

## Concezioni alternative degli studenti di scuola superiore su argomenti di base di Astronomia. Parte 1: ruolo dell'istruzione formale

I. Testa

*Dipartimento di Fisica, Università Federico II, Napoli, Italia*

G. Cretella, S. Leccia, E. Puddu

*INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli, Italia*

**Riassunto.** L'articolo presenta i risultati di un'indagine sulle conoscenze degli studenti di quinta superiore e terza media su concetti astronomici elementari (alternanza stagioni, fasi lunari, eclissi lunari/solari, origine dell'universo). A tal fine, un questionario è stato sottoposto a circa 200 studenti in visita presso l'Osservatorio Astronomico di Napoli nell'a.s. 2011-12. I risultati suggeriscono che gli studenti al termine della scuola superiore abbiano una preparazione su fenomeni astronomici familiari migliore rispetto a quella iniziale, cioè al termine della scuola media. Tuttavia, la percentuale di risposte almeno parzialmente corrette tra gli studenti dell'ultimo anno di liceo scientifico si attesta mediamente solo intorno al 50%. Questo suggerisce che gli studenti, indipendentemente dal livello scolastico, incontrino notevoli difficoltà nello spiegare fenomeni astronomici. In particolare, tali difficoltà emergono soprattutto quando le giustificazioni ed i ragionamenti si devono necessariamente basare sulla geometria piana/solida e/o sull'ottica (costruzione di immagini e di ombre). Di conseguenza, il nostro studio suggerisce che l'istruzione sull'Astronomia ricevuta durante il ciclo di studi di scuola secondaria superiore, seppur necessaria per costruire una comprensione di base di questi fenomeni, non migliori significativamente i risultati degli studenti rispetto ai percorsi educativi della scuola media. Implicazioni didattiche di questo risultato sono brevemente discusse.

**Abstract.** This paper presents the results of a survey on the students' knowledge at the end of the high and middle school about elementary astronomical concepts (change of seasons, moon phases, eclipses of the Moon and Sun, origin of the Universe). To this end, a questionnaire was administered to approximately 200 students visiting the Astronomical Observatory of Naples in the school-year 2011-12. The results suggest that students at the end of high school have a better knowledge about astronomical phenomena than at the end of middle school. However, the percentage of at least partially correct answers in the students of their last year of high school is on average only around 50%. This suggests that students, regardless of their educational level encounter considerable difficulties in explaining astronomical phenomena. In particular, these difficulties arise especially when the justifications and reasoning must necessarily draw on plane and solid geometry and optics (construction of images and shadows). Consequently, our study suggests that Astronomy education carried out during high school courses, although necessary to build a basic understanding of these phenomena, does not significantly improve students' achievement. Educational implications of this result are briefly discussed.

## 1. Introduzione

La ricerca didattica in Astronomia nasce nei paesi anglosassoni tra gli anni '70 e '90; in Italia, a tutt'oggi, la ricerca didattica si è occupata di Astronomia in modo generico o in concomitanza con indagini su altre discipline, quali la Fisica o la Geografia. Recenti ricerche condotte dal 2007 al 2010 su un campione significativo di cittadini italiani riportano che la percentuale di risposte corrette alla domanda "Il Sole è un pianeta?" è in media di poco superiore al 50% [1]. Questo dato suggerisce che i percorsi educativi formali ed informali attuati fino ad ora non sono riusciti a fornire alla maggioranza della popolazione italiana idee corrette su argomenti di base riguardanti l'Astronomia. La scarsa considerazione in cui è stata tenuta in passato non è giustificabile se si considera che l'Astronomia cattura ed incuriosisce gli studenti, stimolandone l'immaginazione ed il senso della scoperta più di quanto riescano a fare altre discipline scientifiche [2]; questa caratteristica dovrebbe essere sfruttata per avvicinare i giovani ed, in generale, i cittadini alla Scienza.

Sulla base di queste evidenze, i gruppi di ricerca didattica dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte e del Dipartimento di Fisica di Napoli hanno intrapreso un progetto di ricerca comune finalizzato ad analizzare possibili fattori alla base dei ragionamenti non corretti degli studenti su argomenti elementari di Astronomia. In questo primo articolo analizziamo il ruolo dell'istruzione formale ricevuta dagli studenti durante il ciclo di studi di scuola secondaria superiore. In un secondo articolo, analizziamo in maniera più specifica il ruolo delle immagini presenti nei libri di testo. Qui riportiamo, nella prima sezione, una rassegna delle principali difficoltà di apprendimento/insegnamento in Astronomia note dalla letteratura. Nella seconda sezione descriviamo il questionario somministrato durante delle visite guidate all'Osservatorio Astronomico di Capodimonte e i risultati dell'analisi delle risposte degli studenti. Infine, discutiamo i risultati e le loro implicazioni didattiche.

## 2. Ricerca didattica in Astronomia

Uno dei più noti studi sulle idee alternative in Astronomia è quello condotto da Philip Sadler alla fine degli anni '80 e riportato nel famoso video "A Private Universe" [3]. In esso vi sono raccolte interviste ad ex-alunni, docenti e laureandi presso la Harvard University. Dei 23 soggetti intervistati, 21 non sapevano dare una spiegazione scientificamente accettabile ai fenomeni delle stagioni e delle fasi lunari. La spiegazione più comune per l'alternarsi delle stagioni era che la distanza tra il Sole e la Terra cambia: quando la Terra è più vicina al Sole si è in estate e quando è più lontana in inverno. Le fasi lunari erano confuse con le eclissi o spiegate attraverso un ragionamento in cui la Terra oscura con la sua ombra la Luna; in alcuni casi, le fasi lunari venivano giustificate dal movimento delle nuvole che bloccano una parte della luce riflessa dalla Luna. Il video riporta che anche studenti di scuola secondaria in grado di utilizzare un linguaggio formale corretto mostravano idee non corrette su alcuni fenomeni astronomici. Lo stesso autore, nella sua tesi di dottorato [4] mostra che, per un campione rappresentativo di studenti di scuola superiore, le risposte corrette ad un questionario su fenomeni astronomici familiari erano solo il 34%. Lo studio di

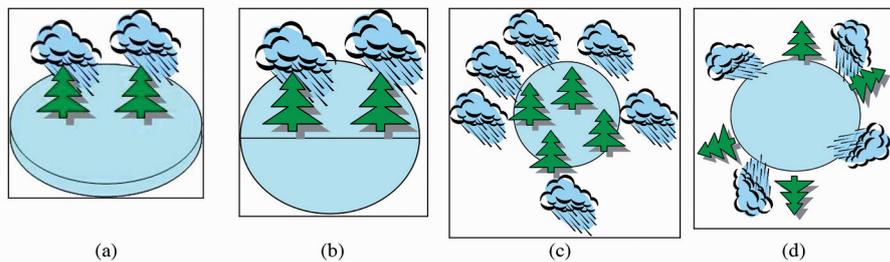


Fig. 1. – Idee degli studenti sulla forma della Terra riportate in [11]: (a) la Terra è tonda e piatta, come una frittella, isolata, senza concetto di “spazio”; (b) la Terra è sferica, divisa a metà e gli abitanti popolano una sola delle metà, esistono due limiti inferiori, uno assoluto, fuori dalla sfera, l’altro nella sfera, dove cadono gli oggetti e camminano gli esseri umani; (c) la Terra è sferica con gli abitanti che vi abitano sulla superficie, è immersa in uno spazio illimitato che la contiene, con un limite inferiore assoluto su cui tutte le cose cadono; (d) la Terra è sferica, gli abitanti abitano su tutta la sua superficie, è circondata da uno spazio infinito, la gravità attira gli oggetti verso il centro del pianeta. N.B. Gli alberelli rappresentano gli abitanti della Terra.

Sadler ha dato origine a molti studi sistematici sulle idee alternative degli studenti in Astronomia. Riportiamo di seguito i risultati di queste ricerche suddividendole in quattro temi principali: la forma della Terra, il ciclo giorno/notte, le stagioni, le fasi della Luna.

## 2.1. Forma della Terra

I primi studi sulle idee degli studenti sulla forma della Terra e la sua posizione nello spazio risalgono alla metà degli anni '70 [5] e si sono protratti fino alla metà degli anni '90 [6–13]. Dalle interviste condotte con gli studenti di fasce di età diverse (dalle elementari alle superiori), emergono quattro idee prevalenti che descrivono la forma della Terra (fig. 1). Tali idee sono correlate con l’età degli studenti: l’idea della Terra piatta (fig. 1a) è più popolare tra gli studenti delle elementari, quella corretta (fig. 1d) è più popolare tra gli studenti delle superiori.

Particolare attenzione a come gli studenti sviluppano tali idee non corrette sulla Terra è stata posta negli studi successivi che hanno utilizzato la prospettiva dei modelli mentali [14, 15]. I modelli mentali sono rappresentazioni personali astratte di un’entità fisica (ad es. corrente, forza, potenziale, ...). Uno schema generale del processo di formazione di modelli mentali sulla Terra è riportato in fig. 2. Essi sono indicati in maniera generale come Terra rettangolare, Terra a “disco”, Terra ad “anello”. In breve, i modelli mentali derivano da una “Teoria Quadro” che include le presupposizioni (ontologiche ed epistemologiche) che definiscono un concetto e da una “Teoria Specifica”, che include le osservazioni ed informazioni ricevute sul particolare concetto nella vita di tutti i giorni. I modelli mentali, applicati alla realtà, possono concorrere a revisionare le Teorie Specifiche esistenti e costruirne di nuove.

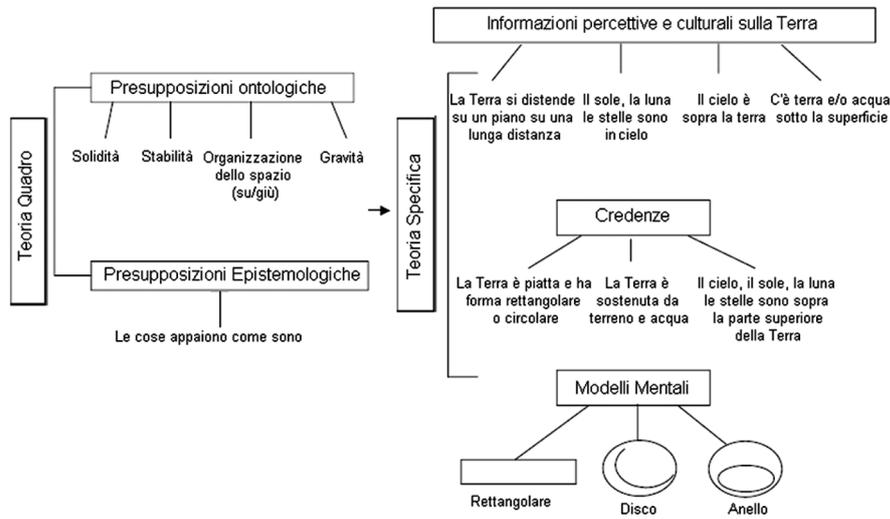


Fig. 2. – Rappresentazione cognitiva dei modelli mentali sulla forma della Terra [14].

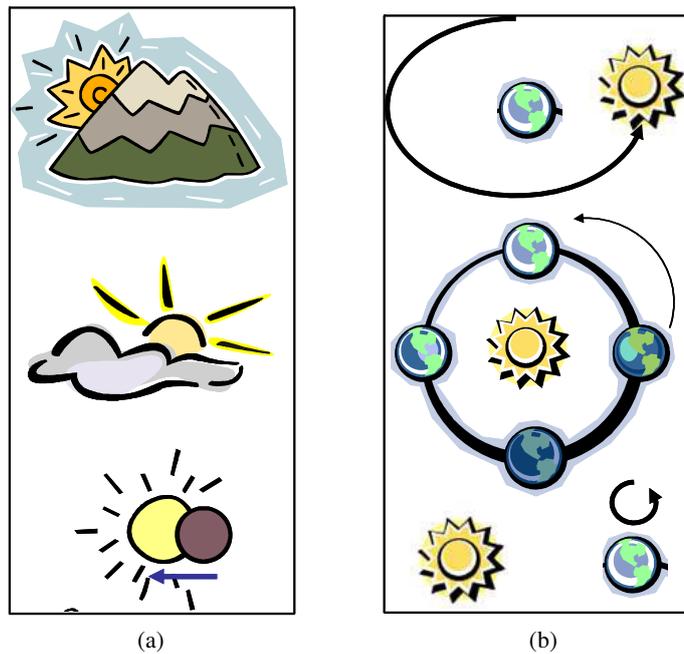


Fig. 3. – Giustificazioni degli studenti sul ciclo notte/giorno. (a) Dall'alto verso il basso: di notte il Sole scompare dietro le colline o le montagne; dietro le nuvole; viene coperto dalla Luna. (b) Dall'alto verso il basso: il Sole gira intorno alla Terra; la Terra gira intorno al Sole; la Terra gira intorno a se stessa.

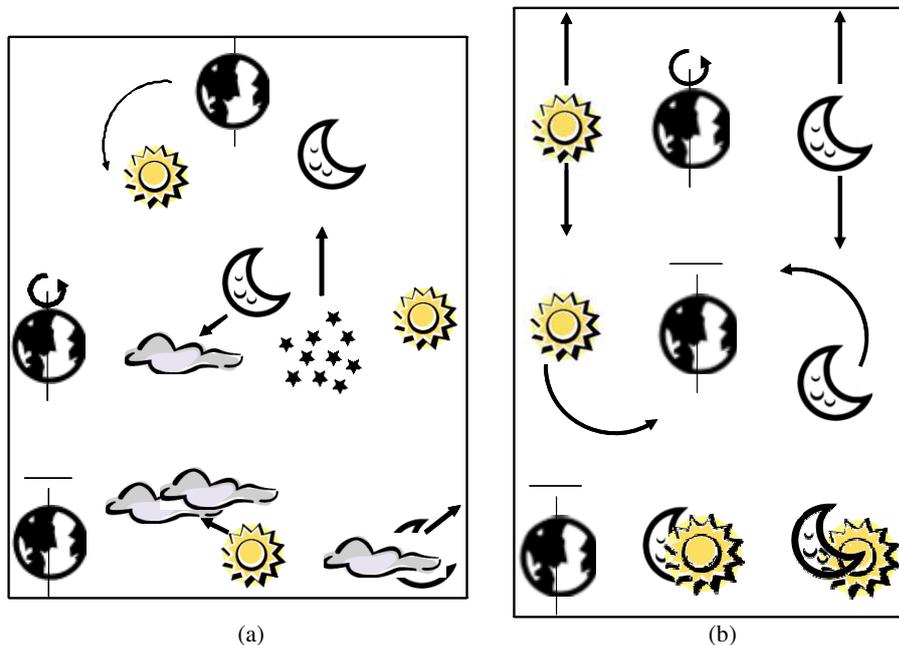


Fig. 4. – Idee degli studenti sul ciclo notte/giorno che coinvolgono il sistema Terra-Sole-Luna come riportate in [13]. (a) Dall’alto verso il basso: la Terra scompare dietro il Sole; la Terra ruota su stessa e la Luna e le Stelle di mattina scompaiono quando c’è il Sole; la Terra è ferma ed il Sole scompare dietro una nuvola e la Luna ricompare da dietro una nuvola. (b) Dall’alto verso il basso: la Terra gira intorno a se stessa ed il Sole e la Luna alternativamente compaiono e scompaiono; la Terra è ferma ed il Sole e la Luna ruotano intorno ad essa; la Terra è ferma ed il Sole e la Luna si coprono a vicenda.

## 2.2. Alternanza giorno/notte

Nello studio qualitativo con studenti di età compresa tra i 9 ed i 16 anni in [11], sono sei le idee principali che emergono dalle interviste con studenti di diverse età (fig. 3).

Quelle maggiormente comuni tra gli studenti di scuola elementare sono che il Sole, di notte, sia oscurato dalle colline, dalle nuvole o dalla Luna (fig. 3a). Come emerso in diversi studi [8,10,13,16–19], l’idea non corretta più comune tra studenti di scuola superiore e futuri insegnanti è quella che il ciclo giorno/notte sia dovuto al fatto che la Terra orbita intorno al Sole o viceversa (fig. 3b). Infine, dallo studio [20] con alunni di scuola elementare emerge l’idea che siano il Sole e la Luna a girare intorno alla Terra ogni giorno e quindi a causare l’alternarsi del giorno e della notte. Altre idee alternative riguardanti il sistema a tre corpi Terra-Sole-Luna sono mostrate in fig. 4.

## 2.3. Alternanza delle stagioni

L’idea non corretta che le stagioni siano causate dalla distanza variabile tra il Sole e la Terra è emersa, oltre che dal video di Sadler del 1989, in molti dei successivi

studi con campioni di studenti di varie età ed insegnanti [11, 13, 18, 21–28]. Esempi di rappresentazioni non corrette che possono essere ricondotte a questo ragionamento sono riportati in fig. 5.

Nella maggior parte dei casi, le risposte sono incomplete, cioè non tengono conto di tutte le condizioni che giustificano l'alternanza delle stagioni sulla Terra: oltre al mancato riferimento all'inclinazione dell'asse terrestre rispetto al piano dell'orbita, anche l'incidenza dei raggi solari sulla superficie terrestre è raramente indicata come un fattore determinante per le differenze di temperatura tra inverno ed estate sulla Terra [21]. Inoltre, da alcuni studi [18], è emerso anche che secondo gli studenti, l'inclinazione dell'asse terrestre porta alcune parti della Terra più vicino al Sole rispetto ad altre, causando in questo modo l'alternanza delle stagioni. Altre idee alternative, meno comuni, sono emerse dagli studi con studenti della scuola elementare (fig. 6).

#### 2.4. Fasi lunari

Come per l'alternarsi delle stagioni e della notte/dì, comprendere le fasi della Luna si rivela difficile per gli studenti poiché nel fenomeno entrano in gioco relazioni geometriche in uno spazio tridimensionale e, in più, fra tre corpi (Sole, Terra e Luna). Sono molti gli studi che hanno cercato di indagare i ragionamenti degli studenti sottesi a tali difficoltà [8, 10, 11, 29–35]. In particolare, da questi studi emerge una confusione tra le fasi lunari e le eclissi o le occultazioni (ombra della Terra sulla Luna o altri corpi celesti). Alcune idee non corrette sono riportate in fig. 7.

L'idea non corretta sul ruolo della Terra nelle fasi della Luna compare persino nelle risposte di studenti universitari [36, 37]. La persistenza di idee alternative sulle fasi della Luna, spesso dovute anche ad una scarsa comprensione delle distanze in gioco e della scala nel sistema Terra-Luna, è confermata in diversi altri studi con studenti dalle età più diverse [13, 38–40] fino a futuri insegnanti di scuola elementare e superiore [19, 26, 28, 41–44]. In particolare, nello studio [43], emerge che prima di un corso di formazione basato su un insegnamento orientato all'investigazione scientifica, i futuri insegnanti del campione ignoravano che la Luna orbitasse intorno alla Terra e che essa fosse sempre illuminata solo per metà. Infine, alcuni ricercatori suggeriscono che le difficoltà nel comprendere il meccanismo alla base delle fasi lunari possono essere legate alle cattive rappresentazioni iconiche di questo fenomeno sui libri di testo [21, 27, 45–48].

### 3. Analisi del questionario sulle idee innate degli studenti riguardo fenomeni astronomici familiari

L'analisi della letteratura suggerisce che l'educazione ricevuta dalle scuole elementari alle scuole superiori non è efficace nel fornire agli studenti conoscenze durature su fenomeni astronomici familiari come le stagioni o le fasi della Luna. Per indagare se tali difficoltà emergono anche nel contesto italiano, si è progettato un questionario di 8 domande a risposta aperta con richiesta di eventuale schema grafico [49] rivolto alle

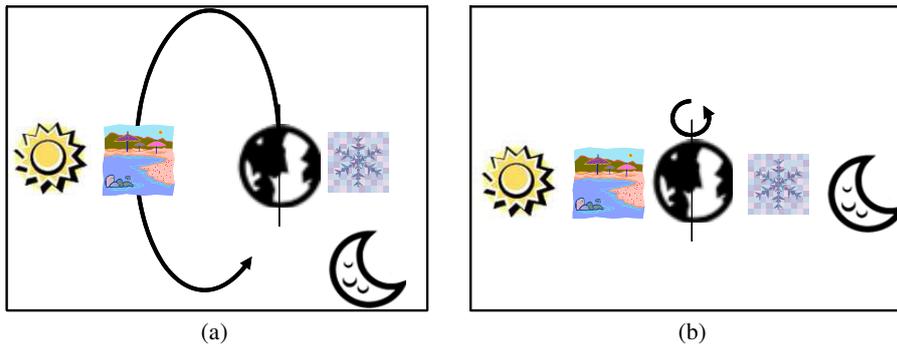


Fig. 5. – Idee non corrette degli studenti sull'alternanza delle stagioni. (a) La Terra ruotando si avvicina al Sole durante l'estate e se ne allontana d'inverno. (b) La Terra ruota intorno al suo asse e nelle regioni che sono più vicine al Sole è estate, in quelle più lontane dal Sole e vicine alla Luna è inverno.

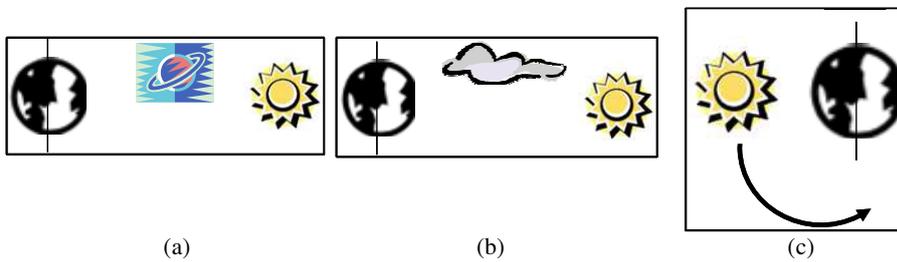


Fig. 6. – Idee non corrette degli studenti sull'alternanza delle stagioni come riportate in [11]. (a) Il calore del Sole è sottratto da pianeti freddi a scapito della Terra; b) le nuvole ostacolano la trasmissione del calore dal Sole alla Terra; c) il Sole, ruotando intorno alla Terra ferma, scalda le diverse regioni della Terra in maniera diversa.

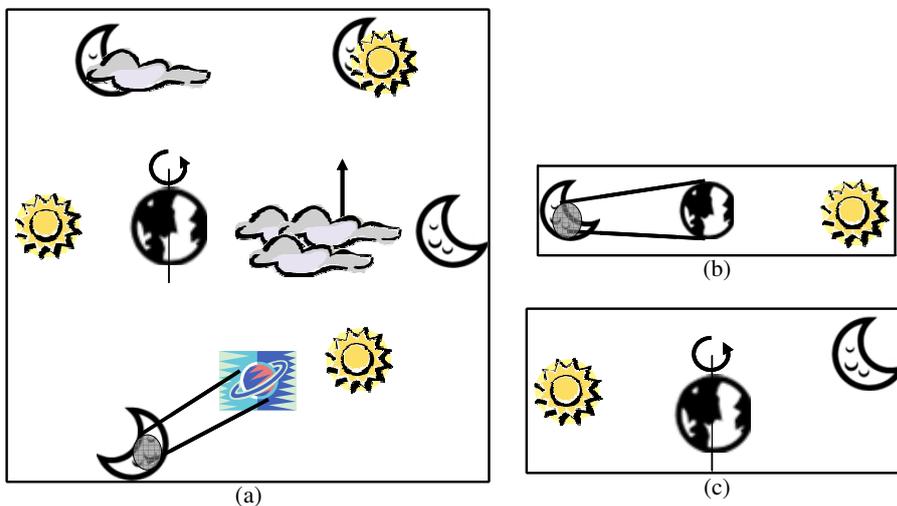


Fig. 7. – Idee non corrette degli studenti sulle fasi della Luna riportate in [11]. (a) Dall'alto in basso: la Luna è coperta da una nuvola o dal Sole; la Terra gira intorno al suo asse e diverse regioni vedono fasi diverse a seconda di come le nuvole coprono la Luna; il Sole proietta l'ombra di un pianeta sulla Luna. (b) Il Sole proietta l'ombra della Terra sulla Luna. (c) La Terra ruotando intorno al suo asse fa sì che si osservino solo alcune porzioni della Luna.

classi finali del percorso di studio scuola elementare-scuola media (scuola dell'obbligo) e del percorso della scuola superiore <sup>(1)</sup>. In particolare, mediante il questionario, si è voluto rispondere alle seguenti domande di ricerca: *Qual è la conoscenza degli studenti italiani su alcuni fenomeni astronomici al termine della scuola dell'obbligo e della scuola superiore? Esistono differenze tra le conoscenze degli studenti della scuola dell'obbligo e della scuola superiore?*

Il questionario, riportato in appendice, tocca non solo i fenomeni astronomici di base, come quelli trattati nel paragrafo precedente, ma anche alcuni concetti più complessi, come il Big Bang e l'Universo.

### 3.1. Campione

Il campione è costituito da 189 studenti di 6 scuole della Campania (3 scuole medie, 3 licei scientifici) per un totale di 9 classi distinte. Il questionario è stato sottomesso ad ogni classe prima dell'inizio di una sessione divulgativa di circa un'ora all'Osservatorio Astronomico di Capodimonte a Napoli.

### 3.2. Griglia di analisi

Per analizzare le risposte e le rappresentazioni grafiche degli studenti al questionario è stata adottata la seguente griglia:

- A. Risposta corretta dal punto di vista scientifico;
- B. Risposta parziale o corretta senza giustificazione;
- C. Risposta incorretta o risposta non comprensibile;

Le risposte/rappresentazioni di tipo A sono caratterizzate da una conoscenza approfondita del tema affrontato nella domanda e da una argomentazione che fa riferimento a più di una giustificazione dal punto di vista fisico del fenomeno. Le risposte/rappresentazioni di tipo B sono caratterizzate da una conoscenza superficiale del tema affrontato nella domanda e da una argomentazione che fa riferimento solo ad una delle possibili giustificazioni del fenomeno stesso. Le risposte/rappresentazioni di tipo C sono caratterizzate da ragionamenti e giustificazioni del fenomeno in esame non corretti dal punto di vista fisico.

### 3.3. Risultati

#### *Domanda 1 (Stagioni)*

In tabella I sono riportate le principali categorie di risposta degli studenti alla richiesta di giustificare l'alternarsi delle stagioni a parole e con un disegno.

<sup>(1)</sup> Si ricorda qui che l'Astronomia è argomento che si affronta nelle scuole medie nel programma di Matematica e Scienze e nelle superiori nel programma di Geografia Astronomica. Cenni sulle leggi di gravitazione universale e di Keplero sono fornite anche nel programma di Fisica.

TABELLA I. – *Categorie di risposte alla domanda 1 del questionario (Che cosa causa le stagioni?).*

Tipo risposta	Categoria di risposta
Corretta	Variazione dell'incidenza dei raggi solari sulla superficie terrestre nel corso dell'anno dovuta all'inclinazione dell'asse sul piano dell'orbita
Parziale	Rivoluzione della Terra intorno al Sole Inclinazione dell'asse terrestre
Incorretta	Cambiamento della distanza Terra-Sole Rotazione della Terra intorno al suo asse

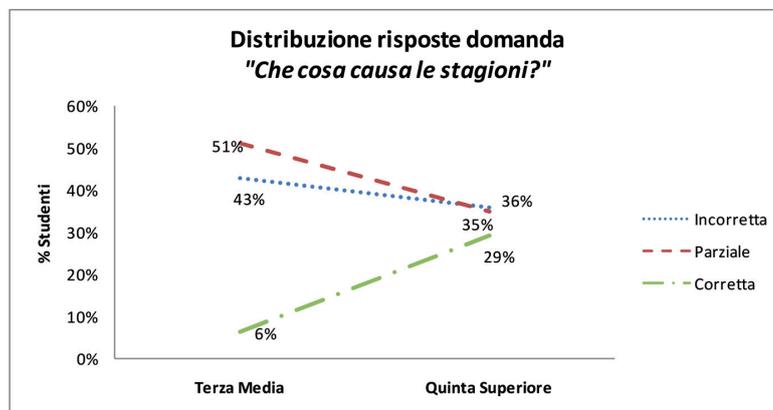


Fig. 8. – Distribuzione risposte studenti alla domanda 1 del questionario.

In fig. 8 è riportata la distribuzione delle risposte degli studenti a seconda del loro livello scolastico.

L'analisi mostra che solo sei studenti (circa il 6%) di terza media sono stati in grado di rispondere correttamente alla domanda. Il risultato è migliore ma comunque deludente anche per quanto riguarda gli studenti di quinto anno di liceo scientifico: in particolare, solo un terzo degli studenti è stato in grado di far riferimento all'incidenza dei raggi solari e all'inclinazione dell'asse terrestre per giustificare l'alternanza delle stagioni.

*S56 (quinta superiore): "L'alternanza delle stagioni è dovuta all'inclinazione dell'asse terrestre (23° 27' rispetto alla normale all'eclittica) e quindi i raggi solari non arrivano con la stessa inclinazione su tutto il pianeta durante il moto di rivoluzione"*

In generale, il risultato delle scuole medie è compatibile con ricerche condotte con futuri insegnanti di scuola primaria [22]; inoltre, il risultato dei licei scientifici è compatibile con studi condotti su studenti di primo anno dell'università [25, 37]. Oltre a ragionamenti non corretti già evidenziati in precedenti studi (ad esempio, la variabilità della distanza Terra-Sole come giustificazione dell'alternarsi delle stagioni) sono

TABELLA II. – *Categorie di risposte alla domanda 2 del questionario (L'Universo ha un centro nello spazio?).*

Tipo risposta	Categoria di risposta
Corretta	L'Universo non ha un centro nello spazio, ma nello spazio/tempo; ha un'origine temporale, un inizio.
Parziale	No, non ha centro (senza ulteriore spiegazione)
Incorretta	No, l'Universo è infinito/ha dimensioni sconosciute Si, il Sole è al centro Si, la Terra è al centro Si, la Via Lattea è al centro Si, coincide col centro di espansione

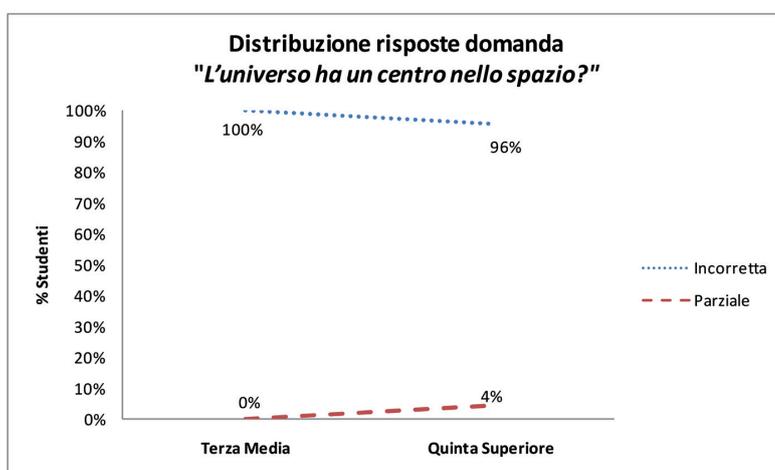


Fig. 9. – Distribuzione risposte studenti alla domanda 2 del questionario.

emersi anche ragionamenti che indicano una confusione sul ruolo dell'asse terrestre e del moto della Terra intorno al Sole:

*S36 (terza media): "Le stagioni sono causate dalla circolazione dell'asse terrestre e la loro durata è causata dal periodo di rotazione"*

Nonostante le difficoltà nel rispondere correttamente in entrambi i gruppi di studenti, l'analisi del  $\chi^2$  mostra una differenza statisticamente significativa tra i risultati degli studenti di scuola media e delle superiori ( $\chi^2 = 17.719$ , gradi di libertà = 2,  $p < 10^{-4}$ ).

#### *Domanda 2 (Centro dell'Universo)*

In tabella II sono riportate le categorie di risposte degli studenti del campione alla domanda del questionario sul centro dell'Universo.

In fig. 9 è riportata la distribuzione delle risposte degli studenti a seconda del loro livello scolastico.

Nessuno studente del campione ha risposto correttamente che l'Universo non ha

TABELLA III. – *Categorie di risposte alla domanda 3 del questionario (Come ha avuto origine l'universo?).*

Tipo risposta	Categoria di risposta
Corretta	Big Bang con riferimento a universo inflazionario
Parziale	Scoppio iniziale o Big Bang senza giustificazione
Incorretta	Creazione Teorie alternative

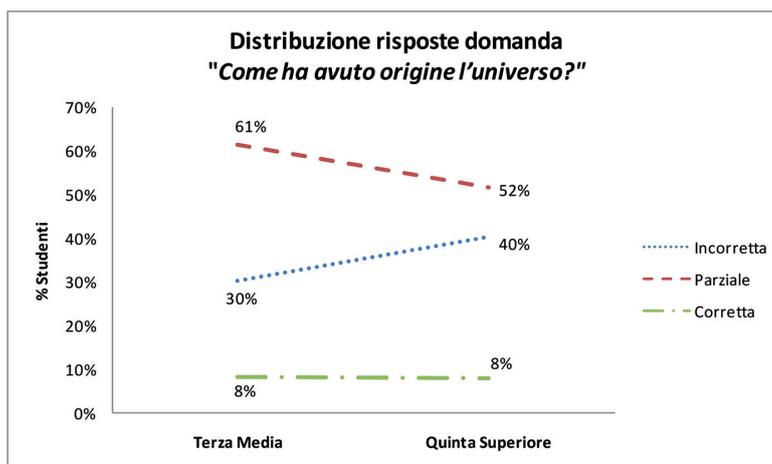


Fig. 10. – Distribuzione risposte studenti alla domanda 3 del questionario.

centro nello spazio e che appare lo stesso in qualunque direzione si osservi. La scoperta dell'espansione dell'universo, rivelata mediante il *redshift* (spostamento delle righe spettrali verso il rosso e quindi allontanamento) delle galassie, potrebbe indurre a pensare che il centro sia nelle nostre vicinanze (Terra, Sole, Via Lattea). Invece, è il tessuto dell'universo ad espandersi, come le pareti di un palloncino che si sta gonfiando, e, da qualunque punto si osservi, le galassie appariranno in allontanamento. Si può parlare di origine temporale, quando l'Universo era tanto piccolo da essere concentrato in un punto. Solo 4 studenti fanno riferimento al fatto che non esista un centro, ma forniscono giustificazioni non corrette:

*S86 (quinta superiore): "L'Universo non ha centro nello spazio in quanto è in continua espansione"*

Inoltre, alcuni studenti pensano che l'espansione dell'Universo sia dovuta alle stelle e non alle galassie; altri studenti menzionano correttamente le galassie, facendo riferimento anche al fenomeno del *redshift*, ma pensano che tutti i corpi celesti si stiano allontanando. La mancanza di differenze statisticamente significative tra gli studenti di scuola media e scuola superiore suggerisce che argomenti più avanzati di Astronomia non sono trattati nei programmi scolastici della scuola italiana.

*Domanda 3 (Origine dell'Universo)*

In tabella III sono riportate le categorie di risposte degli studenti alla domanda del questionario su come abbia avuto origine l'Universo.

In fig. 10 è riportata la distribuzione delle risposte degli studenti a seconda del loro livello scolastico.

Solo pochi studenti del campione (8%) hanno fornito una chiara spiegazione di cosa sia il Big Bang e come l'Universo abbia avuto origine da esso. La grande maggioranza degli studenti di terza media (61%) e di quinta superiore (52%) fa riferimento al Big Bang come origine dell'Universo ma non è in grado di spiegare cosa sia dal punto di vista scientifico:

*S3 (terza media): "In base a conoscenze generali e a ciò che ho studiato, l'Universo si è formato in base alla teoria del Big Bang"*

Sorprendentemente, circa un terzo del campione degli studenti di terza media e ben il 40% degli studenti di quinta liceo scientifico fa riferimento a teorie creazionistiche o altre teorie alternative non scientifiche:

*S23 (terza media): "Credo che la formazione dell'universo, come qualsiasi altra cosa, sia stata fatta da Dio, e anche se ci fosse stata un'esplosione credo che comunque sia stata una cosa di cui si sia servito Dio"*

*S45 (terza media): "L'universo si è formato col Big Bang ovvero un'esplosione che ha causato la creazione dell'universo e penso che però non si sia creato con un'esplosione ma con qualche altro fenomeno naturale"*

Anche in questo caso, la mancanza di differenze statistiche significative tra i due campioni ( $\chi^2 = 2.076$ , gradi di libertà = 2,  $p = 0.354$ ) suggerisce che il tema dell'origine dell'universo sia trattato in maniera non soddisfacente sia alla scuola media che alle scuole superiori.

*Domanda 4 (Dove sono le stelle durante il giorno?)*

In tabella IV sono riportate le categorie di risposte degli studenti alla domanda del questionario sul perché non si vedano le stelle durante il giorno.

In fig. 11 è riportata la distribuzione delle risposte degli studenti a seconda del loro livello scolastico.

Questa domanda si è rivelata delle più facili per gli studenti del campione. La grande maggioranza (quasi l'80%) del campione risponde correttamente che durante il giorno la luce diffusa del Sole ci impedisce di vedere le stelle. Solo il 16% degli studenti fa riferimento al Sole o alla Terra come "ostacoli" che impediscono di osservare le stelle. Le differenze tra le risposte degli studenti di scuola media e superiore non sono statisticamente significative ( $\chi^2 = 1.331$ , gradi di libertà = 2,  $p = 0.514$ ).

*Domanda 5 (Frequenza eclissi solari e lunari)*

In tabella V sono riportate le categorie di risposte degli studenti alla domanda del questionario sul perché le eclissi lunari e solari non si verificano tutti i mesi.

In fig. 12 è riportata la distribuzione delle risposte degli studenti a seconda del loro livello scolastico.

TABELLA IV. – *Categorie di risposte alla domanda 4 del questionario (Dove sono le stelle durante il giorno?).*

Tipo risposta	Categoria di risposta
Corretta	Riferimento a diffusione della luce del Sole
Parziale	Riferimento a luce del Sole (senza spiegazione)
Incorretta	Nascoste dal Sole (inteso come ostacolo)
	Nascoste dalla Terra (intesa come ostacolo)

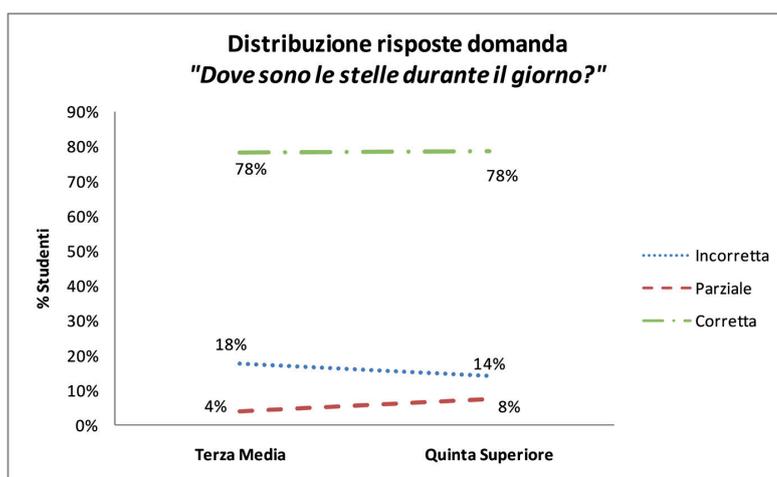


Fig. 11. – Distribuzione risposte studenti alla domanda 4 del questionario.

Solo una minoranza degli studenti del campione (3% scuola media, 11% scuola superiore) ha risposto alla domanda facendo riferimento all'inclinazione relativa dei piani orbitali di Luna e Terra. Il 42% degli studenti di scuola superiore non giustifica la propria la risposta.

La grande maggioranza degli studenti di terza media (73%) e quasi la metà degli studenti di scuola superiore (45%) non sa o non ha idea di come rispondere a questa domanda. Le differenze tra le risposte degli studenti di scuola media e superiore sono statisticamente significative ( $\chi^2 = 15.806$ , gradi di libertà = 2,  $p < 10^{-4}$ ): ciò suggerisce che tale argomento sia raramente affrontato alle scuole medie nel curriculum di scienze.

*Domanda 6 (Stelle cadenti)*

In tabella VI sono riportate le categorie di risposte degli studenti alla domanda del questionario su cosa siano le stelle cadenti.

In fig. 13 è riportata la distribuzione delle risposte degli studenti a seconda del loro livello scolastico.

Circa il 40% degli studenti di quinto liceo scientifico ed un quarto degli studenti di terza media risponde correttamente che le stelle cadenti non sono altro che meteoriti

TABELLA V. – *Categorie di risposte alla domanda 5 del questionario (Perché le eclissi lunari e solari non si verificano tutti i mesi?).*

Tipo risposta	Categoria di risposta
Corretta	Dipende dall'inclinazione dell'orbita lunare rispetto a quella terrestre
Parziale	Dipende dalle posizioni rispettive del Sole e della Luna rispetto alla Terra (senza ulteriore giustificazione)
Incorretta	Hanno distanze diverse Hanno distanze costanti Hanno periodi diversi/costanti

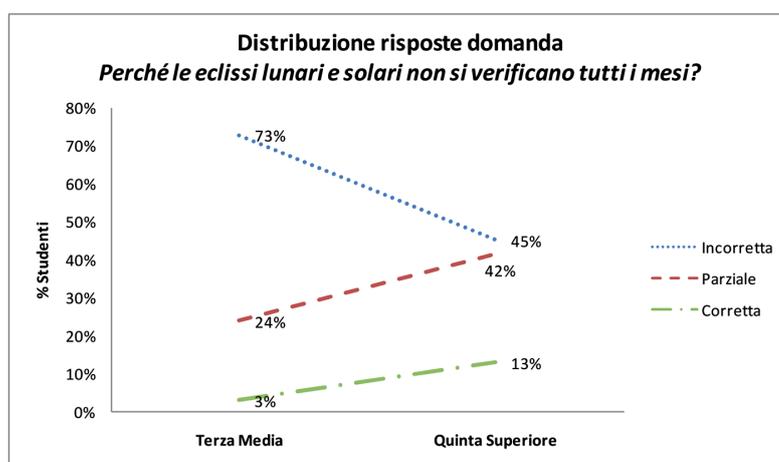


Fig. 12. – Distribuzione risposte studenti alla domanda 5 del questionario.

che attraversano l'atmosfera e che di conseguenza bruciano a causa dell'attrito. La maggioranza degli studenti di terza media (47%) pensa che le stelle cadenti siano stelle che stanno "morendo" o "collassando" o che siano delle comete.

Le differenze tra le risposte degli studenti di scuola media e superiore sono, seppur di poco, statisticamente significative ( $\chi^2 = 6.107$ , gradi di libertà = 2,  $p = 0.047$ ): tale evidenza suggerisce plausibilmente che gli studenti di quinta liceo scientifico abbiano maggiori strumenti concettuali per giustificare l'interazione della materia con l'atmosfera.

#### Domanda 7 (Fasi lunari)

In tabella VII sono riportate le categorie di risposte degli studenti alla domanda del questionario sul perché la Luna ci appaia, a distanza di alcuni giorni, diversa.

In fig. 14 è riportata la distribuzione delle risposte degli studenti a seconda del loro livello scolastico.

In accordo con studi precedenti, ad esempio con quello effettuato su futuri maestri [41–43], solo pochi studenti di quinta superiore ( $\sim 20\%$ ) e pochissimi di terza

TABELLA VI. – *Categorie di risposte alla domanda 6 del questionario (Che cosa pensi si intenda dicendo che una stella è caduta).*

Tipo risposta	Categoria di risposta
Corretta	Meteorite che brucia a causa dell'attrito dell'atmosfera terrestre
Parziale	Meteorite
Incorretta	Stelle/corpi celesti che si muovono Comete Stella che si spegne/muore Non è possibile che le stelle cadano

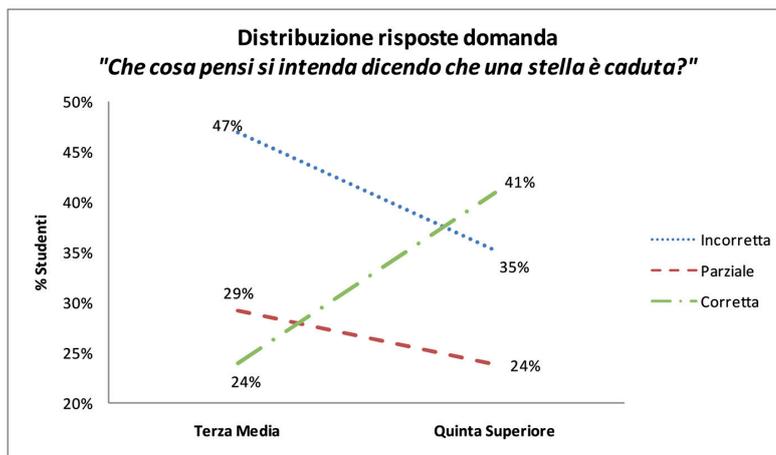


Fig. 13. – Distribuzione risposte studenti alla domanda 6 del questionario.

media (2%) hanno saputo spiegare il fenomeno delle fasi lunari, usando anche disegni corretti.

La maggioranza degli studenti del campione aggregato (in media 67%) non riesce a dare una giustificazione corretta al fenomeno.

*S73 (quinta superiore): “La ragione del cambiamento è dovuto al moto che la Terra compie intorno al Sole e a quello della Luna intorno alla Terra... a seconda dell’inclinazione il Sole colpisce diversamente e la parte nera è dovuta all’ombra della Terra”*

Come per le stagioni, l’analisi quantitativa del  $\chi^2$  mostra una differenza statisticamente significativa tra i risultati degli studenti di scuola media e delle superiori ( $\chi^2 = 20.944$ , gradi di libertà = 2,  $p < 10^{-4}$ ) e ciò suggerisce che il fenomeno delle fasi lunari non è adeguatamente trattato al livello della scuola media. Allo stesso modo, però, la bassa percentuale di risposte corrette tra gli studenti di quinta superiore suggerisce che il tema debba essere affrontato in maggiore profondità.

TABELLA VII. – *Categorie di risposte alla domanda 7 del questionario (Quali potrebbero essere le ragioni del cambiamento della Luna?).*

Tipo risposta	Categoria di risposta
Corretta	Spiegazione con disegno corretto della posizione Terra-Sole-Luna
Parziale	Posizione reciproca tra Terra, Luna e Sole
Incorretta	La Luna ruota intorno alla Terra/Sole/se stessa
	Nuvole o un pianeta si interpongono tra la Luna e la Terra
	La Luna ha un lato oscuro ed uno illuminato
	Dipende dal movimento della Terra
	Confusione con le eclissi

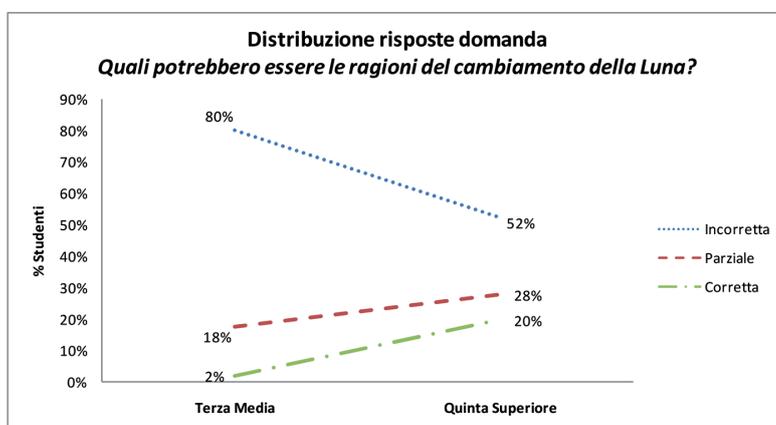


Fig. 14. – Distribuzione risposte studenti alla domanda 7 del questionario.

#### Domanda 8 (Eclissi di Luna)

In fig. 15 è riportata la distribuzione delle risposte degli studenti. Solo l'8% degli studenti di terza media è in grado di spiegare le eclissi di Luna correttamente. La percentuale di risposte corrette sale al 45% per gli studenti di quinta liceo scientifico.

La grande maggioranza degli studenti di scuola media (92%) dà giustificazioni non corrette al fenomeno.

*S34 (terza media): "L'eclisse di Luna è quando questa oscura il Sole in quanto le loro traiettorie si incrociano"*

In tabella VIII sono riportate le categorie di risposte degli studenti alla domanda del questionario sul che cosa si intenda per eclissi di Luna.

Da notare comunque che anche il 50% degli studenti di quinta liceo scientifico non è in grado di fornire una spiegazione corretta del fenomeno dell'eclissi di Luna. L'analisi quantitativa del  $\chi^2$  mostra una differenza statisticamente significativa tra i

TABELLA VIII. – *Categorie di risposte alla domanda 8 del questionario (Che cosa intendi per “eclissi di Luna”? Spiegalo a parole e con un disegno).*

Tipo risposta	Categoria di risposta
Corretta	Spiegazione con disegno corretto della posizione Terra-Sole-Luna
Parziale	La Terra oscura la Luna, l’ombra della Terra oscura la Luna
Incorretta	Confusione tra eclisse di Sole e eclisse di Luna Incontro/Scontro tra Luna e Sole Sole copre Luna Confusione con le fasi della Luna

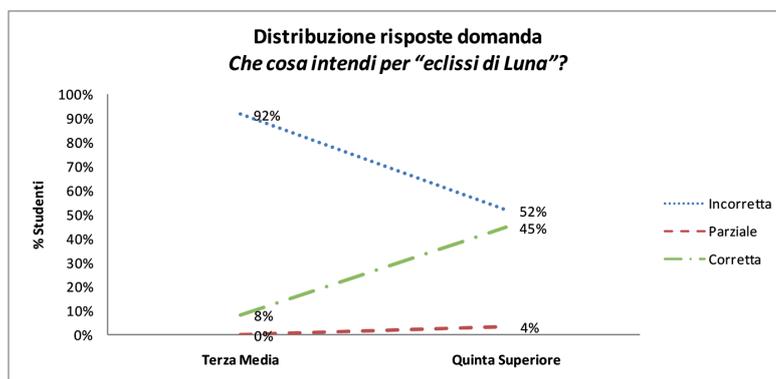


Fig. 15. – Distribuzione risposte studenti alla domanda 8 del questionario.

risultati degli studenti di scuola media e delle superiori ( $\chi^2 = 36.699$ , gradi di libertà = 2,  $p < 10^{-4}$ ).

#### 4. Discussione e conclusioni

La tabella IX riassume i risultati ottenuti dall’analisi delle risposte degli studenti al questionario secondo gli argomenti (in ordine alfabetico) affrontati.

L’analisi delle risposte degli studenti suggerisce che, in generale, gli studenti al termine della scuola superiore abbiano una preparazione sui fenomeni astronomici familiari migliore rispetto a quella iniziale, cioè al termine della scuola media. Questo risultato emerge soprattutto riguardo fenomeni come le fasi lunari e le eclissi di Sole e di Luna dove, tuttavia, la percentuale di risposte almeno parzialmente corrette tra gli studenti dell’ultimo anno di liceo scientifico si attesta solo intorno al 50%. Questo suggerisce che gli studenti, indipendentemente dal livello scolastico, incontrino difficoltà nello spiegare fenomeni astronomici familiari soprattutto quando le giustificazioni ed i ragionamenti si devono necessariamente basare sulla geometria piana/solida e/o sull’ottica (costruzione di immagini e di ombre). A questo riguardo,

TABELLA IX. – Riepilogo dei risultati ottenuti nel questionario.

Tipo di argomento	% Risposte corrette o parzialmente corrette		Guadagno $g^b$
	Terza media	Quinta superiore	
Centro e origine dell'Universo (Domande 2 e 3)	0; 70	4; 60	0.04; -0.33
Eclissi lunari <sup>a</sup> (Domanda 8)	8	48	0.43
Fasi lunari <sup>a</sup> (Domanda 7)	20	48	0.35
Frequenza eclissi solari e lunari <sup>a</sup> (Domanda 5)	27	55	0.38
Stagioni <sup>a</sup> (Domanda 1)	57	64	0.16
Visibilità e stelle cadenti <sup>a</sup> (Domande 4 e 6)	82; 53	86; 65	0.21; 0.25

<sup>a</sup> Argomento per il quale le differenze tra studenti di terza media e quinta superiore sono statisticamente significative.

<sup>b</sup> Il guadagno è così definito:

$$g = \frac{\%risposte\ almeno\ parzialmente\ corrette\ quinta\ superiore - \%risposte\ almeno\ parzialmente\ corrette\ terza\ media}{1 - \%risposte\ almeno\ parzialmente\ corrette\ terza\ media}$$

in analogia con quanto proposto da Hake (si veda <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/AnalyzingChange-Gain.pdf>). Se minori di 0.3 i guadagni sono bassi, se compresi tra 0.3 e 0.7 medi, se maggiori di 0.7 alti.

sembra che l'istruzione sull'Astronomia ricevuta durante il ciclo di studi di scuola secondaria superiore, seppur necessaria per costruire una comprensione di base di questi fenomeni, non migliori significativamente i risultati degli studenti rispetto ai percorsi educativi della scuola media (il guadagno  $g$  è medio, compreso cioè tra 0.3 e 0.7).

Una percentuale significativamente maggiore di risposte corrette tra gli studenti di quinta superiore rispetto a quelli di terza media è emersa anche nelle spiegazioni al fenomeno delle stagioni. Tuttavia le differenze con gli studenti di terza media si riducono drasticamente tenendo conto anche delle risposte parzialmente corrette (64% *vs.* 57%). Nonostante questo sia un buon risultato, sottolineiamo comunque che circa il 40% degli studenti di scuola superiore e scuola media non ha chiaro il meccanismo alla base di questo fenomeno astronomico molto familiare e che quindi la trattazione ai due livelli scolastici sembra alquanto insoddisfacente. A conferma di ciò, il guadagno  $g$  tra i due livelli scolastici è basso, minore cioè di 0.3 ( $g = 0.16$ ). Un discorso analogo vale per le spiegazioni riguardo al fenomeno delle stelle cadenti ( $g = 0.25$ ).

Interessante è il risultato ottenuto sulla domanda riguardante il Big Bang. In questo caso, la percentuale di risposte almeno parzialmente corrette è maggiore tra gli studenti di scuola media (70% *vs.* 60%,  $g = -0.33$ ). Tenuto conto anche degli sconcertanti risultati della domanda sul centro dell'Universo ( $g = 0.04$ ), le evidenze qui riportate suggeriscono che argomenti di Cosmologia sono raramente trattati correttamente dal punto di vista scientifico sia nella scuola media che nella scuola secondaria superiore.

Infine, l'unica domanda in cui la percentuale di risposte corrette o parzialmente corrette degli studenti di scuola superiore è quasi del 90% è sulla visibilità delle stelle

durante il giorno, dove però anche gli studenti delle scuole medie ottengono quasi lo stesso risultato (82% di risposte corrette,  $g = 0.21$ ).

I risultati ottenuti suggeriscono in generale la necessità di migliorare la didattica dell'Astronomia durante il ciclo di studi della scuola secondaria superiore. Negli ultimi dieci anni sono state pubblicate molte proposte didattiche rivolte a migliorare la comprensione dei fenomeni astronomici da parte degli studenti e che utilizzano materiali di laboratorio a basso costo al fine di favorirne l'implementazione nella pratica scolastica [50–55]. Inoltre, vi è ormai una larga diffusione di simulazioni gratuite e applet su Internet che permette di affrontare una gran varietà di argomenti di Astronomia <sup>(2)</sup>. Infine, gli osservatori e i planetari utilizzano sempre di più software dedicati (es. Stellarium <sup>(3)</sup>, Celestia <sup>(4)</sup>) che permettono agli studenti di valorizzare la propria percezione e legarla con la descrizione quantitativa dei fenomeni. Un ulteriore contributo alla didattica dell'astronomia può essere fornito da software di geometria dinamica come Cabri Géomètre <sup>(5)</sup>, al fine di permettere agli studenti di misurare loro stessi i parametri quantitativi che descrivono fenomeni astronomici familiari (es. eclissi di Luna/Sole, alternarsi delle fasi della Luna, etc..) costruendo al contempo simulazioni semplificate di tali fenomeni.

Nella seconda parte analizzeremo il ruolo delle immagini di fenomeni astronomici elementari (stagioni, eclissi e fasi lunari) utilizzate dai libri di testo ed indagheremo in particolare se e come tali immagini aiutino od ostacolino la comprensione degli studenti dei meccanismi alla base di tali fenomeni. I risultati di questa seconda parte della ricerca potranno fornire un ulteriore contributo sui ragionamenti alla base delle idee alternative degli studenti in questa area della Fisica.

## Appendice

*Questionario utilizzato nello studio –*

- 1) Che cosa causa le stagioni? Motiva la tua risposta.
- 2) Quale delle seguenti affermazioni è corretta? Scegli una delle possibilità, motivando la tua scelta.
  - a. La Terra è al centro dell'Universo
  - b. Il Sole è al centro dell'Universo
  - c. La Via Lattea è al centro dell'Universo
  - d. L'Universo non ha un centro nello spazio.
- 3) Che cosa pensi a proposito di come l'Universo si è formato?
- 4) Dove sono le stelle durante il giorno? Spiega la tua risposta.
- 5) Perché le eclissi lunari e solari non si verificano tutti i mesi?

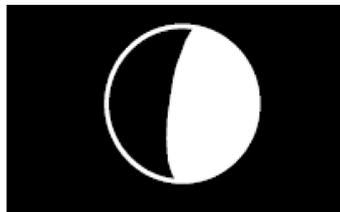
<sup>(2)</sup> Si veda il sito [www.compadre.org](http://www.compadre.org) che raccoglie un gran numero di tali materiali.

<sup>(3)</sup> <http://www.stellarium.org/it/>

<sup>(4)</sup> <http://www.shatters.net/celestia/>

<sup>(5)</sup> Si vedano i siti <http://utenti.multimania.it/fumari/archivio2/astrocabri/cabrianima/xanimaca.html> e <http://digilander.libero.it/fumarinox/cabriD3/cab10/altredi.htm> per alcuni esempi dell'uso di Cabri per la didattica dell'Astronomia.

- 6) In una notte limpida, guardando il cielo, Carlo esclamò tutto eccitato: “una stella cadente!”. Che cosa pensi che intendesse dicendo che una stella è caduta?
- 7) I diagrammi seguenti mostrano l’aspetto della Luna una certa notte e poche notti dopo. Quale potrebbe essere la ragione del cambiamento?



- 8) Che cosa intendi per “eclissi di luna”? Spiegalo a parole e con un disegno.

### Bibliografia

- [1] BUCCHI M. e PELLEGRINI G., *Annuario Scienza e Società 2011* (Il Mulino, Bologna) 2011.
- [2] PERCY J. R., *Astron. Space Sci.*, **258** (1997) 347.
- [3] SCHNEPS M. P., *A Private Universe* (Astronomical Society of the Pacific, San Francisco) 1989.
- [4] SADLER P. M., *The Initial Knowledge State of High School Astronomy Students* (Harvard University, Cambridge, MA) 1992.
- [5] NUSSBAUM J. e NOVAK J., *Sci. Educ.*, **60** (1976) 535.
- [6] MALI G. e HOWE A., *Sci. Educ.*, **63** (1979) 685.
- [7] NUSSBAUM J. e SHARONI-DAGAN N., *Sci. Educ.*, **67** (1983) 99.
- [8] KLEIN C., *Sci. Educ.*, **66** (1982) 95.
- [9] SNEIDER C. I. e PULOS S., *Sci. Educ.*, **67** (1983) 205.
- [10] JONES B. L., LYNCH P. P. e REESINK C., *Int. J. Sci. Educ.*, **9** (1987) 43.
- [11] BAXTER J., *Int. J. Sci. Educ.*, **11** (1989) 502.
- [12] SCHOON K. J., *J. Geol. Educ.*, **40** (1992) 209.
- [13] SHARP J. G., *Int. J. Sci. Educ.*, **18** (1996) 685.
- [14] VOSNIADOU S. e BREWER W. F., *Cogn. Psychol.*, **24** (1992) 535.
- [15] ALBANESE A., DANHONI NEVES M. C. e VICENTINI M., *Sci. Educ.*, **6** (1997) 573.
- [16] ATWOOD V. A. e ATWOOD R. K., *School Sci. Math.*, **95** (1995) 290.
- [17] KIKAS E., *Learn. Instrum.*, **8** (1998) 439.
- [18] MANT J. e SUMMERS M., *Res. Pap. Educ.*, **8** (1993) 101.
- [19] PARKER J. e HEYWOOD D., *Int. J. Sci. Educ.*, **20** (1998) 503.
- [20] VOSNIADOU S. e BREWER W. F., *Cogn. Sci.*, **18** (1994) 123.
- [21] OJALA J., *Int. J. Sci. Educ.*, **14** (1992) 191.
- [22] ATWOOD R. e ATWOOD V., *J. Res. Sci. Teach.*, **33** (1996) 553.
- [23] SADLER P. M., *J. Res. Sci. Teach.*, **35** (1998) 265.
- [24] TRUMPER R., *Int. J. Sci. Educ.*, **23** (2001) 1111.
- [25] TRUMPER R., *Res. Sci. Tech. Educ.*, **19** (2001) 97.
- [26] TRUMPER R., *J. Res. Sci. Teach.*, **43** (2006) 879.
- [27] DUNLOP J., *Astron. Soc. Austria.*, **17** (2000) 194.
- [28] KÜÇÜKÖZER H., *Sci. Educ. Int.*, **18** (2007) 113.
- [29] COHEN M. R. e KAGAN M. H., *Sci. Teach.*, **46** (1979) 22.
- [30] TARGAN D., In *Proceedings of the 2nd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Maths* (Cornell University Press, Ithaca, NY) 1987, p. 499.
- [31] ABELL S., MARTINI M. e GEORGE M., *Int. J. Sci. Educ.*, **23** (2001) 1095.
- [32] ABELL S., GEORGE M. e MARTINI M., *J. Sci. Teach. Educ.*, **13** (2002) 85.
- [33] LIGHTMAN A. e SADLER P. M., *Phys. Teach.*, **31** (1993) 162.
- [34] SKAM K., *Austr. Sci. Teach. J.*, **40** (1994) 63.
- [35] ZEILIK M. e BISARD W. J., *J. Coll. Sci. Teach.*, **29** (2000) 229.

- [36] ZEILIK M., SCHAU C. e MATTERN N., *Phys. Teach.*, **36** (1998) 104.
- [37] TRUMPER R., *Phys. Educ.*, **35** (2000) 9.
- [38] LINDELL R. S., *Enhancing College Students' Understanding of Lunar Phases* (University of Nebraska, Lincoln) 2001.
- [39] FANETTI T. M., *The Relationships of Scale Concepts on College Age Students' Misconceptions About the Cause of Lunar Phases* (Iowa State University, Ames) 2001.
- [40] TRUNDLE K. C., ATWOOD R. K. e CHRISTOPHER J. E., *Int. J. Sci. Educ.*, **29** (2007) 595.
- [41] TRUNDLE K. C., ATWOOD R. K. e CHRISTOPHER J. E., *J. Res. Sci. Teach.*, **39** (2002) 633.
- [42] TRUNDLE K. C., ATWOOD R. K. e CHRISTOPHER, J. E., *J. Sci. Teach. Educ.*, **17** (2006) 87.
- [43] TRUNDLE K. C., ATWOOD R. K. e CHRISTOPHER, J. E., *J. Res. Sci. Teach.*, **44** (2007) 303.
- [44] TRUMPER R., *J. Sci. Educ. Technol.*, **10** (2001) 189.
- [45] ENGESTRÖM Y., *Learn. Instrum.*, **1** (1991) 243.
- [46] DOVE J., *Int. J. Sci. Educ.*, **24** (2002) 823.
- [47] MARTINEZ PENA B. e GIL QUILEZ M. J., *Int. J. Sci. Educ.*, **23** (2001) 1125.
- [48] TRUNDLE K. C., TROLAND T. H. e PRITCHARD T. G., *J. El. Sci. Educ.*, **20** (2008) 17.
- [49] KÜÇÜKÖZER H., *Phys. Educ.*, **43** (2008) 632.
- [50] HUGHES S. W., *Phys. Educ.*, **45** (2010) 231.
- [51] VERBICKAS V., *Phys. Educ.*, **37** (2002) 306.
- [52] RUANGSUWAN C. e ARAYATHANITKUL K., *Phys. Educ.*, **44** (2009) 503.
- [53] ROS R. M., *Phys. Educ.*, **44** (2009) 345.
- [54] ROS R. M., *Phys. Educ.*, **44** (2009) 356.
- [55] AROCA S. C., SCHIEL D. e SILVA C. C., *Phys. Educ.*, **4** (2008) 613.