'astronomia. In questi casi gli studenti tendono a rispondere con convinzione, ritenendo di fornire l'alternativa corretta, mentre in realtà attingono a concezioni ingenuie fortemente radicate, spesso consolidate dall'esperienza quotidiana e da interpretazioni intuitive dei fenomeni celesti. Di conseguenza, la sicurezza dichiarata non riflette una reale padronanza degli argomenti, ma piuttosto la solidità con cui queste idee preconcepite sono interiorizzate. Ciò spiega perché anche chi si colloca al livello massimo di autovalutazione possa ottenere prestazioni non superiori agli altri gruppi, manifestando una fiducia elevata in risposte che risultano, in realtà, errate.

In conclusione, l'analisi mette in evidenza come il livello di sicurezza dichiarato dagli studenti non sia in diretta correlazione con il rendimento effettivo nelle risposte. L'autovalutazione degli studenti appare dunque solo parzialmente allineata ai risultati effettivi, suggerendo una relazione complessa tra percezione soggettiva, conoscenza oggettiva e presenza di misconcezioni.

4 Test finale: struttura, risposte, analisi dati

A seguito delle due ore di lezione dedicate all'evoluzione storica dei calendari, illustrate nel capitolo precedente, si è proceduto con una fase di verifica per valutare l'efficacia dell'intervento didattico. L'obiettivo era duplice: da un lato misurare le conoscenze e le competenze astronomiche effettivamente acquisite dagli studenti, dall'altro raccogliere le loro impressioni e il grado di interesse suscitato dall'attività proposta.

In questo capitolo vengono presentati e analizzati i risultati del test finale proposto agli studenti; l'intero test si trova in Appendice B. Analogamente a quanto avvenuto per il test iniziale, anche questa prova è stata realizzata sotto forma di questionario tramite la piattaforma *Google Moduli*, alla quale gli studenti hanno risposto utilizzando il proprio cellulare personale. La compilazione è avvenuta durante un'ora di lezione, in presenza e sotto la supervisione del docente della classe e della sottoscritta. Il questionario è stato concepito in forma completamente anonima: non è stato richiesto di inserire il nome né alcun dato personale che potesse consentire l'identificazione del singolo studente. In totale, gli studenti che hanno compilato il test finale sono stati 32: 18 della classe 3ASA, 14 della classe 3BSA.

Il questionario era composto in tutto da 34 quesiti, prevalentemente a scelta multipla. La prima sezione, costituita da 14 domande, era volta a raccogliere un riscontro sul progetto e sulle lezioni svolte, con l'obiettivo di indagare il livello di interesse suscitato, il grado di coinvolgimento percepito e le eventuali difficoltà incontrate nella comprensione dei contenuti. La seconda parte del questionario, composta da 15 domande, era finalizzata a verificare le conoscenze e le competenze astronomiche acquisite al termine dell'intervento didattico. Alcuni di questi quesiti riprendevano in parte quelli già proposti nel test iniziale, in modo da consentire un confronto diretto tra i risultati ottenuti prima e dopo la lezione. Anche in questo caso, alcune domande si sono ispirate o sono state direttamente prese da *Lunar Phase Concept Inventory (LPCI)* di Lindell (2001) e da *Astronomy Diagnostic Test 2.0 (ADT2)* (Collaboration for Astronomy Education Research (CAER), 1999). In questa parte tutti i quesiti erano a risposta chiusa ad eccezione della domanda numero 9, che richiedeva di ordinare correttamente quattro elementi. Tutti gli altri quesiti prevedevano una sola opzione corretta e offrivano sempre la possibilità di selezionare la voce "non lo so", al fine di ridurre il rischio di risposte casuali e di permettere agli studenti di esprimere esplicitamente la propria incertezza.

Infine, il questionario comprendeva una domanda di autovalutazione e quattro domande a risposta aperta, pensate per raccogliere un parere più personale e riflessivo degli studenti circa la riuscita complessiva del progetto. In particolare, tali quesiti chiedevano di segnalare eventuali argomenti particolarmente apprezzati o ritenuti difficili, e di lasciare un commento libero sull'esperienza didattica vissuta.

4.1 Parte A. Interesse e riscontri riguardo al progetto

Vengono ora presentati i risultati relativi alla prima parte del questionario, dedicata a rilevare l'interesse degli studenti e a raccogliere un riscontro su questo progetto. La prima domanda chiedeva: "*I concetti affrontati ti erano già noti?*". Gli studenti hanno potuto rispondere attribuendo un punteggio compreso tra 1 (per niente) e 5 (sì, tutti). In Tabella 9 è riportata

una sintesi delle risposte, sia in valore assoluto sia in percentuale. In Figura 20 è riportato il relativo grafico.

	#	%
1: per niente	0	0,0%
2: solo alcuni	18	56,3%
3: circa la metà	12	37,5%
4: la maggior parte	2	6,3
5: sì, tutti	0	0%
Totale	32	100%

Tabella 9: Riassunto dei risultati relativi alla domanda TFaa01: “I concetti affrontati ti erano già noti?”. Nella seconda colonna vengono riportati i numeri di ragazzi che hanno scelto la risposta indicata, nella terza colonna i valori percentuali sul totale di 32 studenti.

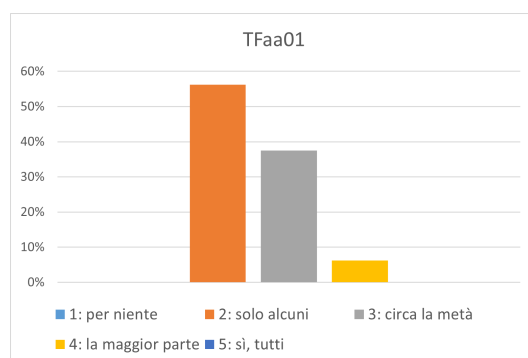


Figura 20: Istogramma relativo alla domanda TFaa01: “I concetti affrontati ti erano già noti?”. Gli studenti hanno potuto rispondere attribuendo un punteggio compreso tra 1 (per niente) e 5 (sì, tutti).

A partire da questi dati sono stati calcolati alcuni indicatori statistici descrittivi: la media è pari a 2,5, la mediana a 2, la moda a 2, la deviazione standard a 0,6. Come è mostrato anche nel relativo grafico, la maggioranza degli studenti (circa il 56%) si concentra attorno al valore 2, seguito dal valore 3 (circa 37%). Questo risultato indica chiaramente che i concetti affrontati erano in larga parte nuovi, o comunque affrontati solo parzialmente in precedenza. Tale considerazione conferma ancora una volta la scarsa familiarità che gli studenti hanno con i temi astronomici nel loro percorso scolastico, mettendo in luce la mancanza di una solida e sistematica istruzione in astronomia.

Si passa ora ad analizzare le risposte alle altre domande della prima parte del questionario finale. In particolare, è stato chiesto agli studenti di valutare le successive 13 affermazioni con un valore da 1 (“per niente vero”) a 4 (“decisamente vero”). Le affermazioni erano le seguenti:

- TFaa02. Ho apprezzato partecipare a queste lezioni.
- TFaa03. Queste lezioni hanno catturato la mia attenzione.
- TFaa04. Sono riuscito/a a seguire con facilità le lezioni (cioè senza perdere il filo, senza distrarmi, ecc...).
- TFaa05. È stato interessante affrontare delle lezioni di astronomia.

- e) TFaa06. È stato interessante capire come funzionano le fasi lunari.
- f) TFaa07. È stato interessante capire come funzionano i calendari.
- g) TFaa08. Mi è capitato di ripensare ad alcuni concetti astronomici trattati in aula, magari parlandone con qualcuno (es: guardando la forma della Luna in cielo, ecc...).
- h) TFaa09. Ho apprezzato che nelle lezioni fossero presenti contenuti storici e non solo astronomici.
- i) TFaa10. È stato interessante vedere qual è stata la storia del nostro calendario.
- j) TFaa11. Mi è capitato di ripensare ad alcuni concetti storici trattati in aula, magari parlandone con qualcuno (es: da dove deriva l'anno bisestile, ecc...).
- k) TFaa12. È stato utile avere un contesto storico per meglio comprendere i concetti astronomici.
- l) TFaa13. Sono riuscito/a ad inquadrare questi argomenti nel contesto storico che già conoscevo.
- m) TFaa14. Aver inserito delle parti storiche ha reso più interessanti i fatti astronomici.

I risultati vengono qui presentati attraverso due strumenti: una serie di istogrammi (cfr. Figure 21 e 22), che mostrano la distribuzione delle risposte per ciascun quesito, e una tabella riassuntiva (cfr. Tabella 10) contenente sia le percentuali di risposta, sia alcuni indicatori statistici descrittivi (media, mediana, moda e deviazione standard). Per garantire un confronto coerente tra i diversi istogrammi, tutti i grafici sono stati normalizzati e impostati sulla medesima scala di misura.

Domanda	1	2	3	4	Media	Mediana	Moda	Dev. st.
TFaa02	0,0%	3,1%	43,8%	53,1%	3,5	4	4	0,6
TFaa03	0,0%	6,3%	43,8%	50,0%	3,4	3,5	4	0,6
TFaa04	0,0%	6,3%	28,1%	65,6%	3,6	4	4	0,6
TFaa05	0,0%	0,0%	37,5%	62,5%	3,6	4	4	0,5
TFaa06	0,0%	9,4%	53,1%	37,5%	3,3	3	3	0,6
TFaa07	0,0%	12,5%	43,8%	43,8%	3,3	3	4	0,9
TFaa08	12,5%	46,9%	21,9%	18,8%	2,5	2	2	0,9
TFaa09	9,4%	25,0%	28,1%	37,5%	2,9	3	4	1,0
TFaa10	0,0%	18,8%	37,5%	43,8%	3,3	3	4	0,8
TFaa11	18,8%	43,8%	21,9%	15,6%	2,3	2	2	1,0
TFaa12	0,0%	12,5%	46,9%	40,6%	3,3	3	3	0,7
TFaa13	0,0%	21,9%	46,9%	31,3%	3,1	3	3	0,7
TFaa14	3,1%	18,8%	37,5%	40,6%	3,2	3	4	0,8

Tabella 10: A sinistra della tabella, sono indicate le percentuali di risposta date dagli studenti alle domande TFaa02-TFaa14. A destra, sono riportati gli indicatori statistici descrittivi (media, mediana, moda e deviazione standard). Le risposte si basano su un valore di veridicità da 1 ("per niente vero") a 4 ("decisamente vero").

Quello che si può subito notare dagli istogrammi è che la tendenza mostrata dagli studenti nelle 13 domande è complessivamente positiva. In quasi tutte le domande, la maggior parte degli studenti si colloca su valori tra il 3 e il 4, mostrandosi quindi molto d'accordo con le



Figura 21: Istogrammi relativi alle domande TFaa02-TFaa09 della parte A del questionario finale, basati sulle percentuali di risposta.

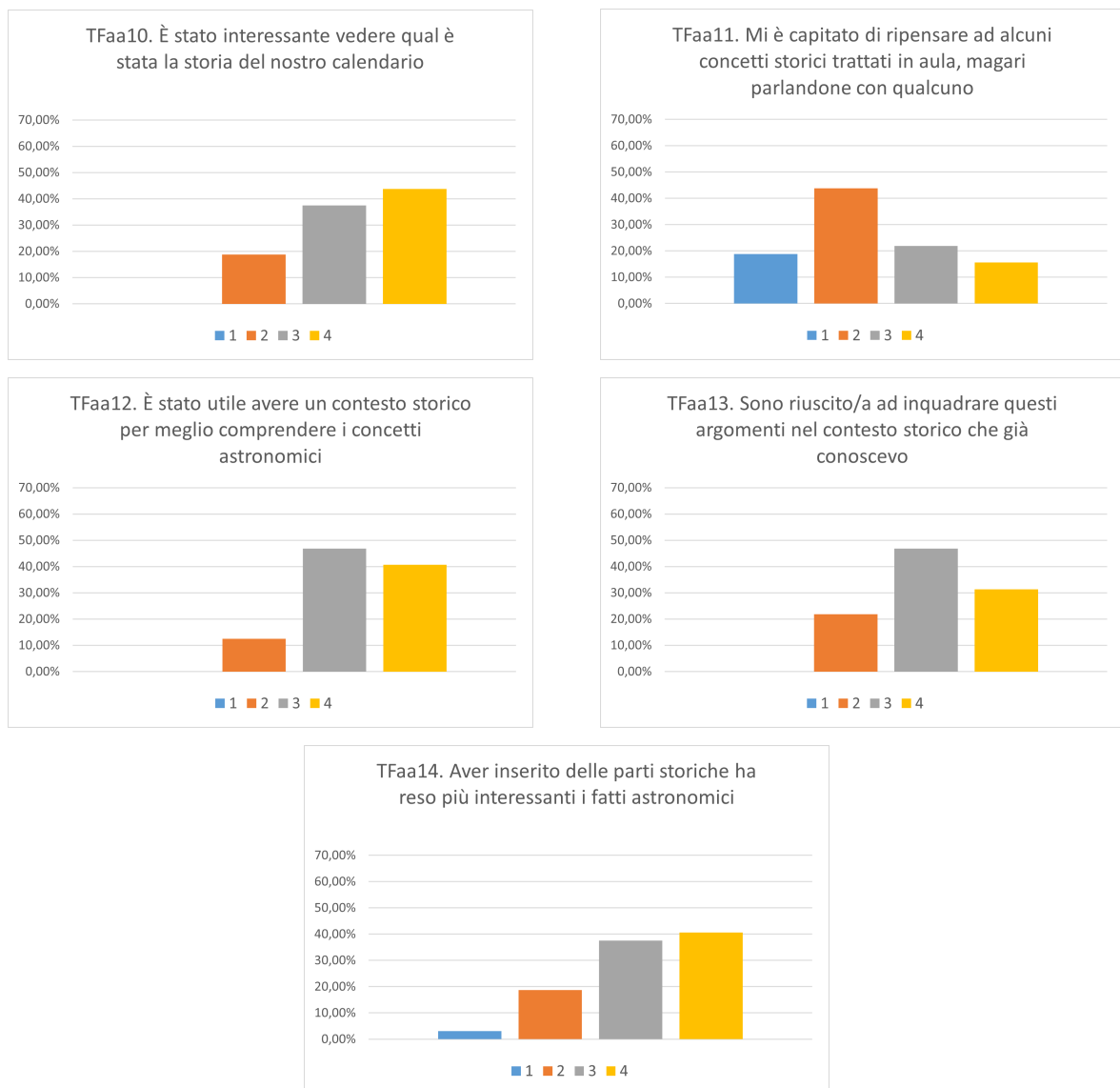


Figura 22: Istogrammi relativi alle domande TFaa10-TFaa14 della parte A del questionario finale, basati sulle percentuali di risposta.

affermazioni riportate. In alcuni casi compaiono anche delle risposte sui valori 1 e 2, in percentuali però molto basse e contenute. In particolare, le affermazioni che hanno riscosso più successo sono quelle che indagavano l'apprezzamento e l'interesse verso le lezioni di astronomia e, nello specifico, verso questo progetto: nelle domande TFaa02, TFaa03, TFaa04, TFaa05, TFaa06 più del 90% degli studenti ha risposto con valori pari a 3 o 4. Questi valori indicano che i ragazzi hanno accolto molto positivamente il progetto presentato, mostrandosi non solo interessati alle lezioni di astronomia e all'approccio didattico utilizzato, ma anche disposti a un coinvolgimento attivo.

La domanda che in assoluto ha ottenuto punteggi più alti è stata la TFaa05 (*"È stato interessante affrontare delle lezioni di astronomia."*). Essa mostra una media pari a 3,6, una mediana pari a 4, una moda pari a 4 e una deviazione standard pari a 0,5. Come si vede dall'istogramma, nessuno studente ha selezionato i punteggi 1 e 2, e più del 60% ha risposto con il valore massimo. Questo dato conferma che l'astronomia, pur essendo poco presente nei curricula scolastici, rimane comunque un argomento che esercita forti curiosità, interesse e motivazione. Proprio per la sua capacità di suscitare coinvolgimento e stupore, meriterebbe una presenza più ampia e strutturata all'interno dell'offerta formativa scolastica.

Le domande TFaa06, TFaa07, TFaa10 hanno indagato l'interesse di specifici argomenti trattati nelle lezioni, quali le fasi lunari, il funzionamento dei calendari e la storia del nostro calendario. Il fatto che queste domande mostrino tutte una media del 3,3 e una mediana di 3, indica ancora una volta che gli studenti hanno apprezzato i temi trattati in aula, mostrando interesse e coinvolgimento.

La seconda domanda che ha rivelato punteggi alti è stata la TFaa04 (*"Sono riuscito/a a seguire con facilità le lezioni"*). Solo il 6% degli studenti ha valutato con 2 questa affermazione, e più del 65% ha invece selezionato il valore massimo. Questo indica che, nonostante fossero temi per lo più nuovi o non molto noti, gli studenti hanno apprezzato i contenuti delle lezioni e le modalità didattiche con le quali sono state affrontate.

Viceversa, le domande TFaa08 e TFaa11, legate al ripensare concetti astronomici o storici al di fuori del contesto scolastico, hanno registrato i valori più bassi di tutta la sezione (con una media di 2,5 e 2,3 rispettivamente). In entrambi i casi, circa il 60% degli studenti si è collocato sui valori più bassi della scala (1 e 2), e meno del 20% sul valore massimo. Questo dato suggerisce che il trasferimento spontaneo di conoscenze al di fuori dell'aula rappresenta ancora una difficoltà per la maggior parte degli studenti. Anche se è stato mostrato un grande interesse e coinvolgimento durante l'attività in aula, tale partecipazione non si è sempre trasformata in una rielaborazione personale successiva. È comunque importante sottolineare che una parte del campione, anche se limitata, ha dichiarato di aver ripensato ai concetti trattati in aula, applicandoli a situazioni di vita quotidiana o conversazioni esterne, indicando che l'attività didattica svolta è stata in grado di lasciare un segno.

Un'attenzione particolare meritano le domande TFaa09, TFaa12, TFaa14, ossia quelle che mettevano in relazione la dimensione storica con quella astronomica. Sebbene i punteggi medi registrati risultino leggermente inferiori rispetto ad altre domande del questionario e la distribuzione di risposte sia più ampia, i valori rimangono comunque elevati. Oltre l'80% degli studenti ha infatti risposto con valori pari a 3 o 4, e in pochissimi hanno scelto l'opzione più bassa. Questo dato indica che l'inserimento della dimensione storica è stato apprezzato e riconosciuto come valore aggiunto nella comprensione dei concetti astronomici. Non bisogna infatti dimenticare che le grandi teorie scientifiche, le scoperte, ma anche le strade sbagliate e gli errori che hanno preceduto i successi sono profondamente legate

al contesto storico, geografico e culturale in cui sono maturate. Come abbiamo visto, e come anche i ragazzi hanno avuto modo di comprendere, l'astronomia è profondamente legata alla storia dell'essere umano. Conoscere il tempo in cui una certa idea o teoria è nata e ha preso forma permette di comprenderne meglio il significato, le motivazioni e le implicazioni. Questo fornisce poi una chiave di lettura più ampia rispetto all'impatto avuto da una determinata teoria, così come rispetto ai limiti e alle difficoltà incontrate durante la sua diffusione. In questo modo, i concetti non appaiono come nozioni isolate, ma assumono un senso all'interno di una dimensione storica che diventa una cornice indispensabile per dare profondità e coerenza ai contenuti. Allo stesso modo, conoscere il percorso personale e intellettuale dei grandi protagonisti della scienza consente di umanizzare il sapere scientifico: permette cioè di capire che anche figure considerate universalmente come geniali siano persone con le proprie fragilità, idee e sentimenti. Le scoperte diventano così il risultato di continui tentativi, errori, successi, strade talvolta giuste e talvolta sbagliate. Non sono verità astratte e universali ma il frutto di un processo umano, che risulta molto spesso complesso e faticoso. Come mostrano i dati, non tutti hanno percepito l'utilità di questo approccio, o hanno colto pienamente il nesso tra i due ambiti disciplinari, segno che ci sia ancora del lavoro da fare in questa direzione di interdisciplinarietà. Nonostante ciò, nella maggior parte dei casi questa integrazione tra scienza e storia sembra aver contribuito ad accrescere l'interesse e la comprensione degli studenti, rafforzando la percezione dell'astronomia come disciplina viva e radicata nella storia dell'umanità.

4.2 Parte B. Valutazione delle conoscenze e competenze acquisite

Vengono ora presentati i risultati relativi alla seconda parte del questionario, ossia quella volta ad indagare le conoscenze e le competenze acquisite a seguito dell'intervento didattico. In Tabella 11 viene riportata la lista delle domande, con il loro identificativo; una descrizione completa dei quesiti con le alternative di risposta si trova invece in Appendice B, dove il testo è riportato integralmente.

Viene presentata anche una tabella (cfr. Tabella 12) che riporta i dati in forma aggregata relativi alle risposte fornite dai 32 studenti partecipanti. Questa rappresentazione consente di osservare in maniera più immediata le tendenze generali delle risposte, di evidenziare le difficoltà maggiormente diffuse e di condurre un'analisi più chiara e sistematica dei risultati. Nella tabella, le righe corrispondono alle 15 domande della parte B del questionario, mentre le colonne indicano le percentuali con cui ciascuna opzione di risposta è stata selezionata. Il simbolo / segnala le opzioni di risposta non presenti per la specifica domanda. Ai fini della codifica, è stato adottato il seguente criterio: l'opzione A indica sempre la risposta corretta, l'opzione B corrisponde all'alternativa "non lo so", mentre le opzioni comprese tra C e I rappresentano tutte le possibili risposte errate proposte nei diversi quesiti. Tale impostazione ha permesso di uniformare la raccolta dei dati e di facilitare le analisi successive.

Per rendere l'interpretazione dei dati più immediata e intuitiva, nelle Figure 23 e 24 vengono presentati gli istogrammi relativi a ciascuna domanda, basati sulle percentuali di risposta. Questi grafici permettono di visualizzare rapidamente la distribuzione delle scelte degli studenti e di cogliere eventuali tendenze o differenze tra le varie domande. Per garantire un confronto coerente tra i diversi istogrammi, tutti i grafici sono stati normalizzati e impostati sulla medesima scala di misura.

Codice	Domanda
TFbb01	Segna con una croce a quale calendario corrispondono le seguenti caratteristiche: composto da 10 mesi.
TFbb02	Segna con una croce a quale calendario corrispondono le seguenti caratteristiche: prima della sua introduzione ha eliminato 10 giorni per riallinearsi.
TFbb03	Segna con una croce a quale calendario corrispondono le seguenti caratteristiche: l'anno del calendario è più corto dell'anno solare.
TFbb04	Segna con una croce a quale calendario corrispondono le seguenti caratteristiche: aggiunge l'anno bisestile una volta ogni 4 anni.
TFbb05	Segna con una croce a quale calendario corrispondono le seguenti caratteristiche: aggiunge l'anno bisestile una volta ogni 4 anni con alcune eccezioni.
TFbb06	Segna con una croce a quale calendario corrispondono le seguenti caratteristiche: prima della sua introduzione ha allungato l'anno rendendolo di 15 mesi per riallinearsi.
TFbb07	In che secolo Copernico propose il suo modello eliocentrico del Sistema Solare?
TFbb08	Le stagioni si verificano perché:
TFbb09	Ordina per data di nascita i seguenti astronomi: Copernico, Cassini, Galilei, Tolomeo.
TFbb10	Nell'immagine sottostante è mostrata la Luna vista dall'emisfero nord della Terra (sopra) e un diagramma con Terra, Sole e otto diverse possibili posizioni della Luna (sotto). Quale posizione della Luna farebbe apparire la Luna come l'immagine in alto?
TFbb11	Ad un certo punto della sera, vedi il Sole che sta tramontando a ovest e contemporaneamente vedi la Luna che sta sorgendo a est. In quale fase si trova la Luna?
TFbb12	I calendari lunari si basano sul ciclo della Luna. Quanto dura all'incirca?
TFbb13	Qual era lo scopo principale della meridiana costruita da Giovanni Domenico Cassini nella Basilica di San Petronio a Bologna?
TFbb14	Il giorno sidereo e il giorno solare:
TFbb15	Grazie alla sua meridiana, Cassini dimostra che:

Tabella 11: Codici associati alle domande e domande relative alla parte B del questionario finale. Il questionario in forma completa (comprensiva cioè delle risposte) è riportato in Appendice B.

Osservando i dati riportati in tabella e i relativi istogrammi, si nota come primo elemento di rilievo un netto miglioramento delle prestazioni complessive rispetto al test iniziale. In ben 14 quesiti su 15, la risposta corretta risulta infatti quella maggiormente selezionata dagli studenti, e in 12 casi su 15 è stata scelta da oltre la metà del campione. Questo dato, di per sé significativo, suggerisce come l'intervento didattico abbia effettivamente favorito una comprensione più solida dei concetti astronomici trattati, incrementando il livello di padronanza dei contenuti rispetto alla situazione di partenza. Oltre all'aumento delle risposte corrette, si registra parallelamente una riduzione sia delle risposte errate sia, in misura ancor più evidente, delle scelte "non lo so". In diversi quesiti (come nel caso delle domande TFbb02, TFbb08, TFbb10, TFbb12) questa opzione non è stata selezionata da alcuno studente, mentre in altri casi è stata scelta solo da una minoranza. L'unica eccezione è rappresentata dalla domanda TFbb11, in cui la percentuale di risposte "non lo so" ha superato il 30%,

Domanda	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Totale
TFbb01	78,1%	6,3%	9,4%	6,3%	/	/	/	/	/	100%
TFbb02	56,3%	0,0%	9,4%	34,4%	/	/	/	/	/	100%
TFbb03	59,4%	3,1%	21,9%	15,6%	/	/	/	/	/	100%
TFbb04	62,5%	3,1%	6,3%	28,1%	/	/	/	/	/	100%
TFbb05	71,9%	3,1%	3,1%	21,9%	/	/	/	/	/	100%
TFbb06	68,8%	6,3%	15,6%	9,4%	/	/	/	/	/	100%
TFbb07	56,3%	15,6%	15,6%	12,5%	0,0%	/	/	/	/	100%
TFbb08	78,1%	3,1%	0,0%	9,4%	6,3%	3,1%	/	/	/	100%
TFbb09	62,5%	6,3%	9,4%	9,4%	3,1%	3,1%	3,1%	3,1%	/	100%
TFbb10	34,4%	0,0%	0,0%	25,0%	9,4%	25,0%	3,1%	3,1%	0,0%	100%
TFbb11	28,1%	31,3%	0,0%	12,5%	6,3%	9,4%	3,1%	9,4%	/	100%
TFbb12	90,6%	0,0%	0,0%	3,1%	0,0%	6,3%	/	/	/	100%
TFbb13	31,3%	9,4%	25,0%	18,8%	3,1%	12,5%	/	/	/	100%
TFbb14	62,5%	3,1%	0,0%	18,8%	9,4%	6,3%	/	/	/	100%
TFbb15	56,3%	12,5%	9,4%	9,4%	12,5%	/	/	/	/	100%

Tabella 12: Risposte aggregate della parte B del questionario finale. In testa alle righe è riportato il codice della domanda TFbb01-TFbb15, mentre in testa alle colonne l'opzione di risposta. In tabella viene riportata la percentuale di risposta scelta per ogni domanda. Il simbolo / segnala le opzioni di risposta non presenti per la specifica domanda.

risultando persino superiore a quella della risposta corretta. Questa tendenza generale alla diminuzione delle risposte di incertezza appare particolarmente significativa, in quanto denota una maggiore sicurezza degli studenti nell'affrontare le domande di astronomia e, più in generale, un accresciuto senso di padronanza rispetto ai contenuti proposti. Non si tratta quindi soltanto di un incremento delle conoscenze in senso stretto, ma anche di un rafforzamento della fiducia nelle proprie capacità di comprensione e di risposta, che rappresenta un ulteriore indicatore della riuscita dell'intervento didattico.

Un esempio particolarmente significativo del miglioramento osservato riguarda la domanda relativa alla causa delle stagioni. Questo tema, affrontato sia nel test iniziale sia in quello finale attraverso quesiti diversi ma concettualmente equivalenti, si presta bene a mettere in evidenza l'evoluzione delle conoscenze degli studenti. In Figura 25 sono riportati i due grafici comparativi delle risposte (la formulazione completa dei quesiti si trova in Appendice A e in Appendice B). Come si può notare, nel test finale si registra un marcato incremento della percentuale di studenti che hanno individuato correttamente la causa delle stagioni, ossia l'inclinazione dell'asse terrestre. Nel test iniziale, al contrario, la risposta maggiormente scelta (circa 45% del campione) era l'opzione C, che attribuiva erroneamente l'alternanza delle stagioni alla maggiore o minore distanza della Terra dal Sole. Nel test finale, tale concezione ingenua è stata sensibilmente ridimensionata: l'opzione corrispondente, presentata questa volta come alternativa D, è stata selezionata da meno del 10% degli studenti. Questo passaggio da un'errata convinzione diffusa a una comprensione più corretta del fenomeno sembra evidenziare l'efficacia dell'intervento didattico, che ha contribuito a fornire nuove conoscenze, e forse anche a scalfire una delle misconcezioni più radicate e persistenti in ambito astronomico.

A sostegno di quanto emerso dall'analisi quantitativa, anche le risposte fornite alla do-



Figura 23: Istogrammi relativi alle domande TFbb01-TFbb08 della parte B del questionario finale, basati sulle percentuali di risposta. Le domande sono riportate in Tabella 11; si ricorda che la risposta A è quella corretta, la risposta B corrisponde all'opzione "non lo so", mentre le risposte da C a I sono errate.



Figura 24: Istogrammi relativi alle domande TFbb09-TFbb15 della parte B del questionario finale, basati sulle percentuali di risposta. Le domande sono riportate in Tabella 11; ricordo che la risposta A è quella corretta, la risposta B corrisponde all'opzione "non lo so", mentre le risposte da C a I sono errate.

manda aperta “Ci sono dei concetti che non ti erano chiari e che hai capito meglio grazie a queste lezioni?” confermano il progresso raggiunto. Alcuni studenti hanno infatti dichiarato esplicitamente di aver compreso in modo più chiaro proprio il tema delle stagioni: grazie alla spiegazione svolta in aula, arricchita da immagini, esempi concreti e semplici dimostrazioni pratiche, hanno avuto modo di superare i dubbi precedenti e di assimilare correttamente il meccanismo che regola l'alternanza stagionale.

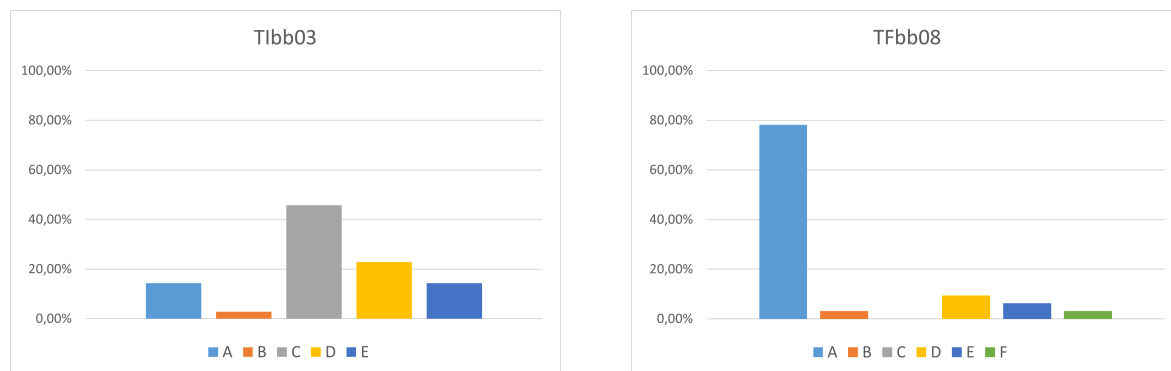


Figura 25: A sinistra, istogramma relativo alle risposte alla domanda Tlbb03 del test iniziale. A destra, istogramma relativo alle risposte alla domanda TFbb08 del test finale. Entrambe le domande indagavano il motivo dell'esistenza delle stagioni.

Nonostante il miglioramento complessivo riscontrato nelle risposte, i risultati evidenziano come alcuni concetti rimangano ancora di difficile comprensione e come certe misconcezioni, radicate e persistenti, risultino particolarmente ostiche da superare. Un caso emblematico è rappresentato dalle domande relative alle fasi lunari, in particolare la domanda TFbb10 e la domanda TFbb11.

Ad esempio, la domanda TFbb10 chiedeva di individuare la posizione della Luna nello spazio in corrispondenza di una determinata fase osservata dalla Terra. Sebbene la risposta corretta sia risultata la più scelta, più del 60% degli studenti ha comunque fornito una risposta errata. Questo dato mette in luce come il tema delle fasi lunari continui a rappresentare una difficoltà significativa, soprattutto per quanto riguarda la capacità di visualizzare correttamente il sistema di riferimento Sole-Terra-Luna e di immaginarne la configurazione geometrica. Questa difficoltà, quindi, sembra derivare non tanto da una mancanza di contenuti, ma quanto più dalla complessità nel riuscire a immaginare e collocare correttamente nello spazio i tre corpi celesti coinvolti, cosa che richiede una buona capacità di astrazione e visualizzazione mentale.

4.3 Parte C. Autovalutazione

Si passa ora ad analizzare l'ultima parte del questionario finale, dedicata all'autovalutazione. Anche in questo caso, l'obiettivo era quello di indagare la percezione che gli studenti hanno della propria preparazione e il loro grado di sicurezza nelle risposte fornite. La domanda a loro posta era la seguente: *In generale, quanto sei sicuro che le tue risposte a questo sondaggio siano corrette?*

- a) Per niente sicuro
- b) Poco sicuro

c) *Abbastanza sicuro*

d) *Molto sicuro*

Per facilitare l'analisi, è stato assegnato il valore 1 alla risposta "per niente sicuro", il valore 2 a "poco sicuro", il valore 3 a "abbastanza sicuro" e il valore 4 a "molto sicuro". In Figura 26 viene riportato un istogramma delle frequenze delle risposte date dal campione di studenti. In Tabella 13 invece sono indicati sia i valori delle frequenze di risposta, sia i valori di media, mediana, moda e deviazione standard.

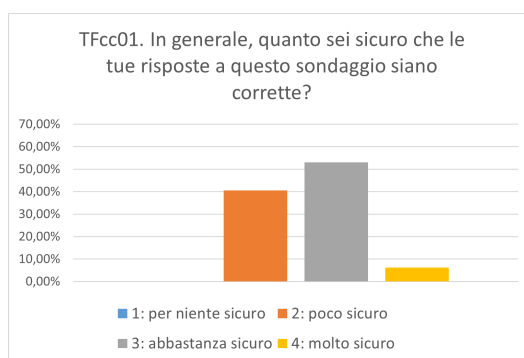


Figura 26: Istogramma relativo alla parte C del test finale, ossia alla domanda di autovalutazione.

	#	%		Valore
1: per niente sicuro	0	0,0%	Media	2,7
2: poco sicuro	13	40,6%	Mediana	3
3: abbastanza sicuro	17	53,1%	Moda	3
4: molto sicuro	2	6,3%	Dev. st.	0,6

Tabella 13: A sinistra della tabella, sono riportate le risposte aggregate relative alla parte C del test finale (autovalutazione): nella seconda colonna sono indicati i numeri di ragazzi che hanno scelto la risposta indicata, nella terza colonna i valori percentuali (totale 32 studenti). A destra della tabella, sono riportati gli indicatori statistici descrittivi (media, mediana, moda e deviazione standard).

Dai dati emerge che una buona parte degli studenti ha dichiarato un livello medio di sicurezza rispetto alle risposte che ha fornito. Nello specifico si nota che oltre la metà del campione si dice abbastanza sicuro (valore 3), mentre circa il 40% si ritiene poco sicuro (valore 2). Solo 2 studenti (circa 6%) hanno scelto l'opzione massima (molto sicuro, valore 4), e nessuno studente ha optato per l'opzione minima (per niente sicuro, valore 1). Questa distribuzione si può ben comprendere anche guardando gli indicatori statistici: la media (2,7) e la mediana (3) sono spostate verso il livello intermedio, confermando una percezione da parte degli studenti di una discreta padronanza dei contenuti trattati. Rispetto a quanto emerso nell'autovalutazione del test iniziale (cfr. Figura 18), qui si nota un rafforzamento della consapevolezza delle conoscenze acquisite. Nonostante ciò, rimane evidente la non totale sicurezza, segno che alcuni concetti non sono ancora pienamente consolidati. L'autovalutazione sembra quindi confermare quanto emerso dall'analisi delle singole domande di conoscenza: un miglioramento generale, accompagnato però dalla persistenza di alcune difficoltà.

Si prova ora a fare un confronto diretto tra la percezione soggettiva che hanno gli studenti del loro lavoro e i risultati oggettivi. In Tabella 14 è riportato per ciascun studente (indicato con il codice S01-S32) il livello di autovalutazione o sicurezza espresso e il numero di risposte corrette, di risposte sbagliate, di risposte “non lo so”. In questo modo si può capire se un livello più elevato di sicurezza percepita corrisponda a un numero maggiore di risposte corrette, oppure se, al contrario, ci siano scostamenti significativi tra ciò che gli studenti ritengono di sapere e i risultati realmente ottenuti.

Studente	Autovalutazione	Corrette	Sbagliate	“Non lo so”
S01	2	7	7	1
S02	2	4	10	1
S03	3	12	3	0
S04	2	11	4	0
S05	3	13	2	0
S06	3	13	2	0
S07	3	9	6	0
S08	3	10	5	0
S09	4	12	2	1
S10	3	12	2	1
S11	2	11	4	0
S12	3	7	8	0
S13	3	13	2	0
S14	2	8	2	5
S15	4	3	10	2
S16	3	8	6	1
S17	2	9	3	3
S18	2	8	5	2
S19	2	2	10	3
S20	2	7	7	1
S21	2	9	6	0
S22	2	2	13	0
S23	2	9	6	0
S24	3	10	4	1
S25	3	10	5	0
S26	2	10	0	5
S27	3	6	5	4
S28	3	10	3	2
S29	3	11	4	0
S30	3	8	7	0
S31	3	11	4	0
S32	3	12	3	0
Totale		287	160	33

Tabella 14: Nella seconda colonna è indicato il livello di autovalutazione che ciascun studente si è attribuito. Nelle altre colonne a destra è mostrato il numero di risposte corrette, sbagliate e segnate con “non lo so” su un totale di 15 domande. I codici S01-S32 identificano i singoli studenti. L'ultima riga mostra il numero totale di risposte per ciascuna categoria.

Per una comprensione più immediata del legame tra percezione soggettiva e risposte oggettive, è stata calcolata la media delle risposte fornite dagli studenti, distinguendo tra corrette, sbagliate e contrassegnate con “non lo so”, divise in base al grado di autovalutazione dichiarato. In questo modo si può subito vedere se ci sono correlazioni tra l'autovalutazione e il rendimento. In Tabella 15 vengono riportati i dati calcolati. Nelle celle è indicato sia il dato numerico, sia il dato percentuale calcolato su un totale di 15 risposte. Nell'ultima riga invece, gli stessi dati sono calcolati sull'intero campione. A supporto della tabella, in Figura 27 vengono riportati due istogrammi che contengono le stesse informazioni della tabella, ma con le variabili invertite. A sinistra, l'istogramma con il grado di autovalutazione in asse orizzontale e la media delle risposte sulle colonne colorate; a destra, l'istogramma con la media delle risposte sull'asse orizzontale e il grado di autovalutazione sulle colonne colorate.

Autovalutazione	Media di corrette	Media di sbagliate	Media di non lo so
1: per niente sicuro	0,0 = 0,0%	0,0 = 0,0%	0,0 = 0,0%
2: poco sicuro	7,5 = 49,7%	5,9 = 39,5%	1,6 = 10,8%
3: abbastanza sicuro	10,3 = 68,6%	4,2 = 27,8%	0,5 = 3,5%
4: molto sicuro	7,5 = 50%	6,0 = 40,0%	1,5 = 10,0%
Campione totale	9,0 = 59,8%	5,0 = 33,3%	1,0 = 6,9%

Tabella 15: Correlazione tra autovalutazione e risposte date al test finale, parte B. Le risposte sono indicate come media di risposte corrette, sbagliate e segnate con “non lo so” su un totale di 15 domande, divise a seconda del punteggio dato all'autovalutazione.

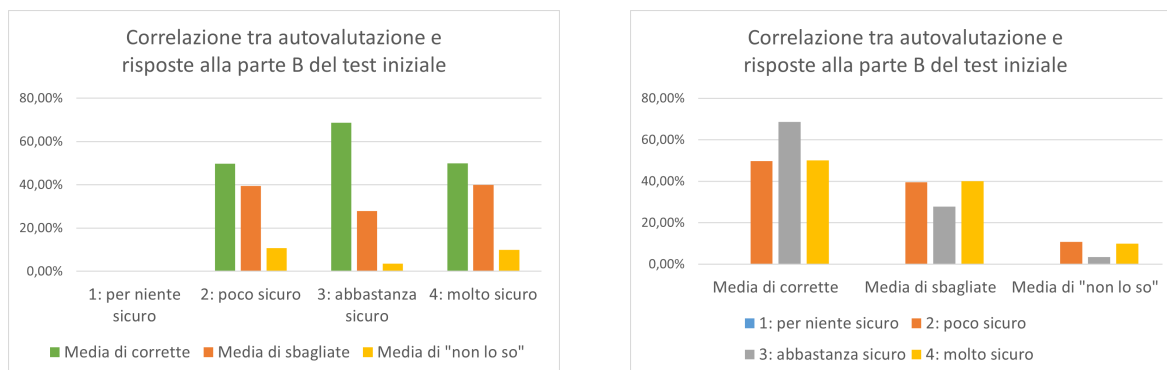


Figura 27: Istogrammi relativi alla correlazione tra autovalutazione e media di risposte corrette, sbagliate e segnate con “non lo so” della parte B del test finale (totale 15 domande). A sinistra, l'istogramma con il grado di autovalutazione in asse orizzontale e la media delle risposte sulle colonne colorate; a destra, l'istogramma con la media delle risposte sull'asse orizzontale e il grado di autovalutazione sulle colonne colorate.

Dalla tabella e dagli istogrammi si possono fare alcune osservazioni. Passando dal livello “poco sicuro” al livello “abbastanza sicuro”, si nota un aumento di risposte corrette (da 7,5 a 10,3), una diminuzione di risposte sbagliate (da 5,9 a 4,2) e di risposte “non lo so” (da 1,6 a 0,5). Questo sembra indicare che a una maggior fiducia dichiarata corrisponda un aumento di risposte corrette e una diminuzione di risposte non certe. Viceversa, l'ultimo gruppo, che ha dichiarato di essere “molto sicuro”, presenta risultati pressoché uguali al gruppo di livello 2. Si ritorna quindi a un livello minore di risposte corrette e a un livello maggiore di risposte

sbagliate e “non lo so”. C'è da precisare, però, che questo ultimo risultato è basato su un campione di due persone, una delle quali ha effettivamente risposto molto bene (12 giuste, 2 sbagliate, 1 “non lo so”), mentre l'altra ha fornito delle risposte che la collocano come la seconda peggiore del test (3 giuste, 10 sbagliate, 2 “non lo so”). Per via del campione molto ridotto, non si possono trarre conclusioni generali sull'ultimo livello di autovalutazione. Possiamo però affermare che l'elevata sicurezza soggettiva non si traduce automaticamente in un rendimento migliore.

Se invece si uniscono i dati degli ultimi due livelli, ossia del livello “abbastanza sicuro” e del livello “molto sicuro”, si può fare una considerazione: in questo caso si nota una diretta correlazione tra l'autovalutazione soggettiva e il rendimento oggettivo. Va sottolineato che questa differenza non è enorme e che il campione di riferimento non presenta numeri elevati. L'autovalutazione degli studenti appare quindi solo parzialmente allineata ai risultati effettivi, suggerendo una relazione complessa tra percezione soggettiva, conoscenza oggettiva e persistenza di misconcezioni.

4.3.1 Domande a risposta aperta

In conclusione, si prendono in esame le risposte fornite dagli studenti alle domande aperte relative a questo progetto.

TFcc02. “C'è un argomento delle lezioni che hai particolarmente apprezzato?” Dall'analisi delle risposte emerge che il tema più citato è stato quello dei calendari: 10 studenti hanno indicato genericamente “i calendari” come argomento di maggiore interesse, mentre altri 4 hanno specificato “la storia dei calendari”. Inoltre, 4 studenti hanno sottolineato in particolare l'aspetto legato alla nascita e al funzionamento del nostro calendario attuale. Un altro nucleo di risposte si è concentrato sulle fasi lunari, menzionate da 7 studenti, mentre le stagioni sono state indicate da 2 studenti. Infine, 4 studenti hanno dichiarato di aver apprezzato maggiormente la parte riguardante la meridiana e la figura di Cassini.

Nel complesso, dunque, le lezioni sembrano aver suscitato interesse in tutte le loro componenti: da un lato, gli studenti attratti dall'evoluzione storica dei calendari; dall'altro, coloro che hanno trovato stimolanti gli aspetti più strettamente astronomici, come le fasi lunari, le stagioni e l'osservazione del cielo. Questo risultato suggerisce che l'equilibrio tra contenuti storici e scientifici abbia favorito una pluralità di stimoli, in grado di intercettare sensibilità e curiosità differenti all'interno del gruppo classe.

TFcc03. “C'è un argomento delle lezioni che non hai apprezzato o capito?” A questa domanda, per la maggior parte degli studenti (27 su 32) la risposta è stata negativa, segnalando di non aver incontrato particolari difficoltà né di aver trovato argomenti poco interessanti. Solo pochi studenti hanno espresso delle riserve: un paio hanno dichiarato di aver apprezzato meno le parti più fisiche, in particolare i moti della Terra, mentre altri due hanno indicato le sezioni di carattere storico, come la figura di Cassini o l'evoluzione dei calendari.

Questo dato risulta significativo: è del tutto naturale che non tutti gli studenti apprezzino o comprendano nella stessa misura ogni contenuto proposto. Tuttavia, il fatto che circa l'80% del campione abbia dichiarato di aver compreso e apprezzato sostanzialmente tutti gli argomenti trattati rappresenta un indicatore positivo, che mette in luce la buona riuscita

dell'intervento didattico, sia nella scelta dei contenuti sia nelle modalità con cui essi sono stati presentati.

TFcc04. "Ci sono dei concetti che non ti erano chiari e che hai capito meglio grazie a queste lezioni?" Le risposte raccolte evidenziano un riscontro positivo: 5 studenti hanno risposto con un generico "sì" e altri 6 con un altrettanto generico "tutto", a testimonianza di una percezione di apprendimento diffuso. Più nello specifico, 6 studenti hanno dichiarato di aver chiarito meglio i concetti legati ai calendari, mentre 8 hanno indicato le fasi lunari come l'aspetto che hanno compreso con maggiore chiarezza. Altri studenti hanno inoltre menzionato singoli argomenti, come le stagioni, le leggi di Keplero, la teoria copernicana, il motivo dell'anno bisestile e la figura di Cassini.

Nel complesso, le risposte suggeriscono che le lezioni abbiano avuto un ruolo efficace nel favorire la comprensione di concetti spesso complessi o soggetti a misconcezioni, contribuendo così ad accrescere la sicurezza e la padronanza degli studenti in diversi ambiti dell'astronomia.

TFcc05. "Se ti va, lascia un commento su questo progetto, sulle lezioni, sui questionari. Qualsiasi riflessione, anche piccola, può essere d'aiuto per la scrittura della tesi, grazie!"

Le risposte raccolte hanno restituito un quadro complessivamente positivo, mettendo in luce l'interesse e l'apprezzamento degli studenti nei confronti del progetto. Alcuni commenti sono stati particolarmente significativi, come ad esempio: *"È stato molto interessante e mi ha fatto molto piacere, è stato qualcosa di diverso rispetto a quello che facciamo di solito in classe."*, *"Ho trovato questo progetto interessante e costruttivo per la nostra cultura generale. Grazie."*, *"Le parti storiche sono servite a capire meglio i calendari anche se qualche volta sono noiose."*, *"Sono state lezioni brevi ma efficaci per la conoscenza di argomenti che mi interessavano. Sono state chiare."*, *"Ho trovato le lezioni interessanti, e sono state spiegate molto bene e con termini appropriati."*, *"È bello e interessante trattare concetti di astronomia visto che non ne parliamo molto."*, *"Sono state lezioni molto interessanti e molto più facili da seguire rispetto alle solite."*

Nel complesso, emerge l'idea che gli studenti abbiano percepito queste lezioni come un'occasione formativa nuova e stimolante, caratterizzata da chiarezza espositiva, da un buon equilibrio tra parte storica e parte scientifica e, soprattutto, dalla possibilità di affrontare temi di astronomia che solitamente non trovano spazio nel percorso scolastico ordinario. Ancora una volta si evidenzia, infatti, l'interesse verso l'astronomia e la curiosità degli studenti nell'esplorare argomenti poco trattati nei curricula tradizionali. Questo rappresenta un elemento di riflessione importante, che suggerisce la necessità di un maggiore inserimento dell'astronomia all'interno dell'insegnamento scientifico scolastico.

Per quanto riguarda la dimensione storica, dalle risposte appare chiaro come essa venga percepita dagli studenti come un elemento complementare agli argomenti astronomici: una cornice utile per meglio inquadrare i concetti e comprenderne il significato, pur essendo talvolta ritenuta meno accattivante rispetto ai fenomeni scientifici in sé. Ciò rafforza l'idea che la storia della scienza possa svolgere un ruolo didattico importante, fungendo da contesto interpretativo e da strumento per conferire maggiore profondità ai contenuti scientifici.

5 Conclusione

Il lavoro di ricerca presentato in questa tesi nasce dal desiderio di comprendere ed esplorare come gli studenti liceali si rapportino all'astronomia, una disciplina dal fascino indiscusso, ma che trova poco spazio nei programmi scolastici. L'indagine si è concentrata su due aspetti principali: da un lato, valutare l'effettivo interesse e la motivazione degli studenti verso argomenti legati al cielo e ai fenomeni astronomici; dall'altro lato, capire se un approccio storico possa contribuire a renderne lo studio dell'astronomia più coinvolgente e accessibile. In questo senso, l'indagine non si è limitata a verificare il livello di conoscenze astronomiche, ma ha cercato di esplorare il valore educativo e motivazionale di una proposta didattica che intreccia la scienza con la storia. Questo lavoro si è inserito all'interno di un dibattito più ampio sulla necessità di ripensare la didattica delle scienze per superare le misconcezioni e per renderla più interdisciplinare, cercando di connettere la dimensione scientifica a quella storica, culturale e sociale.

Si è partiti infatti dall'analisi della letteratura, dove emerge con chiarezza come la didattica dell'astronomia, pur essendo ambito relativamente recente, abbia già evidenziato alcune criticità. Tra le più rilevanti vi è la presenza negli studenti di misconcezioni e idee ingenuie, che nascono ancora in età prescolare e spesso resistono all'insegnamento tradizionale. Questa diffusione e persistenza di difficoltà concettuali su fenomeni fondamentali, come i moti della Terra, le stagioni o le fasi lunari, è accentuata dal fatto che l'astronomia occupa ancora un ruolo marginale nei curricula scolastici. Questa condizione fa sì che gli studenti costruiscano spesso una conoscenza frammentaria, basata su intuizioni personali o su informazioni parziali. Tali idee, inoltre, tendono a radicarsi e resistere anche dopo l'insegnamento formale, a meno che non vi sia un intervento didattico mirato. Allo stesso tempo, la letteratura mette in luce il grande potenziale dell'astronomia: la sua capacità di suscitare stupore, di stimolare interesse e curiosità e di creare un'occasione per integrare saperi diversi e connettersi con le altre discipline, dalle scienze naturali alla storia, passando per matematica e letteratura. Tutti elementi che rendono questa materia affascinante e adatta per sperimentare percorsi interdisciplinari e sviluppare competenze trasversali.

In questo quadro si inserisce il progetto di questa tesi: l'idea è stata quella di affrontare le difficoltà emerse dalla letteratura attraverso un intervento didattico mirato, basato su un approccio che integra dimensione scientifica e storica. Questo progetto è stato portato in due classi terze del Liceo "A. Rosmini" di Rovereto (TN), indirizzo Scientifico con opzione Scienze Applicate, con un campione di 39 studenti totali: 25 nella classe 3ASA e 14 nella classe 3BSA. Si è scelto di dedicare due ore di lezione all'evoluzione dei calendari: dai primi calendari lunari fino alle riforme romana, giuliana e gregoriana, soffermandosi sul contributo di Giovanni Domenico Cassini e sulla meridiana da lui realizzata a Bologna. Attraverso questo percorso, sono stati introdotti e approfonditi i moti di Sole, Terra e Luna, le stagioni e le fasi lunari, collegando i concetti scientifici all'evoluzione storica dei calendari e degli strumenti di misura. In questo modo, l'astronomia non è stata presentata come un insieme astratto di nozioni, ma come un sapere dinamico e interconnesso, capace di testimoniare il legame profondo tra scienza, storia e progresso culturale.

I dati raccolti nel corso del progetto hanno offerto un quadro significativo rispetto agli obiettivi della ricerca. Le risposte del test iniziale hanno messo in luce come l'interesse degli studenti verso l'astronomia sia mediamente elevato, anche se con livelli di curiosità e

motivazione differenti tra i partecipanti. Allo stesso tempo, però, le domande relative alle conoscenze astronomiche di base hanno evidenziato difficoltà significative, in particolare su concetti fondamentali come stagioni, fasi lunari, moti relativi. Questi risultati rispecchiano quanto riportato in letteratura: le conoscenze degli studenti appaiono spesso parziali e frammentate, accompagnate da un numero elevato di incertezze.

I dati raccolti del test finale hanno permesso di valutare l'impatto del progetto didattico e di cogliere i cambiamenti avvenuti. In generale, i risultati hanno evidenziato un miglioramento complessivo delle conoscenze e competenze relative ai concetti astronomici trattati. Le lezioni sono state accolte con entusiasmo e partecipazione, e l'inserimento della prospettiva storica è stato percepito dalla maggioranza come un valore aggiunto, capace di arricchire la comprensione dei contenuti, rendendoli più significativi e contestualizzati. Non tutti però hanno apprezzato e compreso il legame tra la dimensione storica e quella scientifica: questo suggerisce che l'approccio interdisciplinare richiede tempo, continuità e strategie didattiche adeguate per risultare pienamente efficace.

In generale, l'esperienza ha evidenziato il potenziale dell'astronomia come strumento didattico capace di stimolare curiosità, favorire connessioni interdisciplinari e promuovere una visione integrata del sapere.

5.1 Limiti, validità e prospettive future

Il progetto presentato è nato come un intervento didattico a carattere esplorativo, privo della pretesa di trarre conclusioni generalizzabili o di validare modelli teorici. Si tratta di un caso studio, il cui valore risiede soprattutto nell'offrire un esempio e un'esperienza di didattica dell'astronomia in un contesto scolastico.

Uno dei limiti principali riguarda la dimensione ridotta del campione, in quanto il numero di studenti partecipanti non consente di formulare conclusioni statisticamente robuste, ma solo di individuare tendenze ed esplorare possibili andamenti. A questo si aggiunge la brevità del progetto, limitato a sole due ore di lezione e altre due ore per lo svolgimento dei test. Un tempo così ristretto non permette di approfondire in modo sistematico i concetti astronomici, né di lavorare con continuità sulle misconcezioni più radicate. Inoltre, il progetto si è svolto durante le ore di fisica del docente titolare, ma di fatto è stato proposto come attività esterna alle normali lezioni curricolari e non ha previsto alcuna forma di valutazione. È quindi plausibile che gli studenti lo abbiano accolto con maggiore entusiasmo e interesse, grazie al clima più disteso e informale e alla percezione di un'attività nuova rispetto alla consuetudine scolastica.

Alla luce di ciò, appare evidente che per ottenere risultati più solidi sia necessario progettare percorsi didattici più estesi e strutturati, così da affrontare i concetti astronomici più gradualmente e con continuità. In questo modo si può dedicare più tempo all'analisi critica delle concezioni ingenuie e fornire agli studenti la possibilità di confrontarsi e interiorizzare realmente i contenuti. Un ulteriore sviluppo interessante sarebbe quello di somministrare un test di verifica anche a distanza di qualche mese, per capire se le conoscenze e l'interesse rimangono nel tempo. Potrebbe inoltre essere utile estendere la sperimentazione a studenti di altri livelli scolastici, per esplorare come cambia l'atteggiamento verso l'astronomia in età diverse e quali approcci risultano più efficaci nei vari contesti.

5.2 Considerazioni finali

I risultati di questo lavoro suggeriscono che l'astronomia possiede un potenziale educativo che meriterebbe di essere maggiormente valorizzato all'interno dei percorsi scolastici. Non si tratta soltanto di una disciplina scientifica ricca di contenuti specifici, ma anche di un ambito capace di stimolare curiosità, motivazione e di affascinare. La sua natura interdisciplinare, che si intreccia con la storia, la filosofia, la matematica e la fisica, offre agli studenti la possibilità di interfacciarsi con un sapere dinamico e integrato, capace di creare un percorso culturale che attraversa civiltà e si riflette nella vita quotidiana.

In conclusione, questa esperienza ha mostrato che anche un intervento breve - se ben strutturato e contestualizzato - può generare interesse e migliorare la comprensione dei concetti. L'approccio storico-scientifico sperimentato si è rivelato una via promettente per avvicinare gli studenti all'astronomia, permettendo loro di cogliere non solo l'aspetto tecnico ma anche il valore culturale e umano. Allo stesso tempo, ha messo in luce la necessità di interventi più estesi che consentano di lavorare con continuità e di affrontare in profondità le misconcezioni persistenti. L'astronomia può quindi diventare non soltanto una materia da studiare, ma anche un laboratorio di innovazione didattica, capace di formare negli studenti uno sguardo più ampio e integrato sulla scienza e sul mondo.

Dal punto di vista personale, questo progetto ha rappresentato un'esperienza molto stimolante e arricchente. La progettazione delle lezioni mi ha permesso di approfondire argomenti astronomici che non conoscevo bene nel dettaglio, offrendo l'occasione di consolidare e ampliare le mie conoscenze. Al tempo stesso, ho avuto modo di sperimentare per la prima volta l'esperienza diretta dell'insegnamento in aula, un momento che considero prezioso per la mia formazione. Preparare, proporre e raccontare queste lezioni di astronomia davanti agli studenti è stato non solo un esercizio didattico, ma anche un'opportunità per mettermi alla prova in un contesto reale.

Sono grata ai docenti che hanno reso possibile questa esperienza: la professoressa Marina Grazioli e il professor Alessandro Solito, insegnanti di matematica e fisica del Liceo Scientifico "A. Rosmini" di Rovereto (TN), che hanno sostenuto con entusiasmo la mia proposta e mi hanno dato la possibilità di entrare nelle loro classi. Un ringraziamento speciale va anche alle ragazze e ai ragazzi delle classi 3BSA e 3ASA, che hanno accolto con positività e interesse il mio arrivo in aula, arricchendolo di domande e considerazioni personali.

A Test Iniziale

Di seguito è riportato il test iniziale somministrato agli studenti. Per facilitare la consultazione del questionario in relazione alla successiva analisi, si è scelto di riportare le opzioni di risposta secondo un ordine fisso: la risposta corretta in prima posizione, seguita dall'opzione "non lo so" e, infine, dalle altre alternative errate. È opportuno precisare che nel test originale somministrato agli studenti le risposte erano proposte in ordine diverso: l'opzione "non lo so" si trovava sempre in ultima posizione, mentre la risposta corretta era distribuita casualmente tra le possibili alternative.

Le domande sono qui riportate utilizzando una codifica specifica, adottata per garantire coerenza e chiarezza nell'analisi dei dati. In particolare, le sigle TI e TF indicano rispettivamente il *Test Iniziale* e il *Test Finale*; le lettere aa, bb e cc si riferiscono alle diverse sezioni del questionario (*parte A*, *parte B* e *parte C*); infine, la numerazione progressiva da 01 a 10 identifica la singola domanda all'interno di ciascuna sezione.

A.1 Parte A. Pregresso didattico e interesse per la materia

Tlaa01. Hai mai fatto delle lezioni di astronomia nel tuo percorso scolastico (dalle elementari alle superiori)?

- a) No, non ho mai affrontato delle lezioni di astronomia a scuola
- b) Sì, ho affrontato delle lezioni di astronomia a scuola
- c) Non ricordo

Tlaa02. Se sì, quando hai affrontato un modulo di lezioni di astronomia?

- a) Alle elementari
- b) In prima media
- c) In seconda media
- d) In terza media
- e) In prima superiore
- f) In seconda superiore
- g) In terza superiore

Tlaa03. Gli argomenti affrontati durante le lezioni di fisica vengono presentati anche dal punto di vista storico? (Ad esempio: viene descritto il contesto storico in cui una legge/teoria si sviluppa, viene raccontata la vita e la storia di personaggi come Newton o Galileo, viene descritta l'evoluzione storica di una teoria fisica, ecc...)

- a) Mai
- b) Poche volte
- c) Abbastanza
- d) Spesso
- e) Sempre

Tlaa04-Tlaa09. Rispondi alle seguenti domande scegliendo tra “molto poco”, “poco”, “abbastanza”, “tanto”, “molto”.

04. Quanto sei interessato/a a capire i fenomeni fisici e la realtà che ci circonda?

05. Quanto sei interessato/a a studiare la fisica come materia scolastica?

06. Quanto trovi interessanti le lezioni di fisica tenute dal/la tuo/a docente?

07. Quanto ti interessano gli argomenti astronomici?

08. Quanto ti piacerebbe affrontare dei temi astronomici durante le lezioni di fisica?

09. Ti incuriosisce affrontare le lezioni di astronomia che verranno proposte in questo progetto?

A.2 Parte B. Valutazione delle conoscenze pregresse

Tlbb01. I pianeti, diversamente dalle stelle:

- a) cambiano la loro posizione relativa nel cielo al passare del tempo
- b) non lo so
- c) sono poco brillanti
- d) presentano una luminosità più variabile
- e) ci appaiono sempre a distanze fisse tra loro

Tlbb02. In che secolo Copernico propose il suo modello eliocentrico del Sistema Solare?

- a) XVI
- b) Non lo so
- c) XIV
- d) XVII
- e) XIX

Tlbb03. Immagina che l'orbita terrestre venga modificata in un cerchio perfetto attorno al Sole, in modo che la distanza dal Sole non cambi mai. Come influenzerebbe questo le stagioni?

- a) Continueremmo a percepire le stagioni nello stesso modo in cui le percepiamo ora
- b) Non lo so
- c) Non percepiremmo più la differenza tra le stagioni
- d) Continueremmo a percepire le stagioni, ma la differenza sarebbe MOLTO MENO evidente
- e) Continueremmo a percepire le stagioni, ma la differenza sarebbe MOLTO PIÙ evidente

Tlbb04. Se potessi vedere le stelle durante il giorno, ecco come apparirebbe il cielo a mezzogiorno in un dato giorno (cfr. Figura 28). Il Sole è vicino alle stelle della costellazione dei Gemelli. Vicino a quale costellazione ti aspetteresti di trovare il Sole al tramonto?

- a) Gemelli (Gemini)
- b) Non lo so
- c) Leone (Leo)

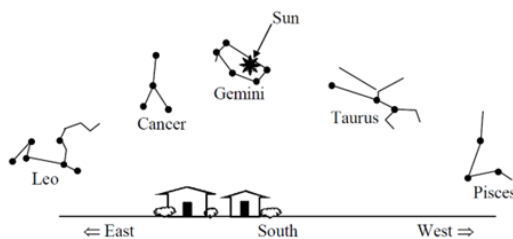


Figura 28: Figura relativa alla domanda Tlbb04.

- d) Cancro (Cancer)
- e) Toro (Taurus)
- f) Pesci (Pisces)

Tlbb05. Ordina per data di nascita i seguenti astronomi: Copernico, Newton, Keplero, Tolomeo.

[Tolomeo, Copernico, Keplero, Newton.]

Tlbb06. Il 21 dicembre, il giorno del solstizio d'inverno nell'emisfero boreale, quante ore di luce riceve il Polo Sud?

- a) 24
- b) Non lo so
- c) 0
- d) 6
- e) 12
- f) 18

Tlbb07. Nell'immagine sottostante (cfr. Figura 29) è mostrata la Luna vista dall'emisfero nord della Terra (sopra) e un diagramma con Terra, Sole e otto diverse possibili posizioni della Luna (sotto). Quale posizione della Luna farebbe apparire la Luna come l'immagine in alto?



Figura 29: Figura relativa alla domanda Tlbb07.

- a) D
- b) Non lo so
- c) A
- d) B
- e) C
- f) E
- g) F
- h) G
- i) H

Tibb08. Osservi la Luna appena sorta come nella seguente foto (cfr. Figura 30). Che ore sono?



Figura 30: Figura relativa alla domanda Tibb08.

- a) Mezzanotte
- b) Non lo so
- c) Alba
- d) A metà strada tra l'alba e mezzogiorno
- e) Mezzogiorno
- f) A metà strada tra mezzogiorno e il tramonto
- g) Tramonto
- h) A metà strada tra il tramonto e la mezzanotte
- i) A metà strada tra la mezzanotte e l'alba
- j) In qualsiasi momento della notte
- k) In qualsiasi momento del giorno o della notte

Tibb09. La Luna orbita attorno alla Terra; approssimativamente quanto ci mette per completare la sua orbita?

- a) Un mese
- b) Non lo so
- c) Meno di un giorno
- d) Un giorno

- e) Una settimana
- f) Due settimane
- g) Sei mesi
- h) Un anno
- i) Più di un anno

Tlbb10. Un'evidenza sperimentale della seconda legge di Keplero è che:

- a) la dimensione apparente del Sole in cielo cambia durante l'anno in modo non proporzionale alla sua variazione di velocità apparente
- b) Non lo so
- c) la dimensione apparente del Sole in cielo cambia durante l'anno, in modo proporzionale alla variazione di velocità apparente
- d) la dimensione apparente del Sole in cielo non cambia durante l'anno
- e) nessuna delle precedenti è una conferma sperimentale della seconda legge di Keplero

A.3 Parte C. Autovalutazione

Tlcc01. In generale, quanto sei sicuro che le tue risposte a questo sondaggio siano corrette?

- a) Per niente sicuro
- b) Poco sicuro
- c) Abbastanza sicuro
- d) Molto sicuro

B Test Finale

Di seguito è riportato il test finale somministrato agli studenti. Per facilitare la consultazione del questionario in relazione alla successiva analisi, si è scelto di riportare le opzioni di risposta secondo un ordine fisso: la risposta corretta in prima posizione, seguita dall'opzione "non lo so" e, infine, dalle altre alternative errate. È opportuno precisare che nel test originale somministrato agli studenti le risposte erano proposte in ordine diverso: l'opzione "non lo so" si trovava sempre in ultima posizione, mentre la risposta corretta era distribuita casualmente tra le possibili alternative.

Le domande sono qui riportate utilizzando una codifica specifica, adottata per garantire coerenza e chiarezza nell'analisi dei dati. In particolare, le sigle TI e TF indicano rispettivamente il *Test Iniziale* e il *Test Finale*; le lettere aa, bb e cc si riferiscono alle diverse sezioni del questionario (*parte A*, *parte B* e *parte C*); infine, la numerazione progressiva da 01 a 15 identifica la singola domanda all'interno di ciascuna sezione.

B.1 Parte A. Interesse e riscontri riguardo al progetto

TFaa01. I concetti affrontati ti erano già noti?

- a) Per niente
- b) Solo alcuni
- c) Circa la metà
- d) La maggior parte
- e) Sì, tutti

TFaa02-TFaa14. Valuta le seguenti affermazioni con un valore da 1 ("per niente vero") a 4 ("decisamente vero").

02. Ho apprezzato partecipare a queste lezioni.

03. Queste lezioni hanno catturato la mia attenzione.

04. Sono riuscito/a a seguire con facilità le lezioni (cioè senza perdere il filo, senza distrarmi, ecc...).

05. È stato interessante affrontare delle lezioni di astronomia.

06. È stato interessante capire come funzionano le fasi lunari.

07. È stato interessante capire come funzionano i calendari.

08. Mi è capitato di ripensare ad alcuni concetti astronomici trattati in aula, magari parlandone con qualcuno (es: guardando la forma della Luna in cielo, ecc...).

09. Ho apprezzato che nelle lezioni fossero presenti contenuti storici e non solo astronomici.

10. È stato interessante vedere qual è stata la storia del nostro calendario

11. Mi è capitato di ripensare ad alcuni concetti storici trattati in aula, magari parlandone con qualcuno (es: da dove deriva l'anno bisestile, ecc...).

12. È stato utile avere un contesto storico per meglio comprendere i concetti astronomici.

13. Sono riuscito/a ad inquadrare questi argomenti nel contesto storico che già conoscevo.

14. Aver inserito delle parti storiche ha reso più interessanti i fatti astronomici.

B.2 Parte B. Valutazione delle conoscenze e competenze acquisite

TFbb01-Tlbb06. Segna con una croce a quale calendario corrispondono le seguenti caratteristiche (calendario romano, calendario giuliano, calendario gregoriano, non lo so).

01. Composto da 10 mesi. [Calendario romano]

02. Prima della sua introduzione ha eliminato 10 giorni per riallinearsi. [Calendario gregoriano]

03. L'anno del calendario è più corto dell'anno solare. [Calendario romano]

04. Aggiunge l'anno bisestile una volta ogni 4 anni. [Calendario giuliano]

05. Aggiunge l'anno bisestile una volta ogni 4 anni con alcune eccezioni. [Calendario gregoriano]

06. Prima della sua introduzione ha allungato l'anno rendendolo di 15 mesi per riallinearsi. [Calendario giuliano]

TFbb07. In che secolo Copernico propose il suo modello eliocentrico del Sistema Solare?

- a) XVI
- b) Non lo so
- c) XIV
- d) XVII
- e) XIX

TFbb08. Le stagioni si verificano perché:

- a) l'asse terrestre è inclinato di circa ventitré gradi rispetto al piano di rivoluzione
- b) non lo so
- c) l'asse terrestre è perpendicolare al piano di rivoluzione
- d) la Terra passa più o meno vicina al Sole durante la sua rivoluzione
- e) la direzione e l'inclinazione dell'asse terrestre sono costanti
- f) la direzione dell'asse terrestre resta costante ma varia l'inclinazione

TFbb09. Ordina per data di nascita i seguenti astronomi: Copernico, Cassini, Galilei, Tolomeo. [Tolomeo, Copernico, Galilei, Cassini]

TFbb10. Nell'immagine sottostante (cfr. Figura 31) è mostrata la Luna vista dall'emisfero nord della Terra (sopra) e un diagramma con Terra, Sole e otto diverse possibili posizioni della Luna (sotto). Quale posizione della Luna farebbe apparire la Luna come l'immagine in alto?

- a) H
- b) Non lo so
- c) A
- d) B
- e) C
- f) D
- g) E
- h) F

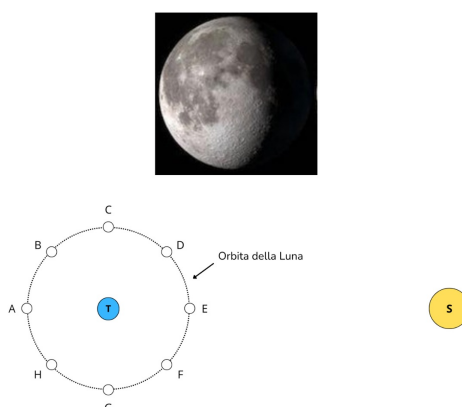


Figura 31: Figura relativa alla domanda TFbb10.

i) G

TFbb11. Ad un certo punto della sera, vedi il Sole che sta tramontando a ovest e contemporaneamente vedi la Luna che sta sorgendo a est. In quale fase si trova la Luna?

- a) Luna piena
- b) Non lo so
- c) Luna nuova
- d) Luna crescente
- e) Primo quarto
- f) Luna calante
- g) Ultimo quarto
- h) In qualsiasi fase

TFbb12. I calendari lunari si basano sul ciclo della Luna. Quanto dura all'incirca?

- a) Tra i ventinove e trenta giorni
- b) Non lo so
- c) Un giorno
- d) Una settimana
- e) Trentun giorni
- f) Un anno

TFbb13. Qual era lo scopo principale della meridiana costruita da Giovanni Domenico Cassini nella Basilica di San Petronio a Bologna?

- a) confermare con dati osservativi la riforma del calendario gregoriano
- b) non lo so
- c) stabilire con precisione la data del solstizio d'estate
- d) dimostrare la rotazione della Terra attorno al proprio asse

- e) calcolare l'ora locale con maggiore precisione
- f) dimostrare che il Sole ruota attorno alla Terra

TFbb14. Il giorno sidereo e il giorno solare:

- a) differiscono a causa del moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole
- b) non lo so
- c) sono due nomi diversi per indicare lo stesso intervallo di tempo
- d) differiscono a causa del moto apparente del Sole rispetto alle stelle fisse
- e) misurano entrambi il tempo tra due passaggi successivi di una stella al meridiano
- f) hanno durata identica ma vengono calcolati in sistemi di riferimento diversi

TFbb15. Grazie alla sua meridiana, Cassini dimostra che:

- a) la velocità apparente del Sole in realtà non è costante, ma varia in base alla distanza tra Terra e Sole
- b) non lo so
- c) la velocità apparente del Sole sarebbe costante, la vediamo cambiare solo perché la Terra passa più o meno vicina ad esso
- d) la misura reale del diametro del Sole cambia tra il solstizio d'estate e il solstizio d'inverno
- e) il modello cosmologico corretto è quello eliocentrico

B.3 Parte C. Autovalutazione

TFcc01. In generale, quanto sei sicuro che le tue risposte a questo sondaggio siano corrette?

- a) Per niente sicuro
- b) Poco sicuro
- c) Abbastanza sicuro
- d) Molto sicuro

TFcc02. C'è un argomento delle lezioni che hai particolarmente apprezzato?

TFcc03. C'è un argomento delle lezioni che non hai apprezzato o capito?

TFcc04. Ci sono dei concetti che non ti erano chiari e che hai capito meglio grazie a queste lezioni?

TFcc05. Se ti va, lascia un commento su questo progetto, sulle lezioni, sui questionari. Qualsiasi riflessione, anche piccola, può essere d'aiuto per la scrittura della tesi, grazie!

C Risposte

Di seguito vengono riportate delle tabelle dove sono riepilogate le risposte fornite dagli studenti partecipanti ai test iniziale e finale. Il testo completo dei questionari somministrati agli studenti, compreso di domande e opzioni di risposta, è presente in Appendice A e in Appendice B. Nelle tabelle, i codici S01-S35 identificano i singoli studenti, mentre le sigle T1aa01-T1aa09, T1bb01-T1bb10, T1cc01, TFaa01-TFaa14, TFbb01-TFbb15, TDcc01 corrispondono alle domande delle sezioni.

In Tabella 16 ci sono le risposte alle domande dedicate alle esperienze pregresse e all'interesse personale degli studenti nei confronti della disciplina, assieme alla domanda di autovalutazione. Nella domanda T1aa02, le risposte sono state raggruppate nel seguente modo: risposta A equivalente a "mai", risposta B equivalente a "solo nella scuola di I grado", risposta C equivalente a "solo nella scuola di II grado", risposta D equivalente a "sia nella scuola di I, che di II grado". Alle domande T1aa04-T1aa09 gli studenti hanno risposto esprimendo un grado di interesse su una scala da 1 a 5, dove 1 corrispondeva a "molto poco" e 5 a "molto".

In Tabella 17 ci sono le risposte alle domande dedicate alla valutazione delle conoscenze astronomiche di base. Ai fini della codifica, è stato adottato il seguente criterio: l'opzione A indica sempre la risposta corretta, l'opzione B corrisponde all'alternativa "non lo so", mentre le opzioni comprese tra C e K rappresentano tutte le possibili risposte errate proposte nei diversi quesiti. Tale impostazione ha permesso di uniformare la raccolta dei dati e di facilitare le analisi successive.

In Tabella 18 ci sono le risposte alle domande dedicate a rilevare l'interesse degli studenti e a raccogliere un riscontro su questo progetto, assieme alla domanda di autovalutazione. Alla domanda TFaa01 gli studenti hanno risposto con un punteggio compreso tra 1 (per niente) e 5 (sì, tutti). Alle domande TFaa02-TFaa14 è stato assegnato dagli studenti un grado di veridicità compreso tra il valore 1 ("per niente vero") e 4 ("decisamente vero").

In Tabella 19 ci sono le risposte alle domande dedicate ad indagare le conoscenze e le competenze acquisite a seguito dell'intervento didattico. Ai fini della codifica, è stato adottato il seguente criterio: l'opzione A indica sempre la risposta corretta, l'opzione B corrisponde all'alternativa "non lo so", mentre le opzioni comprese tra C e I rappresentano tutte le possibili risposte errate proposte nei diversi quesiti. Tale impostazione ha permesso di uniformare la raccolta dei dati e di facilitare le analisi successive.

Studente	Tlaa01	Tlaa02	Tlaa03	Tlaa04	Tlaa05	Tlaa06	Tlaa07	Tlaa08	Tlaa09	Tlcc01
S01	Si	C	3	2	1	3	2	2	2	2
S02	No	A	2	3	3	4	3	3	3	2
S03	Si	C	2	3	5	5	3	2	2	2
S04	Si	D	2	3	3	4	3	4	4	2
S05	Si	D	2	4	4	4	4	4	5	2
S06	Si	C	2	4	4	5	5	5	4	3
S07	Si	D	2	3	3	2	4	5	4	2
S08	Si	C	2	5	3	3	5	5	4	3
S09	Si	C	2	4	4	4	4	5	4	2
S10	No	A	2	4	2	2	4	5	3	2
S11	Si	C	2	4	4	5	4	3	4	2
S12	Si	D	2	4	4	4	3	3	3	2
S13	Si	C	2	3	1	3	3	4	4	4
S14	Si	C	3	3	2	3	2	3	4	2
S15	Si	D	2	3	3	3	1	2	3	1
S16	Si	D	1	4	4	5	3	3	3	2
S17	Si	D	1	4	3	4	4	4	3	2
S18	Si	C	1	3	2	2	3	3	3	2
S19	Si	D	3	4	3	5	3	4	4	3
S20	Si	C	2	3	2	3	4	3	3	1
S21	Si	D	2	3	3	4	4	4	4	3
S22	Si	B	2	3	2	4	3	4	4	2
S23	No	A	1	2	3	3	1	5	5	3
S24	Si	C	3	4	3	5	2	2	3	2
S25	Si	C	4	3	2	5	5	5	5	4
S26	Si	D	2	3	2	3	5	5	4	2
S27	Si	D	2	3	2	3	5	4	4	2
S28	Si	D	1	4	4	3	4	5	5	2
S29	Si	B	1	2	3	3	3	3	3	2
S30	Si	D	2	5	3	2	3	3	4	3
S31	Si	C	1	2	1	3	3	1	2	2
S32	Si	C	1	4	4	3	3	3	4	3
S33	Si	C	1	4	3	4	3	3	4	3
S34	Si	C	2	5	5	3	3	3	4	2
S35	Si	C	3	1	3	3	1	1	1	2

Tabella 16: Risposte del questionario iniziale, parti A e C.

Studente	Tlbb01	Tlbb02	Tlbb03	Tlbb04	Tlbb05	Tlbb06	Tlbb07	Tlbb08	Tlbb09	Tlbb10
S01	A	B	C	F	B	D	C	B	F	B
S02	B	B	E	F	G	F	B	B	E	B
S03	A	B	C	B	B	F	A	K	B	E
S04	A	B	C	C	D	A	G	K	A	B
S05	A	D	C	F	A	F	D	K	A	B
S06	D	B	E	F	A	C	B	B	B	E
S07	B	B	C	F	C	B	G	B	A	C
S08	A	A	D	F	B	F	I	K	A	C
S09	A	A	C	F	D	C	A	D	C	E
S10	A	D	C	F	D	A	A	B	D	B
S11	A	A	C	F	A	C	A	D	C	E
S12	A	D	C	F	D	D	E	H	H	A
S13	A	A	D	F	B	D	I	K	A	C
S14	A	D	C	F	A	D	I	H	A	A
S15	A	C	B	C	B	B	B	B	B	B
S16	A	A	A	F	C	A	D	H	B	B
S17	A	A	C	F	E	A	D	H	D	B
S18	D	C	E	F	B	A	H	J	D	C
S19	A	A	D	A	D	A	D	B	D	A
S20	D	B	A	C	B	D	B	E	F	B
S21	D	C	C	A	A	C	D	J	A	C
S22	E	A	C	A	E	D	A	A	D	B
S23	A	C	D	A	F	C	F	F	B	E
S24	D	C	E	A	G	A	E	B	D	B
S25	C	B	D	A	B	A	A	B	D	B
S26	A	B	C	C	D	F	F	G	D	D
S27	A	B	C	C	D	A	F	I	D	D
S28	A	A	A	A	C	A	A	K	A	E
S29	A	A	A	A	A	A	A	K	A	E
S30	C	C	D	C	H	D	F	I	D	A
S31	A	B	C	C	A	E	D	H	A	B
S32	A	C	D	A	C	A	A	K	A	B
S33	A	C	D	A	C	A	A	K	A	B
S34	B	C	E	A	G	B	A	B	A	C
S35	D	C	A	A	A	A	A	K	A	B

Tabella 17: Risposte del questionario iniziale, parte B.

Studente	TFaa01	TFaa02	TFaa03	TFaa04	TFaa05	TFaa06	TFaa07	TFaa08	TFaa09	TFaa10	TFaa11	TFaa12	TFaa13	TFaa14	TFcc01
S01	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	2
S02	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	2
S03	3	4	3	4	3	3	3	2	4	4	2	4	4	3	3
S04	4	3	3	3	3	2	2	4	1	2	2	2	2	2	2
S05	3	4	4	4	4	4	4	2	3	4	2	2	3	3	3
S06	2	4	3	3	3	4	3	2	3	4	2	3	3	3	3
S07	2	3	3	2	3	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3
S08	2	4	3	4	3	3	2	1	2	2	2	3	2	3	3
S09	2	3	4	4	3	3	4	2	3	3	2	3	3	3	4
S10	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	3	2	2	3
S11	2	3	4	4	4	3	3	2	4	4	2	3	4	4	2
S12	3	3	2	2	3	3	2	1	2	2	1	3	4	3	3
S13	2	3	3	4	4	3	3	1	3	2	1	3	3	4	3
S14	3	3	4	3	4	3	4	3	2	4	3	3	3	3	2
S15	2	4	4	3	4	4	4	3	2	3	1	2	3	1	4
S16	2	4	4	3	4	4	4	2	3	4	3	3	3	4	3
S17	3	3	3	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2
S18	3	4	4	4	4	4	4	2	3	3	2	4	3	4	2
S19	2	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	2
S20	2	4	4	4	3	3	4	2	3	4	2	4	4	2	2
S21	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2
S22	2	3	3	4	4	4	3	2	4	3	2	3	3	2	2
S23	2	3	3	4	4	3	3	3	2	3	4	3	2	2	2
S24	2	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
S25	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
S26	3	3	2	4	3	3	3	2	4	3	2	4	4	4	2
S27	2	2	3	3	4	4	3	2	2	3	1	4	2	3	3
S28	2	4	4	4	4	3	4	3	4	3	3	4	3	4	3
S29	3	4	4	4	4	3	3	4	2	4	2	4	4	4	3
S30	2	4	3	4	3	2	3	4	4	3	4	3	3	4	3
S31	2	4	4	4	4	3	4	1	4	4	1	4	3	4	3
S32	2	3	4	4	4	3	4	2	1	2	1	3	2	2	3

Tabella 18: Risposte del questionario finale, parti A e C.

Studente	TFbb01	TFbb02	TFbb03	TFbb04	TFbb05	TFbb06	TFbb07	TFbb08	TFbb09	TFbb10	TFbb11	TFbb12	TFbb13	TFbb14	TFbb15
S01	B	D	A	A	A	D	D	E	E	D	A	A	F	A	A
S02	A	A	C	D	D	C	B	F	G	F	H	A	F	D	A
S03	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	D	E
S04	A	A	D	A	A	A	A	A	D	D	H	A	A	A	A
S05	A	D	A	A	A	A	A	A	A	D	A	A	A	A	A
S06	A	D	A	A	A	A	A	A	A	D	A	A	A	A	A
S07	A	A	A	A	A	A	D	A	D	F	D	A	F	D	A
S08	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	F	A	C	F	E
S09	A	D	A	A	A	A	A	A	A	D	B	A	A	A	A
S10	A	D	A	A	A	A	A	A	A	D	B	A	A	A	A
S11	A	A	C	A	A	A	C	A	A	A	F	A	F	A	A
S12	A	D	A	D	D	A	D	A	A	F	H	A	D	D	A
S13	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	C
S14	B	A	C	A	A	A	B	A	B	A	B	A	D	A	B
S15	C	C	C	D	D	D	B	A	B	F	E	F	A	E	A
S16	A	D	D	D	D	C	A	A	A	A	B	A	A	A	E
S17	A	A	A	A	A	A	A	D	F	D	B	A	B	A	B
S18	A	A	A	D	D	A	A	A	D	E	B	A	B	A	E
S19	C	C	D	C	B	D	C	D	A	F	B	A	D	B	D
S20	C	A	A	D	D	B	C	A	A	E	A	A	E	A	C
S21	D	D	A	D	A	C	A	A	A	E	A	A	A	D	A
S22	A	D	C	D	C	C	C	A	C	F	E	F	C	E	D
S23	A	A	A	A	A	A	C	A	H	G	D	A	C	F	A
S24	A	D	B	A	A	A	A	A	A	F	G	A	C	A	A
S25	D	C	D	C	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
S26	A	A	A	A	A	B	A	B	A	A	B	A	B	A	B
S27	A	A	A	B	A	A	B	D	A	D	B	D	D	E	B
S28	A	D	A	A	A	A	B	A	A	A	B	A	D	A	C
S29	A	A	A	D	A	A	A	A	A	H	D	A	D	A	A
S30	A	A	D	A	A	C	A	A	A	F	F	A	C	D	D
S31	A	A	C	A	A	A	A	A	C	A	D	A	C	A	A
S32	A	A	A	A	A	A	D	E	C	A	A	A	A	A	A

Tabella 19: Risposte del questionario finale, parte B.

D Utilizzo dell'Intelligenza Artificiale Generativa

Per la scrittura ed elaborazione di questa tesi è stato fatto uso dell'Intelligenza Artificiale Generativa (chat GPT¹⁶), in modo conforme alle linee guida riportate dall'Università¹⁷:

«L'Intelligenza Artificiale Generativa (GenAI) può supportare le attività di studio della comunità studentesca: applicazioni utili per organizzare contenuti, elaborare idee ma sempre adottando un approccio consapevole. L'Università di Bologna promuove un utilizzo responsabile e consapevole di questi strumenti. La GenAI è uno strumento che deve integrare, e non sostituire, il pensiero critico e la creatività personale.»

Il supporto dell'Intelligenza Artificiale è stato usato principalmente in tre casi: suggerimenti di programmazione in $\text{\LaTeX}$; ricerca di articoli e fonti; riscrittura di frasi.

Suggerimenti di programmazione in $\text{\LaTeX}$ La tesi è stata redatta interamente utilizzando $\text{\LaTeX}$, un linguaggio di scrittura che richiede l'uso di comandi e codici specifici per la gestione della struttura e della formattazione del testo. Nei casi in cui si sono rese necessarie operazioni più complesse, come la scrittura in due colonne, il ridimensionamento delle tabelle o l'inserimento di più immagini all'interno della stessa sezione, è stato richiesto il supporto dell'Intelligenza Artificiale. ChatGPT è stata utilizzata come strumento di consultazione per ottenere i comandi corretti e gli esempi di codice, che sono stati poi adattati e rielaborati secondo le esigenze specifiche del lavoro.

Ricerca di articoli e fonti Dopo una prima attività di ricerca e analisi bibliografica sul tema oggetto della tesi, è stata utilizzata ChatGPT per ampliare la panoramica delle fonti disponibili. Lo strumento è servito per individuare articoli e materiali correlati, con l'obiettivo di integrare le conoscenze già acquisite e arricchire il quadro di riferimento teorico. Le indicazioni fornite dall'Intelligenza Artificiale sono state sempre sottoposte a verifica critica e confrontate con le fonti accademiche ufficiali, in linea con un approccio metodologico rigoroso.

Riscrittura di frasi In alcuni passaggi del testo è stato richiesto a ChatGPT di rielaborare pensieri o frasi già formulate, al fine di migliorarne la chiarezza e la scorrevolezza stilistica. L'Intelligenza Artificiale è stata impiegata per proporre diverse alternative di scrittura, che sono poi state ulteriormente riviste e personalizzate. Questo processo ha permesso di mantenere la piena originalità e coerenza del testo, evitando un utilizzo meccanico dello strumento e garantendo un apporto personale in ogni fase della stesura.

¹⁶<https://chatgpt.com/>

¹⁷<https://www.unibo.it/it/ateneo/statuto-norme-strategie-bilanci/intelligenza-artificiale/Casi-uso-GenAI-comunita-studentesca-valutazione>

Riferimenti

- Bailey, J. M., & Slater, T. F. (2003). A Review of Astronomy Education Research. *Astronomy Education Review*, 2(2), 20–45. <https://doi.org/10.3847/AER2003015>
- Barberis, B. (2019). Le mappe nel mondo antico: la preistoria [Fonte: ItalicaRes Blog]. <https://italicaresblog.wordpress.com/2019/04/12/le-mappe-nel-mondo-antico-la-preistoria/>
- Baxter, J. (1989). Children's Understanding of Familiar Astronomical Events. *International Journal of Science Education*, 11(5), 502–513. <https://doi.org/10.1080/0950069890110503>
- Bignami, E. (2017). Proiezione del sole attraverso la meridiana di San Petronio a Bologna nel giorno del solstizio d'estate [Wikimedia Commons, licenza CC BY-SA 4.0]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Proiezione_del_sole_attraverso_la_meridiana_di_San_Petronio_a_Bologna_nel_giorno_del_solstizio_d%27estate.jpg
- Bònoli, F. (2005). *La meridiana di San Petronio e l'Anno Cassiniano*. INAF - Osservatorio Astronomico di Bologna. <http://stelle.bo.astro.it/archivio/2005-anno-cassiniano/meridiana.htm>
- Brooke-Hitching, E. (2020). *L'atlante del cielo. Le mappe più belle, i miti e le meraviglie dell'universo* (V. Gorla, Trad.) [Collana Le Scie. Nuova serie stranieri; pubblicato il 29 settembre 2020]. Mondadori.
- Cmglee. (2024). Moon phases by latitude [Wikimedia Commons, licenza CC BY-SA 4.0]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moon_phases_by_latitude.svg
- Codex. (2015). Élan aux bois 2.jpg [Wikimedia Commons, licenza CC BY-SA 4.0]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%5C%C3%5C%89lan_aux_bois_2.jpg
- Collaboration for Astronomy Education Research (CAER). (1999). *Astronomy Diagnostic Test 2.0 (ADT2)* [Sviluppato dal CAER; versione 2.0 illustrata in Hufnagel (2002), AER]. <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=ADT>
- Copernico, N. (1543). *De revolutionibus orbium coelestium* [Prima edizione]. Johannes Petreius.
- Encyclopaedia Romana. (2015). *The Year of Confusion (Annus Confusionis)*. University of Chicago. https://penelope.uchicago.edu/encyclopaedia_romana/calendar/confusionis.html
- Fraknoi, A. (2005). Steps and missteps toward an emerging profession. *Mercury*, 34(5), 19–25. <https://doi.org/10.3847/AER2003015>
- Fraknoi, A. (2014). A Brief History Of Publishing Papers On Astronomy Education Research. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education*, 1(1), 37–40. <https://doi.org/10.19030/jaese.v1i1.9105>
- Homolaicus. (2015). *Fonti antiche sul calendario romano*. Homolaicus.com. <https://www.homolaicus.com/storia/antica/roma/calendario/fonti/>

- Hoskin, M. (2017). *Storia dell'astronomia* (L. Sosio, Trad.) [Collana BUR Best BUR; pubblicato l'11 maggio 2017]. Rizzoli.
- Jones, B. L., Lynch, P. P., & Reesink, C. (1987). Children's Conceptions of the Earth, Sun and Moon. *International Journal of Science Education*, 9(1), 43–53. <https://doi.org/10.1080/0950069870090106>
- Kuhn, T. S. (1969). *La rivoluzione coperticana* [Traduzione dall'originale inglese *The Copernican Revolution*, 1957]. Einaudi.
- Lelliott, A. D., & Rollnick, M. (2010). Big Ideas: A Review of Astronomy Education Research 1974–2008 [Pubblicato online il 13 ottobre 2009]. *International Journal of Science Education*, 32(13), 1771–1799. <https://doi.org/10.1080/09500690903214546>
- Levaring. (2021). Fasti Antiates maiores reconstruction [Wikimedia Commons, licenza CCO 1.0 Universal]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fasti_Antiates_maiores_reconstruction.png
- Lindell, R. S. (2001). *Enhancing College Students' Understanding of Lunar Phases* [Ph.D. dissertation]. University of Nebraska–Lincoln [Tesi di dottorato, 330 pagine]. <https://digitalcommons.unl.edu/dissertations/AAI3022646/>
- Lindell, R. S., & Olsen, J. P. (2002). Developing the Lunar Phases Concept Inventory. *AIP Conference Proceedings, Physics Education Research Conference*, 720, 73–76. <https://doi.org/10.1063/1.1481854>
- Lindell, R. S., & Sommer, S. R. (2003). Using the Lunar Phases Concept Inventory to Investigate College Students' Pre-instructional Mental Models of Lunar Phases [Pubblicato nel 2004 nei AIP Conference Proceedings]. *Physics Education Research Conference 2003*, 720, 73–76. <https://doi.org/10.1063/1.1807257>
- Maragno, A. (2024). *Il cielo paleolitico*. INFN - Scienza per Tutti. <https://scienzapertutti.infn.it/il-cielo-paleolitico>
- Maupes. (2010). Bologna - Basilica di San Petronio: la meridiana [Fonte: Maupes Blog]. <https://maupes.wordpress.com/2010/10/01/bologna/bologna-basilica-di-san-petronio-la-meridiana/>
- Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR). (2010, ottobre). Indicazioni nazionali per i percorsi liceali [Decreto Ministeriale n. 211 del 7 ottobre 2010]. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/12/14/010G0232/sg>
- Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR). (2012, novembre). Indicazioni nazionali per il curriculum della scuola dell'infanzia e del primo ciclo di istruzione [Approvate con DM n. 254 del 16 novembre 2012]. https://www.mim.gov.it/documents/20182/51310/DM%2B254_2012.pdf
- Nussbaum, J. (1979). Children's Conceptions of the Earth as a Cosmic Body: A Cross-Age Study. *Science Education*, 63(1), 83–93. <https://doi.org/10.1002/sce.3730600412>
- Nussbaum, J., & Novak, J. D. (1976). An Assessment of Children's Concepts of the Earth Utilizing Structured Interviews. *Science Education*, 60(4), 535–550. <https://doi.org/10.1002/sce.3730600408>

- Percy, J. R. (1997). Astronomy Education: An International Perspective [Welcome address at IAU Colloquium 162: New Trends in Astronomy Teaching]. *Astrophysics and Space Science*, 258, 347–355. <https://doi.org/10.1023/A:1001768231516>
- Percy, J. R. (2006). Teaching Astronomy? Why and How? [Position paper / editorial, aimed at astronomers and schoolteachers]. *Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO)*, 35(1), 248–254. <https://www.aavso.org/sites/default/files/webpublications/ejaavso/v35n1/248.pdf>
- Riccioli, G. B. (1651). *Almagestum Novum* [Opera in due volumi]. Victorii Benatii.
- Rigutti, A. (2002). *Atlante del cielo. In viaggio fra stelle e pianeti alla scoperta dell'universo* [Collana Atlanti illustrati; pubblicato il 22 maggio 2002]. Giunti Editore.
- Ronchi, C. (2013). Rassegna degli studi sulle (mis)concezioni astronomiche e il cambiamento concettuale in bambini e insegnanti di scuola primaria [Pubblicato dicembre 2013, Open Access]. *Giornale Italiano della Ricerca Educativa*, (11), 176–193. <https://ojs.pensamultimedia.it/index.php/sird/article/view/192>
- Sadler, P. M. (1992). *The initial knowledge state of high school astronomy students* [Doctoral dissertation, Harvard University]. Harvard University. https://www.researchgate.net/publication/247914140_The_initial_knowledge_state_of_high_school_astronomy_students
- Schneps, M. H. (1989). A Private Universe [Produced by the Astronomical Society of the Pacific]. <https://www.learner.org/series/a-private-universe/>
- Schneps, M. H., & Sadler, P. M. (2010). A Private Universe Online Resources [Review by Erik Stengler]. *Science in School*, 17, 62–63. <https://www.scienceinschool.org/article/2010/privateuniverse/>
- Stahly, L. L., Krockover, G. H., & Shepardson, D. P. (1999). Third Grade Students' Ideas about the Lunar Phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 159–177. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199902\)36:2<159::AID-TEA4>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199902)36:2<159::AID-TEA4>3.0.CO;2-Y)
- Treccani. (1938). *Calendario* [Voce “Calendario” in Enciclopedia Italiana online, Istituto della Enciclopedia Italiana]. https://www.treccani.it/enciclopedia/calendario_%28Enciclopedia-Italiana%29/
- Treccani. (2001). *Il Rinascimento. L'astronomia* [Enciclopedia Italiana Treccani, sezione “Il Rinascimento. L'astronomia”]. https://www.treccani.it/enciclopedia/il-rinascimento-l-astronomia_%28Storia-della-Scienza%29/
- Ughi, E., & Aldebrandi, N. (2019). *Le meridiane di Santa Maria Novella ovvero Come un foro può misurare il tempo* [In occasione della III edizione del Premio Danti, Dipartimento di Matematica e Informatica, Università degli Studi di Perugia]. https://www.dmi.unipg.it/files/premio-danti/meridiane/le_meridiane_di_santa_maria_novella.pdf
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental Models of the Day/Night Cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123–183. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1801_4
- Warne, P. Y. (2016). *Il calendario romano pre-giuliano*. Urbis et Orbis. <https://www.urbisetorbis.org/calendario-pre-giuliano/>

